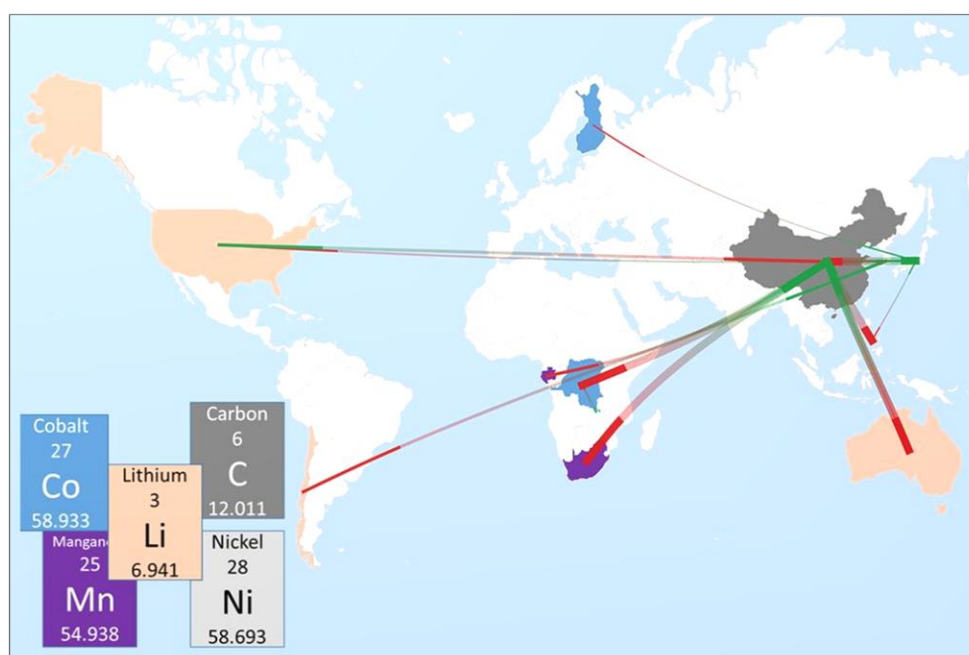




ΝΙΚΟΛΕΤΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ
ΑΕΜ 5327

ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΝΙΚΟΛΕΤΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ

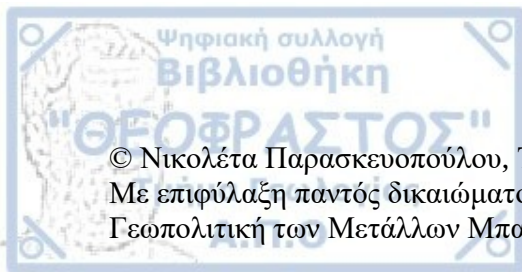
ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Νικολέτα Παρασκευοπούλου, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



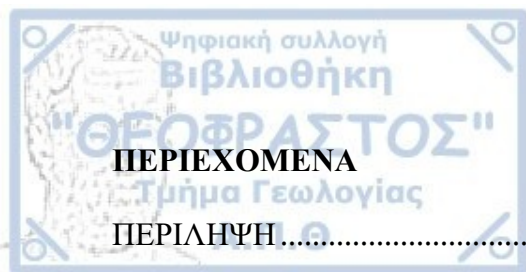
© Νικολέτα Παρασκευοπούλου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Κοιτασματολογίας, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Γεωπολιτική των Μετάλλων Μπαταρίας – *Διπλωματική Εργασία*

© Nikoleta Paraskevopoulou, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2022
All rights reserved.
Geopolitics of metal batteries – *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: MIT News, 2017



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ «ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗΣ».....	6
3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ «ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ»	8
3.1 Κατηγορίες Μπαταριών.....	8
4. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΑ (Ή ΚΡΙΣΙΜΑ) ΜΕΤΑΛΛΑ	11
5. ΜΕΤΑΛΛΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	12
5.1 Νικέλιο (Nickel – Ni).....	12
5.2 Λίθιο (Lithium - Li)	15
5.3 Κοβάλτιο (Cobalt - Co).....	17
6. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΑΛΥΣΙΔΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ.....	20
7. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΣΤΗΝ ΑΛΥΣΙΔΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	22
8. Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ Ή/ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	24
9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	26

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γεωπολιτική των Μετάλλων Μπαταρίας

Νικολέτα Παρασκευοπούλου

Η παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά τη μελέτη μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μπαταριών και επιχειρεί να παρουσιάσει τη γεωπολιτική διάσταση στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού αυτών των μετάλλων.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια, γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση αναλύοντας τους ορισμούς της «γεωπολιτικής», των «μπαταριών» και των «μετάλλων μπαταριών». Γίνεται μια κατηγοριοποίηση των μπαταριών σε πρωτογενείς και δευτερογενείς αναφέροντας τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους στην κάθε κατηγορία.

Ακολούθως, γίνεται μια σημαντική αναφορά στα κρίσιμα ή αλλιώς στρατηγικά μέταλλα, καθώς τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μπαταριών ανήκουν στην κατηγορία των κρίσιμων μετάλλων. Η κρισιμότητα είναι μια προσέγγιση που βασίζεται στην εκτίμηση των κινδύνων που συνδέονται με την παραγωγή, τη χρήση και τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής μιας πρώτης ύλης (στη συγκεκριμένη περίπτωση ενός μετάλλου). Διακρίνονται τέσσερις τύποι κρισιμότητας με τους οποίους αξιολογούνται τα μέταλλα τα οποία επιλέχθηκαν προς ανάλυση στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Τα μέταλλα αυτά είναι το λίθιο, το νικέλιο και το κοβάλτιο για τα οποία γίνεται αναφορά της κατάταξης τους στην παγκόσμια αγορά μετάλλων, σχολιάζεται η παγκόσμια παραγωγή τους, τα αποθέματά τους καθώς και η επικράτηση των γεωπολιτικών και οικονομικών κινδύνων. Επιπρόσθετα, γίνεται λόγος για τα ζητήματα στην αλυσίδα εφοδιασμού των μετάλλων μπαταρίας αλλά και τι ρόλο μπορεί να παίξει η Ευρώπη έχοντας ως «όπλο» την προοπτική της ανακύκλωσης ή/και επαναχρησιμοποίησης.

Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα οποία καταλήγουν στο ότι το κοβάλτιο είναι το μέταλλο με τον μεγαλύτερο γεωπολιτικό κίνδυνο και ότι η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών και η πρωτοβουλία της Ευρώπης για ένταξη της στην βιομηχανία των μετάλλων μπαταρίας, μπορεί να επιφέρει μια σταθερότητα στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού βοηθώντας να ξεπεραστούν τα εμπόδια που μπορεί να παρουσιάζονται εξαιτίας κρίσιμων γεωπολιτικών συνθηκών.



ABSTRACT

Geopolitics of metal batteries

Nikoleta Paraskevopoulou

This diploma thesis focuses on the study of metals used in the manufacture of batteries and attempts to present the geopolitical dimension in the global supply chain of these metals.

Initially, the first chapter introduces the topic of this thesis. Then, a literature review is conducted by analyzing the definitions of "geopolitics", "batteries" and "battery metals". A categorization of batteries into primary and secondary batteries is made, indicating the metals used for their manufacture in each category.

Subsequently, an important reference is made to critical or strategic metals, as the metals used to manufacture batteries belong to the category of critical metals. Criticality is an approach based on the assessment of the risks associated with the production, use and management at the end of the life cycle of a raw material (in this case a metal). Four types of criticality are distinguished by which the metals selected for analysis in this thesis are assessed.

These metals are lithium, nickel and cobalt, for which a report is made of their ranking in the global metals market, their global production, their reserves and the prevalence of geopolitical and economic risks are commented on. In addition, the issues in the supply chain of battery metals are discussed as well as the role that Europe can have in this area, with the prospect of recycling and/or reuse as a main advantage.

Finally, the conclusions of this thesis are that cobalt is the metal with the greatest geopolitical risk and that the adoption of sustainable practices and Europe's initiative to join the battery metals industry can bring stability to the global supply chain by helping overcome the obstacles that may arise due to critical geopolitical circumstances.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε το Μάρτιο του 2022 από τον Αναπληρωτή 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.

Στο πλαίσιο της αναζήτησης και μελέτης των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μπαταριών, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει τη γεωπολιτική διάσταση στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού αυτών των μετάλλων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Αναπληρωτή 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 την οικογένειά μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μέταλλα κατανέμονται στο φλοιό της Γης σε διαφορετικές ποσότητες και συγκεντρώσεις μεταλλευμάτων, γεγονός που σημαίνει ότι ορισμένες χώρες διαθέτουν περισσότερους πόρους (μεταλλευτικούς) από άλλες. Αυτή η ανισότητα στην κατανομή των γεωλογικών πόρων μπορεί να οδηγήσει σε πιθανούς περιορισμούς ενός σταθερού εφοδιασμού πόρων. Στο πλαίσιο του στρατηγικού σχεδιασμού και της καινοτομίας, καθώς και στην επιστημονική βιβλιογραφία, η πτυχή αυτή αναφέρεται συχνά ως γεωπολιτικός κίνδυνος εφοδιασμού. Τις τελευταίες δεκαετίες, η κρίση κοβαλτίου, το εμπάργκο πετρελαίου και το πιο πρόσφατο ζήτημα των Σπάνιων Γαιών αποτελούν τα καλύτερα παραδείγματα όσον αφορά τον γεωπολιτικό κίνδυνο εφοδιασμού των ορυκτών πόρων. Σύμφωνα με την Έρευνα Παγκόσμιας Αγοράς για το 2020 (Market Research Report,2020), ισχύουν τα παρακάτω:

Η παγκόσμια αγορά μετάλλων μπαταρίας αποτιμήθηκε σε 11,3 δισ. δολάρια το 2019 και αναμένεται να φτάσει τα 20 δισ. δολάρια. 5 δισ. ευρώ έως το 2027, σημειώνοντας αύξηση με 8,2% από το 2020 έως το 2027.

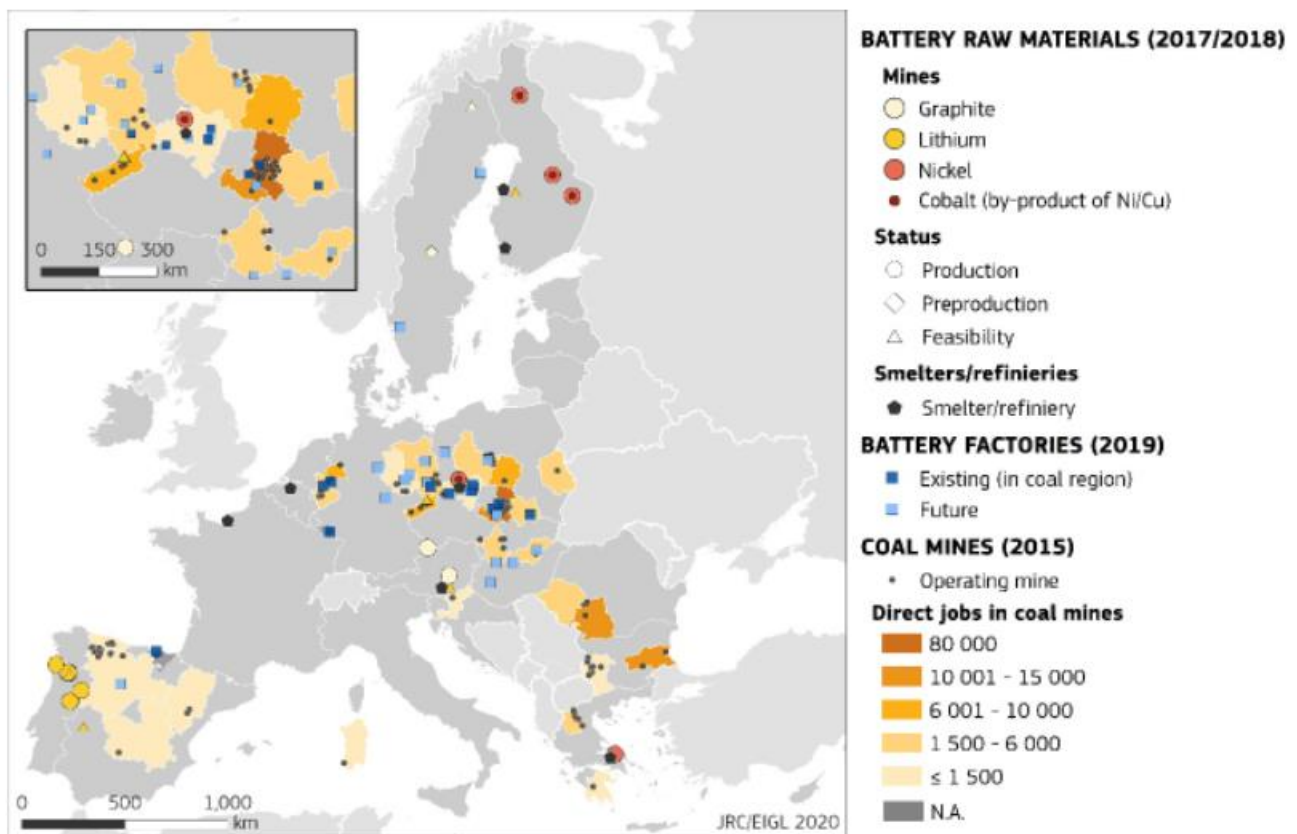
Τα μέταλλα μπαταριών είναι οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μπαταριών, όπως το λίθιο, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το μαγγάνιο και ο γραφίτης. Αυτά τα μέταλλα μπαταριών χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα, ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και άλλες εφαρμογές. Τα μέταλλα λιθίου εξάγονται από τις άλμες και τα κοιτάσματα σκληρών πετρωμάτων που υπάρχουν σε χώρες όπως η Κίνα, η Αμερική, η Αυστραλία, ο Καναδάς, η Βραζιλία και η Πορτογαλία (Market Research Report,2020).

Η αύξηση της διείσδυσης των smartphones, των tablet και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς μετάλλων μπαταριών. Επιπλέον, η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρικά οχήματα/υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα τόσο από τις ανεπτυγμένες όσο και από τις αναπτυσσόμενες οικονομίες σε όλο τον κόσμο αναμένεται να τροφοδοτήσει την ανάπτυξη της αγοράς μετάλλων μπαταριών από το 2020 έως το 2027. Επιπλέον, η ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναμένεται να ενισχύσει τη ζήτηση για μπαταρίες, η οποία, με τη σειρά της, οδηγεί την παγκόσμια αγορά μετάλλων μπαταριών.

Ωστόσο, η αύξηση των αποβλήτων μπαταριών και ο υψηλός κίνδυνος ασφάλειας εφοδιασμού υλικών μπαταριών λόγω των διεθνών εμπορικών σχέσεων αναμένεται να εμποδίσουν την ανάπτυξη της αγοράς μετάλλων μπαταριών, σε παγκόσμιο επίπεδο. Αντίθετα, η αύξηση των επενδύσεων για τον εξηλεκτρισμό των απομακρυσμένων και αγροτικών

περιοχών αναμένεται να δημιουργήσει δυνητικές ευκαιρίες ανάπτυξης για τους βασικούς παίκτες που δραστηριοποιούνται σε αυτή την αγορά. Επιπλέον, οι υψηλότερες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης στις τεχνολογικά ενημερωμένες καταναλωτικές συσκευές αναμένεται να προσφέρουν αποδοτικές ευκαιρίες για την επέκταση της παγκόσμιας αγοράς.

Η παγκόσμια αγορά μετάλλων μπαταριών (Σχήμα 1.1) κατανέμεται ανάλογα με τους τύπους μετάλλων, εφαρμογές και περιοχές. Ανάλογα με τον τύπο μετάλλου, κατηγοριοποιείται σε λίθιο, κοβάλτιο, νικέλιο και άλλα.



Σχήμα 1.1.: Ορυχεία πρώτων υλών μπαταριών, εργοστάσια μπαταριών και ανθρακωρυχεία (EC, 2020).

2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ «ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗΣ»

Ως σύντομος ορισμός για την γεωπολιτική θα μπορούσε να θεωρηθεί η μελέτη των γεωγραφικών παραγόντων της παγκόσμιας πολιτικής και των διακρατικών σχέσεων. Ο όρος χρησιμοποιείται επίσης γενικότερα για να περιγράψει τις περιφερειακές στρατηγικές σχέσεις. Στις μέρες μας καλύπτει σχεδόν το ίδιο πεδίο με τις Διεθνείς Σχέσεις, αν και με μεγαλύτερη έμφαση στους γεωγραφικούς παράγοντες, όπως η τοποθεσία, οι πόροι και η προσβασιμότητα. Στο πλαίσιο αυτού του ευρέος ορισμού, υπάρχουν πολλές παραλλαγές και οι διαφορές μεταξύ τους είναι σημαντικές (Castree et al, 2013). Εν μέρει, αυτές οφείλονται στην αμφιλεγόμενη ιστορία του όρου "γεωπολιτική", ο οποίος έπεσε σε δυσμένεια σε μεγάλο μέρος του αγγλοαμερικανικού κόσμου μετά τη δεκαετία του 1940.

Η αρχική ή "παραδοσιακή" μορφή του προέκυψε προς το τέλος του 19ου αιώνα. Αυτή η "αυτοκρατορική γεωπολιτική" μπορεί να θεωρηθεί ως η εφαρμογή του κοινωνικού δαρβινισμού στο κράτος. Συνδυάζοντας τις ιδέες της μόνιμης εθνικής αντιπαλότητας, της ανάγκης για κρατική επέκταση, του περιβαλλοντικού ντετερμινισμού και των ρατσιστικών ιδεών για τους πολιτισμούς, αυτή η γεωπολιτική κατευθύνθηκε συνειδητά προς την ενημέρωση και την υποβοήθηση της κρατικής πολιτικής μεταξύ των ευρωπαϊκών αυτοκρατορικών δυνάμεων, καθώς και των ΗΠΑ. Ο ναύαρχος Alfred Thayer Mahan (1846-1914), για παράδειγμα, προειδοποίησε την κυβέρνηση των ΗΠΑ για την ανάγκη αποκατάστασης της ναυτικής ισχύος προκειμένου να διασφαλιστούν τα εμπορικά συμφέροντα των ΗΠΑ. Οι ιδέες του για τη θαλάσσια ισχύ προσαρμόστηκαν από τον Halford Mackinder, του οποίου η έννοια Heartland θεωρείται υπόδειγμα αυτού του ύφους συλλογισμού. Εμπνευσμένη από τον Friedrich Ratzel και τον Σουηδό γεωγράφο Rudolph Kjellén (1864-1922) -ο οποίος επινόησε τον όρο "γεωπολιτική"- μια σχολή γεωπολιτικής σχηματίστηκε στη Γερμανία τη δεκαετία του 1920. Λόγω των στενών δεσμών της με το μετέπειτα ναζιστικό καθεστώς, οι Αμερικανοί και άλλοι γεωγράφοι απέρριψαν τον όρο "γεωπολιτική", απορρίπτοντάς τον ως ψευδοεπιστήμη του ρατσισμού και του ωμού περιβαλλοντικού ντετερμινισμού. Αν και γεωγράφοι όπως ο Isaiah Bowman ασχολήθηκαν επίσης με τις στρατηγικές σχέσεις σε παγκόσμια κλίμακα, γενικά περιέγραφαν το έργο τους ως πολιτική γεωγραφία. Μια αναγνωρίσιμη εκδοχή της γεωπολιτικής ευδοκίμησε, ωστόσο, μεταξύ των στρατιωτικών ακαδημιών και των στρατιωτικών δικτατοριών στη Νότια Αμερική μέχρι και τη δεκαετία του 1970. Όσοι μελετητές συνέχισαν να αναπτύσσουν και να προσαρμόζουν τις ιδέες του Mackinder στην κατάσταση του Ψυχρού Πολέμου, κυρίως ο Nicholas Spykman και αργότερα ο Saul Cohen, έδωσαν έμφαση σε χωρικά θέματα και όχι σε περιβαλλοντικά ή φυλετικά (βλ. γεωστρατηγική

περιοχή). Αλλά στην ακαδημαϊκή γεωγραφία γενικότερα, η γεωπολιτική είχε γίνει μια βρώμικη λέξη.

Η επιστροφή της γεωπολιτικής ήταν πιο εμφανής εκτός των τμημάτων γεωγραφίας και πήρε μια σαφή συντηρητική απόχρωση. Οι αξιωματούχοι της εξωτερικής πολιτικής των ΗΠΑ και οι διανοούμενοι που προσπάθησαν να την επηρεάσουν, ανακύκλωσαν και επικαιροποίησαν πολλές από τις ιδέες της αυτοκρατορικής γεωπολιτικής από τη δεκαετία του 1970 και μετά. Μεταξύ των γεωγράφων, υπήρξαν δύο κύριες αντιδράσεις. Από τη μία πλευρά, ορισμένοι υποστήριξαν μια αποκατεστημένη γεωπολιτική απογυμνωμένη από τα αυτοκρατορικά της χαρακτηριστικά και με μεγαλύτερη προσοχή στις μεταβαλλόμενες σχέσεις μεταξύ γεωπολιτικών και γεωοικονομικών σχέσεων στην εποχή της παγκοσμιοποίησης. Ειδικότερα, αυτή η γραμμή έρευνας αναγνώρισε μη κρατικούς πολιτικούς δρώντες, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών κινημάτων και των τρομοκρατικών δικτύων, και νέα ζητήματα όπως η παγκόσμια περιβαλλοντική αλλαγή και τα παγκόσμια μέσα ενημέρωσης. Μια συναφής αλλά ξεχωριστή απάντηση ήταν η διαμόρφωση της κριτικής γεωπολιτικής, η οποία βασίστηκε περισσότερο στις μετα-δομιστικές έννοιες του λόγου και της αναπαράστασης για να εξετάσει τα κείμενα (π.χ. ομιλίες, δελτία ειδήσεων, έγγραφα πολιτικής) των πολιτικών και της κρατικοκεντρικής εξωτερικής πολιτικής. Υπάρχουν επίσης ορισμένα άλλα ρεύματα της τρέχουσας γεωπολιτικής. Η Jennifer Hyndman περιέγραψε μια "φεμινιστική γεωπολιτική", η οποία ενημερώνεται από τις φεμινιστικές γεωγραφικές ιδέες και εστιάζει πέρα από την κλίμακα του κράτους στην εξέταση της πολιτικής της κοινωνικής δικαιοσύνης, της βλάβης, της σεξουαλικής βίας και του διαχωρισμού δημόσιου/ιδιωτικού τομέα. Η "δημοφιλής γεωπολιτική" εξετάζει πώς οι πολιτικές γεωγραφικές ιδέες κυκλοφορούν μέσω του κινηματογράφου, της τηλεόρασης, των κινούμενων σχεδίων και των περιοδικών. Η "αντι-γεωπολιτική" περιγράφει τις προκλήσεις στην κρατικοκεντρική γεωπολιτική από την κοινωνία των πολιτών, συμπεριλαμβανομένων των αντιφρονούντων, των κοινωνικών κινημάτων και των συναφών μορφών αντίστασης. Στόχος της είναι να αντιταχθεί στην ιδέα ότι τα συμφέροντα του κράτους και των πολιτικών συμμάχων του είναι τα ίδια με τα συμφέροντα των κοινοτήτων. Ο Gerry Kearns χρησιμοποιεί τον όρο "προοδευτική γεωπολιτική" για να αναφερθεί στις ιδέες και τις πρακτικές που αντιτίθενται στη συντηρητική γεωπολιτική. Πιστεύει περισσότερο στο διεθνές δίκαιο και στα κοσμοπολίτικα ιδεώδη ως τρόπους ρύθμισης των σχέσεων μεταξύ κρατών και ανθρώπων, ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις.

3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ «ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ»

Σε όλες σχεδόν τις καθημερινές μας δραστηριότητες απαιτείται χρήση κάποιας μορφής ενέργειας (χημική ενέργεια, θερμική ενέργεια, ηλεκτρισμός). Σώματα τα οποία μπορούν να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν ενέργεια για να χρησιμοποιηθεί σε κάποια μορφή λέγονται αποθήκες ενέργειας. Η πιο διαδεδομένη αποθήκη ενέργειας που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή είναι η μπαταρία. Η κλειστή κυκλοφορία των ηλεκτρονίων μέσα στους αγωγούς αποτελεί το ηλεκτρικό ρεύμα και η διάταξη αυτή αποτελεί ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η μπαταρία λοιπόν δημιουργεί το ηλεκτρικό δυναμικό δηλαδή την τάση ώστε να κυκλοφορούν τα ηλεκτρόνια στο κύκλωμα. Η μπαταρία δίνει την αποθηκευμένη ενέργεια που διαθέτει με χημικό τρόπο ώστε να υπάρξει ηλεκτρικό ρεύμα και να λειτουργήσει κανονικά το κύκλωμα (BatteryCenter, 2014).

Η μπαταρία αποτελείται από i) την άνοδο (-), ii) την κάθοδο (+), iii) τον ηλεκτρολύτη. Οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται στην μπαταρία με τη βοήθεια του ηλεκτρολύτη ο οποίος είναι μία χημική ουσία, προκαλούν την μετακίνηση ηλεκτρονίων στην άνοδο(-) και την αντίστοιχη έλλειψη ηλεκτρονίων στην κάθοδο(+). Το αποτέλεσμα αυτών των ενώσεων είναι να παράγεται η ηλεκτρική διαφορά δυναμικού μεταξύ της ανόδου και της καθόδου εν τέλει όταν η μπαταρία συνδεθεί σε ηλεκτρικό κύκλωμα να έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η μπαταρία λοιπόν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένα ηλεκτροχημικό σώμα που μπορεί να μετατρέψει την χημική ενέργεια σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιώντας διαφορετικές χημικές ενώσεις. Ιδανικά, για επαναφορτιζόμενες - ή δευτερογενείς μπαταρίες - η διαδικασία αυτή είναι αναστρέψιμη με επαναφόρτιση και επαναφορά των υλικών του στοιχείου στην αρχική τους κατάσταση.

3.1 Κατηγορίες Μπαταριών

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα μπαταριών με διαφορετική χημεία. Αυτές περιέχουν ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες μίας χρήσης - ή πρωτογενείς - βασίζονται σε διάφορες χημείες όπως ψευδαργύρου, υδραργύρου, μαγγανίου και λιθίου. Για τις επαναφορτιζόμενες - ή δευτερογενείς - μπαταρίες, οι κύριες χημικές ουσίες είναι οι παραδοσιακές μπαταρίες με βάση το μόλυβδο-οξύ ή οι μπαταρίες με βάση το νικέλιο, από τις οποίες οι νικέλιο-καδμίου και οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου είναι οι πιο γνωστές. Ο μεγαλύτερος όγκος κατά βάρος είναι μπαταρίες μολύβδου-οξέος που χρησιμοποιούνται στα οχήματα για εκκίνηση, φωτισμό και ανάφλεξη. Γενικά, οι μπαταρίες υδραργύρου και οι περισσότερες από τις μπαταρίες καδμίου έχουν απαγορευτεί να διατίθενται στην αγορά.

Οι χημικές ενώσεις με βάση το λίθιο αυξάνονται ραγδαία- αυτοί οι τύποι μπαταριών χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε φορητά ηλεκτρονικά προϊόντα, και τώρα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε ηλεκτρικά οχήματα

Πιο αναλυτικά, οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς.

❖ Πρωτογενείς μπαταρίες:

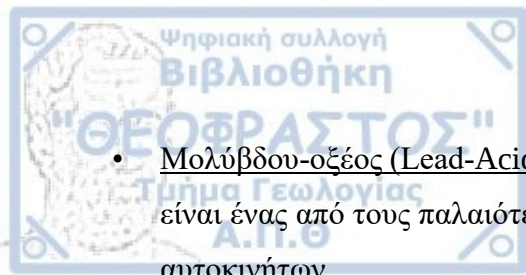
Χαρακτηρίζονται και ως μπαταρίες μιας χρήσης και συνήθως είναι οικιακής χρήσης, σε αντίθεση με τις δευτερογενείς που είναι συνήθως βιομηχανικής χρήσης (BatteryCenter,2014). Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους πρωτογενών μπαταριών με τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε αυτές περιλαμβάνουν:

- Ψευδαργύρου-Άνθρακα (Zn/C): οι γνωστές σε όλους απλές μπαταρίες. Για τις απλούστερες χρήσεις και με τη μικρότερη διάρκεια ζωής.
- Ψευδαργύρου-Χλωριδίου (Zn/Cl): με λίγο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται εκεί που υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια.
- Αλκαλικές Μαγγανίου: με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα δύο προηγούμενα είδη. Είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον.
- Αργύρου (Ag): συνήθως κομβιόσχημες, περιέχουν οξείδιο του αργύρου, και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρολόγια.
- Λιθίου (Li): μεγάλης διάρκειας ζωής, περιέχουν μεταλλικό λίθιο και χρησιμοποιούνται ευρέως στον φωτογραφικό εξοπλισμό και στα κινητά τηλέφωνα.
- Ψευδαργύρου – οξυγόνου (ZnO): επίσης κομβιόσχημες, έχουν την καινοτομία ότι αντί θετικού πόλου, χρησιμοποιείται το ατμοσφαιρικό οξυγόνο.
- Υδραργύρου (Hg): με οξείδιο του υδραργύρου, χρησιμοποιείται κυρίως σε ιατρικές συσκευές, όπως ακουστικά βαρηκοΐας. Δυστυχώς, ο υδράργυρος που περιέχουν είναι επικίνδυνος για το περιβάλλον.

❖ Δευτερογενείς μπαταρίες:

Επίσης γνωστές ως επαναφορτιζόμενες μπαταρίες πρέπει να φορτιστούν πριν από τη χρήση. Αυτού του είδους οι μπαταρίες συναρμολογούνται συνήθως με ενεργά υλικά σε αποφορτισμένη κατάσταση (BatteryCenter,2014). Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους δευτερογενών μπαταριών με μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε αυτές περιλαμβάνουν:

- Νικελίου-Καδμίου (NiCd): Η μπαταρία αποτελείται από δύο μέταλλα, το νικέλιο (Ni) και το κάδμιο (Cd). Η μπαταρία δεν είναι τόσο ακριβή και έχει μέτρια ενεργειακή πυκνότητα..



- Μολύβδου-οξέος (Lead-Acid): Αυτή η μπαταρία χρησιμοποιεί μόλυβδο και θεικό οξύ και είναι ένας από τους παλαιότερους τύπους μπαταριών με κοινή εφαρμογή στους κινητήρες αυτοκινήτων.
- Νικελίου-Υδρογόνου
- Νικελίου-Ψευδαργύρου (NiZn): Το νικέλιο και ο ψευδάργυρος είναι τα δύο μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της μπαταρίας νικελίου-ψευδαργύρου με πρακτική εφαρμογή σε ηλεκτρικά ποδήλατα, εργαλεία κήπου κ.λπ.
- Αργύρου-Ψευδαργύρου (AgZn): Οι εξαιρετικά ακριβές μπαταρίες κάνουν χρήση του μετάλλου αργύρου ως κύριο συστατικό τους. Η διαθέσιμη παραλλαγή είναι η μπαταρία αργύρου-ψευδαργύρου που χρησιμοποιεί ψευδάργυρο για να μειώσει το κόστος και να αντέξει μεγάλα φορτία.
- Ιόντων λιθίου (Li-Ion): Χρησιμοποιούν γραφίτη και λίθιο για τη δημιουργία ηλεκτρικού φορτίου. Είναι ένα είδος πολύ ακριβής μπαταρίας με πολύ υψηλή ενεργειακή πυκνότητα.

4. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΑ (Ή ΚΡΙΣΙΜΑ) ΜΕΤΑΛΛΑ

Η κρισιμότητα είναι μια προσέγγιση που βασίζεται στην εκτίμηση των κινδύνων που συνδέονται με την παραγωγή, τη χρήση και τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής μιας πρώτης ύλης (στη συγκεκριμένη περίπτωση ενός μετάλλου). Ένα μέταλλο θεωρείται κρίσιμης ή στρατηγικής σημασίας όταν:

- χρησιμοποιείται σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς,
- είναι δύσκολο να βρεθεί υποκατάστατό της βραχυπρόθεσμα,
- απαιτείται για πολυάριθμες βιομηχανικές εφαρμογές- έχει σημαντική οικονομική αξία.
- τα αποθέματά και η παραγωγή είναι γεωγραφικά περιορισμένα.

Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μπαταριών ανήκουν στην κατηγορία των κρίσιμων μετάλλων, όπως θα διαπιστωθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Η κρισιμότητα δεν είναι καθολική έννοια. Η κρισιμότητα μιας πρώτης ύλης/μετάλλου μπορεί να διαφέρει από χώρα σε χώρα, καθώς στην πραγματικότητα αφορά τέσσερα επίπεδα κινδύνου, δηλαδή τέσσερις τύπους κρισιμότητας (IFPEN,2021):

1. Γεωλογικό: το πλήθος των χρήσεων των κρίσιμων υλικών δημιουργεί ανησυχίες για ελλείψεις,
2. Οικονομικό: η ύπαρξη καρτέλ στην αγορά - όταν πολλές αγορές εξαρτώνται από λίγους παραγωγούς, αυτό έχει αντίκτυπο στις χώρες-καταναλωτές,
3. Στρατηγικό: όταν τα αποθέματα υλικών είναι γεωγραφικά συγκεντρωμένα, μπορούν να παρεμποδίσουν τις καινοτομίες που αναπτύσσουν ορισμένες χώρες σε στρατηγικούς τομείς,
4. Περιβαλλοντικό: Σκόπιμη ασάφεια σχετικά με τις εκπομπές ρύπων, καθώς και με την κατανάλωση ενέργειας και νερού που συνδέονται με την παραγωγή αυτών των υλικών

Όλα αυτά τα ζητήματα είναι μείζονος σημασίας ειδικά για την ενεργειακή μετάβαση και ακόμη δεν έχουν γίνει αρκετές ουσιαστικές ενέργειες για την αντιμετώπισή τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα (ενεργειακή απόδοση, κατάλυση, πυρηνική ενέργεια κ.λπ.) που προωθούν οι παγκόσμιες ενεργειακές πολιτικές ως υποκατάστατα των παραδοσιακών τεχνολογιών δεν καταναλώνουν λιγότερα μέταλλα. Στην πραγματικότητα, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Λόγου χάρη, για την κατασκευή ενός οχήματος παραδοσιακής τεχνολογίας απαιτούνται 20 κιλά χαλκού, 40 κιλά για ένα υβριδικό όχημα και περίπου 80 κιλά για ένα ηλεκτρικό όχημα (IFPEN,2021).

5. ΜΕΤΑΛΛΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Υπάρχουν πολλά επιμέρους υλικά που ενδέχεται να υπάρχουν στα ηλεκτρόδια, τους ηλεκτρολύτες και τους διαχωριστές των κυψελών των μπαταριών (BatteryCenter, 2014). Εστιάζοντας στο ανόργανο περιεχόμενο των ενεργών υλικών, τα πιο σημαντικά είναι το αντιμόνιο (Sb), το κάδμιο (Cd), το κοβάλτιο (Co), ο χαλκός (Cu), ο γραφίτης (C), το λίθιο (Li), το μαγγάνιο (Mn), το νικέλιο (Ni), ο μόλυβδος (Pb), το πυρίτιο (Si) και ο ψευδάργυρος (Zn). Από αυτά τα υλικά, το αντιμόνιο, που υπάρχει στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος στα οχήματα και στην αποθήκευση ενέργειας, και το κοβάλτιο καθώς και ο φυσικός γραφίτης, που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion), το μαγγάνιο, το νικέλιο και ο ψευδάργυρος χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες στον κατάλογο κρίσιμων πρώτων υλών του 2022.

5.1 Νικέλιο (*Nickel – Ni*)

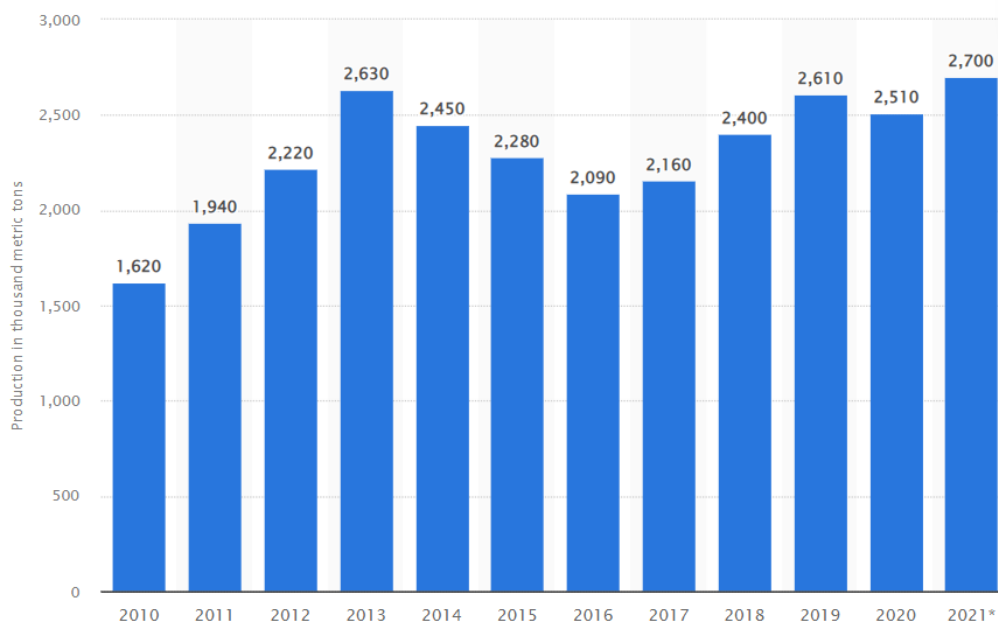
Η χρήση του νικελίου έχει μακρόχρονη ιστορία και περιλαμβάνει διάφορες εφαρμογές. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης η χρήση του επεκτάθηκε στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα, στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση και στις μπαταρίες (Davenport, 2011). Η ζήτησή του αυξάνεται συνεχώς και μάλιστα μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (Kuck, 2010b), ενώ η τάση αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

Όσον αφορά την εξόρυξη νικελίου, η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία είναι η Ρωσία, η οποία είναι υπεύθυνη για το 21,2% της παγκόσμιας εξόρυξης, ακολουθούμενη από τον Καναδά με 13,4% και την Αυστραλία με 12,7% (Nakajima et al., 2017). Αυτές οι τρεις χώρες μαζί κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της εξόρυξης νικελίου, 47,3% της παγκόσμιας προσφοράς. Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγής νικελίου κατέχουν ένα ολόένα και μεγαλύτερο μερίδιο της παγκόσμιας προσφοράς νικελίου (Γούναρης, 2019). Μπορεί να παρατηρηθεί ότι από το 2009 έως το 2017 η Ρωσία είχε αύξηση 2,49% της συμμετοχής της στην παγκόσμια παραγωγή νικελίου, ενώ ο Καναδάς και η Αυστραλία είχαν αύξηση 3,61% και 0,91% αντίστοιχα.

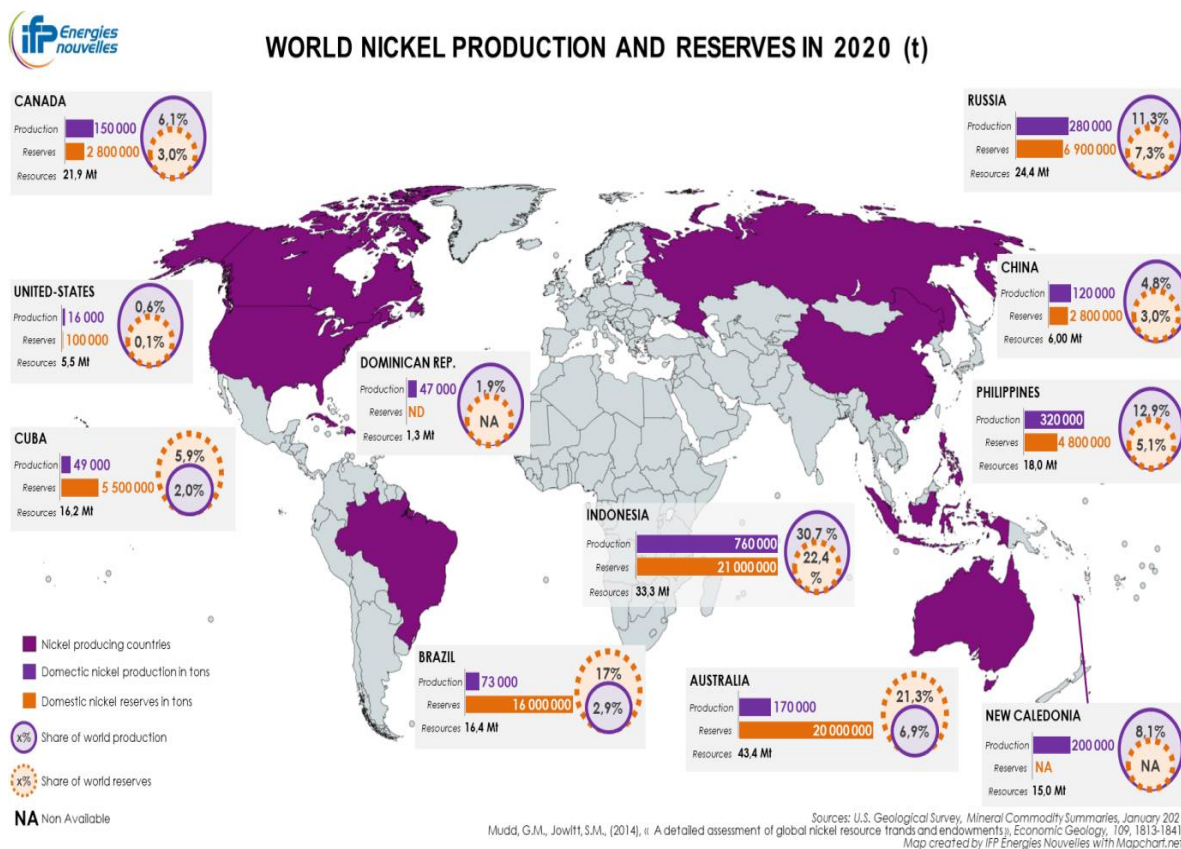
Το νικέλιο μπορεί να βρεθεί και να εξαχθεί από διάφορους τύπους και κοιτάσματα, όπως λατεριτικά μεταλλεύματα και κοιτάσματα θειούχων μεταλλευμάτων (Davidson, 2006-Davenport, 2011). Οι περισσότερες εξορυκτικές δραστηριότητες όσον αφορά τα κοιτάσματα σουλφιδίων βρίσκονται στον Καναδά και τη Ρωσία, ενώ τα λατεριτικά κοιτάσματα βρίσκονται σε πιο τροπικά περιβάλλοντα, όπως στην Κούβα, την Ινδονησία και τις χώρες της Νότιας Αμερικής. Αυτό οφείλεται στον καταλυτικό ρόλο του κλίματος στο σχηματισμό των λατεριτικών κοιτασμάτων (Elias, 2002).

Ενώ η πλειονότητα της εξόρυξης νικελίου προέρχεται από την εξόρυξη κοιτασμάτων σουλφιδίων (56%), τα περισσότερα αποδεδειγμένα αποθέματα νικελίου βρίσκονται σε κοιτάσματα λατερίτη (73%) (Davidson, 2006). Προκειμένου να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση νικελίου, η βιομηχανία έχει εντείνει τις ήδη υπάρχουσες εξορυκτικές δραστηριότητες, ενώ παράλληλα έχει στραφεί στην εξόρυξη νικελίου από λατεριτικά κοιτάσματα. Η μετάβαση αυτή οδήγησε, τις τελευταίες δύο δεκαετίες, σε αύξηση της χρήσης γης για την εξόρυξη νικελίου κατά 2 με 3 φορές. Αντίθετα, η πραγματική ποσότητα εξόρυξης νικελίου αυξήθηκε μόνο κατά 1,8 φορές, λόγω της πολυπλοκότητας της παραγωγής νικελίου από λατερίτες και της ιδιαίτερης μορφολογίας τους (Davidson, 2006, Mudd, 2010, Nakajima et al., 2017). Συνεπώς, ο κλάδος βρίσκεται αντιμέτωπος με την ανάγκη δυσανάλογης χρήσης γης σε σχέση με την πραγματική παραγωγή νικελίου, η οποία θα αυξήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εξορυκτικών δραστηριοτήτων (Mudd, 2010). Αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι οι χώρες παραγωγής νικελίου απέχουν πολύ από τις περιοχές μεγάλης κατανάλωσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγάλες παγκόσμιες ροές νικελίου (Nakajima et al., 2017, 2018).

Οι τιμές του νικελίου ακολουθούν ένα κυκλικό μοτίβο με συνολική αύξηση από το 2000, ενώ οι μηνιαίες τιμές παρουσιάζουν την ίδια μεταβλητότητα με εκείνη του αργού πετρελαίου (Plourde and Watkins, 1998). Οι τιμές του νικελίου, όπως και κάθε άλλου εμπορεύματος, επηρεάζονται από την προσφορά και τη ζήτηση (Σχήμα 5.1). Καθώς αυξάνεται η ζήτηση, αυξάνεται και η τιμή του νικελίου, μέχρι το σημείο όπου η ζήτηση αρχίζει να μειώνεται οδηγώντας στην επανάληψη της διαδικασίας, δημιουργώντας έτσι το κυκλικό πρότυπο τιμών (Davidson, 2006, White and Dunlop, 2012). Μια ανωμαλία σε αυτόν τον κύκλο καταγράφηκε το 2007, όταν η ζήτηση ξεπέρασε τη διαθέσιμη προσφορά, οδηγώντας σε απότομη αύξηση των τιμών. Ωστόσο, έκτοτε οι τιμές του νικελίου έχουν γενικά σταθεροποιηθεί και κυμαίνονται γύρω στα 20.000\$ ανά τόνο. Όσον αφορά τις μελλοντικές συμφορήσεις στον εφοδιασμό με νικέλιο, η παραγωγή του είναι πιο ομοιόμορφα κατανομημένη (Σχήμα 5.2) -σε σύγκριση με το λίθιο και το κοβάλτιο- μεταξύ των μεγαλύτερων χωρών παραγωγής νικελίου, ενώ οι μελλοντικές προβλέψεις εκτιμούν ότι μέχρι το 2025 θα είναι 2.000 kt ετησίως (Olivetti et al., 2017). Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν αποτελούν την κύρια ζήτηση για τη χρήση νικελίου, αλλά μάλλον ένα μικρό ποσοστό. Το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης συγκεντρώνεται γύρω από την παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα και η παρουσία μελλοντικών συμφορήσεων στον εφοδιασμό θεωρείται απίθανη.



Σχήμα 5.1: Παραγωγή Νικελίου από ορυχεία παγκοσμίως από το 2010 έως το 2021 (Statista,2022).

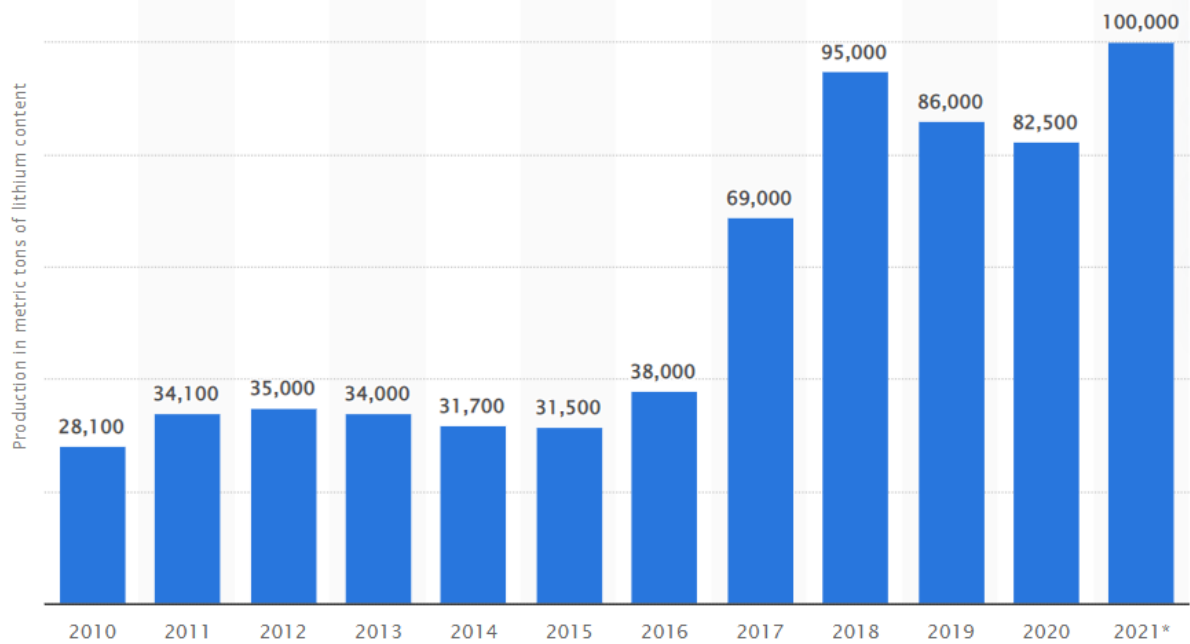


Σχήμα 5.2: Παγκόσμια παραγωγή και αποθέματα νικελίου το 2020 (σε τόνους) (USGS, 2021).

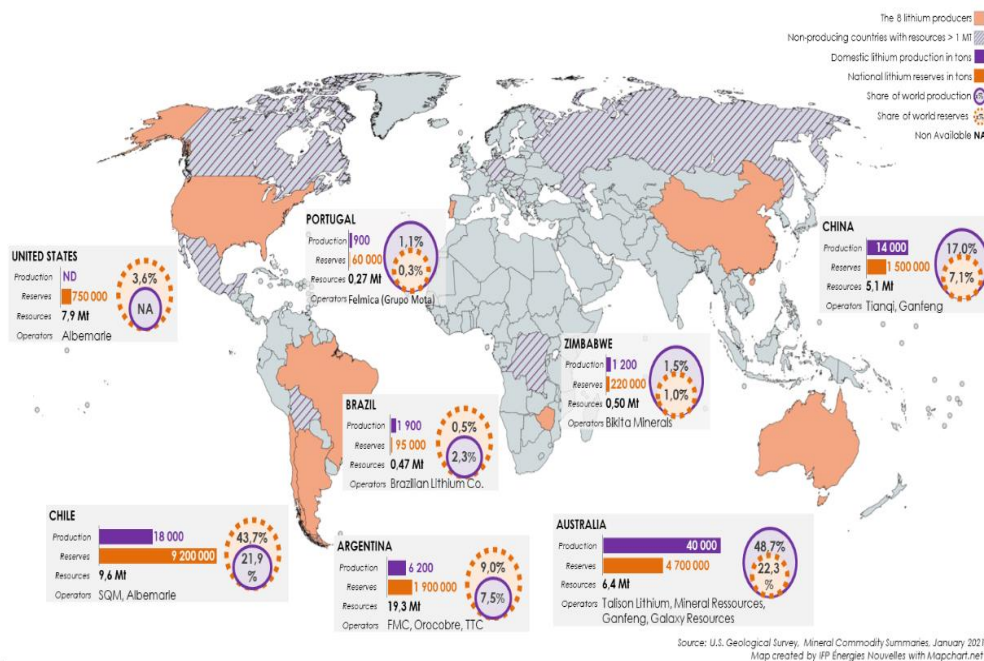
5.2 Λίθιο (*Lithium* - *Li*)

Η σημαντική αύξηση της παραγωγής λιθίου συσχετίζεται φυσικά με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτησή του, η οποία εκτιμάται ότι θα αυξηθεί περαιτέρω, μαζί με την αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα και μπαταρίες ιόντων λιθίου (Mohammadi, 2018). Από το 2007 έως το 2020 η ζήτηση λιθίου μόνο για την παραγωγή μπαταριών εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά 34% (Martin et al., 2017). Σύμφωνα με ορισμένες πηγές τα παγκόσμια αποθέματα λιθίου είναι επαρκή για να καλύψουν την παγκόσμια αυξανόμενη ζήτηση (Kesler et al., 2012). Ωστόσο, άλλες πηγές υποστηρίζουν ότι χωρίς εκτεταμένη αξιοποίηση της ανακύκλωσης λιθίου έως το 2020, η παγκόσμια ζήτηση λιθίου θα ξεπεράσει τη διαθέσιμη προσφορά (Sonoc and Jeswiet, 2014). Επιπλέον, το λίθιο έχει καταγραφεί ως μία από τις πρώτες ύλες μπαταριών που είναι πιο επιρρεπείς σε μείωση εφοδιασμού στο εγγύς μέλλον (Olivetti et al., 2017). Παρά τα εν λόγω αντιφατικά ευρήματα, οι συνολικά πιο αισιόδοξες απόψεις επί του θέματος υποστηρίζουν την ιδέα ότι η προσφορά λιθίου δεν θα αποτελέσει σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για τη βιομηχανική ανάπτυξη. Αυτό οφείλεται στην ήδη υπάρχουσα διαθεσιμότητα ανεκμετάλλευστων κοιτασμάτων λιθίου σε όλο τον κόσμο (Σχήμα 5.4) (ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα λιθίου βρίσκεται στη Βολιβία) και στη δυνατότητα αντικατάστασης του λιθίου ως πρώτη ύλη μπαταριών (Narins, 2017).

Όσον αφορά την εξέλιξη των τιμών του λιθίου στις αρχές της δεκαετίας του 1990 παρέμειναν σχετικά σταθερές. Η κατάσταση άλλαξε το 1995, μετά την είσοδο μιας από τις μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής λιθίου στον κόσμο - της SQM- στην αγορά και τη συνακόλουθη πτώση των τιμών του λιθίου. Σημαντική αύξηση των τιμών παρατηρήθηκε στις αρχές - τέλη της δεκαετίας του 2000 λόγω της οικονομικής ανάπτυξης της Κίνας, μέχρι την κρίση του 2008, οπότε οι τιμές έπεσαν και πάλι. Η έξαρση των τιμών μεταξύ των ετών 2015 και 2016 αποδόθηκε σε προσωρινή μείωση της παγκόσμιας παραγωγής λιθίου (Σχήμα 5.3.) (Narins, 2017). Έκτοτε, όμως, οι τιμές συνέχισαν σταθερά να αυξάνονται σε πρωτοφανή επίπεδα, φθάνοντας τα 16.500 δολάρια ΗΠΑ ανά τόνο το 2018 (Metalary, 2019). Οι μελλοντικές προβλέψεις προβλέπουν άνοδο των τιμών.



Σχήμα 5.3: Παραγωγή Λιθίου από ορυχεία παγκοσμίως από το 2010 έως το 2021 (Statista,2022).



Σχήμα 5.4: Παγκόσμια παραγωγή και αποθέματα λιθίου το 2020 (σε τόνους) (USGS, 2021).

5.3 Κοβάλτιο (Cobalt - Co)

Αν και το κοβάλτιο χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες, μόνο μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση και κυρίως τον 20ό αιώνα το μέταλλο αυτό χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στη βιομηχανία (Hawkins, 2001- Harper et al., 2012- Mudd et al., 2013). Το κοβάλτιο στη σύγχρονη βιομηχανία, σύμφωνα με τους Harper κ.ά. (2012), έχει ποικίλες εφαρμογές, όπως σε χρωστικές κόλλας, μπαταρίες ιόντων λιθίου και, μεταξύ άλλων, ως βιομηχανικό κράμα. Τις τελευταίες δεκαετίες, ωστόσο, το κοβάλτιο έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών αντιπαραθέσεων όσον αφορά την παραγωγή του και τη βιομηχανία γενικότερα. Σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής κοβαλτίου, ένα σημαντικό ποσοστό προέρχεται από εξαιρετικά ασταθείς περιοχές όπως η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (ΛΔΚ), όπου επικρατεί ευρέως διαδεδομένη χρήση της παιδικής εργασίας. Επιπλέον, το κοβάλτιο έχει καταχωρηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως κρίσιμη πρώτη ύλη (CRM), επιβεβαιώνοντας τις επισφαλείς διαδικασίες όσον αφορά την παραγωγή και τη συνολική προμήθειά του.

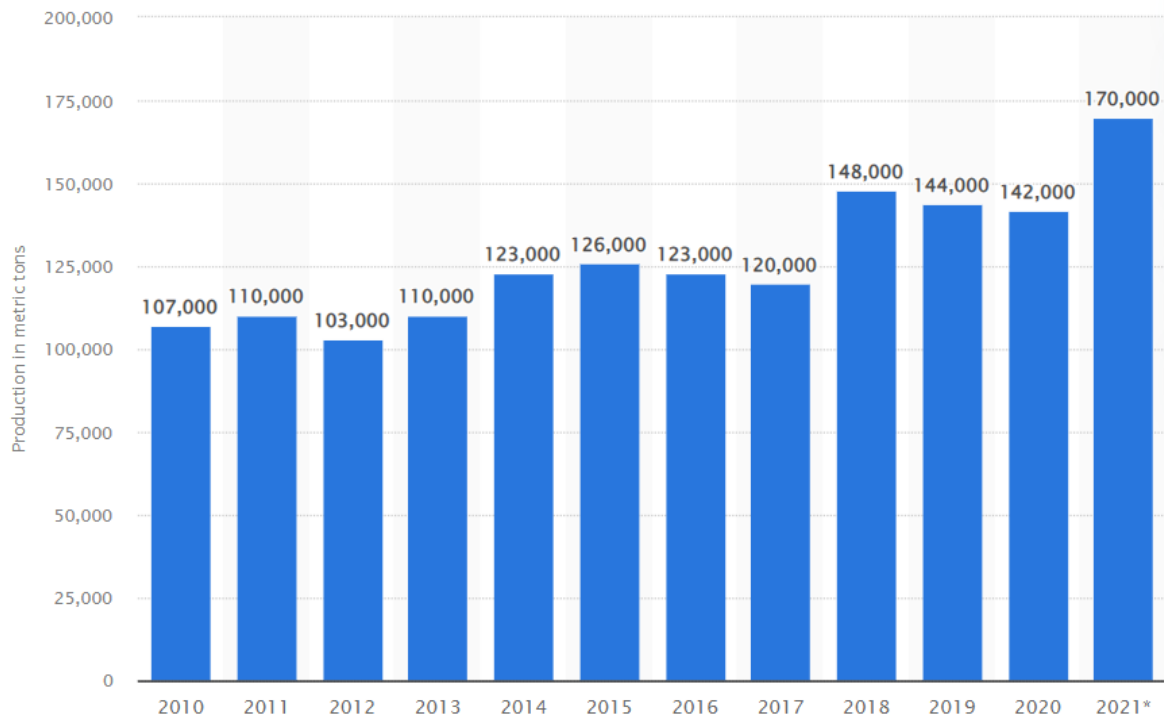
Το κοβάλτιο, όπως και το νικέλιο και το λίθιο, γνώρισε τεράστια αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Όπως υποστηρίζεται από τον Kapusta (2006), από το 1995 έως το 2005 η παγκόσμια παραγωγή αυξήθηκε από 23.207 τόνους σε 53.635 τόνους, ενώ το 2011 η παγκόσμια παραγωγή έφτασε τους 104.900 τόνους (Mudd et al., 2013). Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγής κοβαλτίου περιλαμβάνουν τη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, την Κίνα, τη Ρωσία και τη Ζάμπια. Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό είναι επίσης η χώρα με τα μεγαλύτερα αποθέματα κοβαλτίου, ακολουθούμενη από την Αυστραλία, με αποθέματα που αντιστοιχούν περίπου στο ένα τρίτο αυτών που διαθέτει σήμερα η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (Farjana et al., 2019).

Τα κοιτάσματα κοβαλτίου μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με την επεξεργασία σε τρεις μεγάλες ομάδες, αν και κάθε μία από αυτές περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους μεταλλοφορίας με διαφορετικούς βαθμούς κοβαλτιοφόρων μεταλλευμάτων. Πρόκειται για τους διάφορους τύπους μαγματικών κοιτασμάτων θειούχων μεταλλευμάτων Ni - Cu - Co, κοιτασμάτων μεταλλευμάτων Cu - Co που φιλοξενούνται σε ιζηματα και κοιτασμάτων λατερίτη Ni - Co (Mudd et al., 2013). Στην πρώτη ομάδα, το κοβάλτιο συσχετίζεται με υπερμαφικούς και μαφικούς σχηματισμούς, σε στενή σχέση με το νικέλιο και εξάγεται κυρίως ως υποπροϊόν. Τέτοια κοιτάσματα βρίσκονται σε χώρες όπως ο Καναδάς, η Νότια Αφρική, η Κίνα και η Αυστραλία. Η δεύτερη ομάδα χαρακτηρίζεται από ιζηματογενή κοιτάσματα Cu - Co, τα οποία βρίσκονται στη Ζάμπια και στα περισσότερα μέρη της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό (Mudd et al., 2013). Σε αντίθεση με τα κοιτάσματα θειούχων μεταλλευμάτων Ni - Cu

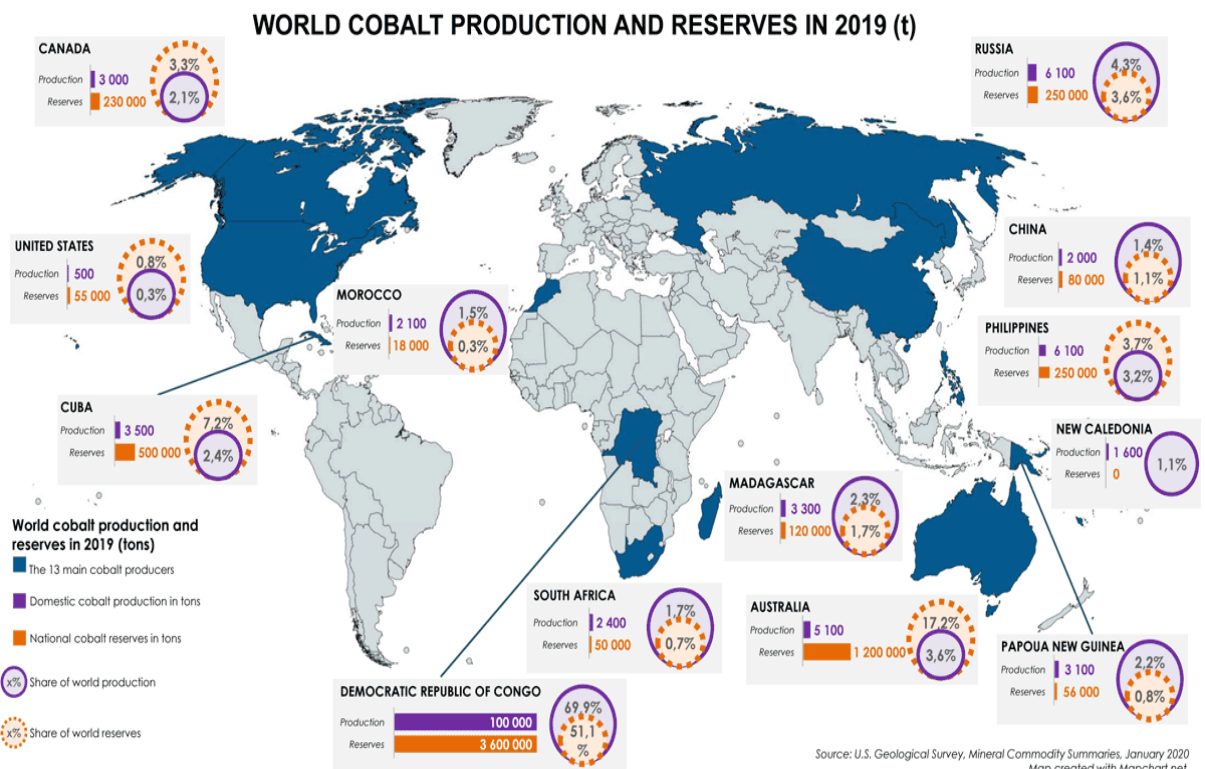
- Co, τα ιζηματογενή κοιτάσματα μεταλλευμάτων Cu - Co τείνουν να έχουν υψηλότερο ποσοστό ανάκτησης κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού (Mudd et al., 2013; Schmidt et al., 2016). Η τρίτη ομάδα που αποτελείται από τα κοιτάσματα λατερίτη Ni - Co, ενώ αποδίδει σημαντικές ποσότητες κοβαλτίου, αποτελεί κυρίως πηγή εξόρυξης νικελίου (Mudd et al., 2013; Olivetti et al., 2017).

Δεδομένου ότι το κοβάλτιο είναι υποπροϊόν του νικελίου και του χαλκού, προκύπτουν ορισμένα συναφή ζητήματα σχετικά με την προμήθειά του. Ενώ τα θειούχα μεταλλεύματα Ni - Cu - Co και τα κοιτάσματα λατερίτη Ni - Co παρουσιάζουν ευρεία γεωγραφική κατανομή (Σχήμα 5.6), η σύνδεση του κοβαλτίου με το νικέλιο, καθώς και οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νικελίου στα εν λόγω κοιτάσματα, διαμορφώνουν μια δεσμευτική σχέση στην οποία η παραγωγή κοβαλτίου συνδέεται στενά με τη ζήτηση νικελίου. Με άλλα λόγια, μια μείωση της ζήτησης για νικέλιο θα μπορούσε να προκαλέσει μείωση του όγκου παραγωγής κοβαλτίου (Olivetti et al., 2017)(Σχήμα 5.5.). Ωστόσο, το κοβάλτιο ως παραπροϊόν των κοιτασμάτων μεταλλευμάτων Cu - Co που φιλοξενούνται σε ιζήματα, το οποίο προέρχεται κυρίως από τη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, δεν αντιμετωπίζει τέτοια ζητήματα. Αυτό οφείλεται στις σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις κοβαλτίου σε αυτά τα κοιτάσματα, εκτός από τον μικρό όγκο του συνολικά παραγόμενου χαλκού (5% της παγκόσμιας παραγωγής) και την υψηλότερη τιμή του κοβαλτίου (Olivetti et al., 2017). Στην περίπτωση της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό, η πολιτική αστάθεια ειδικότερα, συσχετίζεται σημαντικά και ιστορικά με τον εφοδιασμό (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010- Olivetti et al., 2017). Πράγματι, κατά τη δεκαετία του 1970, ο συνδυασμός της συγκεντρωμένης προσφοράς κοβαλτίου και της πολιτικής αστάθειας στη ΛΔΚ οδήγησε σε εκτίναξη των τιμών του κοβαλτίου. Η διύλιση του κοβαλτίου είναι επίσης γεωγραφικά συγκεντρωμένη, με την Κίνα να είναι ο μεγαλύτερος διυλιστής κοβαλτίου στον κόσμο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010, 2010- Olivetti et al., 2017).

Συμπερασματικά, για όλους αυτούς τους λόγους, το κοβάλτιο είναι το μέταλλο με τον υψηλότερο κίνδυνο συμφόρησης του εφοδιασμού στην τρέχουσα αγορά, σε σύγκριση με το νικέλιο και το λίθιο- ακόμη περισσότερο, καθώς σχετίζεται με την παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2010- 2014- 2017- Olivetti et al., 2017).



Σχήμα 5.5: Παραγωγή κοβαλτίου από ορυχεία παγκοσμίως από το 2010 έως το 2021 (Statista,2022).



Σχήμα 5.6: Παγκόσμια παραγωγή και αποθέματα κοβαλτίου το 2019 (σε τόνους) (USGS,2021).

6. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΑΛΥΣΙΔΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Οι αλυσίδες εφοδιασμού περιλαμβάνουν διάφορα στάδια, ξεκινώντας με την προμήθεια πρώτων υλών, στη συνέχεια με τη μετατροπή των υλών σε χημικά ενεργά υλικά (διύλιση), ακολουθούμενη από την κατασκευή εξαρτημάτων και κυψελών, και τέλος όπου απαραίτητη συναρμολόγηση μονάδων/συσκευών (π.χ. για τελικά προϊόντα μεγάλης χωρητικότητας, όπως τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας). Το τεχνικά πιο πολύπλοκο και δαπανηρό στάδιο της αλυσίδας αξίας των μπαταριών είναι η κατασκευή κυψελών.

Στην αρχή της αλυσίδας εφοδιασμού, μπορεί να υπάρχουν ειδικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τη γεωπολιτική σταθερότητα σε χώρες παραγωγής. Για πρώτες ύλες όπως το κοβάλτιο, η εξόρυξη στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (ΛΔΚ) συνδέεται με ασταθείς πολιτικές συνθήκες και διάφορες επιχειρηματικές δυσκολίες (Huisman et al, 2020).

Πέρυσι, το 15-20 % του κοβαλτίου που παράγεται στη ΛΔΚ (και εξάγεται από αυτήν) προήλθε από τη βιοτεχνική και μικρής κλίμακας εξόρυξη. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται σημαντικά ανάλογα με την πραγματική τιμή του κοβαλτίου. Από κοινωνική άποψη, η εργασία σε τέτοια ορυχεία μπορεί να εκθέσει τους μεταλλωρύχους σε βαρέα μέταλλα μέσω της εισπνοής σκόνης, της μόλυνσης των τροφίμων και του νερού και των υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας, καθώς και σε αυξημένους κινδύνους κατολισθήσεων. Συχνά παρατηρούνται κακές συνθήκες υγιεινής και ανεπαρκή μέτρα ασφαλείας στους καταυλισμούς των μεταλλωρύχων. Αναφέρονται επίσης σκληρές συνθήκες εργασίας και ευρέως διαδεδομένη παιδική εργασία.

Ένα άλλο ζήτημα κινδύνου εφοδιασμού σχετίζεται με τις θετικές και αρνητικές αιχμές των τιμών που επηρεάζουν τη σταθερότητα των επιχειρήσεων και τις μακροπρόθεσμες επενδύσεις σε δυναμικότητες εξόρυξης και διύλισης ειδικότερα. Παρά τους πρόσφατους φόβους για ελλείψεις και αστάθεια των τιμών, η προμήθεια λιθίου, για παράδειγμα, δεν αναμένεται να αποτελέσει ζήτημα για την αλυσίδα εφοδιασμού μπαταριών βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα.

Αυτό οφείλεται στην ανεκμετάλλευτη δυναμικότητα και στα νέα έργα εξόρυξης που θα τεθούν σε λειτουργία στο εγγύς μέλλον. Αυτό μπορεί να διαφέρει ιδίως για το κοβάλτιο και το νικέλιο. Δεν είναι όλο το νικέλιο στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού κατάλληλο για την παραγωγή μπαταριών Li-ion. Τα προϊόντα νικελίου υψηλής ποιότητας είναι οικονομικά αποδοτικά και προέρχονται από την παραγωγή θειικού νικελίου, το οποίο αποτελεί κύριο συστατικό των μπαταριών NMC (οξείδιο λιθίου-νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου) και NCA

(οξείδιο λιθίου-νικελίου-κοβαλτίου-αλουμινίου). Λόγω των προηγούμενων καταρρεύσεων των τιμών, οι επενδύσεις σε δυναμικότητα διύλισης νικελίου ήταν χαμηλές, απειλώντας ιδιαίτερα την απαιτούμενη προσφορά νικελίου (με καθαρότητα άνω του 99,8 %).

Στην περίπτωση της παγκόσμιας παραγωγής φυσικού γραφίτη, η προσφορά είναι συγκεντρωμένη και προέρχεται κυρίως από την Κίνα. Ωστόσο, ο συνθετικός γραφίτης αποτελεί βιώσιμο υποκατάστατο του φυσικού γραφίτη. Συνεπώς, ο κίνδυνος εφοδιασμού για τον γραφίτη μπορεί να θεωρηθεί μέτριος.

Ο κίνδυνος εφοδιασμού σχετίζεται επίσης με τη μετέπειτα διύλιση των εξορυσσόμενων ορυκτών: για παράδειγμα, τα διυλιστήρια κοβαλτίου σπάνια βρίσκονται κοντά στις περιοχές εξόρυξης. Αντ' αυτού, τα μεγάλα διυλιστήρια αγοράζουν συμπύκνωμα κοβαλτίου από διάφορα ορυχεία, το μεταφέρουν στις δικές τους τοποθεσίες και διυλίζουν το κοβάλτιο σε χρήσιμη μορφή για την παραγωγή καθόδου. Μετά τις μεγάλες επενδύσεις που πραγματοποιήθηκαν στον τομέα αυτό στην Κίνα, η πλειονότητα της διύλισης κοβαλτίου πραγματοποιείται εκεί, δημιουργώντας κίνδυνο εφοδιασμού σε δεύτερο επίπεδο. Συνολικά, η Κίνα είναι ο κύριος προμηθευτής περίπου του μισού όγκου των τριών βασικών πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου (δηλαδή κοβάλτιο, νικέλιο και φυσικός γραφίτης). Το ίδιο ισχύει και για τη διύλιση λιθίου, για την οποία δεν υπάρχει επί του παρόντος ευρωπαϊκή παραγωγική ικανότητα.

7. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΣΤΗΝ ΑΛΥΣΙΔΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

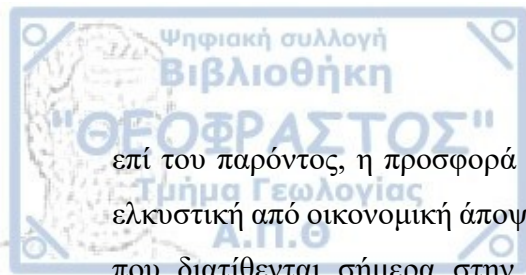
Η αγορά μπαταριών κυριαρχείται επί του παρόντος από την Ασία, αλλά η ΕΕ ελπίζει ότι οι νέοι νόμοι που θέτουν αυστηρά οικολογικά κριτήρια για τις μπαταρίες που πωλούνται στην Ευρώπη θα δώσουν ώθηση στην εγχώρια παραγωγή και θα βοηθήσουν την ήπειρο να εδραιώσει τη θέση της ως παγκόσμιος ηγέτης.

Η άνοδος της ηλεκτροκίνησης και η ολοένα και μεγαλύτερη εξάρτηση από τις φορητές συσκευές έχουν καταστήσει την αγορά μπαταριών μια από τις πιο στρατηγικές αγορές παγκοσμίως.

Οι νέες πράσινες τεχνολογίες γενικά, και η αλυσίδα αξίας των μπαταριών ειδικότερα, είναι γεωπολιτικά ευαίσθητες, καθώς ένα μεγάλο ποσοστό των απαραίτητων πρώτων υλών προέρχεται από χώρες εκτός της ΕΕ. Η τρέχουσα παραγωγή κρίσιμων πρώτων υλών για μπαταρίες γίνεται επί του παρόντος κυρίως εκτός της ΕΕ. Σήμερα, μόνο μικρά μερίδια της συνολικής παραγωγής έχουν έδρα την ΕΕ, όπως το λίθιο (<1%), το κοβάλτιο (<2%) και ο γραφίτης (<1%). Το λίθιο, το νικέλιο και το μαγγάνιο προέρχονται κυρίως από τη Νότια Αμερική και την Ασία, ενώ το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής κοβαλτίου προέρχεται από τη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (Mancini et al, 2020).

Η εξάρτηση από μεμονωμένες χώρες εκτός της ΕΕ για τις πρώτες ύλες των μπαταριών καθιστά την ευρωπαϊκή βιομηχανία μπαταριών και τις αλυσίδες εφοδιασμού της ευάλωτες σε γεωπολιτικές ευαισθησίες. Επιπλέον, η ανάπτυξη της ζήτησης μπαταριών και η ανάγκη εξασφάλισης του εφοδιασμού με πρώτες ύλες για μπαταρίες οδηγεί σε διεθνή ανταγωνισμό που μπορεί κάλλιστα να επηρεάσει τη γεωπολιτική ισορροπία και να προκαλέσει πολιτικές εντάσεις σε χώρες εξαγωγής. Συνεπώς, η ΕΕ προσπαθεί να εξασφαλίσει άμεσα την πρόσβασή της στην παγκόσμια αγορά και να μπορεί να αναπτύξει πρόσθετες πηγές (πρωτογενείς και δευτερογενείς) για σημαντικές πρώτες ύλες. Οι μη ευρωπαϊκές χώρες έχουν εμπορικές συμφωνίες για να εξασφαλίσουν τον εφοδιασμό τους με τις αναγκαίες πρώτες ύλες για την παραγωγή μπαταριών. Η Ευρώπη πρέπει να διασφαλίσει τον εφοδιασμό της με αυτές τις σημαντικές πρώτες ύλες και να αναπτύξει εναλλακτικές τεχνολογίες που δεν βασίζονται σε αυτές τις σπάνιες πρώτες ύλες ή τεχνολογίες που μειώνουν τις ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πρώτων υλών στο συνολικό αντίκτυπο των μπαταριών που χρησιμοποιούν αυτά τα υλικά.

Η καινοτομία στην Ευρώπη είναι υψηλή, αλλά η τεχνική ετοιμότητα παραμένει χαμηλή σε συνδυασμό με χαμηλότερη ανταγωνιστικότητα από οικονομική άποψη. Κατά συνέπεια,



επί του παρόντος, η προσφορά των ασιατικών προμηθευτών παραμένει μεγαλύτερη και πιο ελκυστική από οικονομική άποψη. Επιπλέον, ένα μεγάλο ποσοστό των εφαρμογών μπαταριών που διατίθενται σήμερα στην ευρωπαϊκή αγορά εξαρτάται από την εισαγωγή κυψελών μπαταριών από τρίτους.

Οι δραστηριότητες έρευνας και καινοτομίας της ΕΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξεύρεση νέων πηγών πρωτογενών (συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων εξόρυξης και διύλισης) και δευτερογενών πρώτων υλών. Αυτό επιτρέπει την εξέταση διαφορετικών χημικών μεθόδων μπαταριών και εναλλακτικών υλικών για τη μείωση της μεγάλης εξάρτησης από την εισαγωγή πρώτων υλών και εξαρτημάτων εκτός ΕΕ, καθώς και την ενίσχυση των ευρωπαϊκών προμηθευτών και παραγωγών για την ανάπτυξη ώριμων τεχνολογιών και δεξιοτήτων που απαιτούνται για την υποστήριξη των ικανοτήτων της αλυσίδας αξίας των μπαταριών στην ευρωπαϊκή αγορά.

8. Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ Ή/ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Η ανακύκλωση εξακολουθεί να είναι σχετικά περιορισμένη σήμερα. Η διαθεσιμότητα των μπαταριών προς ανακύκλωση εξαρτάται κυρίως από τους διαθέσιμους όγκους μπαταριών που διατίθενται στην αγορά και τη στιγμή που φτάνουν το τέλος του κύκλου ζωής τους, το οποίο αναβάλλεται καθώς η διάρκεια ζωής των μπαταριών αυξάνεται κάθε χρόνο. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι οι μπαταρίες που εξοπλίζουν τα οχήματα σήμερα δεν θα είναι διαθέσιμες για ανακύκλωση πριν από τα επόμενα 10-15 χρόνια (Huisman et al,2020).

Από την άποψη της κυκλικής οικονομίας, όταν πρόκειται για μπαταρίες ιόντων λιθίου, υπάρχει ανάγκη να βελτιωθεί ο σχεδιασμός και η κατασκευή από ανακυκλωμένες πηγές. Για να ξεπεραστούν τα σημερινά συμβολικά χαμηλά ποσοστά ανάκτησης ορισμένων κρίσιμων υλικών, όπως το λίθιο και ο γραφίτης, είναι απαραίτητη η ολοκληρωμένη εκ των προτέρων αξιολόγηση του κύκλου ζωής και η μοντελοποίηση του υλικού του κύκλου ζωής, η οποία προβλέπει επίσης νέες εφαρμογές για το υλικό των ανακυκλωμένων μπαταριών πριν από κάθε σχεδιασμό προϊόντος.

Ήδη στη φάση σχεδιασμού νέων μπαταριών θα πρέπει να συμπεριληφθούν οι πτυχές της ανακύκλωσης (σε επίπεδο υλικού, κυψέλης και μπαταρίας) και της αειφορίας. Αυτό σημαίνει ότι μέθοδοι όπως ο σχεδιασμός για ανακύκλωση ή ο σχεδιασμός για βιωσιμότητα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε πρώιμο στάδιο και να αναπτύσσονται περαιτέρω.

Το αναμενόμενο αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης θα ενισχύσει την αξιοποίηση των "απορριπτόμενων" κλασμάτων υλικών όχι μόνο σε εφαρμογές κλειστού κυκλώματος.

Επιπλέον, πρέπει να προβλεφθεί σε πρώιμο στάδιο η ανάλυση με επίκεντρο τον χρήστη, στην οποία θα συμμετέχουν οι φορείς που δραστηριοποιούνται στην ανάντη (πάροχοι υπηρεσιών επεξεργασίας αποβλήτων) αλλά και στην κατάντη αλυσίδα αξίας (καταναλωτές) των προϊόντων που βασίζονται σε ανακυκλωμένα υλικά. Οι έρευνες αυτές θα αποτρέψουν τελικά τις υψηλές οικονομικές απώλειες και το κύρος λόγω των συχνών αποτυχιών που προκαλούνται από την απόρριψη από τους καταναλωτές/χρήστες κατά την εφαρμογή των προϊόντων "με βάση την ανακύκλωση" στην αγορά.

Στην περίπτωση των μπαταριών που φτάνουν στο τέλος της ζωής τους είναι σημαντικό σε πρώτη φάση να εξεταστούν και να αξιολογηθούν οι δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης (στην ίδια εφαρμογή) ή/και επαναχρησιμοποίησης των κυψελών της μπαταρίας (για άλλη εφαρμογή) ως προαιρετικά πρόσθετα βήματα που μπορούν να εφαρμοστούν όπου αυτό είναι

εφικτό. Τα απόβλητα (για παράδειγμα, όταν δεν είναι εφικτή η περαιτέρω επαναχρησιμοποίηση ή επαναχρησιμοποίηση), πρέπει να ανακυκλώνονται. Νέα επιχειρηματικά μοντέλα θα μπορούσαν να προκύψουν από την ανακατασκευή και/ή την επαναχρησιμοποίηση των κυψελών μπαταριών για δεύτερη χρήση, ενώ η σωστή ισορροπία μεταξύ ανταγωνιστικότητας και βιωσιμότητας δεν έχει ακόμη βρεθεί και, επομένως, θα πρέπει να διερευνηθεί.

Καθώς οι απαιτήσεις για αύξηση της εμβέλειας και της δυνατότητας κατοίκησης των οχημάτων συνεχίζουν να επεκτείνονται, θα συνεχίσουν να αναμένονται μπαταρίες υψηλότερης ειδικής ενέργειας από τις νέες γενιές μπαταριών. Αναμένεται επομένως ότι οι σχεδιασμοί θα συνεχίσουν να αλλάζουν ως προς τον τρόπο συμπίκνωσης και ότι τα χημικά συστήματα θα εξελίσσονται περαιτέρω. Σε αυτό το πλαίσιο, για να εξασφαλιστεί ένα σταθερό μέλλον της βιομηχανίας ανακύκλωσης μπαταριών, είναι εξαιρετικά επιθυμητό η ανακυκλωμένη παραγωγή τους να μπορεί να απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, ώστε να περιοριστούν οι κίνδυνοι απώλειας των αγορών στα επόμενα στάδια (κάτι που θα συμβεί στον Pb όταν τελικά αντικατασταθεί από το Li-ion).

9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μπαταριών και επιχειρεί να παρουσιάσει τη γεωπολιτική διάσταση στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού αυτών των μετάλλων.

Η ζήτηση για πρώτες ύλες μπαταριών αναμένεται να αυξηθεί απότομα, ιδίως καθώς αυξάνεται η αγορά της ηλεκτροκίνησης. Ωστόσο, η προσφορά αναμένεται επίσης να αυξηθεί, καθώς υπάρχουν πολλά νέα έργα εξόρυξης και διύλισης στο μέλλον (Huisman et al,2020).

Επιπρόσθετα, στην αλυσίδα εφοδιασμού, μπορεί να υπάρχουν ειδικοί κίνδυνοι εφοδιασμού που σχετίζονται με τη γεωπολιτική σταθερότητα σε χώρες παραγωγής. Επίσης, οι γεωπολιτικές συνθήκες μπορούν να αλλάξουν πολύ γρήγορα και έχουν ισχυρότερο αντίκτυπο στην αλυσίδα εφοδιασμού των εν λόγω μετάλλων από ό,τι η επικρατούσα κάθε φορά κατάσταση της αγοράς και η συνολική ζήτηση για τις πρώτες ύλες.

Από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μπαταριών το κοβάλτιο συνδέεται με το μεγαλύτερο επίπεδο κρισιμότητας, το νικέλιο με μέτριο επίπεδο κρισιμότητας καθώς επίσης και για το λίθιο ο τύπος κρισιμότητας είναι μέτριος αλλά κυρίως οικονομικός λόγω των μελλοντικών προβλέψεων για υψηλή άνοδο στην τιμή του (IFPEN,2021). Ο κίνδυνος για το κοβάλτιο είναι γεωπολιτικός λόγω των προβλημάτων εφοδιασμού του, καθώς η εξορυκτική παραγωγή συγκεντρώνεται στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (ΛΔΚ), μια πολιτικά εξαιρετικά ασταθή χώρα.

Συνεπώς, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση μπορούν να αποτελέσουν τις καλύτερες εναλλακτικές λύσεις καθώς μπορούν να συμβάλλουν σε σημαντικό περιορισμό των μελλοντικών αναγκών σε υλικά αλλά και να προσφέρουν ξεχωριστές ευκαιρίες για την Ευρώπη να βελτιώσει την κυκλικότητα και να έχει την πρόσβαση που επιθυμεί σε δευτερογενείς πρώτες ύλες.

Τέλος, η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών και η πρωτοβουλία της Ευρώπης για ένταξη της στην βιομηχανία των μετάλλων μπαταρίας, μπορεί να επιφέρει μια σταθερότητα στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού βοηθώντας να ξεπεραστούν τα εμπόδια που μπορεί να παρουσιάζονται εξαιτίας κρίσιμων γεωπολιτικών συνθηκών.

BatteryCenter, 2014, <https://www.upsbatterycenter.com/>

Castree, N., Kitchin, R., & Rogers, A. (2013). "Geopolitics." In A Dictionary of Human Geography. Oxford University Press. Retrieved 21 Jan. 2022

Davenport, W.G., 2011. Extractive metallurgy of nickel, cobalt, and platinum group materials.

Davenport, W.G., 2011. Extractive metallurgy of nickel, cobalt, and platinum group materials.

Elsevier, Amsterdam, 432 Seiten.

Davidson, V., 2006. Nickel market overview-the supply response. World.

Elias, M., 2002. Nickel laterite deposits – geological overview, resources and exploitation.

Giant Ore Deposits: Characteristics, genesis and exploration

Farjana, S.H., Huda, N., Mahmud, M.P., 2019. Life cycle assessment of cobalt extraction process.

Gounaris K., 2019, Applicability Of Digital Tools For The Assessment Of The Global Mining Industry Of Battery Raw Materials.

Harper, E.M., Kavlak, G., Graedel, T.E., 2012. Tracking the metal of the goblins: cobalt's cycle of use. Environmental science & technology 46 (2), 1079–1086. 10.1021/es201874e.

Hawkins, M., 2001. Why we need cobalt. Applied Earth Science 110 (2), 66–70. 10.1179/aes.2001.110.2.66.

IFPEN, 2021. <https://www.ifpenergiesnouvelles.com>

J. Huisman, T. Ciuta, F. Mathieux, S. Bobba, K. Georgitzikis, D. Pennington, 2020, RMIS – Raw Materials in the Battery Value Chain, EC.

Kapusta, J.P.T., 2006. Cobalt production and markets: A brief overview. JOM 58 (10), 33–36. 10.1007/s11837-006-0198-2.

Kuck, P.H., 2010b. Nickel: Mineral commodity summaries

Mancini et al, 2020, Responsible and sustainable sourcing of battery raw materials, JRC Technical Report, EC.

Market Research Report, 2020, Battery Metals Market by Metals Type and Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020-2027

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. 10.1016/j.ensm.2016.11.004.

Martín-Martín, A., Costas, R., van Leeuwen, T., López-Cózar, E.D., 2018. Evidence of Open Access of scientific publications in Google Scholar: a large-scale analysis.



Metalary, 2019. Lithium. <https://www.metalary.com/lithium-price/>.

Mohammadi, F. (Ed.), 2018. Electric Vehicle Battery Market Analysis: Lithium-ion.

Mudd, G.M., 2010. Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites.

Nakajima, K., Nansai, K., Matsubae, K., Tomita, M., Takayanagi, W., Nagasaka, T., 2017. Global land-use change hidden behind nickel consumption.

Narins, T.P., 2017. The battery business: Lithium availability and the growth of the global electric car industry.

Olivetti, E.A., Ceder, G., Gaustad, G.G., Fu, X., 2017. Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals.

Plourde, A., Watkins, G.C., 1998. Crude oil prices between 1985 and 1994: how volatile in relation to other commodities?

Schmidt, T., Buchert, M., Schebek, L., 2016. Investigation of the primary production routes of nickel and cobalt products used for Li-ion batteries.

Sonoc, A., Jeswiet, J., 2014. A Review of Lithium Supply and Demand and a Preliminary Investigation of a Room Temperature Method to Recycle Lithium Ion Batteries to Recover Lithium and Other Materials.

Statista. <https://www.statista.com/>

United States Geological Survey, USGS, <https://www.usgs.gov/>

White, B., Dunlop, J.S.F., 2012. Mine managers' handbook, 1st ed. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton, Vic., xviii, 562.