



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΖΗΤΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ (Ο.Π.Υ.) ΓΙΑ ΤΗ
ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΠΡΟΣ ΜΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΤΟΜΑΖΙΝΑΚΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημήτριος Δαμίγος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΖΗΤΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ (Ο.Π.Υ.) ΓΙΑ ΤΗ
ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΠΡΟΣ ΜΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΤΟΜΑΖΙΝΑΚΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημήτριος Δαμίγος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 18/10/2021

Δαμίγος Δημήτριος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αδάμ Αικατερίνη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021

Copyright © Σταύρος Τομαζινάκης, Σεπτέμβριος 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται η ζήτηση των κρίσιμων Ορυκτών Πρώτων Υλών (Ο.Π.Υ.) προς τη μετάβαση σε μια Πράσινη Οικονομία. Από την προϊστορία ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε τις Ο.Π.Υ. για λόγους επιβίωσης και βελτίωσης της ζωής του. Έτσι, όσο πιο εξελιγμένες τεχνολογίες χρησιμοποιούσε, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η ανάγκη για Ο.Π.Υ. Σήμερα, με την κλιματική αλλαγή να απειλεί την βιωσιμότητα του πλανήτη, η μετάβαση προς μια Πράσινη Οικονομία, είναι περισσότερο αναγκαία από ποτέ. Η ζήτηση των Ο.Π.Υ. που θα απαιτηθούν για τη μετάβαση αυτή, είναι το αντικείμενο μελέτης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Με βάση το ρυθμό της μετάβασης, καθώς και τις τεχνολογίες που είναι απαραίτητες για αυτή (όπως π.χ. οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας), πραγματοποιούνται με τη χρήση προσομοιωτικών σεναρίων, υπολογισμοί για τη ζήτηση των Ο.Π.Υ. Στην κατεύθυνση αυτή, μελετώνται και αξιολογούνται έγκυρες πηγές, ώστε να ληφθούν και να συνδυαστούν δεδομένα από τα επικρατέστερα σενάρια εξέλιξης, για να δημιουργηθεί μία όσο το δυνατόν πιο πλήρης μελέτη της ζήτησης των κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση προς την Πράσινη Οικονομία, σε ετήσια ή/και συνολική βάση μέχρι το 2050. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ανά Ο.Π.Υ., δίνοντας έτσι μια στέρα και πολύπλευρη προσέγγιση στο θέμα της ζήτησης των Ο.Π.Υ. για πράσινες τεχνολογίες. Από τη στιγμή που οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη ζήτηση των Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση είναι πολλοί και κανείς δεν γνωρίζει ακριβώς πώς θα διαμορφωθούν σε χρονικό ορίζοντα 30 σχεδόν ετών από σήμερα, το 2050, τα στοιχεία και τα δεδομένα που παρουσιάζονται, κυρίως στο κομμάτι των προβλέψεων της Εργασίας, εμπεριέχουν ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Το σίγουρο συμπέρασμα που εξάγεται από αυτή τη Διπλωματική Εργασία, είναι ότι ο τομέας των Ο.Π.Υ. θα διαδραματίσει σημαντικότατο και πολύ στρατηγικό ρόλο, στο εγχείρημα της μετάβασης προς μια Πράσινη Οικονομία. Στην αρχή της Εργασίας γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της σχέσης των Ο.Π.Υ. με την ανθρωπότητα, ακολουθούμενη από τη μελλοντική προοπτική της χρήσης τους. Έπειτα, εξηγείται τόσο η ανάγκη της μετάβασης σε μια Πράσινη Οικονομία, όσο και τα χαρακτηριστικά της, αναφορικά με το ενεργειακό μείγμα και τις τεχνολογίες που την προωθούν. Ακολουθεί ο προσδιορισμός των κρίσιμων Ο.Π.Υ., που μελετώνται σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία και η ανάλυση της μεθοδολογίας του ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού τους. Εν συνεχεία, στο κύριο μέρος της Εργασίας παρουσιάζονται τα δεδομένα ζήτησης ανά εξεταζόμενη Ο.Π.Υ. Τέλος, συνοψίζονται και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα σημαντικότερα αποτελέσματα της Διπλωματικής, σύμφωνα με τα οποία εξάγονται τα συμπεράσματα για τη μεγάλη σημασία των Ο.Π.Υ. και του κλάδου εν γένει, στη μετάβαση προς μια Πράσινη Οικονομία.

ABSTRACT

In the present Diploma Thesis, the demand of critical Raw Materials (R.M.) for the transition to a Green Economy is studied. From ancient times the human species had used R.M. to survive and to improve its life. Thus, the more advanced technologies humans used, the greater was the need for R.M. Nowadays, with climate change challenging the sustainability of the planet, the transition to a Green Economy is of utmost importance. The demand of R.M. required for this transition, is the subject of study of this Diploma Thesis. Based on the rate of the transition, as well as the necessary technologies for it (such as Renewable Energy Sources), calculations are made, using simulation scenarios, for the demand for R.M. In this direction, valid sources are studied and evaluated, to obtain and combine the data from the most likely scenarios, in order to create as a complete study, of the demand of critical R.M. for the transition to a Green Economy on an annual and/or cumulative basis by 2050, as possible. The data are presented on a per R.M. basis, giving a robust and multi-dimensional approach, to the matter of the demand of these critical R.M. for green technologies. Since the factors and variables, that affect the demand of these R.M. are many and there is no certainty, about how they will be formed in the approximately 30-year time span until 2050, the results and data presented, contain an important amount of uncertainty. The robust conclusion, that is drawn from this Diploma Thesis, is that the Raw Materials sector will have a very important and strategic role, in the effort of transitioning to a Green Economy. At the beginning of this Thesis a brief historical review of the relationship between R.M. and humanity is presented, followed by the future perspective of the R.M. usage. Then, the need for the transition to a Green Economy is explained, as well as the characteristics, regarding the energy mix and the technologies that promote it. Next, is the identification of the critical R.M., that are studied in this Diploma Thesis and the analysis of the methodology of their qualitative and quantitative determination. Directly after, in the main part of the Thesis, the data of the demand per examined R.M. are presented. At last, the most important results are summarized and presented in a concise manner, according to which, conclusions are drawn about the great importance of R.M. and this industry in general, for the transition to a Green Economy.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτριο Δαμίγο, για τη βοήθεια, τις συμβουλές και τα σχόλια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας, καθώς και για την ευκαιρία και την ελευθερία που μου έδωσε να ασχοληθώ, να μελετήσω και να εκπονήσω την Εργασία μου, πάνω σε ένα τόσο επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ABSTRACT	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	vi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	viii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 1 -
1.1. Ιστορική Σχέση Ανθρωπότητας – Ορυκτών Πρώτων Υλών	- 1 -
1.2. Μελλοντική Προοπτική της χρήσης των Ο.Π.Υ.	- 2 -
1.3. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	- 2 -
2. ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	- 3 -
2.1. Η ανάγκη μετάβασης σε μια Πράσινη Οικονομία.....	- 3 -
2.2. Χαρακτηριστικά μιας Πράσινης Οικονομίας.....	- 4 -
2.2.1. Παγκόσμιο Ενεργειακό Μείγμα	- 4 -
2.2.2. Ηλεκτροκίνηση	- 7 -
2.3. Ζήτηση Ο.Π.Υ. λόγω των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας	- 7 -
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ Ο.Π.Υ. ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ .	- 10 -
3.1. Παρουσίαση κρίσιμων Ο.Π.Υ.	- 10 -
3.2. Μεθοδολογία ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού των κρίσιμων Ο.Π.Υ.	- 10 -
4. ΖΗΤΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	- 15 -
4.1. Νικέλιο (Ni)	- 15 -
4.1.1. Γενικά στοιχεία για το Νικέλιο	- 15 -
4.1.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Νικελίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 15 -
4.1.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Νικελίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 18 -
4.2. Κοβάλτιο (Co)	- 20 -
4.2.1. Γενικά στοιχεία για το Κοβάλτιο	- 20 -
4.2.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Κοβαλτίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ	- 21 -
4.2.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Κοβαλτίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 23 -
4.3. Λίθιο (Li)	- 25 -
4.3.1. Γενικά στοιχεία για το Λίθιο.....	- 25 -
4.3.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Λιθίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ	- 26 -
4.3.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Λιθίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες.....	- 28 -
4.4. Γραφίτης (C)	- 31 -
4.4.1. Γενικά στοιχεία για το Γραφίτη	- 31 -
4.4.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Γραφίτη λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ	- 31 -
4.4.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Γραφίτη λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 33 -

4.5. Πυρίτιο (Si)	- 34 -
4.5.1. Γενικά στοιχεία για το Πυρίτιο	- 34 -
4.5.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Πυριτίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 34 -
4.6. Χρώμιο (Cr)	- 36 -
4.6.1. Γενικά στοιχεία για το Χρώμιο	- 36 -
4.6.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χρωμίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 37 -
4.6.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χρωμίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 39 -
4.7. Μαγγάνιο (Mn)	- 39 -
4.7.1. Γενικά στοιχεία για το Μαγγάνιο	- 39 -
4.7.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μαγγανίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 40 -
4.7.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μαγγανίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 42 -
4.8. Μολυβδαίνιο (Mo)	- 43 -
4.8.1. Γενικά στοιχεία για το Μολυβδαίνιο.....	- 43 -
4.8.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μολυβδαίνιου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ	- 43 -
4.8.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μολυβδαίνιου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες.....	- 45 -
4.9. Ψευδάργυρος (Zn)	- 46 -
4.9.1. Γενικά στοιχεία για τον Ψευδάργυρο	- 46 -
4.9.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Ψευδαργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 46 -
4.9.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Ψευδαργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 48 -
4.10. Άργυρος (Ag)	- 50 -
4.10.1. Γενικά στοιχεία για τον Άργυρο	- 50 -
4.10.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Αργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 51 -
4.10.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Αργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 53 -
4.11. Σπάνιες Γαίες (REEs)	- 56 -
4.11.1. Γενικά στοιχεία για τις Σπάνιες Γαίες	- 56 -
4.11.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Σπάνιων Γαιών λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ	- 57 -
4.11.3. Ειδικότερη ανάλυση για το Νεοδύμιο	- 59 -
4.11.4. Ειδικότερη ανάλυση για το Δυσπρόσιο	- 61 -
4.12. Χαλκός (Cu)	- 63 -
4.12.1. Γενικά στοιχεία για το Χαλκό	- 63 -
4.12.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χαλκού λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ.....	- 63 -
4.12.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χαλκού λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες	- 65 -
4.13. Μέταλλα Ομάδας Λευκόχρυσου (PGM)	- 67 -
4.13.1. Γενικά στοιχεία για τα Μέταλλα της Ομάδας του Λευκόχρυσου.....	- 67 -
4.13.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μετάλλων Ομάδας Λευκόχρυσου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ	- 67 -
4.13.3. Ειδικότερη ανάλυση για το Λευκόχρυσο	- 69 -
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 71 -
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 73 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διαχρονική χρήση Ο.Π.Υ. στις ενεργειακές τεχνολογίες από τον 18 ^ο αιώνα μέχρι σήμερα [Πηγή: (Zepf, Reller, Rennie, Ashfield, & Simmons, 2014)].	- 1 -
Εικόνα 2: Ενεργειακές απαιτήσεις και ενεργειακό μείγμα για τις ανεπτυγμένες και τις αναπτυσσόμενες οικονομίες, μέχρι το 2050 [Πηγή: (International Energy Agency, 2021b)].	- 8 -
Εικόνα 3: Ετήσια και συνολική ζήτηση Ni με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].	- 19 -
Εικόνα 4: Ετήσια και συνολική ζήτηση Co με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].	- 23 -
Εικόνα 5: Ετήσια πρωτογενής ζήτηση Co για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].	- 24 -
Εικόνα 6: Συνολική πρωτογενής ζήτηση Co μέχρι το 2050 για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].	- 24 -
Εικόνα 7: Ετήσια και συνολική ζήτηση Li με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].	- 28 -
Εικόνα 8: Ετήσια πρωτογενής ζήτηση Li για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].	- 29 -
Εικόνα 9: Συνολική πρωτογενής ζήτηση Li μέχρι το 2050 για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].	- 29 -
Εικόνα 10: Μέση συνολική ζήτηση Li για Πράσινες τεχνολογίες από το 2013-2050, για τα 2DS, 4DS και 6DS [Πηγή: (World Bank, 2017)].	- 30 -
Εικόνα 11: Συνολική ζήτηση Mo για Πράσινες τεχνολογίες μέχρι το 2050, για το Base και το 2 Degree Scenario [Πηγή: (World Bank, 2020)].	- 45 -
Εικόνα 12: Τομείς ζήτησης Zn, ανά τεχνολογία της Πράσινης Οικονομίας στο 2DS [Πηγή: (World Bank, 2020)].	- 49 -
Εικόνα 13: Συνολική ζήτηση Zn μέχρι το 2050, από αιολικές τεχνολογίες στο Base και το 2 Degree Scenario [Πηγή: (World Bank, 2020)].	- 49 -
Εικόνα 14: Ετήσια και συνολική ζήτηση Ag με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].	- 53 -
Εικόνα 15: Ετήσια πρωτογενής ζήτηση Ag για ηλιακά φωτοβολταϊκά με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].	- 54 -
Εικόνα 16: Συνολική πρωτογενής ζήτηση Ag μέχρι το 2050 για ηλιακά φωτοβολταϊκά με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].	- 54 -
Εικόνα 17: Εύρος συνολικής ζήτησης Ag για ηλιακά φωτοβολταϊκά, μέχρι το 2050 [Πηγή: (World Bank, 2017)].	- 55 -
Εικόνα 18: Τομείς ζήτησης Ag, ανά τεχνολογία της Πράσινης Οικονομίας στο 2DS [Πηγή: (World Bank, 2020)].	- 56 -
Εικόνα 19: Συνολική ζήτηση Ag μέχρι το 2050, στο Base και το 2 Degree Scenario [Πηγή: (World Bank, 2020)].	- 56 -
Εικόνα 20: Ετήσια και συνολική ζήτηση Nd με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].	- 60 -
Εικόνα 21: Συνολική ζήτηση Nd αναλόγως τον τύπο της αιολικής τεχνολογίας στο 2DS, μέχρι το 2050 [Πηγή: (World Bank, 2020)].	- 61 -

Εικόνα 22: Ετήσια και συνολική ζήτηση Dy με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)]......	- 62 -
Εικόνα 23: Ετήσια και συνολική ζήτηση Cu με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)]......	- 66 -
Εικόνα 24: Ετήσια και συνολική ζήτηση Pt με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)]......	- 70 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, από καύση πετρελαίου, άνθρακα και φυσικού αερίου από το 1965 έως το 2019 ανά 5 έτη [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].	- 3 -
Γράφημα 2: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο για το 2018 [(Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].	- 4 -
Γράφημα 3: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο για το 2019 [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].	- 4 -
Γράφημα 4: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο 1994-2019 [Πηγή: (British Petroleum, 2020)].	- 5 -
Γράφημα 5: Παγκόσμια αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].	- 6 -
Γράφημα 6: Παγκόσμια αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].	- 6 -
Γράφημα 7: Παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (International Energy Agency, 2020)].	- 7 -
Γράφημα 8: Ζήτηση Ni στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 16 -
Γράφημα 9: Ζήτηση Ni στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 16 -
Γράφημα 10: Τομείς Ζήτησης Ni στην Πράσινη Οικονομία για το 2020 στα STEPS & SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 17 -
Γράφημα 11: Τομείς Ζήτησης Ni στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 17 -
Γράφημα 12: Ζήτηση Co στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 21 -
Γράφημα 13: Ζήτηση Co στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 22 -
Γράφημα 14: Τομείς Ζήτησης Co στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 22 -
Γράφημα 15: Ζήτηση Li στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 26 -
Γράφημα 16: Ζήτηση Li στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 27 -
Γράφημα 17: Τομείς Ζήτησης Li στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 27 -
Γράφημα 18: Ζήτηση C (Γραφίτη) στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 32 -
Γράφημα 19: Ζήτηση C (Γραφίτη) στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 32 -
Γράφημα 20: Τομείς Ζήτησης C (Γραφίτη) στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στα STEPS & SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 33 -
Γράφημα 21: Συνολική ζήτηση C (Γραφίτη) για τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μέχρι το 2050, για διάφορα σενάρια [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (World Bank, 2020)].	- 34 -
Γράφημα 22: Ζήτηση Si στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 35 -
Γράφημα 23: Ζήτηση Si στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 35 -

Γράφημα 24: Τομείς Ζήτησης Si στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 36 -
Γράφημα 25: Ζήτηση Cr στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 37 -
Γράφημα 26: Ζήτηση Cr στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 38 -
Γράφημα 27: Τομείς Ζήτησης Cr στην Πράσινη Οικονομία για το 2030 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 38 -
Γράφημα 28: Συνολική ζήτηση Cr για πράσινες τεχνολογίες, μέχρι το 2050, για διάφορα σενάρια [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (World Bank, 2020)].	- 39 -
Γράφημα 29: Ζήτηση Mn στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 40 -
Γράφημα 30: Ζήτηση Mn στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 41 -
Γράφημα 31: Τομείς Ζήτησης Mn στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 41 -
Γράφημα 32: Ζήτηση Mo στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 44 -
Γράφημα 33: Ζήτηση Mo στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 44 -
Γράφημα 34: Τομείς Ζήτησης Mo στην Πράσινη Οικονομία για το 2030 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 45 -
Γράφημα 35: Ζήτηση Zn στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 47 -
Γράφημα 36: Ζήτηση Zn στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 47 -
Γράφημα 37: Τομείς Ζήτησης Zn στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 48 -
Γράφημα 38: Συνολική ζήτηση Zn για πράσινες τεχνολογίες, (εκτός των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας) μέχρι το 2050, για διάφορα σενάρια [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (World Bank, 2020)].	- 50 -
Γράφημα 39: Ζήτηση Ag στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 51 -
Γράφημα 40: Ζήτηση Ag στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 52 -
Γράφημα 41: Τομείς Ζήτησης Ag στην Πράσινη Οικονομία για το 2030 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 52 -
Γράφημα 42: Ζήτηση REEs στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 58 -
Γράφημα 43: Ζήτηση REEs στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 58 -
Γράφημα 44: Τομείς Ζήτησης REEs στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 59 -
Γράφημα 45: Ζήτηση Cu στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 64 -
Γράφημα 46: Ζήτηση Cu στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 64 -
Γράφημα 47: Τομείς Ζήτησης Cu στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 65 -

Γράφημα 48: Ζήτηση PGM στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 68 -
Γράφημα 49: Ζήτηση PGM στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 68 -
Γράφημα 50: Τομείς Ζήτησης PGM στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].	- 69 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

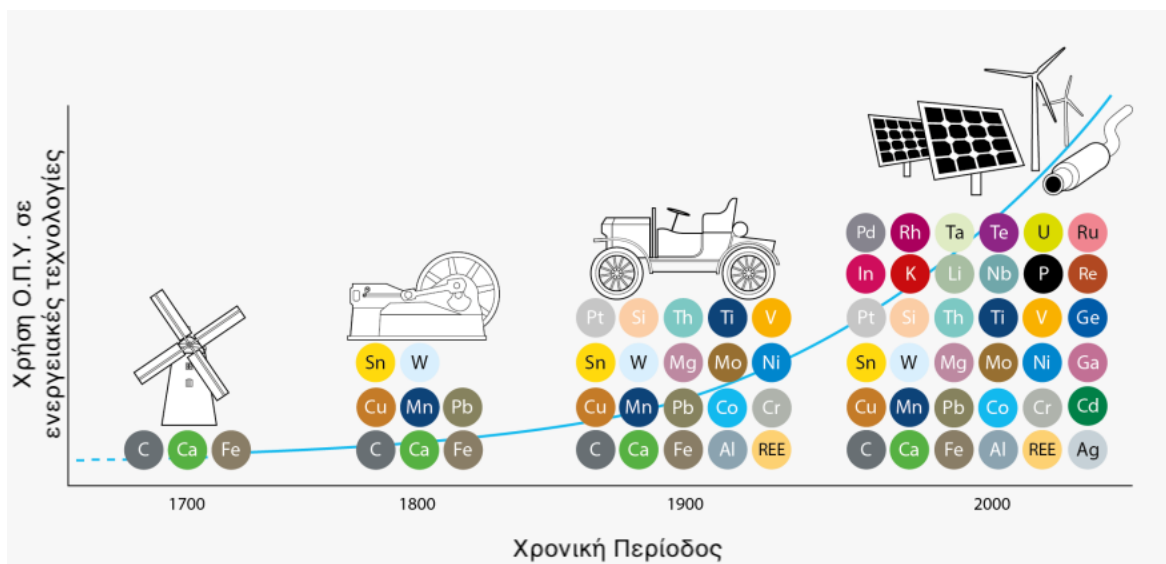
Πίνακας 1: Ορυκτές Πρώτες Ύλες που αναλύονται σε αυτή τη Διπλωματική.	10 -
Πίνακας 2: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες νικελίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	15 -
Πίνακας 3: Στοιχεία ζήτησης Ni για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].	19 -
Πίνακας 4: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες κοβαλτίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	20 -
Πίνακας 5: Στοιχεία ζήτησης Co για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].	25 -
Πίνακας 6: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες λιθίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	25 -
Πίνακας 7: Στοιχεία ζήτησης Li για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].	30 -
Πίνακας 8: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες γραφίτη [Πηγή: (Togaya, Sugiyama, & Mizuhara, 1994)].	31 -
Πίνακας 9: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες πυριτίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	34 -
Πίνακας 10: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες χρωμίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	37 -
Πίνακας 11: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες μαγγανίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	40 -
Πίνακας 12: Στοιχεία ζήτησης Mn για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].	42 -
Πίνακας 13: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες μολυβδαίνιου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	43 -
Πίνακας 14: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες ψευδαργύρου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	46 -
Πίνακας 15: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες αργύρου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	50 -
Πίνακας 16: Στοιχεία ζήτησης Ag για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].	55 -
Πίνακας 17: Μέταλλα της ομάδας των σπάνιων γαιών [Πηγή: (King, 2021)].	57 -
Πίνακας 18: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες νεοδυμίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	59 -
Πίνακας 19: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες δυσπρωσίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	62 -
Πίνακας 20: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες χαλκού [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	63 -
Πίνακας 21: Στοιχεία ζήτησης Cu για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].	66 -
Πίνακας 22: Μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου [Πηγή: (U.S. Geological Survey, 2021)]. ...	67 -
Πίνακας 23: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες λευκόχρυσου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].	69 -

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ιστορική Σχέση Ανθρωπότητας – Ορυκτών Πρώτων Υλών

Οι Ορυκτές Πρώτες Ύλες (Ο.Π.Υ.) είχαν από την προϊστορία άρρηκτα συνδεδεμένη σχέση με τον άνθρωπο και την εξέλιξη του πολιτισμού. Με τη χρήση των Ο.Π.Υ. οι άνθρωποι άρχισαν να κατασκευάζουν εργαλεία, τα οποία διευκόλυναν τις εργασίες που έπρεπε να πραγματοποιήσουν. Η συνεισφορά των Ο.Π.Υ. στην ανθρώπινη εξέλιξη ήταν τόσο σημαντική, που ολόκληρες χρονικές ενότητες της ανθρώπινης ιστορίας, χαρακτηρίστηκαν και έλαβαν το όνομά τους με βάση τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνταν εκείνη την εποχή, για την κατασκευή όπλων, εργαλείων και σκευών, όπως η «Εποχή του Λίθου» (2.000.000-3.000 π.Χ.), η «Εποχή του Χαλκού και Ορείχαλκου» (3.000-1.400 π.Χ.) και η «Εποχή του Σιδήρου» (1.400π.Χ-500 μ.Χ.) (Μέταλλα ορυκτά και πετρώματα: Συστατικά της οικονομίας μας από την εποχή του λίθου έως σήμερα, 2021) (Η Ιστορία της Τεχνολογίας, 2011).

Με την πάροδο των αιώνων αναπτύσσονταν όλο και πιο σύνθετες ανθρώπινες κοινωνίες, οι οποίες χρησιμοποιούσαν ολοένα και πιο εξελιγμένες τεχνολογίες. Η ανακάλυψη νέων μεθόδων επεξεργασίας των Ο.Π.Υ., οδήγησε στη χρήση τους σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, με εφαρμογή σε μία πληθώρα δραστηριοτήτων. Η Βιομηχανική Επανάσταση (που ξεκίνησε στο δεύτερο μισό του 18^{ου} αιώνα μ.Χ.) ήταν ένα από τα καθοριστικότερα ιστορικά σημεία της σχέσης του ανθρώπου με τις Ο.Π.Υ., διότι λόγω των βιομηχανικών δραστηριοτήτων και των νέων τεχνολογιών που εφαρμόστηκαν, οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξήθηκαν σημαντικά και η ζήτηση των Ο.Π.Υ. εκτινάχθηκε. Έκτοτε, η ανθρωπότητα έχει μία αμεσότητα σχέση εξάρτησης με τις Ο.Π.Υ., καθώς οι τεχνολογίες αιχμής που υπάρχουν και αναπτύσσονται, αλλά και τα συστήματα για παραγωγή, αποθήκευση και διανομή ενέργειας που έχουν εγκαθιδρυθεί, έχουν πολύ μεγάλες απαιτήσεις σε Ο.Π.Υ., για την ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία τους. Χαρακτηριστικά, μία ποιοτική απεικόνιση της ραγδαίας αύξησης της χρήσης Ο.Π.Υ. στα ενεργειακά συστήματα, με το πέρασμα των αιώνων από τον 18^ο αιώνα μέχρι σήμερα, φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Διαχρονική χρήση Ο.Π.Υ. στις ενεργειακές τεχνολογίες από τον 18^ο αιώνα μέχρι σήμερα [Πηγή: (Zepf, Reller, Rennie, Ashfield, & Simmons, 2014)].

1.2. Μελλοντική Προοπτική της χρήσης των Ο.Π.Υ.

Η χρήση των Ο.Π.Υ. αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον. Ο λόγος της επιπλέον αύξησης προκύπτει από την υιοθέτηση νέων, πιο «πράσινων» μοντέλων, τόσο για την παραγωγή της ενέργειας, όσο και για τις μετακινήσεις. Ανάλογη με την αύξηση της συνεισφοράς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στο ενεργειακό μίγμα των χωρών και την επέκταση της ηλεκτροκίνησης, θα είναι και η αύξηση της ζήτησης κρίσιμων Ο.Π.Υ., οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατασκευή των εξαρτημάτων και των συστημάτων, που οι συγκεκριμένες τεχνολογίες απαιτούν. Για παράδειγμα για την παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων και σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, μέταλλα όπως το λίθιο, το κοβάλτιο, το νικέλιο και το μαγγάνιο είναι απαραίτητα (ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας ιόντων λιθίου, αλλάζει και ο συνδυασμός των μετάλλων που απαιτείται). Με την αύξηση λοιπόν της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων, θα αυξηθεί και η ζήτηση σε μπαταρίες ιόντων λιθίου και ως λογικό επακόλουθο και η ζήτηση των μετάλλων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Με βάση τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι οι Ο.Π.Υ. θα βρίσκονται στον πυρήνα της μετάβασης προς μια Πράσινη Οικονομία και θα γίνουν αντικείμενο που θα χρίζει χάραξη στοχευμένων πολιτικών και στρατηγικών επιλογών, όπως έχει ήδη αρχίσει να γίνεται με την έκδοση μελετών και λιστών αναφορικά με κρίσιμα μέταλλα, από την Ε.Ε. (European Commission, 2020), τις Η.Π.Α. (Schulz, DeYoung, Seal, & Bradley, 2017), την Αυστραλία (Australian Government, 2021) κ.α.

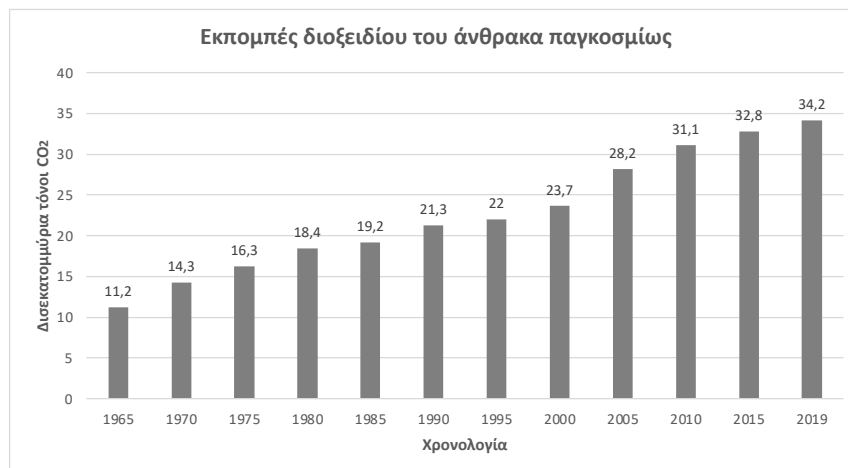
1.3. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη και η παρουσίαση της ζήτησης των κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση προς μια Πράσινη Οικονομία. Γίνεται η παράθεση των τεχνολογιών που αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μετάβαση αυτή, με στόχο την ταυτοποίηση των Ο.Π.Υ. που απαιτούνται για την επίτευξή της. Έτσι, πραγματοποιείται μια έρευνα για τα επικρατέστερα και εγκυρότερα σενάρια που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία, σχετικά με την προβλεπόμενη έκταση της χρήσης των «πράσινων» τεχνολογιών. Βάσει των σεναρίων αυτών, γίνονται υπολογισμοί σχετικά με τη ζήτηση που προβλέπεται να υπάρχει για τις κρίσιμες Ο.Π.Υ. που εξετάζονται. Ο χρονικός ορίζοντας στον οποίο φτάνει η ανάλυση της Διπλωματικής Εργασίας είναι μέχρι το 2050, καθώς αυτή είναι μια χρονιά ορόσημο για το κλίμα και την Πράσινη Οικονομία, σύμφωνα με τη στοχοθεσία διεθνών θεσμών και οργανισμών, όπως τα Ηνωμένα Έθνη (Η.Ε.) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.).

2. ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

2.1. Η ανάγκη μετάβασης σε μια Πράσινη Οικονομία

Το καταναλωτικό και αναπτυξιακό μοντέλο που βασίζεται στην καύση ορυκτών καυσίμων, είναι από τις κυριότερες αιτίες για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και την κλιματική αλλαγή. Σημαντικό μέρος του προβλήματος αποτελούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με κύριο το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Στο Γράφημα 1 αποτυπώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προήλθαν από καύση πετρελαίου, άνθρακα και φυσικού αερίου σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1965 έως το 2019.



Γράφημα 1: Παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, από καύση πετρελαίου, άνθρακα και φυσικού αερίου από το 1965 έως το 2019 ανά 5 έτη [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].

Από την εξέταση του Γραφήματος 1 γίνεται αντιληπτή η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, τα τελευταία 50 χρόνια περίπου. Είναι αξιοσημείωτο ότι από το 1965 μέχρι το 2019, η ποσότητα των εκπομπών τριπλασιάστηκε. Τα Ηνωμένα Έθνη (Η.Ε.) από τη δεκαετία του 1990 είχαν αναγνωρίσει το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και αναλάβει δράση με ενέργειες όπως η «Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή». Το 2015 καταρτίστηκε ένα πιο ολοκληρωμένο σχέδιο, το οποίο έλαβε τη μορφή μιας νομικά δεσμευτικής διεθνούς συνθήκης, της «Συμφωνίας του Παρισιού», που εγκρίθηκε από 196 μέλη των Η.Ε. Στόχος της συμφωνίας είναι να περιοριστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη σε αρκετά κάτω από 2°C, ιδανικά στους 1,5°C, σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρειάζεται η άμεση επιστράτευση πράσινων πολιτικών από τις χώρες που συμφώνησαν, καθώς ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός είναι ένας κλιματικά ουδέτερος κόσμος έως τα μέσα του αιώνα, δηλαδή μέχρι το 2050 (United Nations, 2015), (United Nations Climate Change, 2021).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) λαμβάνοντας τον ρόλο του πρωτοπόρου στο εγχείρημα αυτό, έθεσε τον δικό της στόχο, να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος. Η μακροπρόθεσμη στρατηγική της μέχρι το 2050 υπαγορεύει την κλιματική της ουδετερότητα μέχρι τότε, την εγκαθίδρυση ενός οικονομικού μοντέλου με μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την καθολικότητα της εφαρμογής του σχεδίου σε όλες της ευρωπαϊκές χώρες. Αυτή η στοχοθεσία βρίσκεται στο επίκεντρο της «Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας», που αποτελεί τον οδηγό της Ε.Ε. για την μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία (European Commission, 2021), (European Commission, 2019).

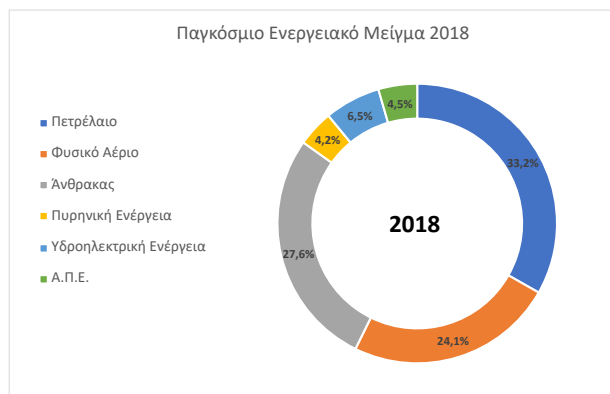
2.2. Χαρακτηριστικά μιας Πράσινης Οικονομίας

Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας Πράσινης Οικονομίας είναι οι χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, η μέγιστη αποδοτικότητα των πόρων και η απουσία κοινωνικών αποκλεισμών. Οι κρατικές και ιδιωτικές επενδύσεις σε μία Πράσινη Οικονομία δημιουργούν υποδομές και οικονομικές δραστηριότητες, οι οποίες επιτρέπουν μειωμένες εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον, βέλτιστη ενεργειακή απόδοση και διαχείριση των πρώτων υλών, ενώ ταυτόχρονα προλαμβάνουν την απώλεια της βιοποικιλότητας και προστατεύουν τα οικοσυστήματα (United Nations Environment Programme, 2021).

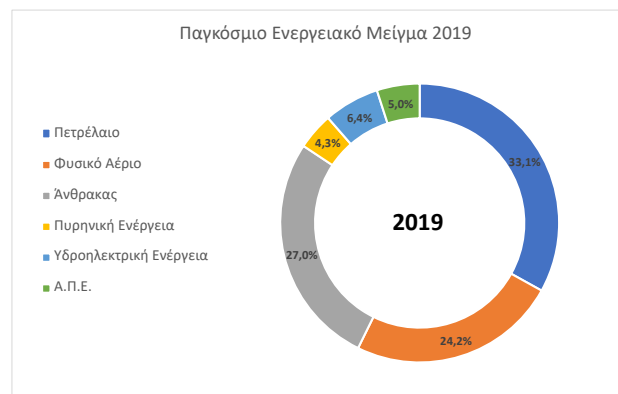
Η μετάβαση σε μια Πράσινη Οικονομία είναι στενά συνδεδεμένη με την εκτεταμένη χρήση Πράσινων-Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και την υιοθέτηση καθαρότερων μορφών μετακίνησης, όπως η ηλεκτροκίνηση. Αυτές οι εναλλακτικές, σε αντίθεση με τις υφιστάμενες μεθόδους παραγωγής ενέργειας και μετακίνησης, θα οδηγήσουν στη μείωση των εκπομπών άνθρακα και αερίων του θερμοκηπίου. Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια ανασκόπηση των έως τώρα ενεργειών που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμια κλίμακα, μέσω της παρουσίασης σημαντικών δεδομένων/δεικτών για την Πράσινη Οικονομία.

2.2.1. Παγκόσμιο Ενεργειακό Μείγμα

Η αποτύπωση των πρωτογενών πηγών παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι σημαντική, διότι δίνει τη δυνατότητα να εξεταστεί η συνεισφορά κάθε πηγής στην παραγωγή ενέργειας. Η καταγραφή και παρουσίαση των ποσοστών συνεισφοράς όλων των πρωτογενών πηγών ενέργειας ανά τον κόσμο, συνιστά το παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα. Στα Γραφήματα 2 και 3 φαίνονται τα ενεργειακά μείγματα για τις χρονιές 2018 και 2019, αντίστοιχα (British Petroleum, 2020).



Γράφημα 2: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο για το 2018 [(Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].

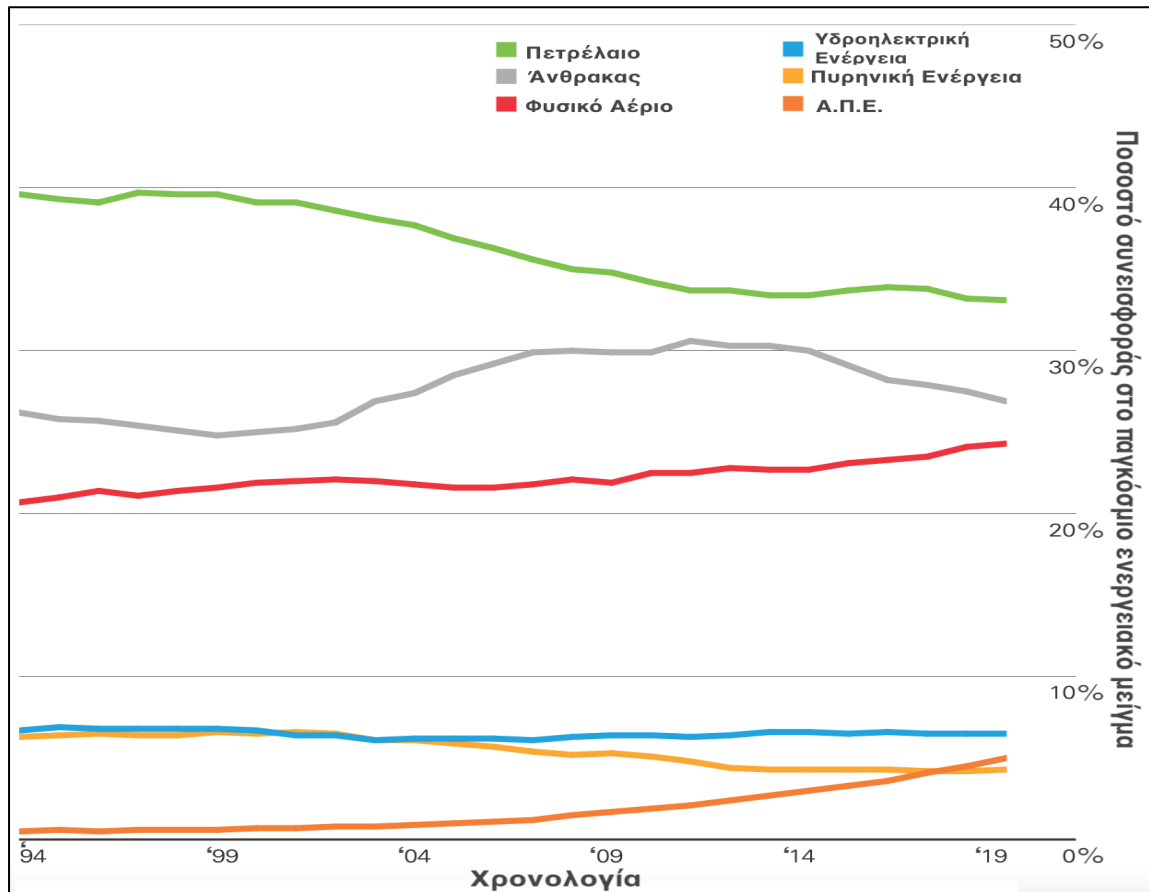


Γράφημα 3: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο για το 2019 [(Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].

Με βάση τα στοιχεία, το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο αθροιστικά αποτελούν σχεδόν το 85% των πρωτογενών πηγών της ενέργειας που καταναλώνεται. Όσον αφορά στις ετήσιες μεταβολές που παρατηρήθηκαν στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα μεταξύ 2018 και 2019, τα περισσότερα καύσιμα δεν είχαν κάποια σημαντική μεταβολή του ποσοστού της συνεισφοράς τους. Μεταβολές της τάξεως του 0,5% παρατηρήθηκαν στη συνεισφορά του άνθρακα και των Α.Π.Ε., με τον πρώτο να μειώνεται και τις δεύτερες να αυξάνονται, κατά το αντίστοιχο ποσοστό. Με μία πιο ενδελεχή ανάλυση φαίνεται επίσης η μικρή, κατά 0,1%, μείωση της χρήσης του πετρελαίου και η κατ' αντιστοιχία αύξηση της συνεισφοράς του φυσικού αερίου, το οποίο θα

αποτελέσει το μεταβατικό καύσιμο από την σημερινή εποχή της καύσης ορυκτών καυσίμων, στην εποχή της καθαρής ενέργειας και των μειωμένων εκπομπών.

Παρόλο που η μεταβολή των ποσοστών στην ετήσια βάση ήταν μικρή, όταν συνδυάζεται με τα δεδομένα των τελευταίων 25 χρόνων, η τάση της απανθρακοποίησης και η στροφή στην Πράσινη Οικονομία γίνεται πολύ πιο ξεκάθαρη. Στο Γράφημα 4 παρουσιάζονται τα ποσοστά συνεισφοράς ανά καύσιμο στο ενεργειακό μείγμα του πλανήτη από το 1994, έως και το 2019.

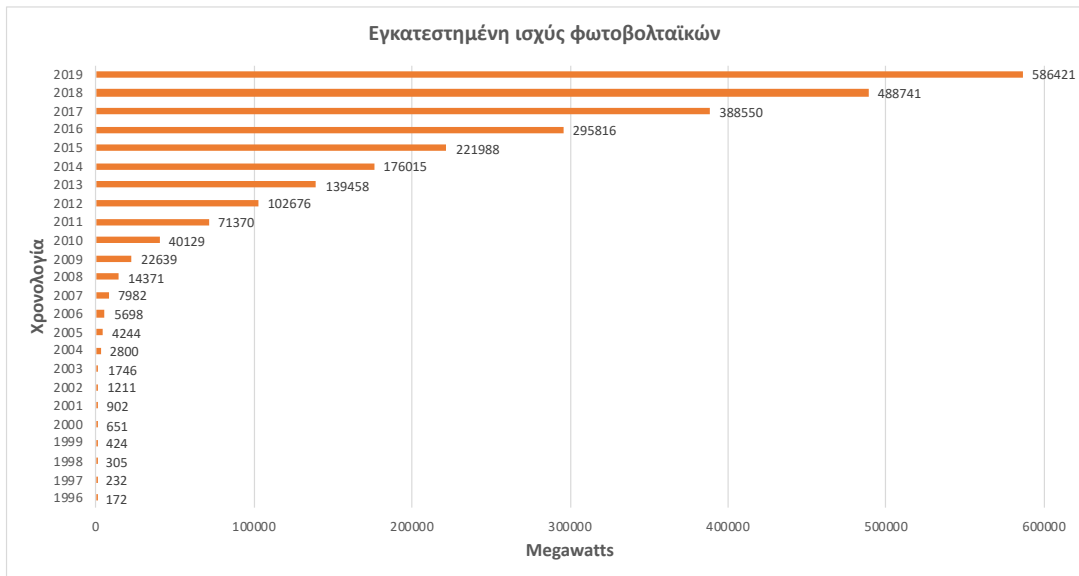


Γράφημα 4: Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο 1994-2019 [Πηγή: (British Petroleum, 2020)].

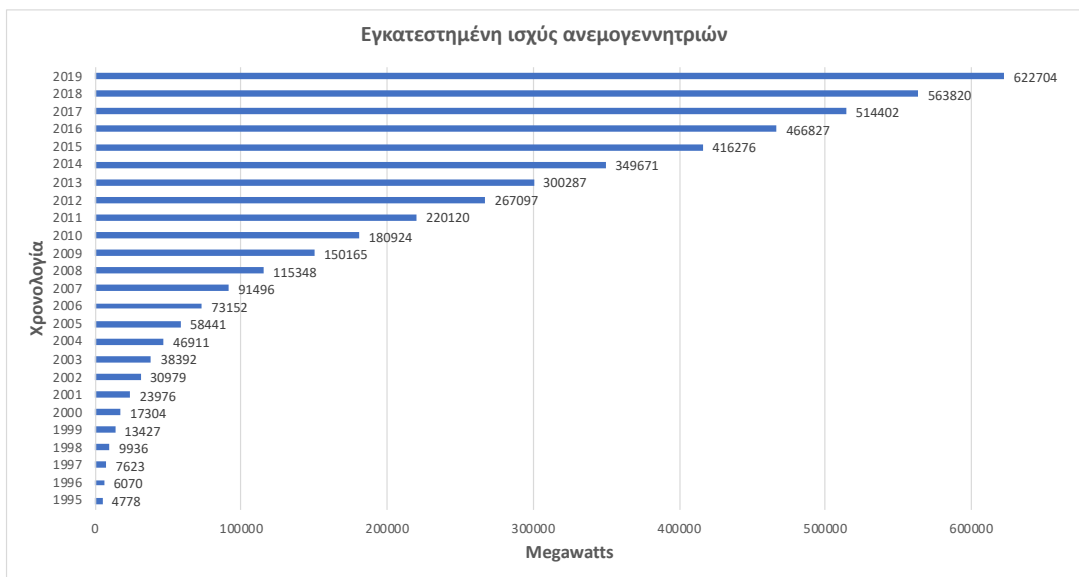
Στο γενικότερο πλαίσιο, το πετρέλαιο ήταν και συνεχίζει να είναι το κυρίαρχο καύσιμο, ωστόσο διαγράφει μια ξεκάθαρα καθοδική πορεία. Ο άνθρακας αποτελεί διαχρονικά το δεύτερο σημαντικότερο καύσιμο, καταγράφοντας όμως και αυτός σημαντική μείωση στη χρήση του από το 2014 και μετά, φτάνοντας το 2019 να αποτελεί το 27% του ενεργειακού μείγματος, που είναι το χαμηλότερο επίπεδο που έχει βρεθεί από το 2003. Το φυσικό αέριο, ως το μεταβατικό καύσιμο προς την Πράσινη Οικονομία, έχει μια σταθερά αυξητική πορεία, με το 2019 να αντιπροσωπεύει το 24,2% του ενεργειακού μείγματος. Η αύξηση της συνεισφοράς των Α.Π.Ε. στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα είναι εμφανής, φτάνοντας το 2019 το 5%, περνώντας έτσι το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας (4,3%) και πλησιάζοντας στο 6% της υδροηλεκτρικής ενέργειας, που διαχρονικά βρίσκεται σε αυτά τα επίπεδα. Με βάση αυτά τα στοιχεία, γίνεται ξεκάθαρη η πορεία μείωσης της συνεισφοράς των ορυκτών καυσίμων στο ενεργειακό μείγμα του πλανήτη και η αύξηση της χρήσης των Α.Π.Ε. (British Petroleum, 2020).

Ένας επιπλέον χρήσιμος δείκτης, για την παρακολούθηση της μετάβασης προς μια Πράσινη Οικονομία ως προς το παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα, είναι η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών

Α.Π.Ε. Ως εγκατεστημένη ισχύς ορίζεται το άθροισμα της ονομαστικής ηλεκτρικής ισχύος όλων των μονάδων παραγωγής που περιλαμβάνονται σε ένα σταθμό Α.Π.Ε. Στα Γραφήματα 5 και 6 γίνεται η παρουσίαση της εγκατεστημένης ισχύος των φωτοβολταϊκών και αιολικών σταθμών, που υπάρχουν παγκοσμίως.



Γράφημα 5: Παγκόσμια αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].



Γράφημα 6: Παγκόσμια αθροιστική εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (British Petroleum, 2020)].

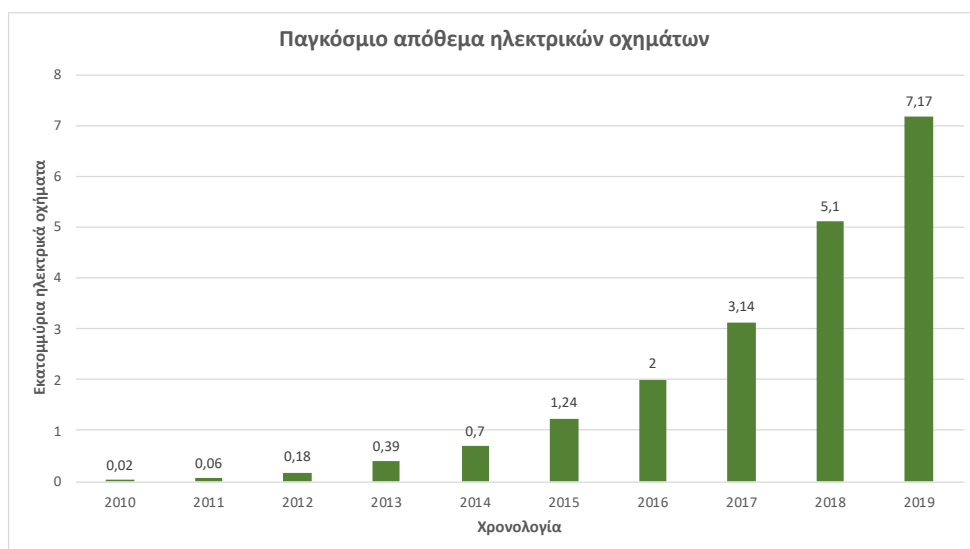
Ερμηνεύοντας τα δεδομένα που απεικονίζονται, εξάγεται το συμπέρασμα ότι μέσα στην τελευταία 25ετία η εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. παγκοσμίως αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό. Λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία αυτά, καθώς και την στρατηγική για απανθρακοποίηση και παραγωγή καθαρής ενέργειας, γίνεται κατανοητό ότι η αυξητική πορεία της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών Α.Π.Ε. που παρατηρείται μέχρι σήμερα, είναι η αρχή μίας πολύ μεγαλύτερης αύξησης που ακολουθεί, ώστε να επιτευχθεί η μετάβαση προς την Πράσινη Οικονομία (British Petroleum, 2020).

2.2.2. Ηλεκτροκίνηση

Εκτός από την παραγωγή καθαρής ενέργειας, ένας άλλος πυλώνας που θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην μετάβαση προς μια Πράσινη Οικονομία είναι η ηλεκτροκίνηση. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης εκπέμπουν ρύπους όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x) κ.λπ. Σε μια Πράσινη Οικονομία τα οχήματα που λειτουργούν με κινητήρες εσωτερικής καύσης θα εκλείψουν και θα αντικατασταθούν από ηλεκτρικά οχήματα, οι τεχνολογίες των οποίων χαρακτηρίζονται από πολύ μικρές έως μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Σήμερα, η συντριπτική πλειονότητα των οχημάτων που κυκλοφορούν, χρησιμοποιεί κινητήρες εσωτερικής καύσης. Το 2019 υπολογίζεται ότι στον πλανήτη υπήρχαν 1,5 δισεκατομμύρια οχήματα, εκ των οποίων σχεδόν 7,2 εκατομμύρια ήταν ηλεκτρικά. Αυτό σημαίνει ότι το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο των οχημάτων που κυκλοφορούσαν το 2019, ήταν μόλις 0,48% (McDonald, 2020).

Παρόλο που το ποσοστό αυτό είναι μικρό, το απόθεμα των ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως σημειώνει σημαντική αύξηση την τελευταία δεκαετία, όπως αποτυπώνεται και στο Γράφημα 7.



Γράφημα 7: Παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων [Πηγή: Ίδια επεξεργασία με δεδομένα από (International Energy Agency, 2020)].

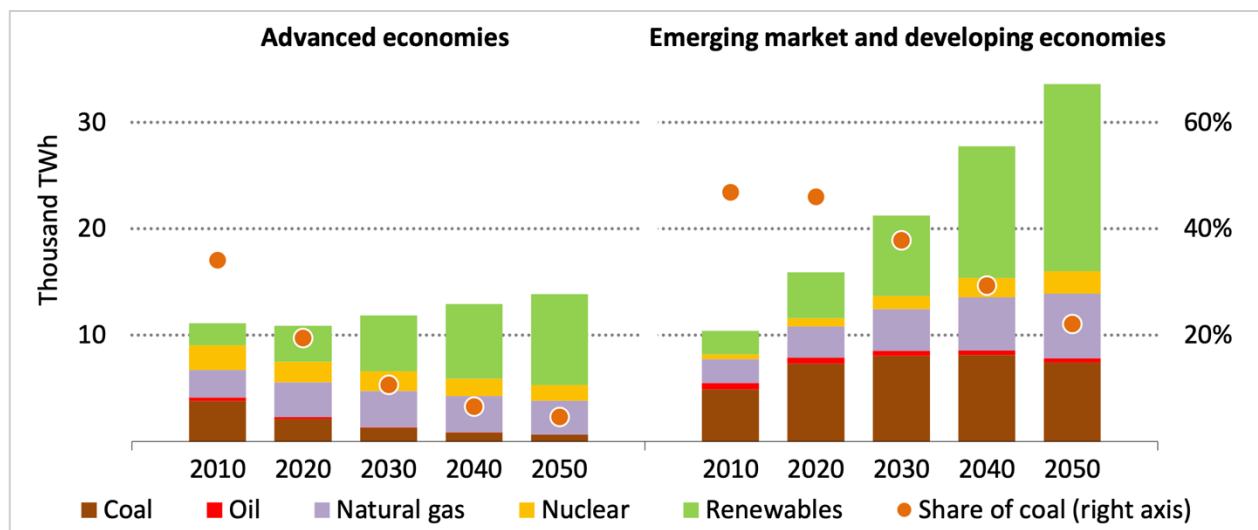
Με τη βοήθεια των στοιχείων του Γραφήματος 7, παρατηρείται ότι από το 2010 έχει αρχίσει η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ από το 2015 μέχρι το 2019, σημειώνεται κατά μέσο όρο μια ετήσια αύξηση του αποθέματος των ηλεκτρικών οχημάτων, της τάξης του 60% παγκοσμίως. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα, ότι η ηλεκτροκίνηση είναι μια αγορά που ήδη από το 2010 έχει αρχίσει να αναπτύσσεται σημαντικά και να μεγαλώνει (το 2011 και το 2012 η ετήσια αύξηση του αποθέματος ηλεκτρικών οχημάτων ήταν της τάξης του 200%), γεγονός που θα ενισχυθεί ακόμα περισσότερο τα επόμενα χρόνια, στην προσπάθεια της ανθρωπότητας να μειώσει σημαντικά τους ρύπους της και να υιοθετήσει ένα πράσινο μοντέλο ανάπτυξης (International Energy Agency, 2020).

2.3. Ζήτηση Ο.Π.Υ. λόγω των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας

Για την επίτευξη μιας Πράσινης Οικονομίας είναι απαραίτητες τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, όπως είναι οι Α.Π.Ε., η ηλεκτροκίνηση, καθώς και η βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων, της διανομής και της αποθήκευσης ενέργειας. Η παγκόσμια μετάβαση στην καθαρή

ενέργεια θα έχει σημαντικότατο αντίκτυπο στη ζήτηση των Ο.Π.Υ. στα επόμενα 20 με 30 χρόνια. Μέχρι το 2040, υπολογίζεται ότι η συνολική ζήτηση Ο.Π.Υ. από τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας θα είναι από 2 έως 4 φορές μεγαλύτερη από σήμερα, βάσει των σεναρίων που υπάρχουν. Τα ηλεκτρικά οχήματα και οι μπαταρίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν το ήμισυ της συνολικής αύξησης της ζήτησης Ο.Π.Υ. από τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, καθώς η ζήτηση σε αυτό μόνο τον κλάδο θα αυξηθεί 10 έως 30 φορές μέχρι το 2040. Η βελτιστοποίηση και η επέκταση των ηλεκτρικών δικτύων, θα διαδραματίσει και αυτή το ρόλο της στην αύξηση της ζήτησης κάποιων Ο.Π.Υ., αλλά σε μικρότερο βαθμό από ότι αυτή της ηλεκτροκίνησης και των μπαταριών. Η ζήτηση κρίσιμων Ο.Π.Υ. για την εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. θα αυξηθεί ραγδαία στα επόμενα 20 χρόνια, με τα σενάρια να προβλέπουν υπερδιπλασιασμό της ζήτησης σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα. Οι ανεμογεννήτριες αναμένεται να έχουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο στην αύξηση της ζήτησης των Ο.Π.Υ., διότι συνδυάζουν τις προσθήκες νέων πολυάριθμων σταθμών μεγάλης δυναμικότητας και τεχνολογίες με μεγάλες απαιτήσεις σε κρίσιμες Ο.Π.Υ. Τα ηλιακά πάρκα φωτοβολταϊκών είναι άλλος ένας πολύ σημαντικός παράγοντας αύξησης της ζήτησης, επειδή προβλέπονται πολλές προσθήκες καινούριων φωτοβολταϊκών πάρκων, μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος. Επίσης, τεχνολογίες όπως η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια (Concentrated Solar Power), η υδροηλεκτρική ενέργεια, η πυρηνική και άλλες, συνεισφέρουν αλλά με μικρό ποσοστό, στην αύξηση της ζήτησης κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση σε μια Πράσινη Οικονομία. Παρόλο που για τις περισσότερες Ο.Π.Υ. οι τεχνολογίες καθαρής ενέργειας αποτελούσαν ελάχιστο κλάσμα της συνολικής ζήτησής τους μέχρι το 2010, πλέον οι τεχνολογίες αυτές αποτελούν τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο τομέα της ζήτησής τους, με αποκορύφωμα κάποιες Ο.Π.Υ., όπως για παράδειγμα το λίθιο, που στα επόμενα 20 χρόνια σχεδόν το σύνολο της ζήτησης για το μέταλλο αυτό θα προέρχεται από τεχνολογίες σχετικές με την Πράσινη Οικονομία (International Energy Agency, 2021a).

Μια σαφής εικόνα για τη διαμόρφωση του ενεργειακού τοπίου μέχρι το 2050, μπορεί να ληφθεί από την Εικόνα 2. Σε αυτή παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις και το προβλεπόμενο ενεργειακό μείγμα ανά δεκαετία, σύμφωνα με το Stated Policy Scenario (STEPS) της (International Energy Agency, 2021b).



Εικόνα 2: Ενεργειακές απαιτήσεις και ενεργειακό μείγμα για τις ανεπτυγμένες και τις αναπτυσσόμενες οικονομίες, μέχρι το 2050 [Πηγή: (International Energy Agency, 2021b)].

Σύμφωνα με τις αναλύσεις, οι αναδυόμενες αγορές και οι αναπτυσσόμενες οικονομίες είναι αυτές που οδηγούν το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της παγκόσμιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ζήτηση θα καλύπτεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές και φυσικό αέριο. Καθώς οι

εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το φυσικό αέριο, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι μειωμένες κατά περισσότερο από 50%, σε σχέση με τη χρήση άνθρακα ή πετρελαίου (U.S. Energy Information Administration, 2021), το φυσικό αέριο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή ορυκτού καυσίμου, για την επίτευξη των κλιματικών στόχων. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι το ποσοστό του άνθρακα στη συνεισφορά του στο ενεργειακό μείγμα παραμένει σημαντικό μέχρι το 2050, κυρίως στις αναδυόμενες αγορές και τις αναπτυσσόμενες οικονομίες, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 20% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ Ο.Π.Υ. ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

3.1. Παρουσίαση κρίσιμων Ο.Π.Υ.

Η επιλογή των Ο.Π.Υ. που αναλύονται σε αυτή την εργασία, έγινε με βάση τη σημαντικότητά τους στο εγχείρημα της μετάβασης στην Πράσινη Οικονομία, σύμφωνα με τα δεδομένα και σενάρια που αντλήθηκαν από τη σχετική βιβλιογραφία. Παράλληλα, έγινε προσπάθεια για τη βέλτιστη δυνατή αποτύπωση μιας όσο το δυνατόν συνολικότερης εικόνας. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι προβλέψεις που γίνονται σχετικά με τη ζήτηση των εξεταζόμενων Ο.Π.Υ., αφορούν καθαρά και μόνο στη ζήτηση που θα προκύψει για αυτές από τις τεχνολογίες που είναι απαραίτητες για τη μετάβαση σε μια Πράσινη Οικονομία, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ζήτηση που θα υπάρχει από άλλους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας. Οι Ο.Π.Υ. που αναλύονται, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Ορυκτές Πρώτες Ύλες που αναλύονται σε αυτή τη Διπλωματική.

Νικέλιο		Κοβάλτιο
Λίθιο		Γραφίτης
Πυρίτιο		Χρόμιο
Μαγγάνιο		Μολυβδαίνιο
Ψευδάργυρος		Άργυρος
Σπάνιες Γαίες	Ειδικότερη ανάλυση για: Νεοδύμιο, Δυσπρόσιο	Χαλκός
Μέταλλα Ομάδας Λευκόχρυσου	Ειδικότερη ανάλυση για: Λευκόχρυσο	

3.2. Μεθοδολογία ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού των κρίσιμων Ο.Π.Υ.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ζήτηση των κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία, πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν τα σενάρια της τεχνολογικής εξέλιξης, συναρτήσει της προβλεπόμενης οικονομικής ανάπτυξης. Ο προσδιορισμός των σεναρίων περιλαμβάνει μία διαδικασία που αποτελείται από τρία κύρια βήματα:

- Στο πρώτο βήμα πρέπει να αναγνωριστεί ο βαθμός εισχώρησης των πράσινων τεχνολογιών στην αγορά. Παραδείγματος χάριν, για τον υπολογισμό της ζήτησης των Ο.Π.Υ. που θα προέλθει από την εγκατάσταση και χρήση Α.Π.Ε., ως αρχικό βήμα θα πρέπει να γίνει η εκτίμηση της ποσότητας των ενεργειακών απαιτήσεων που θα υπάρχουν για εκείνη τη χρονική στιγμή ή το χρονικό διάστημα, ακολουθούμενο από την εκτίμηση του ποσοστού των ενεργειακών απαιτήσεων που θα καλύπτεται από τις Α.Π.Ε. Αν το ζήτημα που εξέταζε το σενάριο ήταν η ηλεκτροκίνηση, θα έπρεπε να καθοριστεί ο συνολικός αριθμός

οχημάτων που θα υπάρχει στον χρονικό ορίζοντα του σεναρίου και το ποσοστό αυτών που θα είναι ηλεκτρικά.

- Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των υποτεχνολογιών των πράσινων τεχνολογιών και των αναγκών αυτών σε Ο.Π.Υ. Παραδείγματος χάριν, για τον υπολογισμό της ζήτησης Ο.Π.Υ. που θα προκύψει από τη χρήση ανεμογεννητριών, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τύπος των ανεμογεννητριών, δηλαδή πόσες εξ αυτών θα λειτουργούν με κιβώτιο ταχυτήτων και πόσες με μόνιμους μαγνήτες. Έπειτα, πρέπει να οριστούν οι απαιτήσεις του κάθε τύπου ανεμογεννήτριας σε Ο.Π.Υ. ανά μονάδα εγκατεστημένου ισχύος. Η συνήθης μονάδα μέτρησης για αυτό το μέγεθος είναι το βάρος της Ο.Π.Υ. που απαιτείται ανά μεγαβάτ εγκατεστημένης ισχύος (kg/installed MW). Λαμβάνοντας ως παράδειγμα την ηλεκτροκίνηση, αυτό που θα έπρεπε να καθοριστεί είναι τα μερίδια των τύπων των μπαταριών που θα επικρατούσαν στην αγορά, δηλαδή μπαταρίες πλούσιες σε νικέλιο, σε κοβάλτιο κ.λπ. και η ανάγκη αυτών σε Ο.Π.Υ., εκφρασμένες συνήθως σε μονάδες κιλών ανά όχημα (kg/vehicle) ή κιλών ανά κιλοβατώρες αποθηκευμένης ενέργειας (kg/kWh of energy storage).
- Το τελευταίο βήμα είναι ο συνδυασμός των παραπάνω δεδομένων για την δημιουργία του σεναρίου ζήτησης και του υπολογισμού των ποσοτήτων των Ο.Π.Υ. που θα απαιτηθούν. Δημιουργούνται δηλαδή διάφορα σενάρια, που έχουν ως μεταβλητές τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω, λαμβάνοντας διάφορες τιμές για το βαθμό εισχώρησης των πράσινων τεχνολογιών στην αγορά, για τις υποτεχνολογίες που θα επικρατήσουν αναφορικά με κάθε πράσινη τεχνολογία, αλλά και τις ανάγκες κάθε υποτεχνολογίας σε Ο.Π.Υ. Έτσι, μπορούν να δημιουργηθούν πολλά διαφορετικά σενάρια, ώστε να γίνονται προβλέψεις με την αλλαγή ενός ή περισσότερων παραγόντων κάθε φορά.

Εξαιτίας όλων αυτών των διαφορετικών παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη για τη δημιουργία των σεναρίων, ο βαθμός της αβεβαιότητας των προβλέψεων είναι μεγάλος. Δηλαδή, για να προσδιοριστεί η ζήτηση δεν αρκεί να προβλεφθεί π.χ. πόσες ανεμογεννήτριες, πόσα φωτοβολταϊκά, και πόσα ηλεκτρικά οχήματα θα υπάρχουν, αλλά και ποια υποτεχνολογία αυτών των πράσινων τεχνολογιών θα επικρατήσει στην αγορά και ποιες θα είναι οι απαιτήσεις της σε Ο.Π.Υ. Επιπροσθέτως, οι συνεχώς εξελισσόμενες και εναλλασσόμενες τεχνολογίες, προσδίδουν έναν επιπλέον βαθμό αβεβαιότητας στο πόσες και ποιες θα είναι οι Ο.Π.Υ. που απαιτούνται.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, γίνεται εκτενής βιβλιογραφική έρευνα, ώστε να εξευρεθούν τα επικρατέστερα σενάρια. Ακολουθούν οι κύριες μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, με μία σύντομη ανάλυση των σεναρίων που εξετάζουν:

- “*The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*” (International Energy Agency, 2021a). Η συγκεκριμένη μελέτη της IEA βασίζεται σε δύο βασικά σενάρια που έχουν αντληθεί από την αναφορά “World Energy Outlook 2020” (International Energy Agency, 2020) της IEA. Τα σενάρια αυτά είναι το Stated Policies Scenario (STEPS) και το Sustainable Development Scenario (SDS). Στο STEPS γίνονται προβλέψεις με βάση την πορεία που προδιαγράφουν οι πολιτικές, τα σχέδια και τα μέτρα που ισχύουν σήμερα για τον ενεργειακό τομέα. Τα αποτελέσματα για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής αυτού του σεναρίου, απέχουν κατά πολύ από τους στόχους βιωσιμότητας που οραματίζονται από κοινού οι ηγέτες και οι οργανισμοί παγκοσμίως. Το SDS παρουσιάζει μια πορεία, που συμβαδίζει πλήρως με τους παγκόσμιους στόχους για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη Συμφωνία του Παρισιού, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την παραγωγή σύγχρονης και καθαρής ενέργειας. Στο SDS οι χώρες και οι μεγάλες εταιρείες προβλέπεται να επιτύχουν τους στόχους μηδενικών εκπομπών που έχουν

ανακοινώσει (κυρίως μέχρι το 2050). Η σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών σεναρίων είναι ενδεικτική για το εύρος των πιθανών μελλοντικών εκβάσεων της ζήτησης των κρίσιμων Ο.Π.Υ. Οι τεχνολογίες που εξετάζονται σε αυτή την αναφορά απαρτίζουν ένα εύρος Πράσινων Τεχνολογιών, συμπεριλαμβάνοντας τις Α.Π.Ε. (ηλιακά φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες στη στεριά και πλωτές, συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, γεωθερμία και βιομάζα), την πυρηνική ενέργεια, τα δίκτυα ηλεκτρισμού, τα ηλεκτρικά οχήματα, τις μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας και τις εφαρμογές υδρογόνου (ηλεκτρολύτες και κυψέλες καυσίμου). Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται στις απαιτήσεις σε Ο.Π.Υ. για την κατασκευή των απαραίτητων εξαρτημάτων, εγκαταστάσεων, εργοστασίων κ.λπ., αλλά όχι στις λειτουργικές απαιτήσεις τους.

- “*Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development*” (Månberger & Stenqvist, 2018). Σε αυτή τη μελέτη αναπτύχθηκαν τέσσερα σενάρια, με βάση το Beyond 2 degree scenario (B2DS) που αναπτύχθηκε από την IEA (International Energy Agency, 2017), έχοντας ωστόσο διαφορετικές παραδοχές για το μερίδιο των υποτεχνολογιών στην αγορά, τα ποσοστά ανακύκλωσης, το μέγεθος των μπαταριών και τις μελλοντικές βελτιώσεις στις απαιτήσεις των τεχνολογιών για Ο.Π.Υ. Στο Σενάριο 1 της μελέτης, το τεχνολογικό μείγμα είναι παρόμοιο με το σημερινό, το μέγεθος των μπαταριών είναι μέτριο-κανονικό, οι ρυθμοί ανακύκλωσης είναι οι σημερινοί και δεν υπάρχουν βελτιώσεις στις απαιτήσεις των τεχνολογιών σε Ο.Π.Υ. Στο Σενάριο 2 της μελέτης, το τεχνολογικό μείγμα είναι παρόμοιο με το υπάρχον, το μέγεθος των μπαταριών είναι μέτριο-κανονικό, οι ρυθμοί ανακύκλωσης είναι οι σημερινοί και οι βελτιώσεις στις απαιτήσεις των τεχνολογιών σε Ο.Π.Υ. είναι της τάξης του 2%-5%. Στο Σενάριο 3 της μελέτης, το τεχνολογικό μείγμα είναι νέο, το μέγεθος των μπαταριών είναι μεγάλο, οι ρυθμοί ανακύκλωσης είναι βελτιωμένοι και δεν υπάρχουν βελτιώσεις στις απαιτήσεις των τεχνολογιών σε Ο.Π.Υ. Τέλος, στο Σενάριο 4 της μελέτης, το τεχνολογικό μείγμα είναι νέο, το μέγεθος των μπαταριών είναι μεγάλο, οι ρυθμοί ανακύκλωσης είναι οι σημερινοί και οι βελτιώσεις στις απαιτήσεις των τεχνολογιών σε Ο.Π.Υ. είναι της τάξης του 2%-5%.
- “*Requirements for Minerals and Metals for 100% Renewable Scenarios*” (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019). Τα σενάρια που εξετάζονται σε αυτή τη μελέτη, έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι επιτεύξιμη η Συμφωνία του Παρισιού και ο περιορισμός της υπερθέρμανσης του πλανήτη, σε κάτω των 1,5°C από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Προσομοιάζουν μια μετάβαση σε 100% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε πράσινα οχήματα, είτε μέσω ηλεκτροκίνησης, είτε μέσω χρήσης εναλλακτικών καυσίμων. Σε αυτά, τα φωτοβολταϊκά αποτελούν περισσότερο από το 1/3 της εγκατεστημένης ισχύος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι το 2050, με το υπόλοιπο να καλύπτεται από ανεμογεννήτριες και άλλες Α.Π.Ε. Το ποσοστό της αγοράς αποθήκευσης ενέργειας που καλύπτουν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου ανέρχεται στο 6%, με τις υδροδυναμικές εφαρμογές και τις τεχνολογίες υδρογόνου να είναι οι κυρίαρχες σε αυτόν τον τομέα. Για τα πράσινα οχήματα, οι τεχνολογίες που έχουν απαιτήσεις σε κρίσιμες Ο.Π.Υ. είναι η ηλεκτροκίνηση (55% της αγοράς το 2050) και η κίνηση με τη χρήση υδρογόνου (22% της αγοράς το 2050). Οι μεταβλητές των σεναρίων αυτής της μελέτης είναι οι διαφορές στα μερίδια της αγοράς μεταξύ των διάφορων υποτεχνολογιών, οι τεχνολογικές εξελίξεις, οι ανάγκες κάθε υποτεχνολογίας σε Ο.Π.Υ. και οι ρυθμοί ανακύκλωσης. Στο σενάριο «Total demand» της μελέτης, τα μερίδια των υποτεχνολογιών στην αγορά είναι ίδια με σήμερα, οι ανάγκες των τεχνολογιών για Ο.Π.Υ. είναι παρόμοιες με σήμερα και δεν γίνεται καθόλου ανακύκλωση. Στο σενάριο «Current recycling» της μελέτης, τα μερίδια των υποτεχνολογιών στην αγορά είναι ίδια με σήμερα, οι ανάγκες των τεχνολογιών για Ο.Π.Υ. είναι παρόμοιες με σήμερα και γίνεται ανακύκλωση, σύμφωνα με τους υπάρχοντες ρυθμούς. Στο σενάριο «Potential recycling» της μελέτης, τα μερίδια των υποτεχνολογιών στην αγορά είναι ίδια με σήμερα,

οι ανάγκες των τεχνολογιών για Ο.Π.Υ. είναι παρόμοιες με σήμερα και οι ρυθμοί ανακύκλωσης να είναι βελτιωμένοι. Στο σενάριο «Future technology» της μελέτης, τα μερίδια των υποτεχνολογιών στην αγορά είναι διαφορετικά από σήμερα για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι ανάγκες των τεχνολογιών σε Ο.Π.Υ. για φωτοβολταϊκά είναι μειωμένες σε σχέση με σήμερα και δεν γίνεται καθόλου ανακύκλωση. Τέλος, το σενάριο «Future technology & potential recycling» της μελέτης έχει τις ίδιες παραμέτρους με το προηγούμενο «Future technology» σενάριο, με μόνη διαφορά τους βελτιωμένους ρυθμούς ανακύκλωσης.

- *“Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy”* (Dominish, Florin, & Teske, 2019). Σε αυτή τη μελέτη τα σενάρια που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ζήτησης κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία, είναι τα ίδια με την μελέτη που παρουσιάστηκε προηγουμένως (*“Requirements for Minerals and Metals for 100% Renewable Scenarios”*).
- *“The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future”* (World Bank, 2017). Η μελέτη αυτή εξετάζει τη ζήτηση των κρίσιμων Ο.Π.Υ., έχοντας ως βάση τρία σενάρια της IEA από την αναφορά *“Energy Technology Perspectives 2015”* (International Energy Agency, 2015). Τα σενάρια αυτά είναι το “6 degree scenario” (6DS), το “4 degree scenario” (4DS) και το “2 degree scenario” (2DS). Το 6DS υποθέτει ότι δεν θα γίνουν προσπάθειες μετρίασης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πέραν από τα ήδη θεσμοθετημένα μέτρα (του 2015), το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει σε μία αύξηση 60% στις ετήσιες, ενεργειακές και λόγω διεργασιών, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οδηγώντας μακροπρόθεσμα σε μία αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 5,5°C. Το 4DS λαμβάνει υπόψη κλιματικές και ενεργειακές πολιτικές που βρίσκονταν υπό συζήτηση το 2015, μετριάζοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και καταλήγοντας σε μία αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 3,7°C. Το 2DS ερευνά τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να υπάρχουν τουλάχιστον 50% πιθανότητες για να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στους 2°C. Αυτό σημαίνει ότι το 2050 θα πρέπει να έχουν μειωθεί οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά σχεδόν 60%, σε σχέση με το 2015. Στη μελέτη αυτή, το μερίδιο της αγοράς των Α.Π.Ε. στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από 14% (2017) σε 18% στο 6DS και σε 44% στο 2DS. Οι δύο τεχνολογίες Α.Π.Ε. που εστιάζει αυτή η αναφορά, είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, ενώ όσον αφορά στις μπαταρίες, δίνεται έμφαση στις χρήσεις για την ηλεκτροκίνηση. Οι προβλέψεις της αναφοράς αυτής για τις κρίσιμες Ο.Π.Υ. αφορούν μόνο τις ανάγκες για την κατασκευή των πράσινων τεχνολογιών και όχι για ενέργειες όπως η λειτουργία τους και η επέκταση των δικτύων ηλεκτρισμού.
- *“Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition”* (World Bank, 2020). Τα σενάρια που εξετάζονται σε αυτή τη μελέτη είναι τα ακόλουθα. Το 4DS (Base scenario) (International Energy Agency, 2016) στο οποίο συνεχίζεται το σημερινό μοντέλο ανάπτυξης, με μικρές βελτιώσεις αναφορικά με τη μετάβαση σε πράσινες τεχνολογίες μακριά από ορυκτά καύσιμα. Το RTS (International Energy Agency, 2017) στο οποίο γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι χώρες θα εφαρμόσουν τις εθνικές τους υποχρεώσεις, όπως αυτές διαμορφώθηκαν στη Συμφωνία του Παρισιού, οπότε θα υπάρξει μια αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 2,7°C, μέχρι το 2100. Το 2DS (International Energy Agency, 2017) στο οποίο οι ενέργειες που προσομοιώνονται έχουν 50% πιθανότητα να περιορίσουν την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας στους 2°C, μέχρι το 2100. Το B2DS (International Energy Agency, 2017) στο οποίο οι ενέργειες που προσομοιώνονται έχουν 50% πιθανότητα να περιορίσουν την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας στους 1,7°C, μέχρι το 2100. Το Ref (International Renewable Energy Agency, 2019) που παρόμοια με το RTS προβλέπει την εφαρμογή των εθνικών υποχρεώσεων από όλες τις χώρες, οδηγώντας σε αύξηση της θερμοκρασίας στους 2,6°C,

μέχρι το 2100. Το REmap (International Renewable Energy Agency, 2019) που αποτελεί το πιο φιλόδοξο σενάριο, περιορίζοντας την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας σε κάτω από 2°C, σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, μέχρι το 2100. Οι κύριες τεχνολογίες που εξετάζονται σε αυτή την αναφορά είναι παρόμοιες με τη μελέτη της Παγκόσμιας Τράπεζας, η οποία αναλύθηκε προηγουμένως, με τίτλο “*The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*”.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία, η μελέτη της IEA “*The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*” (International Energy Agency, 2021a), λήφθηκε ως η βασική πηγή δεδομένων, καθώς αναγνωρίστηκε ως η πιο πλήρης, με τις υπόλοιπες μελέτες να λαμβάνουν υποστηρικτικό χαρακτήρα, συμβάλλοντας ωστόσο και αυτές καθοριστικά, στη δημιουργία μιας σαφούς και ολοκληρωμένης έρευνας για τη ζήτηση των κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία. Επίσης, είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι οι Ο.Π.Υ. που εξετάζονται σε αυτή τη Διπλωματική, δεν είναι οι μόνες που θα επηρεαστούν από τις πράσινες τεχνολογίες. Υπάρχουν και άλλες Ο.Π.Υ. για τις οποίες θα σημειωθεί αύξηση της ζήτησης, ωστόσο δεν αναλύονται σε αυτή τη Διπλωματική, διότι δεν υπήρχε εκτενές βιβλιογραφικό υλικό, ικανό να μελετηθεί και να οδηγήσει σε αξιοποιήσιμα αποτελέσματα.

4. ΖΗΤΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

4.1. Νικέλιο (Ni)

4.1.1. Γενικά στοιχεία για το Νικέλιο

Το νικέλιο είναι ένα αργυρόλευκου χρώματος, σκληρό, ελατό και όλκιμο μέταλλο. Ανήκει στην κατηγορία των χημικών στοιχείων μετάπτωσης του Περιοδικού Πίνακα και εμφανίζει ένα μείγμα φερομαγνητικών ιδιοτήτων. Είναι αρκετά καλός αγωγός θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, έχει μεγάλη χημική συγγένεια με το κοβάλτιο και το σίδηρο, για αυτό άλλωστε συνυπάρχουν σε πολλούς τύπους κοιτασμάτων, καθώς δύναται να αντικαθιστούν το ένα το άλλο σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νικελίου.

Πίνακας 2: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες νικελίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

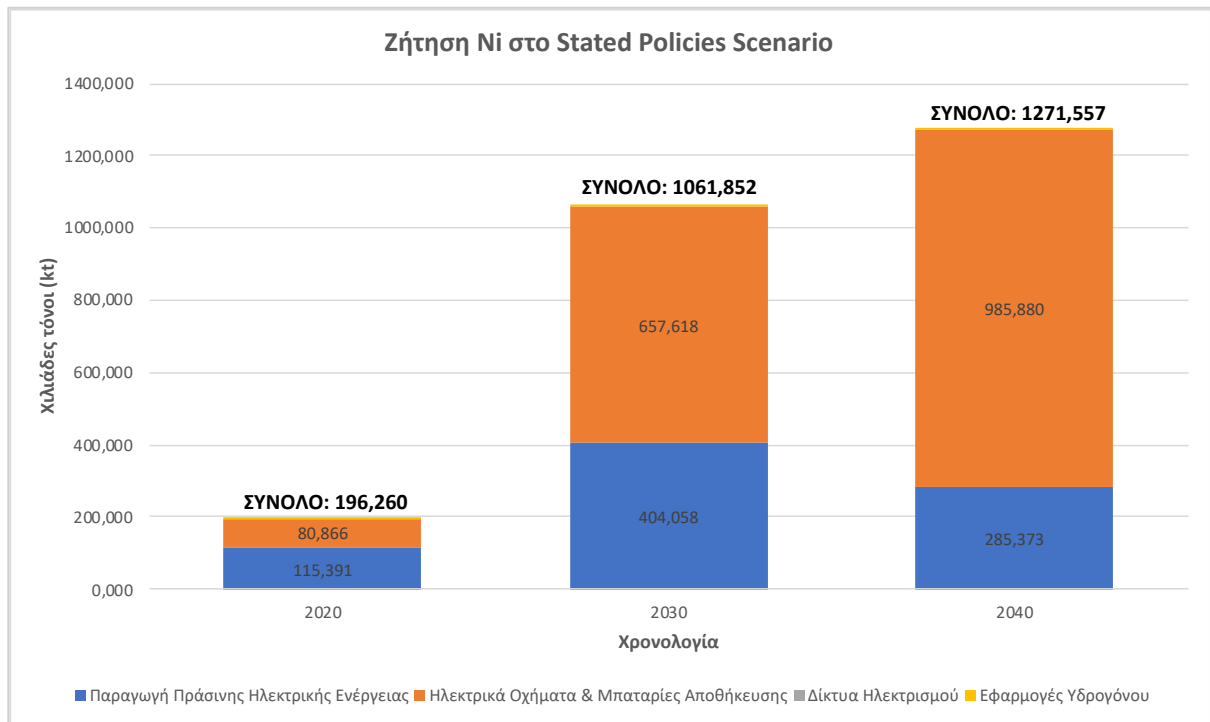
Σύμβολο	Ni
Ατομικός Αριθμός	28
Σημείο Τήξης	1453°C
Σημείο Βρασμού	2913°C

Η κυριότερη χρήση του νικελίου μέχρι σήμερα είναι στην παρασκευή κραμάτων. Χαρακτηριστικά των κραμάτων νικελίου είναι η αντοχή, η ολκιμότητα, η αντοχή στη διάβρωση και στη θερμότητα και για αυτό άλλωστε είναι πολύ σημαντικό συστατικό στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα. Υπολογίζεται ότι περίπου το 65% της τωρινής ζήτησης του νικελίου, προορίζεται για την παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα, ενώ ένα 12% για την παραγωγή υπερκραμάτων. Το υπόλοιπο 23% διαμοιράζεται μεταξύ της παραγωγής μπαταριών, επιμεταλλώσεων και άλλων χρήσεων (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

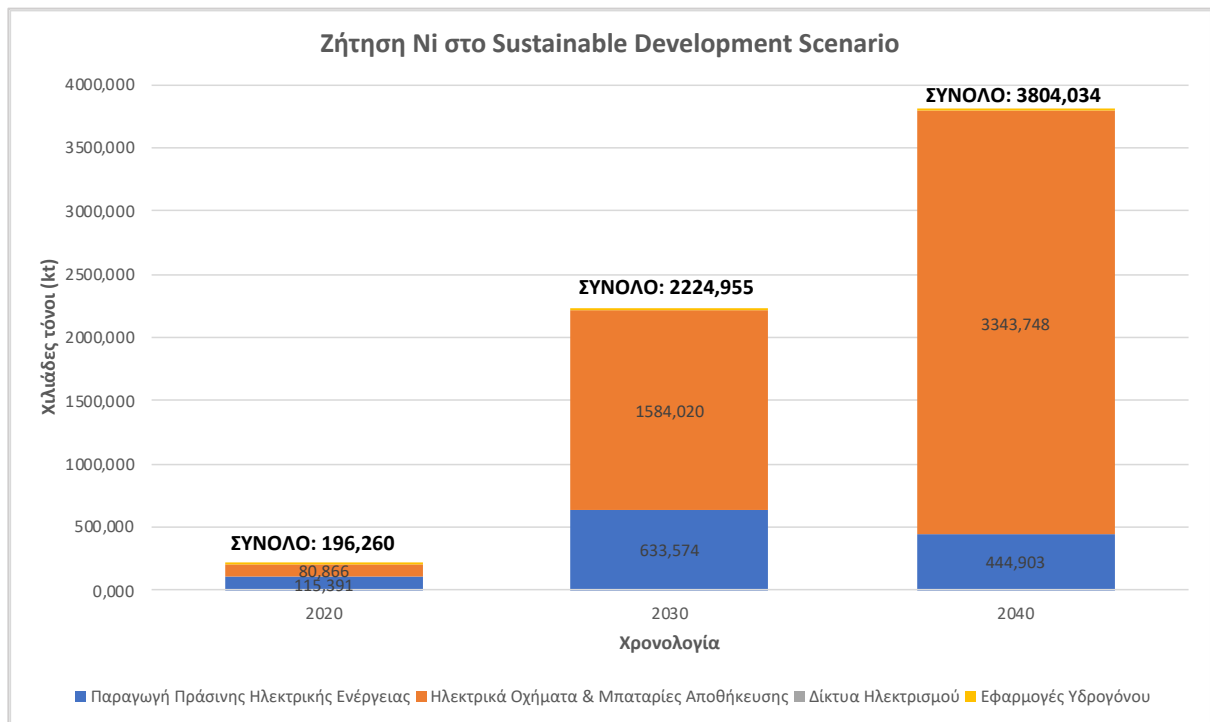
4.1.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Νικελίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν νικέλιο, είναι οι ανεμογεννήτριες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η χρήση βιομάζας ως καυσίμου, η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια και φυσικά η παραγωγή μπαταριών, διάφορων τύπων, για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας. Επίσης, χρήση του νικελίου γίνεται και για τις εφαρμογές υδρογόνου (International Energy Agency, 2021a).

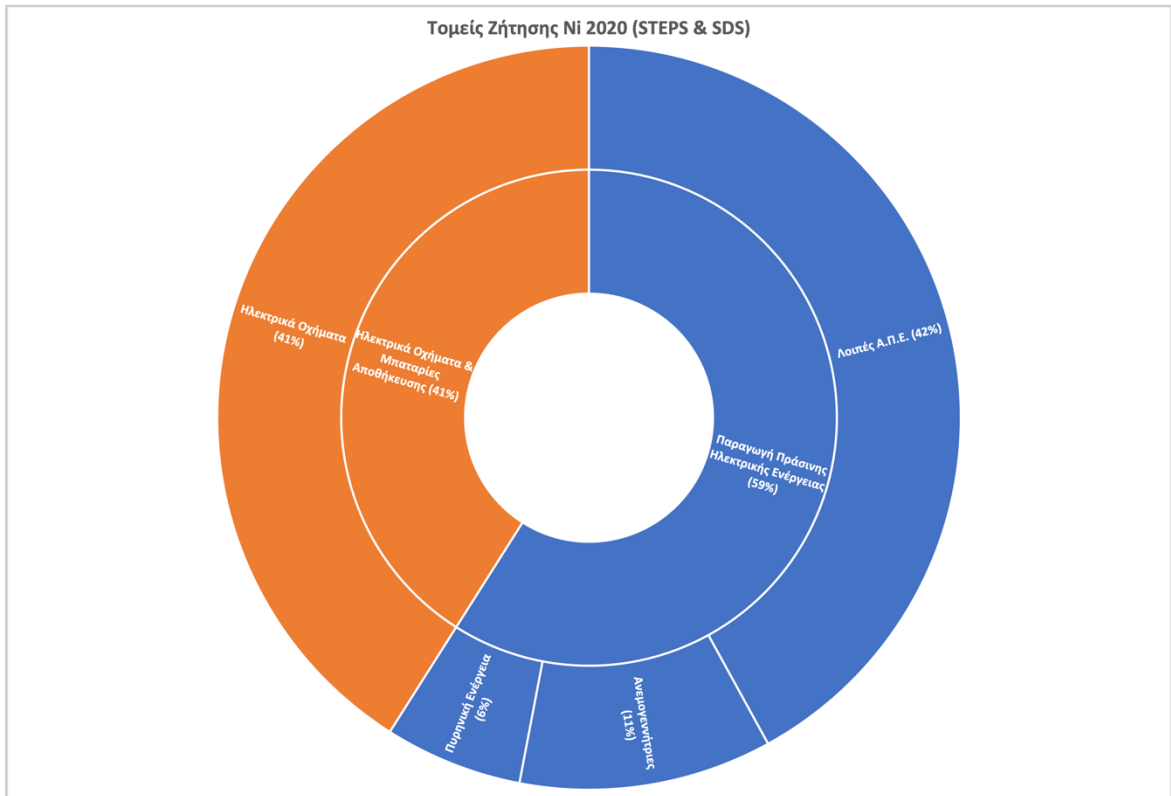
Στα Γραφήματα 8, 9, 10 και 11 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του νικελίου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



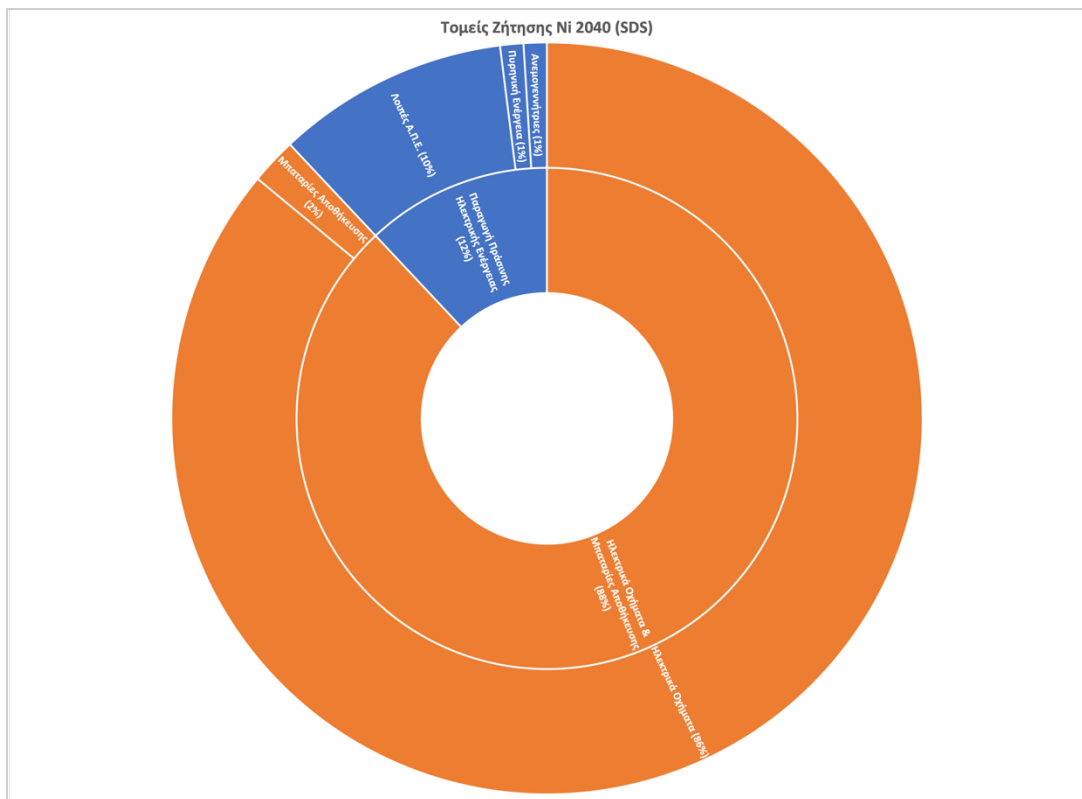
Γράφημα 8: Ζήτηση Ni στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 9: Ζήτηση Ni στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 10: Τομείς Ζήτησης Νι στην Πράσινη Οικονομία για το 2020 στα STEPS & SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

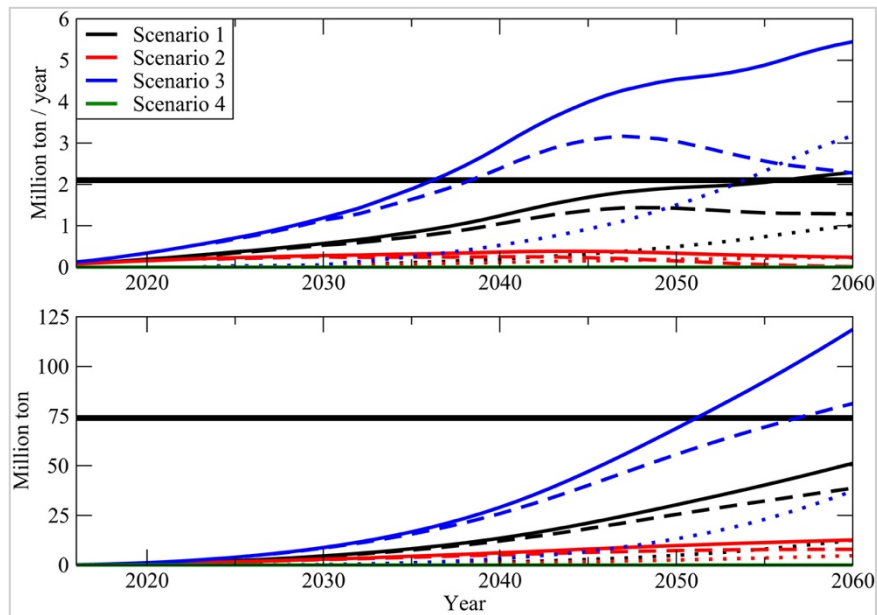


Γράφημα 11: Τομείς Ζήτησης Νι στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλλαγή του ποσοστού των χρήσεων του νικελίου στις τεχνολογίες μιας Πράσινης Οικονομίας, από το 2020 στο 2040. Αυτή η αλλαγή παρατηρείται λόγω των ραγδαίων ρυθμών ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης. Ενώ το 2020 τα ηλεκτρικά οχήματα αντιστοιχούσαν στο 41% της ζήτησης του νικελίου από πράσινες τεχνολογίες, το ποσοστό αυτό θα διπλασιαστεί μέχρι το 2040, αντιστοιχώντας στο 86% της ζήτησης, οπότε η ζήτηση μετάλλων όπως το νικέλιο, λόγω της χρήσης του στις μπαταρίες, θα έχει μεγάλη αύξηση. Η πρόβλεψη της (International Energy Agency, 2021a) είναι ότι η αύξηση της χρήσης του νικελίου για την ηλεκτροκίνηση και την αποθήκευση ενέργειας θα είναι τέτοιας κλίμακας, που το 2040 θα αντιπροσωπεύει την κύρια τελική χρήση του νικελίου γενικώς, ξεπερνώντας τη σημερινή κύρια χρήση του νικελίου, που είναι η παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα. Το 2020 η ζήτηση νικελίου για τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας ανήλθε στους 196.260 τόνους, με πάνω από τη μισή ζήτηση να προέρχεται από ανάγκες για την παραγωγή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προβλέψεις της (International Energy Agency, 2021a) για την ετήσια ζήτηση νικελίου το 2040 στο μετριοπαθές STEPS, είναι ότι θα απαιτούνται 1.271.557 τόνοι μετάλλου για τις πράσινες τεχνολογίες, με κυριότερη χρήση την ηλεκτροκίνηση, ενώ στο φιλόδοξο SDS η ζήτηση σχεδόν τριπλασιάζεται, με την ποσότητα του απαιτούμενου νικελίου να είναι 3.804.034 τόνοι.

4.1.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Νικελίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Για την αποτύπωση μιας πιο συνολικής εικόνας αναφορικά με την πρόβλεψη της ζήτησης του νικελίου για τις χρήσεις του σε μια Πράσινη Οικονομία, ακολουθούν κάποια επιπλέον σενάρια, ώστε να αντληθούν δεδομένα από διάφορες πηγές και για διάφορες περιπτώσεις υιοθέτησης τεχνολογιών, τεχνολογικών εξελίξεων κ.λπ. Οι (Månberger & Stenqvist, 2018) αναλύοντας τέσσερα σενάρια ζήτησης, αναλόγως τις τεχνολογικές εξελίξεις και την δυνατότητα ανακύκλωσης μετάλλων, έχοντας ως βάση το “beyond 2 degree scenario” της (International Energy Agency, 2017) όπως εξηγείται στην Ενότητα 3.2., οδηγήθηκαν στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3. Οι χρωματιστές καμπύλες αντιστοιχούν στην ακαθάριστη αθροιστική ζήτηση του μετάλλου (δηλαδή τόσο από πρωτογενείς -εξόρυξη- όσο και από δευτερογενείς -ανακύκλωση- πηγές), οι διακοπτόμενες καμπύλες με τις παύλες αντικατοπτρίζουν τη ζήτηση πρωτογενούς μετάλλου από εξόρυξη, ενώ οι καμπύλες με τις τελείες αντιπροσωπεύουν τη ζήτηση από ανακυκλωμένο μέταλλο. Το άνω διάγραμμα της Εικόνας 3 παρουσιάζει την ετήσια ζήτηση του μετάλλου, με την μαύρη οριζόντια γραμμή να είναι η εξορυκτική παραγωγή του έτους 2017, ενώ το κάτω διάγραμμα την συνολική ζήτηση του μετάλλου, με τη μαύρη οριζόντια γραμμή να είναι τα βεβαιωμένα αποθέματα.



Εικόνα 3: Ετήσια και συνολική ζήτηση Ni με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των (Månberger & Stenqvist, 2018), φαίνεται να βρίσκονται στην ίδια τάξη μεγέθους με αυτά της (International Energy Agency, 2021a), με τα περισσότερα σενάρια τους να προβλέπουν για το 2040 μία ζήτηση νικελίου της τάξης των 1.000.000 με 4.000.000 τόνων για το έτος αυτό. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, δείχνουν ότι η συνολική ζήτηση νικελίου μέχρι το 2050 θα κυμαίνεται πιθανότητα από 25.000.000 μέχρι 75.000.000 τόνους, αναλόγως το σενάριο. Το πιο ενδιαφέρον αποτέλεσμα από τη συγκεκριμένη μελέτη, είναι η ανάγκη για πρωτογενές μέταλλο. Αυτό σημαίνει ότι παρά τα μεγάλα ποσοστά ανακύκλωσης που μπορούν να επιτευχθούν, η ανάγκη για εξόρυξη νικελίου, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των πράσινων τεχνολογιών, παραμένει μεγάλη. Σύμφωνα με το Σενάριο 3 της μελέτης, η ανάγκη για εξόρυξη και πρωτογενές μέταλλο νικελίου θα αυξάνεται διαρκώς μέχρι το 2046 και παρόλο που μετά από αυτό το έτος η ζήτηση πρωτογενούς μετάλλου θα μειωθεί, δεν θα σταματήσει να υπάρχει μέχρι το 2060.

Μία παρόμοια ανάλυση έγινε και από τους (Dominish, Florin, & Teske, 2019). Σε αυτή την ανάλυση λαμβάνεται ως βάση μια στρατηγική όπου περιορίζεται η αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους 1,5°C έως το 2050, εξετάζοντας υποσενάρια ανάλογα με τις τεχνολογίες που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν, τα ποσοστά ανακύκλωσης που μπορεί να ισχύουν κ.λπ. Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Στοιχεία ζήτησης Ni για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].

Ni	Υποσενάριο 1,5°C μέγιστης ζήτησης	Υποσενάριο 1,5°C ελάχιστης ζήτησης
Συνολική Ζήτηση (2018-2050)	100.628.432 τόνοι	32.080.611 τόνοι
Ποσοστό επί των βεβαιωμένων αποθεμάτων (USGS 2018)	136%	43%
Ποσοστό επί των πιθανών αποθεμάτων (USGS 2018)	77%	25%
Μέγιστη ετήσια ζήτηση	6.581.326 τόνοι	2.501.469 τόνοι
Έτος μέγιστης ζήτησης	2050	2031

Τα αποτελέσματα υπαγορεύουν τη συνολική ζήτηση νικελίου για πράσινες τεχνολογίες μέχρι το 2050, να κυμαίνεται μεταξύ 32.000.000 και 101.000.000 τόνων. Παρόλο που σε αυτή την περίπτωση τα νούμερα είναι λίγο αυξημένα, η τάξη μεγέθους της συνολικής ζήτησης του νικελίου συμβαδίζει με τα δεδομένα των προηγούμενων μελετών, υποδεικνύοντας, παρά την μεγάλη αβεβαιότητα που υπάρχει για τέτοιου είδους προβλέψεις, το εύρος της ζήτησης του νικελίου που θα προκύψει από τις πράσινες τεχνολογίες.

Τέλος, στην ανάλυση που πραγματοποίησε η (World Bank, 2020) για τις Ο.Π.Υ. που θα χρειαστούν σε μια Πράσινη Οικονομία, γίνεται αντιληπτή η εξάρτηση που έχει η πρόβλεψη της ζήτησης ενός μετάλλου με τις τεχνολογίες, καθώς και η ευκολία με την οποία μπορεί να αλλάξει η συνολική ζήτηση ενός μετάλλου, αν αλλάξουν οι κυρίαρχες τεχνολογίες για τις οποίες αυτό είναι απαραίτητο. Για να γίνει κατανοητή η κλίμακα της επιρροής του τύπου των μπαταριών στη ζήτηση του νικελίου, θα αναλυθούν δυο περιπτώσεις-εναλλακτικά σενάρια, τα οποία θα συγκρίνουν δυο διαφορετικούς τύπους μπαταρίας, με μία «μέση» μπαταρία ιόντων λιθίου. Στην πρώτη περίπτωση θα γίνει η υπόθεση ότι όλες οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που θα χρησιμοποιούνται, θα είναι του τύπου NMC811, ενώ στη δεύτερη ότι όλες θα είναι του τύπου NMC111. Οι μπαταρίες του τύπου NMC811, αποτελούνται από καθόδους που χρησιμοποιούν νικέλιο (N), μαγγάνιο (M) και κοβάλτιο (C) σε αναλογία 8-1-1, δηλαδή 80% νικέλιο, 10% μαγγάνιο και 10% κοβάλτιο. Κατ' αντιστοιχία η κάθοδος της μπαταρίας του τύπου NMC111, αποτελείται από ίσα μέρη νικελίου, μαγγανίου και κοβαλτίου. Στην περίπτωση λοιπόν, που όλες οι μπαταρίες ήταν του τύπου NMC111, θα απαιτούνταν περίπου 35% λιγότερο νικέλιο από αυτό που απαιτείται σε μία μέση μπαταρία ιόντων λιθίου, ενώ αν ήταν όλες τύπου NMC811, θα απαιτούνταν περίπου 29% περισσότερο νικέλιο. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται αντιληπτή η μεγάλη αβεβαιότητα που υπάρχει στην ζήτηση του νικελίου, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τεχνολογίες μπαταριών που θα επικρατήσουν στην αγορά. Εν κατακλείδι, η (World Bank, 2020) προβλέπει ότι η ετήσια ζήτηση νικελίου το 2050, από πράσινες ενεργειακές τεχνολογίες θα είναι περίπου 2.268.000 τόνοι, ποσότητα που ως τάξη μεγέθους συμβαδίζει με τις προβλέψεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

4.2. Κοβάλτιο (Co)

4.2.1. Γενικά στοιχεία για το Κοβάλτιο

Το κοβάλτιο είναι ένα μέταλλο με χρώμα γκρι-ασημί-λευκό και ανήκει στην κατηγορία των χημικών στοιχείων μετάπτωσης του Περιοδικού Πίνακα. Είναι φερομαγνητικό και έχει παρόμοιες ιδιότητες με το σίδηρο και το νικέλιο. Είναι ένα χημικώς ενεργό στοιχείο, που σχηματίζει πολλές ενώσεις. Είναι χημικώς σταθερό στον ατμοσφαιρικό αέρα και δεν επηρεάζεται από το νερό, αλλά προσβάλλεται αργά από αραιά οξέα. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του κοβαλτίου.

Πίνακας 4: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες κοβαλτίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

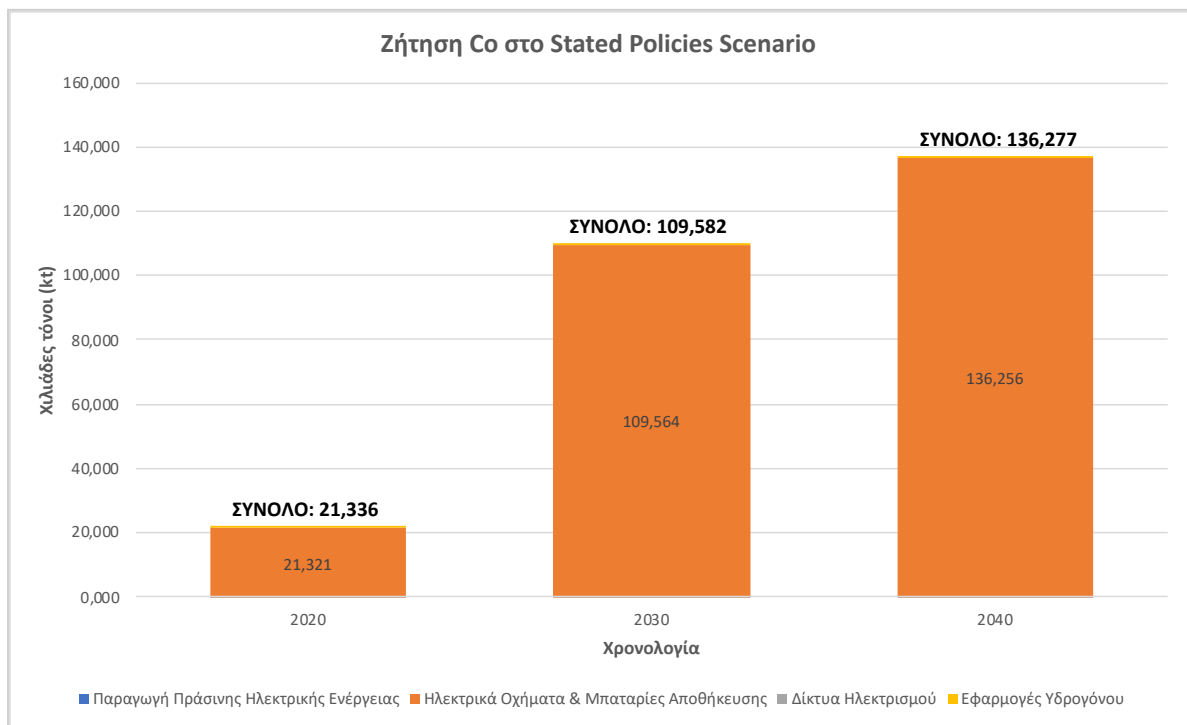
Σύμβολο	Co
Ατομικός Αριθμός	27
Σημείο Τήξης	1495°C
Σημείο Βρασμού	2927°C

Το κοβάλτιο χρησιμοποιείται σε μία πληθώρα εμπορικών, βιομηχανικών και στρατιωτικών χρήσεων, καθιστώντας το ιδιαίτερα στρατηγικό και κρίσιμο μέταλλο. Η κυριότερη χρήση του κοβαλτίου μέχρι σήμερα, είναι για την παραγωγή ηλεκτροδίων επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Υπερκράματα (με εφαρμογές στην αεροπορική βιομηχανία), κράματα, καταλύτες, χρώματα, μαγνήτες και άλλα, είναι μερικές από τις λοιπές χρήσεις του μετάλλου αυτού (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

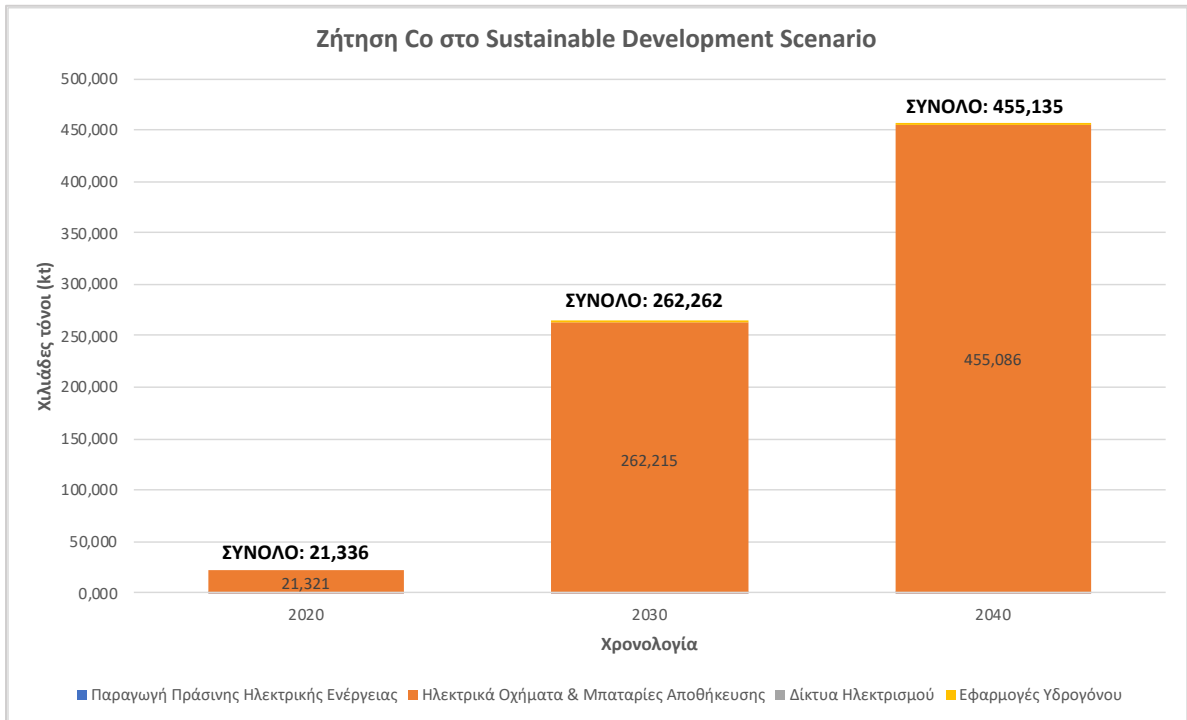
4.2.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Κοβαλτίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την ΙΕΑ

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν κοβάλτιο, είναι οι μπαταρίες, για την ηλεκτροκίνηση και την αποθήκευση ενέργειας, καθώς και οι εφαρμογές υδρογόνου, κυρίως στο κομμάτι των ηλεκτρολυτών (International Energy Agency, 2021a).

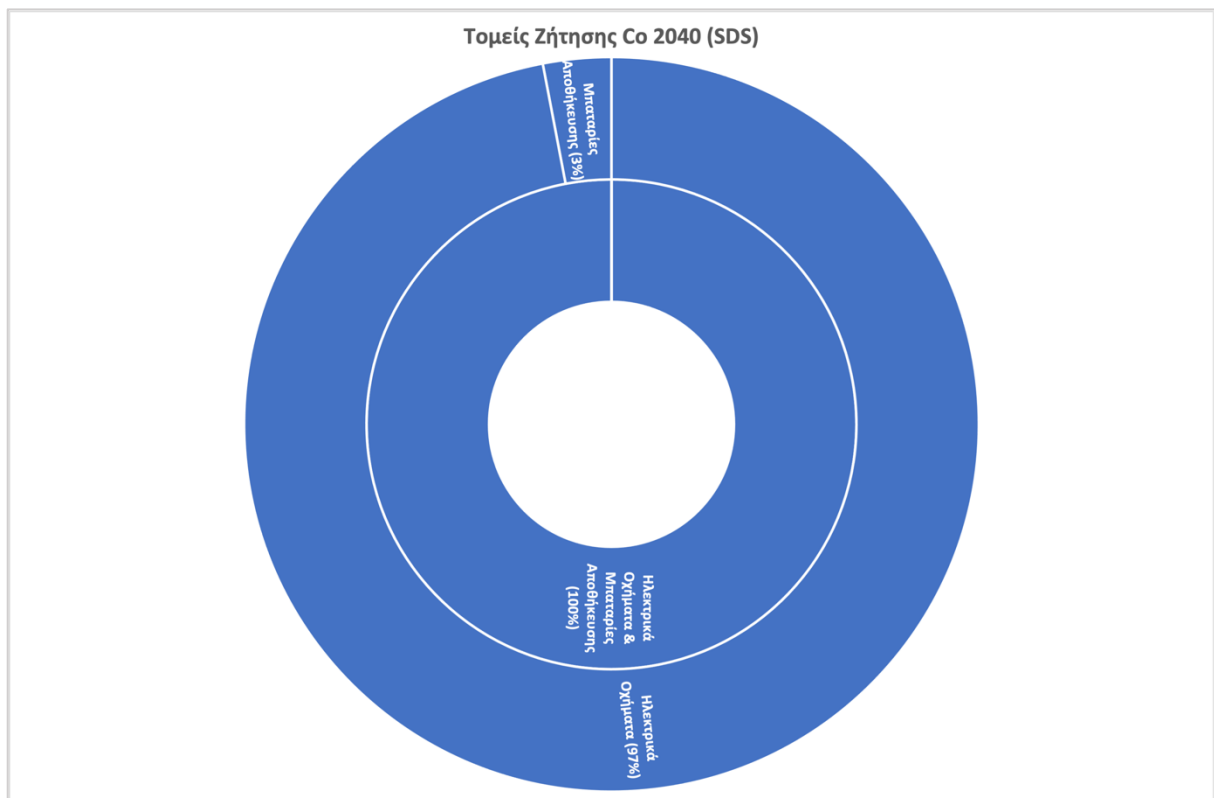
Στα Γραφήματα 12, 13 και 14 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του κοβαλτίου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 12: Ζήτηση Co στο STEPS της ΙΕΑ [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 13: Ζήτηση Co στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



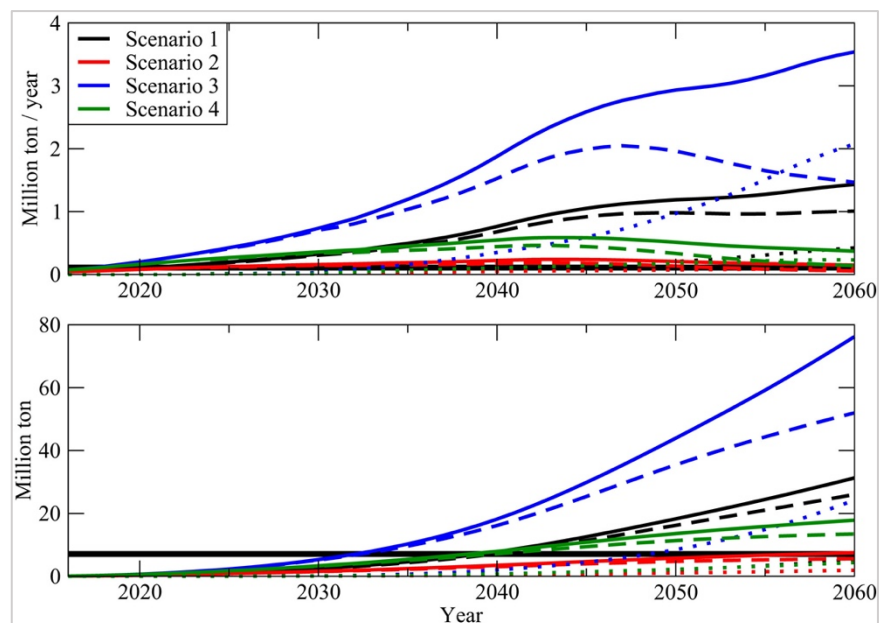
Γράφημα 14: Τομείς Ζήτησης Co στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Σύμφωνα με την (International Energy Agency, 2021a) η κυριότερη και αποκλειστική χρήση του κοβαλτίου στην Πράσινη Οικονομία, είναι για την παραγωγή μπαταριών. Το 2040 οι μπαταρίες

αυτές θα προορίζονται κατά 97% για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα και το υπόλοιπο 3% θα αντιστοιχεί σε χρήσεις αποθήκευσης ενέργειας, σύμφωνα με το SDS (International Energy Agency, 2021a). Για την ίδια χρονιά, η ετήσια πρόβλεψη της ποσότητας κοβαλτίου που αναμένεται να απαιτείται είναι 136.277 τόνοι, στο χαμηλότερο σενάριο και 455.135 τόνοι στο υψηλότερο σενάριο της ίδιας μελέτης (International Energy Agency, 2021a).

4.2.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Κοβαλτίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

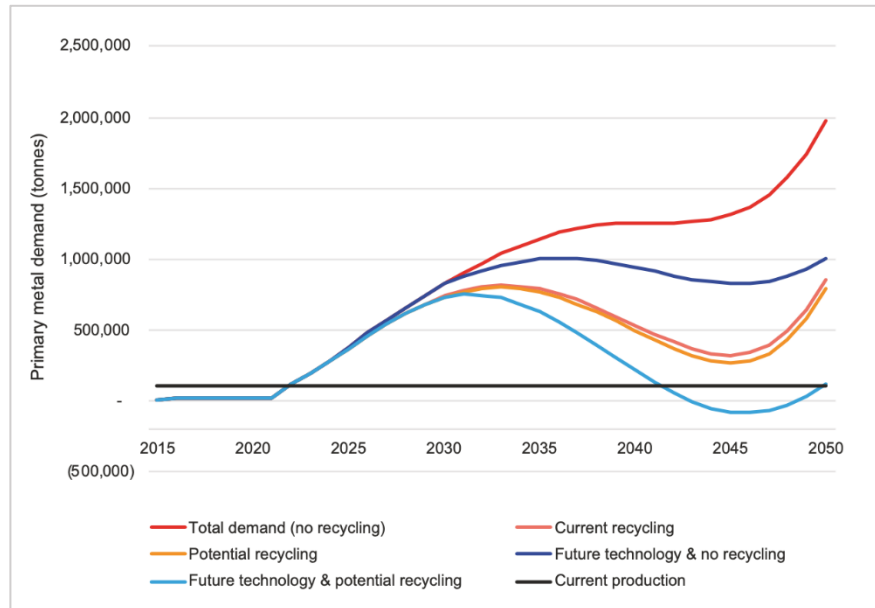
Στην ανάλυση που πραγματοποίησαν οι (Månberger & Stenqvist, 2018), τα περισσότερα σενάρια έχουν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά της (International Energy Agency, 2021a), όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, εκτός από το Σενάριο 3, το οποίο προβλέπει εμφανώς αυξημένες ποσότητες σε σχέση με τα υπόλοιπα. Το Σενάριο 3 προσομοιάζει την πιο εκτεταμένη χρήση κοβαλτίου στις πράσινες τεχνολογίες, με πιο υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης από τα σημερινά. Είναι ενδιαφέρον ότι ακόμα και σε αυτό το σενάριο της αυξημένης ανακύκλωσης, είναι ξεκάθαρο ότι η πρωτογενής ζήτηση μετάλλου από εξόρυξη (διακεκομμένες γραμμές) είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του ανακυκλωμένου μετάλλου (γραμμές με τελείες). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η συνολική ζήτηση κοβαλτίου μέχρι το 2050, όπου η συνολική ζήτηση σύμφωνα με το Σενάριο 3 προβλέπεται να είναι περίπου 42.000.000 τόνοι, με τους 37.000.000 τόνους περίπου να προέρχονται από πρωτογενές μέταλλο και οι υπόλοιποι από ανακυκλωμένο.



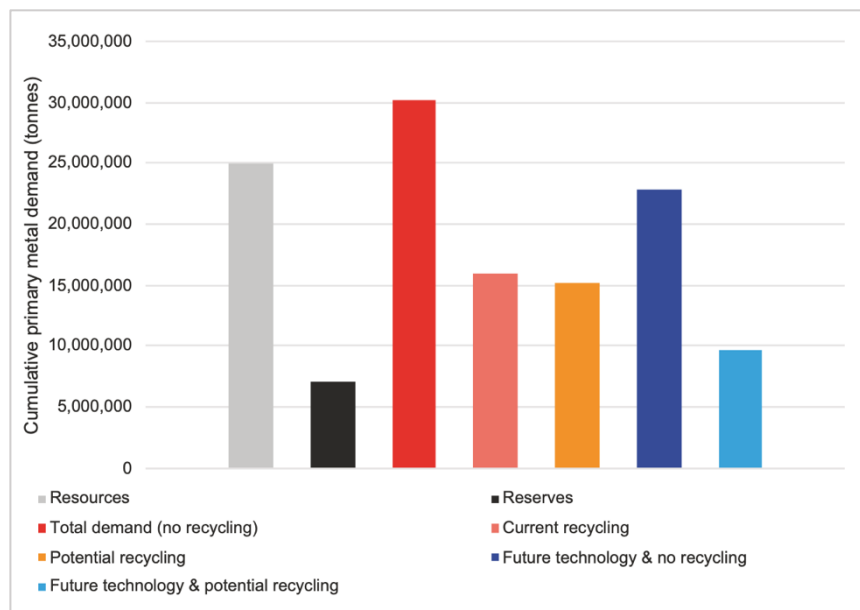
Εικόνα 4: Ετήσια και συνολική ζήτηση Co με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Παρόλα αυτά, η πλειονότητα των σεναρίων προβλέπει μια ετήσια ζήτηση κοβαλτίου το 2050 μεταξύ 150.000 – 1.000.000 τόνων, με τη συνολική ζήτηση να κυμαίνεται από 5.000.000 μέχρι 20.000.000 τόνους.

Στη μελέτη που εκπονήθηκε από τους (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019), οι απαιτήσεις σε κοβάλτιο ώστε να επιτευχθεί ο στόχος του περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από 1,5°C, προσεγγίζονται με βάση πέντε σενάρια, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στις Εικόνες 5 και 6.



Εικόνα 5: Ετήσια πρωτογενής ζήτηση Co για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].



Εικόνα 6: Συνολική πρωτογενής ζήτηση Co μέχρι το 2050 για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].

Από τα στοιχεία αυτά, απορρέει ότι από το 2020 μέχρι το 2030 θα υπάρξει μια αξιοσημείωτη αύξηση της ζήτησης κοβαλτίου για τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας, με την ετήσια ζήτηση να ανέρχεται από 750.000 μέχρι 1.000.000 τόνους για το έτος 2030. Σε σχέση με το 2020, που η τιμή αυτή ήταν της τάξεως των 20.000 τόνων, θα υπάρξει μια αύξηση σχεδόν 50 φορές μέσα σε μία δεκαετία. Ακολουθώντας, τα σενάρια αυτά διαβλέπουν μια κάμψη της ζήτησης έως το 2045. Ωστόσο, από εκεί και μετά ξαναρχίζει η ανοδική της πορεία, παρουσιάζοντας μέση ετήσια ζήτηση, για το 2050, κοντά στους 1.000.000 τόνους. Το πιο ακραίο σενάριο, στο οποίο μεγιστοποιείται η ζήτηση το 2050, προβλέπει ζήτηση 2.000.000 τόνων ετησίως, ενώ το πιο συντηρητικό σενάριο εκτιμά ετήσια ζήτηση, για το 2031, περίπου 750.000 τόνων. Τα δεδομένα αυτά υποστηρίζονται

και στον Πίνακα 5. Η (World Bank, 2020) εκτιμά ετήσια ζήτηση κοβαλτίου για χρήση σε πράσινες τεχνολογίες 644.000 τόνων, το 2050.

Πίνακας 5: Στοιχεία ζήτησης Co για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].

Co	Υποσενάριο 1,5°C μέγιστης ζήτησης	Υποσενάριο 1,5°C ελάχιστης ζήτησης
Συνολική Ζήτηση (2018-2050)	30.067.291 τόνοι	9.585.532 τόνοι
Ποσοστό επί των βεβαιωμένων αποθεμάτων (USGS 2018)	423%	135%
Ποσοστό επί των πιθανών αποθεμάτων (USGS 2018)	120%	38%
Μέγιστη ετήσια ζήτηση	1.966.469 τόνοι	747.427 τόνοι
Έτος μέγιστης ζήτησης	2050	2031

Σύμφωνα με την Εικόνα 6 και τον Πίνακα 5, η συνολική ζήτηση κοβαλτίου για πράσινες τεχνολογίες μέχρι το 2050, αναμένεται να είναι της τάξεως των 10.000.000 – 30.000.000 τόνων. Οι ποσότητες αυτές ξεπερνούν τα βεβαιωμένα αποθέματα με βάση στοιχεία του USGS για το έτος 2018, ενώ στο σενάριο με τη μέγιστη ζήτηση, ξεπερνούν ακόμη και τα πιθανά αποθέματα. Αυτό είναι ένα σοβαρό ζήτημα που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, τόσο στη βιομηχανία της ανακύκλωσης μετάλλων, ώστε να προσδιοριστεί ο ακριβής βαθμός και οι τεχνολογίες που απαιτούνται για την κάλυψη μέρους της ζήτησης από ανακυκλωμένο μέταλλο, όσο και στα κέντρα λήψεων αποφάσεων και χάραξης πολιτικών, για την απόφαση της στρατηγικής που θα ακολουθηθεί παγκοσμίως, ώστε να αντιμετωπιστεί αυτό το πιθανό πρόβλημα της έλλειψης Ο.Π.Υ. για τις πράσινες τεχνολογίες.

4.3. Λίθιο (Li)

4.3.1. Γενικά στοιχεία για το Λίθιο

Το λίθιο έχει αργυρόλευκο χρώμα και είναι το ελαφρύτερο στερεό μέταλλο. Ανήκει στην ομάδα των αλκαλίων ή αλκαλιμετάλλων, έχει μεγάλη χημική αντιδραστικότητα και είναι εύφλεκτο. Πολλές από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του λιθίου, ομοιάζουν περισσότερο με αυτές των στοιχείων της ομάδας των αλκαλικών γαιών, παρά με αυτών της ομάδας των αλκαλίων, στην οποία ανήκει. Από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του λιθίου, είναι η υψηλή του ειδική θερμότητα (θερμιδική ικανότητα) και η πολύ μικρή του πυκνότητα. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λιθίου.

Πίνακας 6: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες λιθίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

Σύμβολο	Li
Ατομικός Αριθμός	3
Σημείο Τήξης	180,5°C
Σημείο Βρασμού	1342°C

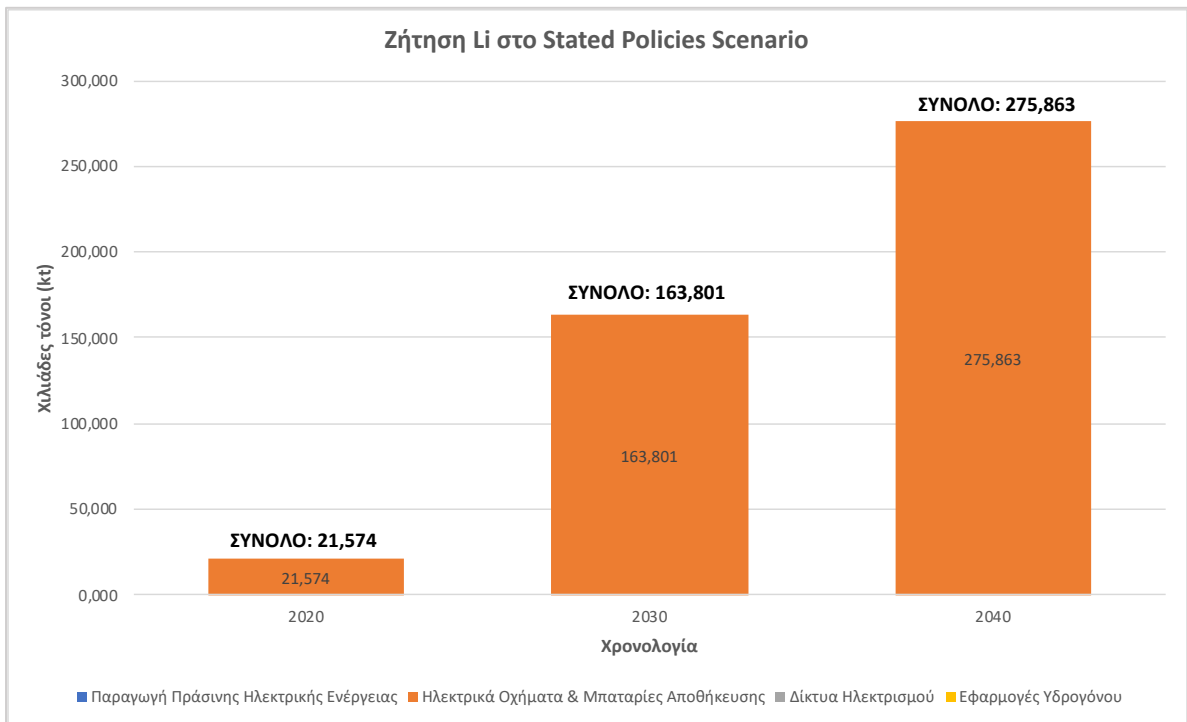
Η κυριότερη χρήση του λιθίου είναι για την παραγωγή μπαταριών, με το ποσοστό της ζήτησης για τη συγκεκριμένη χρήση, επί του συνόλου της ζήτησης του λιθίου, να κυμαίνεται στο 71%. Το

14% της ζήτησης του λιθίου προορίζεται για την παρασκευή κεραμικών και υαλικών, με το υπόλοιπο 15% να αντιστοιχεί στην παραγωγή βιομηχανικών λιπαντικών ρευστών, πολυμερών κ.λπ. (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

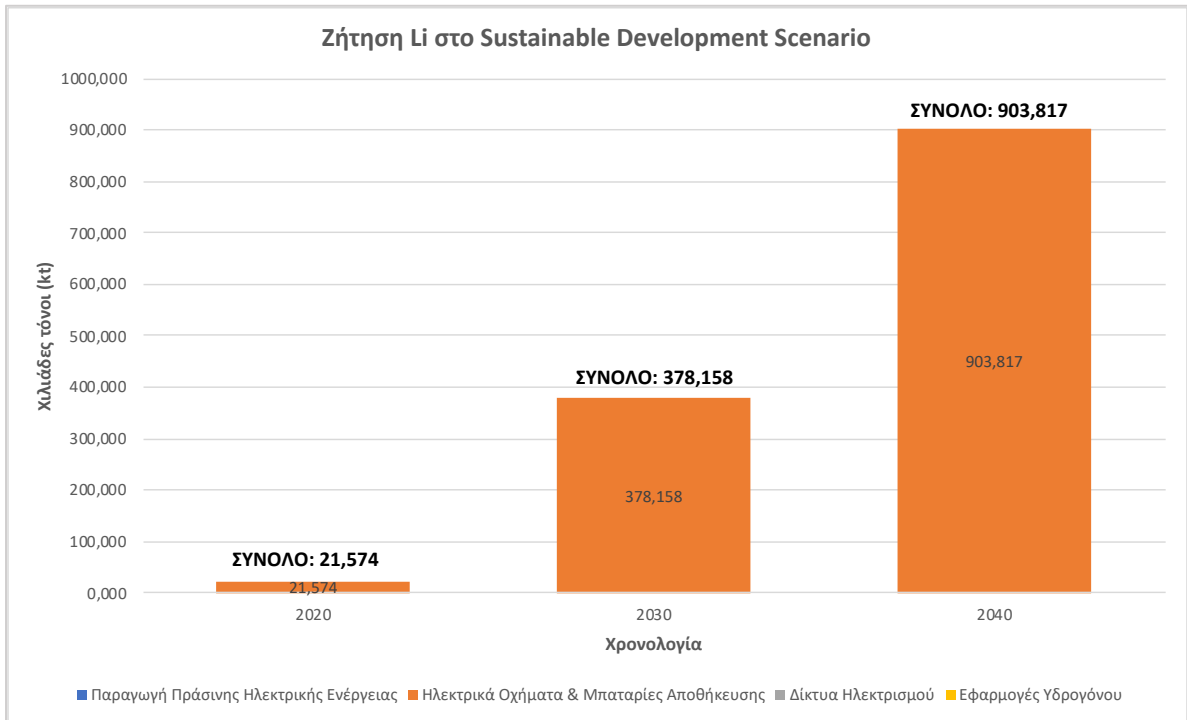
4.3.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Λιθίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν λίθιο, είναι οι μπαταρίες, για την ηλεκτροκίνηση και την αποθήκευση ενέργειας (International Energy Agency, 2021a).

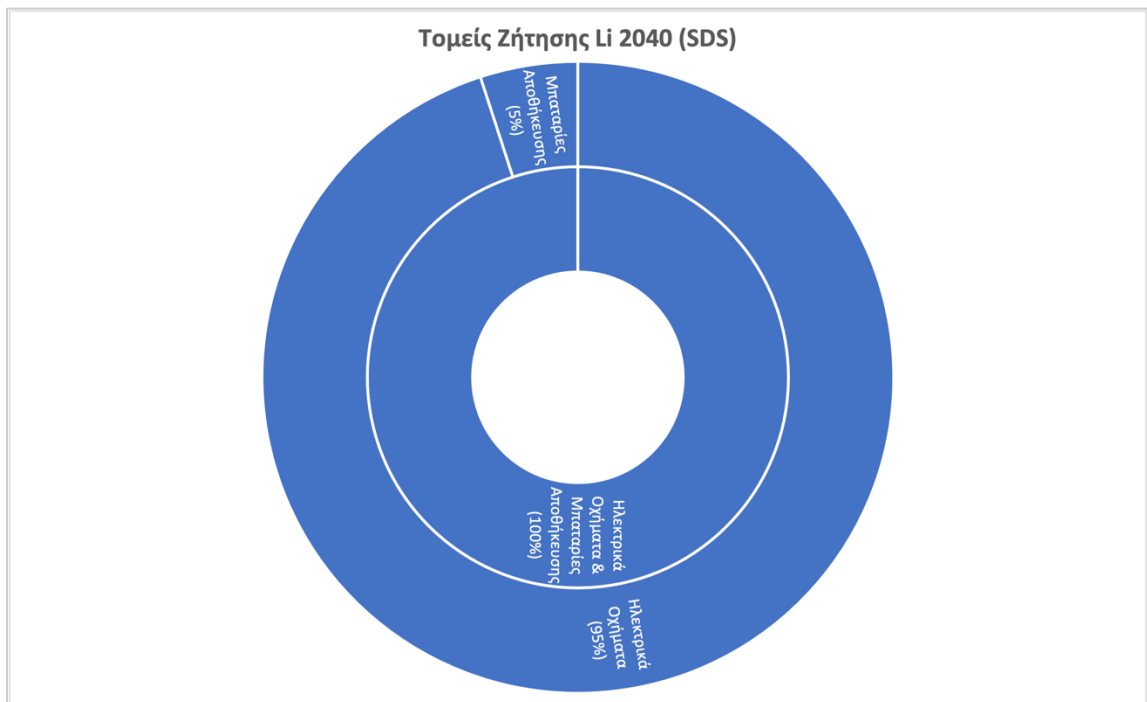
Στα Γραφήματα 15, 16 και 17 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης λιθίου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 15: Ζήτηση Li στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 16: Ζήτηση Li στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

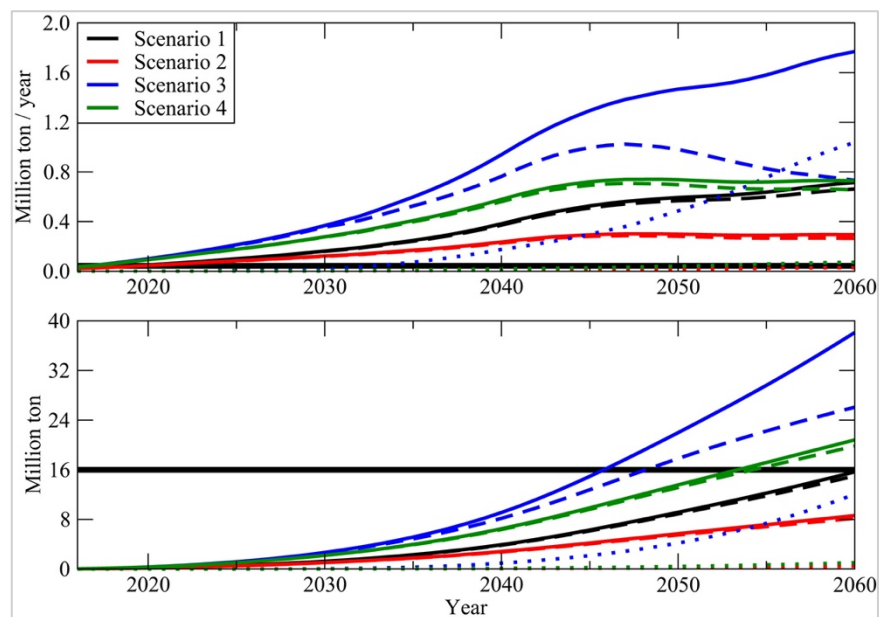


Γράφημα 17: Τομείς Ζήτησης Li στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Το 100% της ζήτησης του λιθίου για πράσινες τεχνολογίες, το 2040, θα προέρχεται από την ηλεκτροκίνηση (95%) και από τις μπαταρίες αποθήκευσης (5%), τις ίδιες χρήσεις δηλαδή που έχει και σήμερα, σύμφωνα με το SDS της (International Energy Agency, 2021a). Η (International Energy Agency, 2021a) κάνει την εκτίμηση ότι η ετήσια ζήτηση για λίθιο, το 2040, θα είναι 276.000 τόνοι στο πιο μετριοπαθές STEPS και 904.000 τόνοι στο πιο φιλόδοξο SDS.

4.3.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Λιθίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

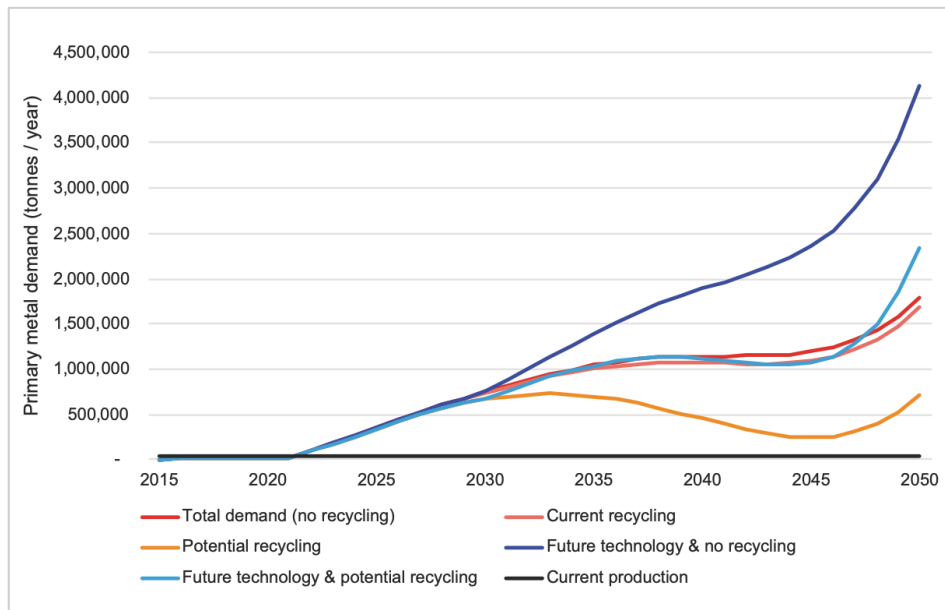
Με βάση τους (Månberger & Stenqvist, 2018), η ετήσια ζήτηση λιθίου θα είναι της τάξεως των 500.000 με 1.000.000 τόνων, για το 2050. Στο άνω διάγραμμα της Εικόνας 7, που παρουσιάζει την ετήσια ζήτηση λιθίου σε τόνους, γίνεται ξεκάθαρη η ανάγκη να αυξηθούν σημαντικά οι παραγωγικές δυνατότητες λιθίου παγκοσμίως. Αυτό συμπεραίνεται από το γεγονός, ότι η εξόρυξη λιθίου που αποτυπώνεται με τη μαύρη οριζόντια γραμμή στο διάγραμμα, είναι πολύ μικρή μπροστά στις απαιτήσεις που θα υπάρξουν μέσα στα επόμενα 30 χρόνια. Ήδη από το 2030, γίνεται αντιληπτό ότι αν δεν αναβαθμιστούν και πολλαπλασιαστούν τα παραγωγικά μέσα στην εξόρυξη λιθίου και συνεχίσουν με τους ρυθμούς του 2017 που απεικονίζονται στο διάγραμμα, θα υπάρξει σοβαρό ζήτημα κάλυψης της ανάγκης σε λίθιο, ειδικά αν επικρατήσουν σενάρια που προβλέπουν αυξημένη ζήτηση.



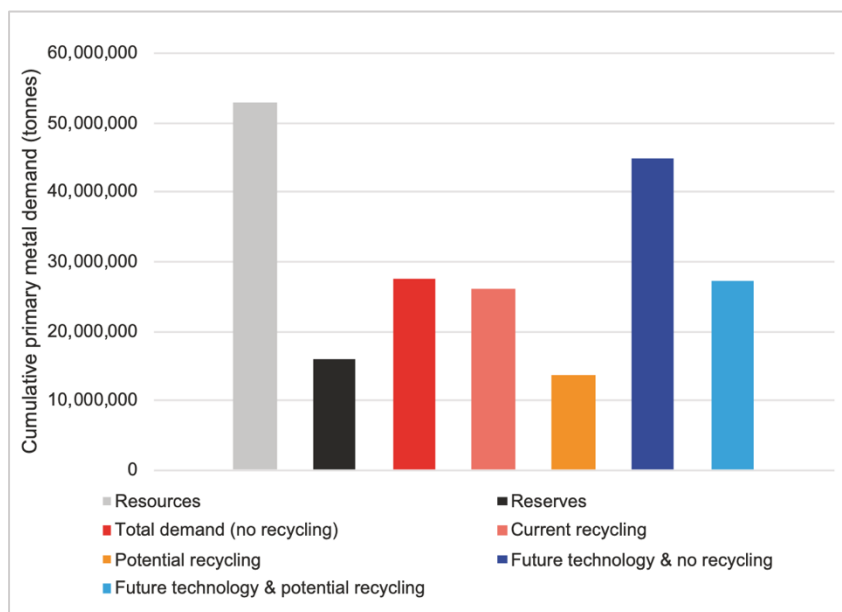
Εικόνα 7: Ετήσια και συνολική ζήτηση Li με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Η συνολική ζήτηση λιθίου, το 2050, αναμένεται να κυμαίνεται μεταξύ 5.000.000 και 20.000.000 τόνων, σύμφωνα με την μελέτη αυτή.

Στις Εικόνες 8 και 9 φαίνονται τα αποτελέσματα των σεναρίων που εξετάστηκαν από τους (Giureo, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019). Με βάση αυτή τη μελέτη, η πιθανή ανακύκλωση που μπορεί να υπάρξει τα επόμενα χρόνια, μπορεί να μειώσει αισθητά την πρωτογενή ζήτηση για λίθιο, με μία τάξη μείωσης 500.000 τόνων ετησίως ή και περισσότερο σε σχέση με τα πιο ακραία σενάρια. Ωστόσο, τα περισσότερα σενάρια εντοπίζουν την περιοχή της πρωτογενούς ετήσιας ζήτησης λιθίου, το 2050, μεταξύ 1.500.000 και 2.000.000 τόνων.



Εικόνα 8: Ετήσια πρωτογενής ζήτηση Li για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].



Εικόνα 9: Συνολική πρωτογενής ζήτηση Li μέχρι το 2050 για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].

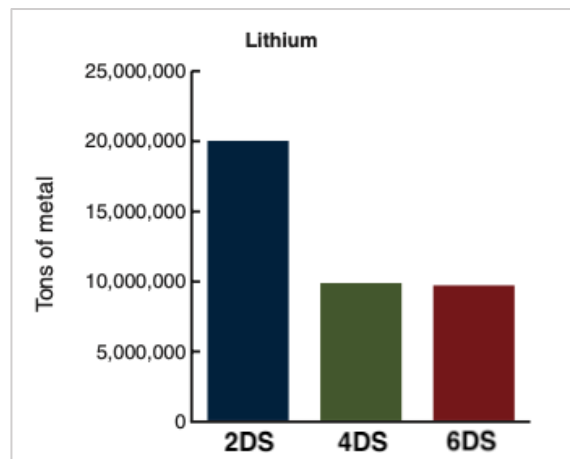
Σχετικά με τη συνολική πρωτογενή ζήτηση λιθίου μέχρι το 2050, η μελέτη αυτή προβλέπει ότι στα τέσσερα από τα πέντε σεναρία της (μόνο εκτός του σεναρίου της πιθανής ανακύκλωσης που απεικονίζεται με πορτοκαλί), η συνολική ζήτηση λιθίου θα ξεπεράσει τα γνωστά αποθέματα και θα κυμανθεί γύρω στους 28.000.000 τόνους.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7, με την επικράτηση του πιο ακραίου σεναρίου, το οποίο προσομοιάζει την ζήτηση από μελλοντικές τεχνολογίες με μεγάλες απαιτήσεις σε λίθιο και καθόλου ανακύκλωση του μετάλλου, η συνολική πρωτογενής ζήτηση μέχρι το 2050, θα ξεπεράσει την ποσότητα των βεβαιωμένων αποθεμάτων κατά 280%. Μόνο το σενάριο της αυξημένης ανακύκλωσης που προβλέπει ζήτηση 13.811.115 τόνων, δεν ξεπερνάει την ποσότητα των

βεβαιωμένων αποθεμάτων, αλλά ορίζει ότι θα είναι το 86% αυτών (Dominish, Florin, & Teske, 2019).

Πίνακας 7: Στοιχεία ζήτησης Li για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].

Li	Υποσενάριο 1,5°C μέγιστης ζήτησης	Υποσενάριο 1,5°C ελάχιστης ζήτησης
Συνολική Ζήτηση (2018-2050)	44.861.515 τόνοι	13.811.115 τόνοι
Ποσοστό επί των βεβαιωμένων αποθεμάτων (USGS 2018)	280%	86%
Ποσοστό επί των πιθανών αποθεμάτων (USGS 2018)	85%	26%
Μέγιστη ετήσια ζήτηση	4.112.867 τόνοι	727.682 τόνοι
Έτος μέγιστης ζήτησης	2050	2033



Εικόνα 10: Μέση συνολική ζήτηση Li για Πράσινες τεχνολογίες από το 2013-2050, για τα 2DS, 4DS και 6DS [Πηγή: (World Bank, 2017)].

Η (World Bank, 2017) το 2017 είχε εκτιμήσει τη συνολική ζήτηση του λιθίου για 3 σενάρια, τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 10. Στα σενάρια 4DS και 6DS είχε προβλέψει συνολική ζήτηση λιθίου περίπου 10.000.000 τόνων, ενώ στο πιο φιλόδοξο 2DS κοντά στους 20.000.000 τόνους. Παρόλο που σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες μελέτες, οι εκτιμήσεις της (World Bank, 2017) ήταν χαμηλότερες, το πιο φιλόδοξο σενάριο (2DS), συμβαδίζει κατά πολύ με τα πιο πρόσφατα σενάρια, που υπαγορεύουν ισχυρά μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Τέλος, στην πιο πρόσφατη έρευνά της, το 2020, η (World Bank, 2020) υπολόγισε ότι η ετήσια ζήτηση λιθίου από ενεργειακές τεχνολογίες, για το 2050, θα ανέλθει στους 415.000 τόνους.

4.4. Γραφίτης (C)

4.4.1. Γενικά στοιχεία για το Γραφίτη

Ο γραφίτης είναι μια μαλακή, κρυσταλλική μορφή άνθρακα. Έχει γκρι-μαύρο χρώμα, είναι αδιαφανής και έχει μεταλλική λάμψη. Είναι εύκαμπτος, αλλά όχι ελαστικός. Εμφανίζει τόσο τις ιδιότητες ενός μετάλλου, όσο και ενός μη μετάλλου, γεγονός που καθιστά το γραφίτη κατάλληλο για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Οι μεταλλικές του ιδιότητες περιλαμβάνουν τη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οι μη μεταλλικές του ιδιότητες περιλαμβάνουν τη χημική αδράνεια, την υψηλή θερμική αντίσταση και τη λίπανση. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γραφίτη.

Πίνακας 8: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες γραφίτη [Πηγή: (Togaya, Sugiyama, & Mizuhara, 1994)].

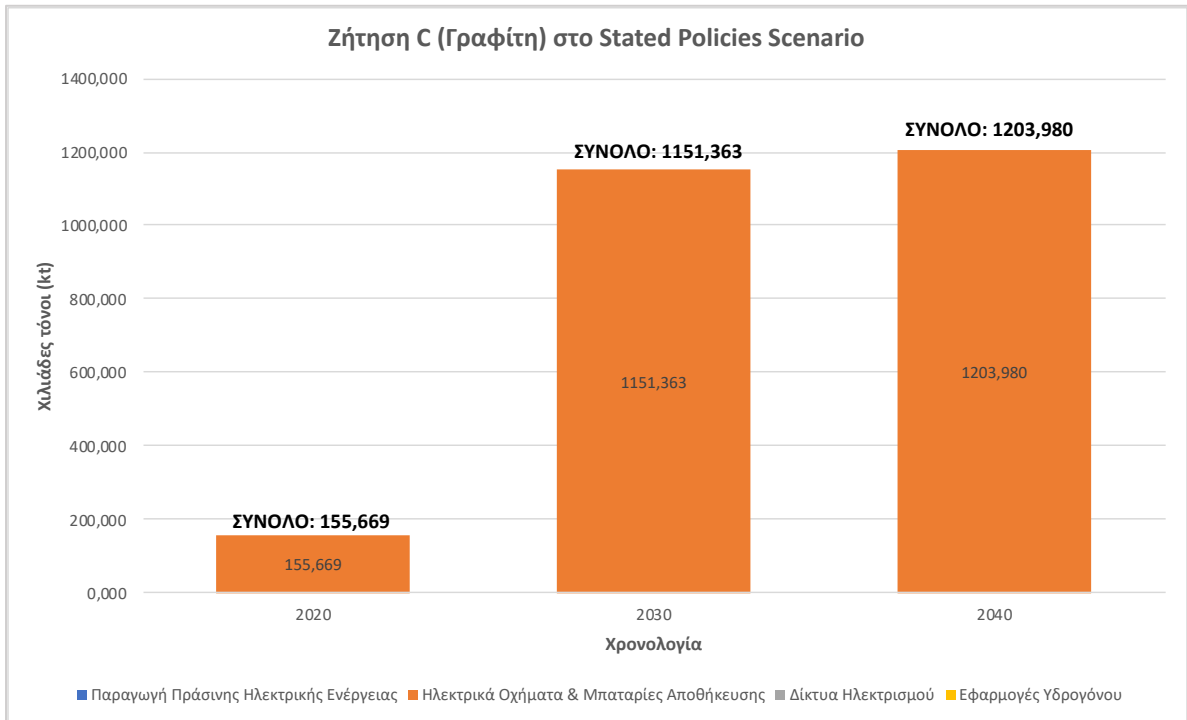
Σύμβολο	C
Ατομικός Αριθμός	6
Σημείο Τήξης	4326,85°C υπό πίεση 10MPa
Σημείο Βρασμού	-

Μέχρι σήμερα, οι κύριες χρήσεις του φυσικού γραφίτη είναι στις μπαταρίες, στις επενδύσεις των φρένων, σε λιπαντικά, σε πυρίμαχες εφαρμογές και στη χαλυβουργία (Togaya, Sugiyama, & Mizuhara, 1994), (U.S. Geological Survey, 2021).

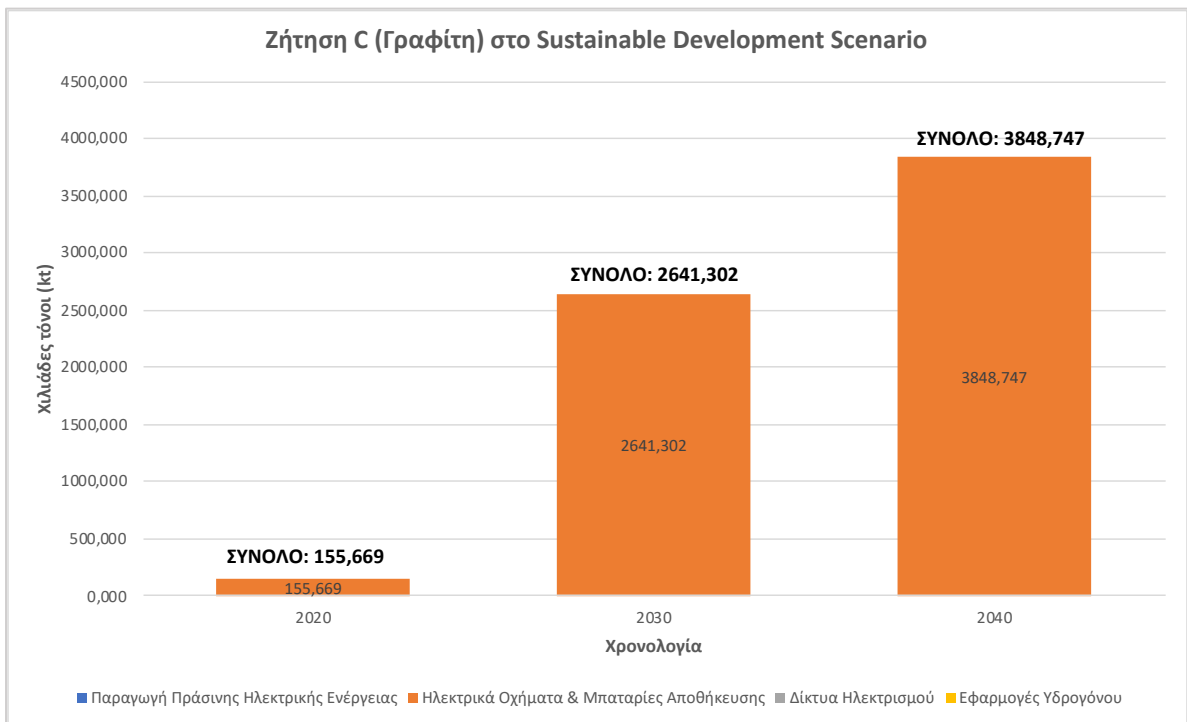
4.4.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Γραφίτη λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν γραφίτη, είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, για την ηλεκτροκίνηση και την αποθήκευση ενέργειας (International Energy Agency, 2021a).

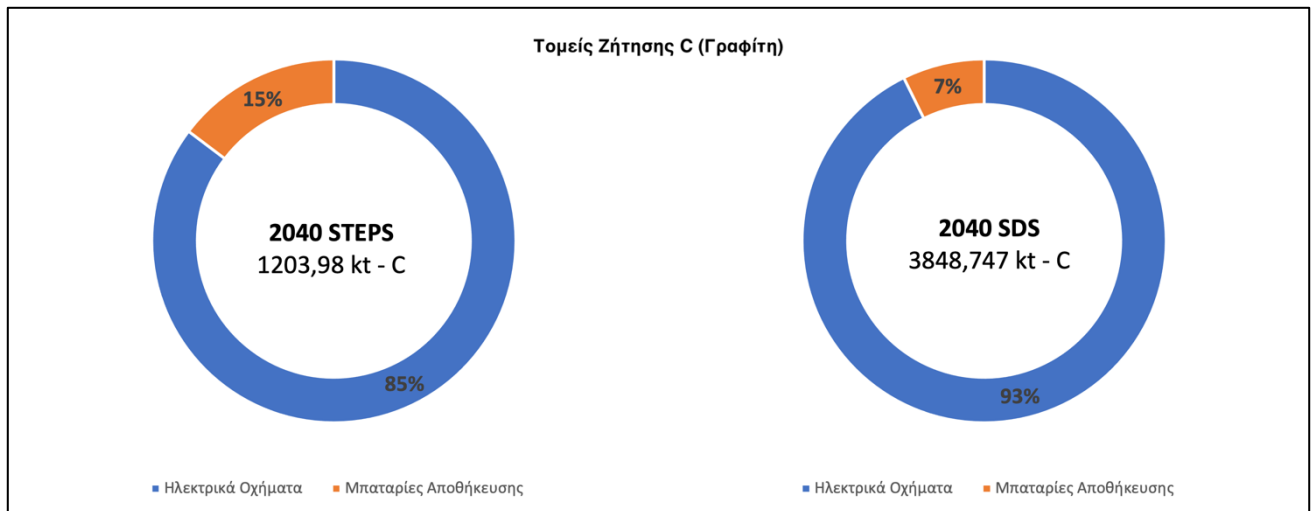
Στα Γραφήματα 18, 19 και 20 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του γραφίτη από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 18: Ζήτηση C (Γραφίτη) στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 19: Ζήτηση C (Γραφίτη) στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

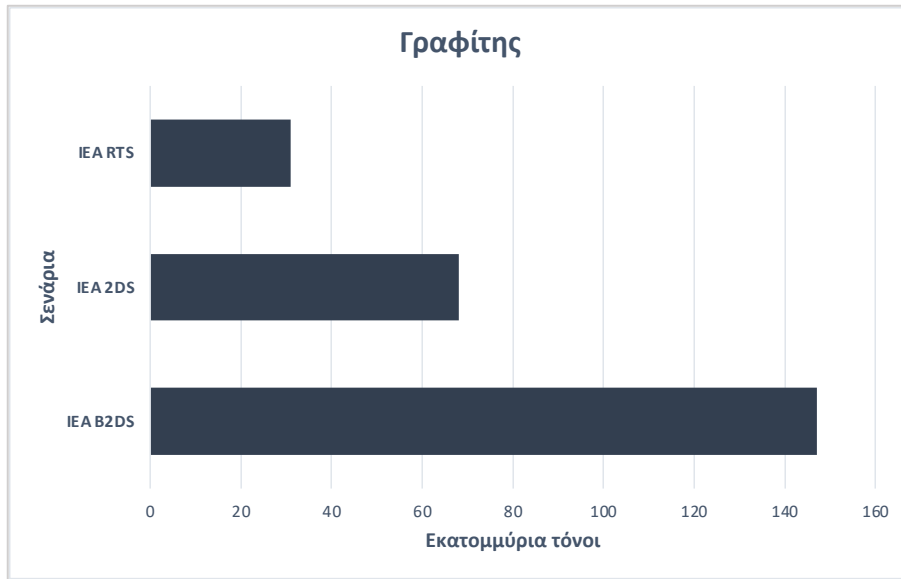


Γράφημα 20: Τομείς Ζήτησης C (Γραφίτη) στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στα STEPS & SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Η (International Energy Agency, 2021a) προβλέπει στο STEPS, ότι η ζήτηση του γραφίτη, το 2040, θα είναι αυξημένη κατά 7,5 φορές σε σχέση με το 2020, φτάνοντας τους 1.203.980 τόνους, ενώ στο SDS, η αύξηση θα είναι πάνω από 24,5 φορές συγκριτικά με το 2020, με την ποσότητα να φτάνει τους 3.848.747 τόνους. Επίσης, υπάρχει και σαφής διαφορά, της τάξης του 8%, στους τομείς που προβλέπεται να χρησιμοποιείται ο γραφίτης ανάμεσα στα 2 αυτά σενάρια. Το STEPS δίνει την αναλογία της χρήσης του γραφίτη για ηλεκτρικά οχήματα στο 85% και για μπαταρίες αποθήκευσης στο 15%, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για το SDS είναι 93% και 7%.

4.4.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Γραφίτη λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Στην ανάλυση που πραγματοποίησε η (World Bank, 2020) εκτιμήθηκαν οι ποσότητες της συνολικής ζήτησης γραφίτη για μπαταρίες, που χρησιμοποιούνται τόσο στην ηλεκτροκίνηση όσο στην αποθήκευση ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκαν τρία σενάρια της (International Energy Agency, 2017). Το σενάριο RTS – reference technology scenario –, το 2DS – 2 degree scenario – και το B2DS – beyond 2 degree scenario –, με βάση τα οποία έγιναν οι προβλέψεις. Το σενάριο RTS ήταν το πιο συντηρητικό στις προβλέψεις του, ενώ το B2DS το πιο φιλόδοξο στην υιοθέτηση της Πράσινης Οικονομίας και των πράσινων τεχνολογιών, οπότε και εκτιμήθηκαν πιο αυξημένες απαιτήσεις σε γραφίτη από τα άλλα δύο σενάρια. Τα αποτελέσματα των σεναρίων παρουσιάζονται στο Γράφημα 21. Η συνολική ζήτηση γραφίτη, μέχρι το 2050, διαμορφώνεται κοντά στους 31.000.000 τόνους στο RTS, στους 68.000.000 τόνους στο 2DS και στους 147.000.000 τόνους στο B2DS. Με αυτά τα αποτελέσματα γίνεται άλλη μια φορά αντιληπτό, πόσο μεγάλο είναι το εύρος των εκτιμήσεων που γίνονται με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν σήμερα, λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας σε παράγοντες όπως τις πολιτικές που θα ισχύουν, τις τεχνολογίες που θα επικρατήσουν στην αγορά κ.λπ.



Γράφημα 21: Συνολική ζήτηση C (Γραφίτη) για τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μέχρι το 2050, για διάφορα σενάρια [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (World Bank, 2020)].

Τέλος, στην ίδια μελέτη η (World Bank, 2020) πραγματοποιεί και μία πρόβλεψη για την πιο πιθανή ετήσια ζήτηση γραφίτη το 2050, για τις εφαρμογές της Πράσινης Οικονομίας, η οποία ανέρχεται στους 4.590.000 τόνους.

4.5. Πυρίτιο (Si)

4.5.1. Γενικά στοιχεία για το Πυρίτιο

Το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο ηλεκτροθετικό στοιχείο στον φλοιό της γης. Είναι ένα μεταλλοειδές με έντονη μεταλλική λάμψη και πολύ εύθραυστο. Το πυρίτιο είναι ημιαγωγός και η χημική του συμπεριφορά είναι παρόμοια με αυτή των μετάλλων. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του πυριτίου.

Πίνακας 9: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες πυριτίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

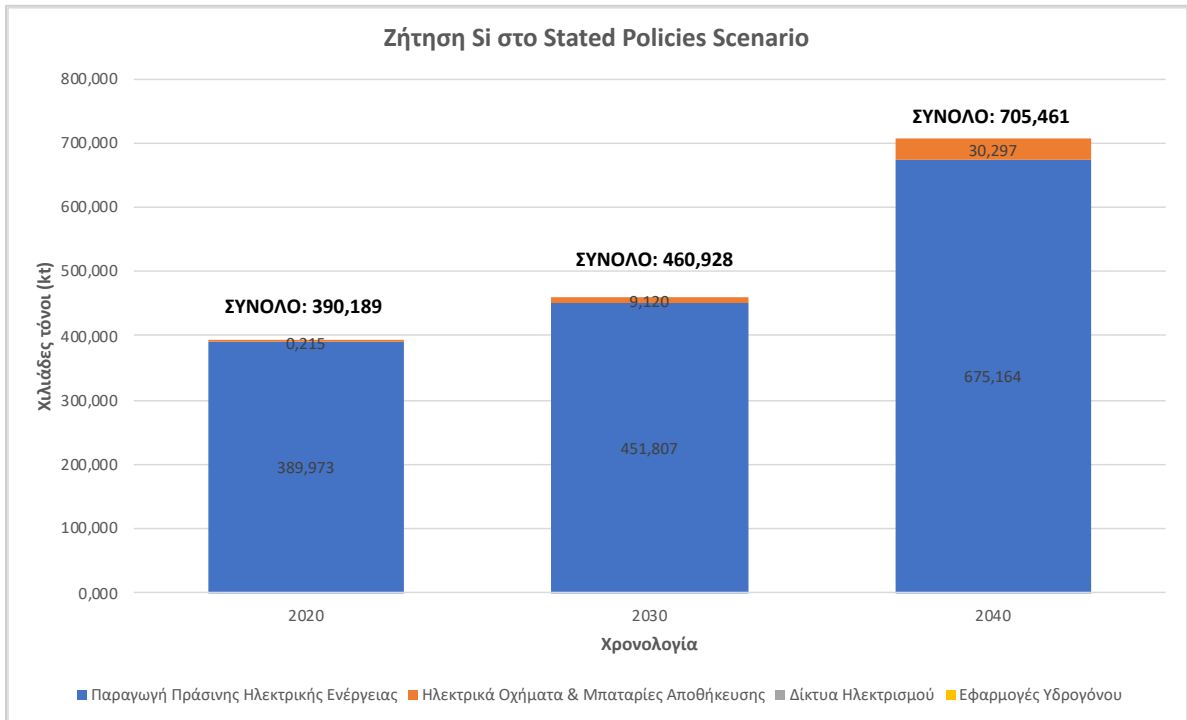
Σύμβολο	Si
Ατομικός Αριθμός	14
Σημείο Τήξης	1410°C
Σημείο Βρασμού	3265°C

Οι κύριες χρήσεις του πυριτίου μέχρι σήμερα είναι στην παραγωγή υαλικών, τσιμέντων, κεραμικών, ενώ είναι και σημαντικό συστατικό ορισμένων χαλύβων και πυρίμαχων υλικών. Επίσης, χρησιμοποιείται στην κατασκευή συσκευών ημιαγωγών για την χρήση σε τσιπ υπολογιστών, αλλά και στην κατασκευή φωτοβολταϊκών κελιών, για την παραγωγή ρεύματος από την ηλιακή ενέργεια (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

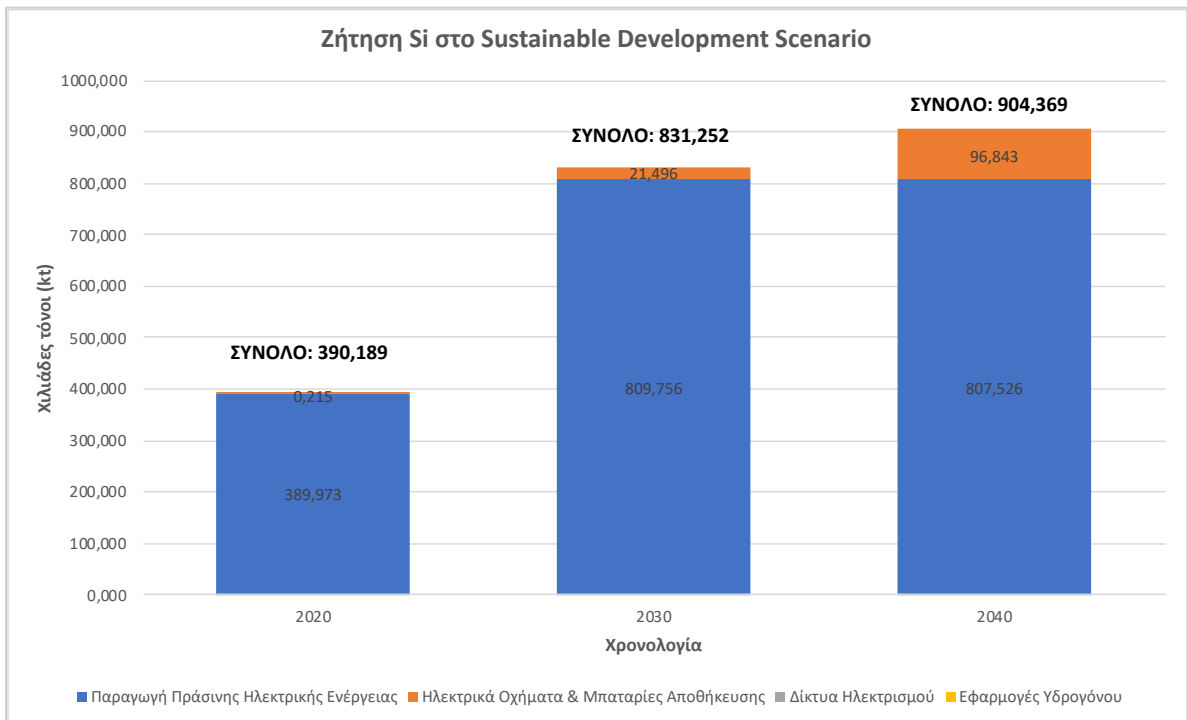
4.5.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Πυριτίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν πυρίτιο, είναι τα ηλιακά πάνελ των φωτοβολταϊκών και η παραγωγή μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας (International Energy Agency, 2021a).

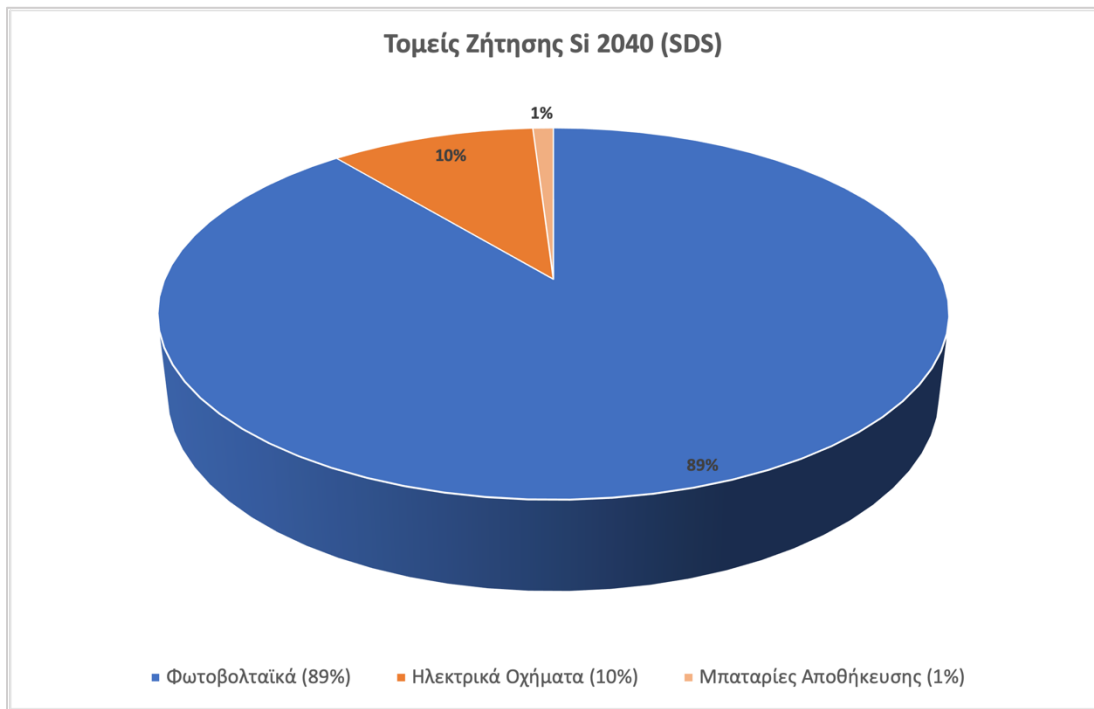
Στα Γραφήματα 22, 23 και 24 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του πυριτίου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 22: Ζήτηση Si στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 23: Ζήτηση Si στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 24: Τομείς Ζήτησης Si στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Το πυρίτιο, σε σχέση με τις άλλες Ο.Π.Υ. που εξετάστηκαν μέχρι στιγμής στην εργασία, δεν θα σημειώσει σημαντική αύξηση στη ζήτησή του τα επόμενα χρόνια λόγω των πράσινων τεχνολογιών. Ο κύριος τομέας ζήτησης του πυριτίου σε μια Πράσινη Οικονομία θα είναι τα ηλιακά φωτοβολταϊκά. Τα φωτοβολταϊκά, θα αντιστοιχούν στο 89% της ζήτησής του, το 2040, σύμφωνα με το SDS της (International Energy Agency, 2021a), με το 10% να αντιστοιχεί στην ηλεκτροκίνηση και το 1% στην αποθήκευση ενέργειας.

Το σημείο ενδιαφέροντος για το πυρίτιο είναι το πότε θα γίνει χρονικά το μέγιστο της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, που θα οδηγήσει στην αύξηση της ζήτησής του. Στο STEPS της (International Energy Agency, 2021a) το μέγιστο αυτό φαίνεται να γίνεται προς το 2040, με τη ζήτηση του πυριτίου για τα φωτοβολταϊκά εκείνη τη χρονιά, να ανέρχεται στους 451.807 τόνους. Από την άλλη, στο SDS το μέγιστο προβλέπεται νωρίτερα, κοντά στο 2030, διαμορφώνοντας τη ζήτηση πυριτίου εκείνη τη χρονιά στους 809.756 τόνους, σχεδόν 2 φορές πάνω, από την πρόβλεψη του STEPS, για τα φωτοβολταϊκά.

4.6. Χρώμιο (Cr)

4.6.1. Γενικά στοιχεία για το Χρώμιο

Το χρώμιο είναι ένα σκληρό μέταλλο, με γκρι-ασημί χρώμα, έχει έντονη μεταλλική λάμψη και μπορεί να γυαλιστεί πολύ. Το χρώμιο είναι ασταθές στο οξυγόνο και όταν βρεθεί σε επαφή μαζί του, σχηματίζει αμέσως ένα λεπτό στρώμα οξειδίου που είναι αδιαπέρατο από το οξυγόνο, καθιστώντας το ανοξείδωτο. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του χρωμίου.

Πίνακας 10: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες χρωμίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

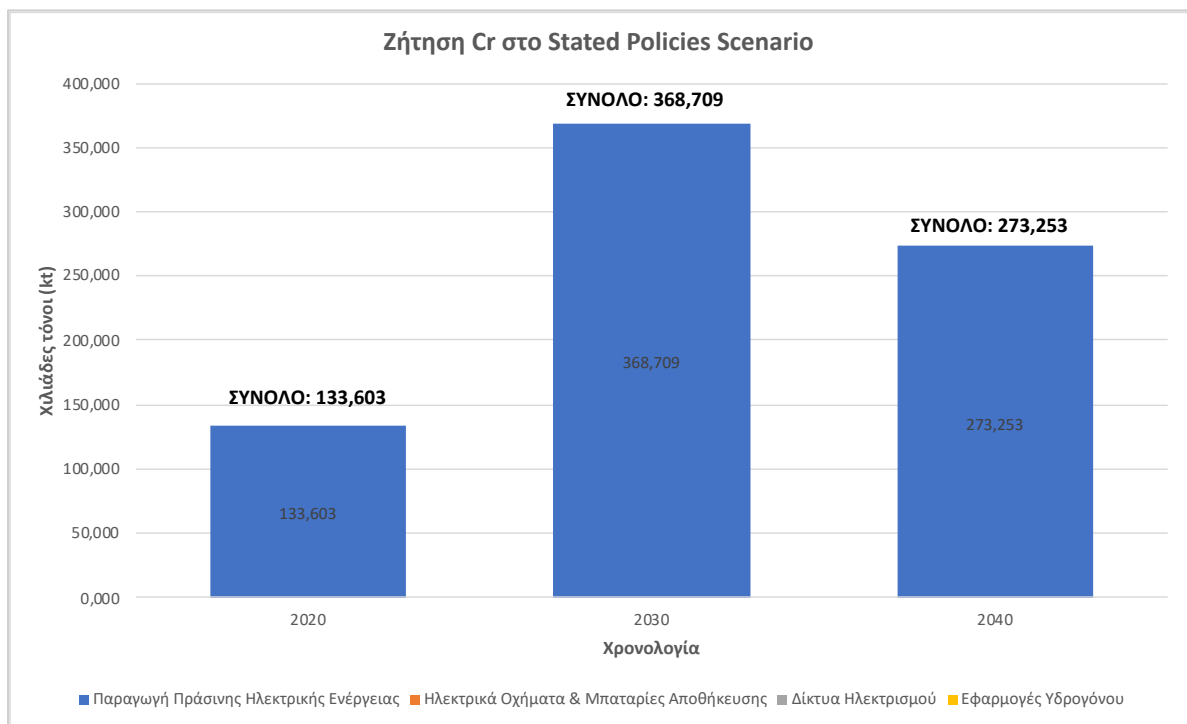
Σύμβολο	Cr
Ατομικός Αριθμός	24
Σημείο Τήξης	1907°C
Σημείο Βρασμού	2672°C

Οι πιο σημαντικές εφαρμογές του χρωμίου σήμερα είναι στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα, μη σιδηρούχων κραμάτων και στη διενέργεια επιμεταλλώσεων. Επίσης, χρησιμοποιείται για την παραγωγή χρωστικών, την κατασκευή καταλυτών και πυρίμαχων υλικών (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

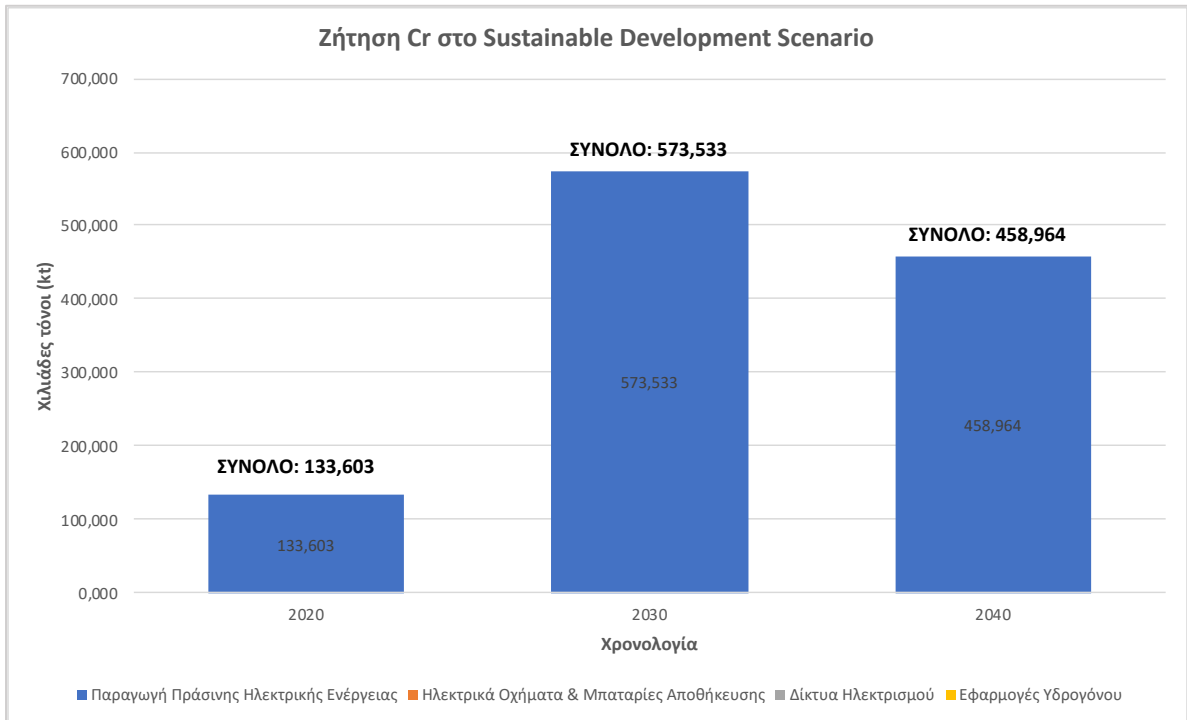
4.6.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χρωμίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν χρώμιο, είναι οι ανεμογεννήτριες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια (International Energy Agency, 2021a).

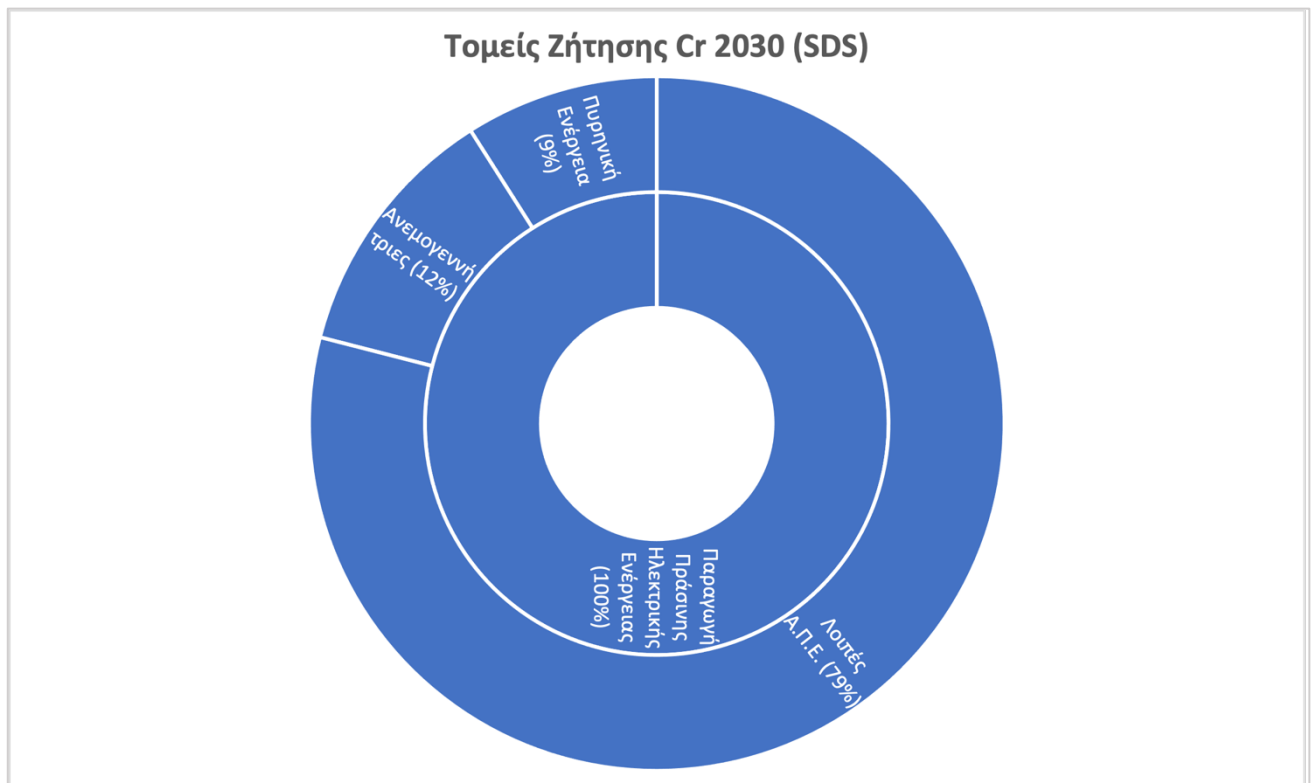
Στα Γραφήματα 25, 26 και 27 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του χρωμίου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 25: Ζήτηση Cr στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 26: Ζήτηση Cr στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



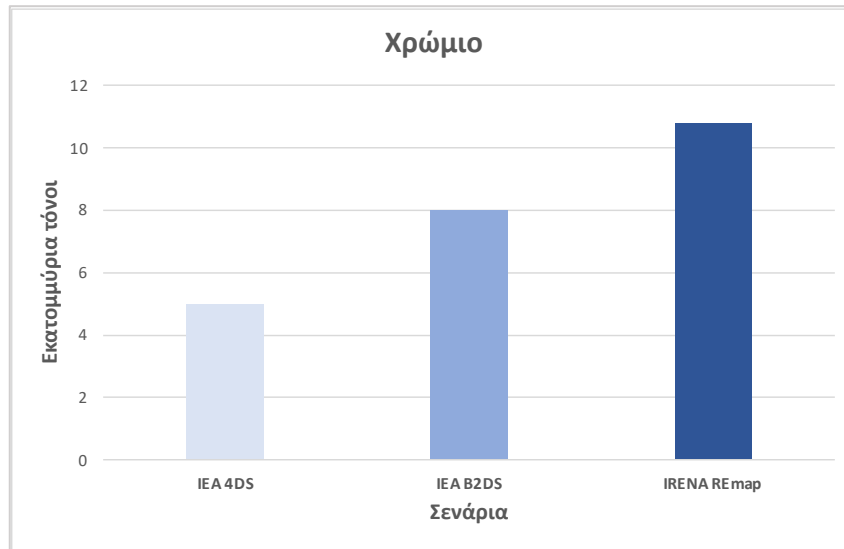
Γράφημα 27: Τομείς Ζήτησης Cr στην Πράσινη Οικονομία για το 2030 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Η (International Energy Agency, 2021a) προβλέπει ότι το 2030, θα κορυφωθεί η ζήτηση χρωμίου για τις πράσινες τεχνολογίες. Πιο αναλυτικά, με βάση το STEPS προβλέπει ότι η ετήσια ζήτηση χρωμίου, για το έτος 2030, θα είναι 368.709 τόνοι και με βάση το SDS 573.533 τόνοι. Όλη η

ζήτηση του χρωμίου, θα προκύπτει από ανάγκες για την παραγωγή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας.

4.6.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χρωμίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι προβλέψεις της ανάλυσης της (World Bank, 2020), για τη συνολική και την ετήσια ζήτηση χρωμίου. Στο Γράφημα 28 παρουσιάζεται η συνολική ζήτηση χρωμίου για πράσινες τεχνολογίες μέχρι το 2050.



Γράφημα 28: Συνολική ζήτηση Cr για πράσινες τεχνολογίες, μέχρι το 2050, για διάφορα σενάρια [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (World Bank, 2020)].

Στο σενάριο 4DS προβλέπεται συνολική ζήτηση της τάξεως των 5.000.000 τόνων. Στο BD2S η ζήτηση παρουσιάζεται αυξημένη, προσεγγίζοντας τους 8.000.000 τόνους και στο πιο αισιόδοξο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής Remap, αναμένεται η μεγαλύτερη ζήτηση, φτάνοντας τους 11.000.000 τόνους. Τέλος, η ετήσια ζήτηση χρωμίου, για το 2050, εκτιμάται στους 366.000 τόνους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι στην προηγούμενη έκθεση του 2017 (World Bank, 2017), η Παγκόσμια Τράπεζα προέβλεπε χαμηλότερη συνολική ζήτηση από ότι στην πιο πρόσφατη του 2020 (World Bank, 2020) που παρουσιάστηκε. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνεται αντιληπτό, ότι η απόκτηση επιπρόσθετης γνώσης και οι τεχνολογικές εξελίξεις αναβαθμίζουν το ρόλο και τη σημασία των Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση στην Πράσινη Οικονομία και υπογραμμίζεται ότι η εξορυκτική και η μεταλλουργική βιομηχανία, είναι απαραίτητοι κρίκοι της αλυσίδας για την επίτευξη των κλιματικών στόχων.

4.7. Μαγγάνιο (Mn)

4.7.1. Γενικά στοιχεία για το Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο είναι ένα σκληρό μέταλλο, με κυρίως γκρίζο χρώμα που ενίοτε έχει κάποιες ροζ αποχρώσεις. Είναι ένα χημικώς ενεργό στοιχείο, το οποίο οξειδώνεται εύκολα. Το μαγγάνιο αντιδρά με το νερό και οξειδώνεται (όπως ο σίδηρος), ενώ διαλύεται σε αραιά οξέα. Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του μαγγανίου.

Πίνακας 11: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες μαγγανίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

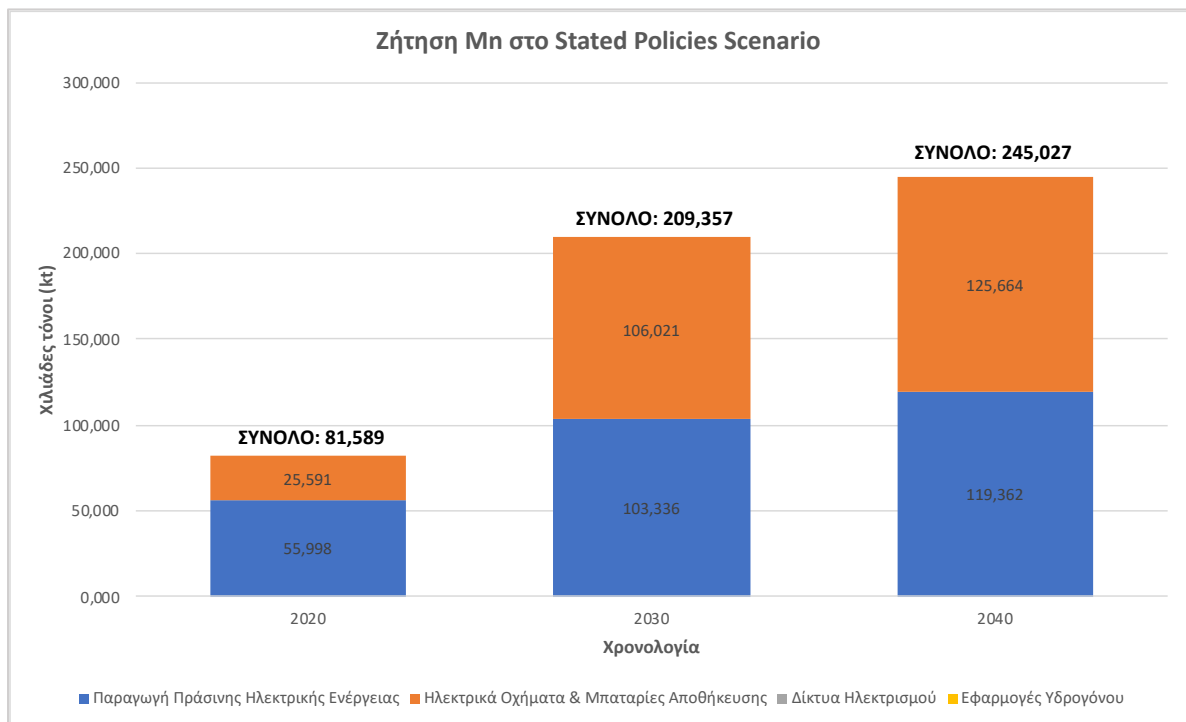
Σύμβολο	Mn
Ατομικός Αριθμός	25
Σημείο Τήξης	1247°C
Σημείο Βρασμού	2061°C

Το μαγγάνιο είναι απαραίτητο για την παραγωγή σιδήρου και χάλυβα, λόγω των καλών ιδιοτήτων που έχει στην αποθείωση. Οι τομείς της χαλυβουργίας και της σιδηρουργίας συνιστούν ένα μεγάλο μερίδιο της ζήτησης του μαγγανίου. Οι κορυφαίες τελικές χρήσεις των κραμάτων που παράγονται με τη χρήση μαγγανίου, είναι για κατασκευές και για εξαρτήματα μηχανημάτων. Το μαγγάνιο είναι επίσης βασικό συστατικό, ορισμένων ευρέως χρησιμοποιούμενων κραμάτων αλουμινίου και υπό τη μορφή οξειδίου, μπαταριών ξηρών κυψελών. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μη μεταλλουργικούς σκοπούς σε τομείς όπως τα φυτικά λιπάσματα, οι ζωοτροφές και οι χρωστικές (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

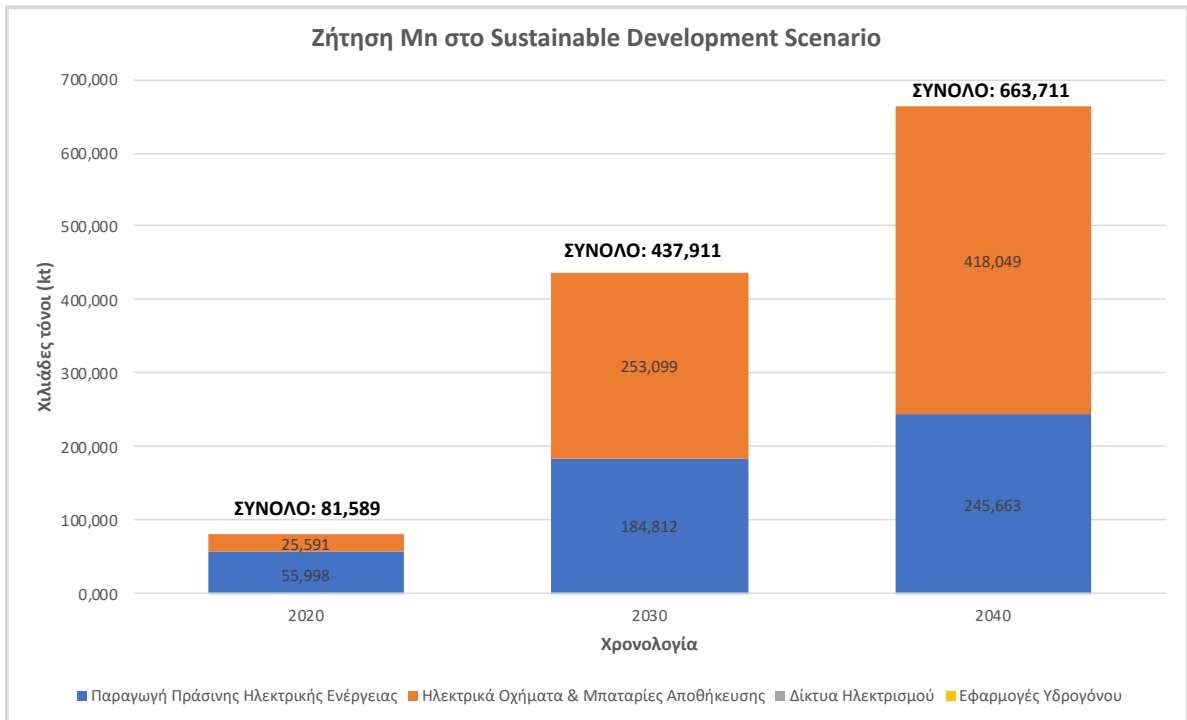
4.7.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μαγγανίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν μαγγάνιο, είναι οι ανεμογεννήτριες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια και η παραγωγή μπαταριών, διάφορων τύπων, για ηλεκτρικά οχήματα και αποθήκευση ενέργειας (International Energy Agency, 2021a).

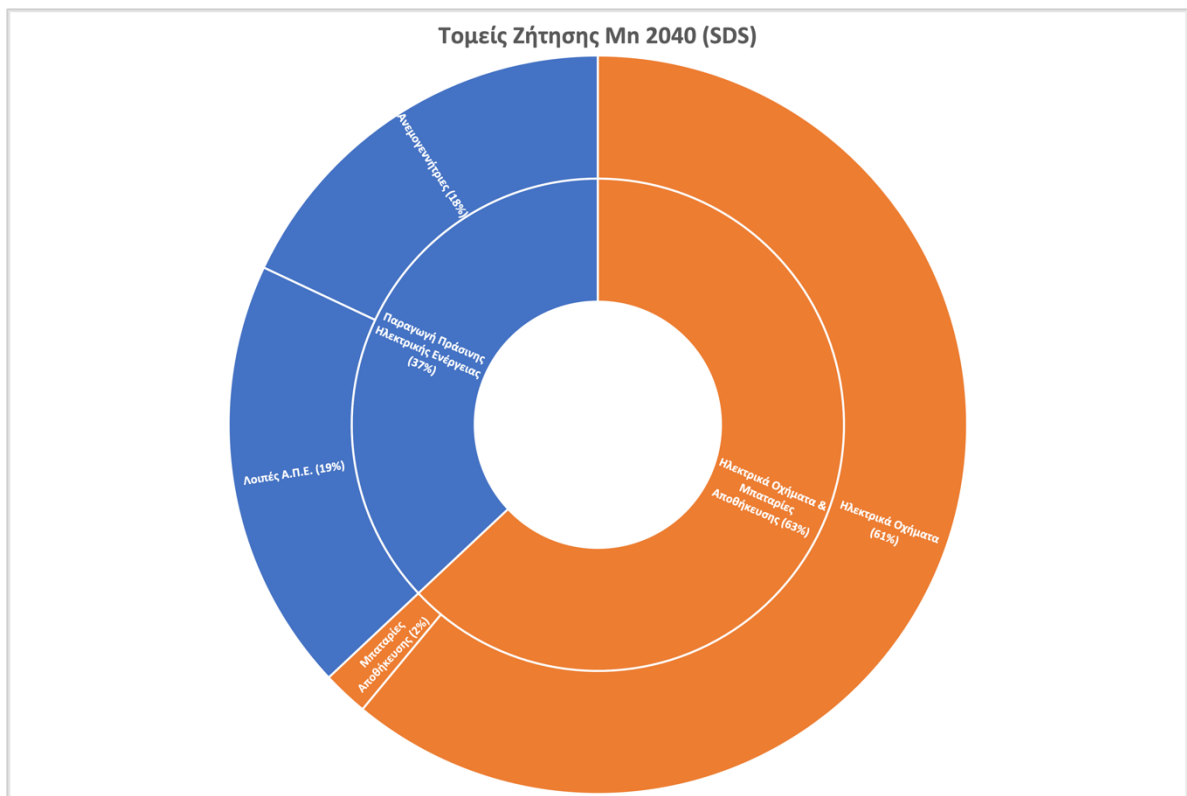
Στα Γραφήματα 29, 30 και 31 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του μαγγανίου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 29: Ζήτηση Mn στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 30: Ζήτηση Mn στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 31: Τομείς Ζήτησης Mn στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Η ετήσια ζήτηση μαγγανίου για το 2040, σύμφωνα με το SDS, θα είναι 663.711 τόνοι. Από αυτούς, το 63% αναμένεται να χρησιμοποιηθεί σε μπαταρίες, κυρίως στην ηλεκτροκίνηση, με ένα μικρό

ποσοστό να προορίζεται για μπαταρίες αποθήκευσης, ενώ το υπόλοιπο 37% θα αντιστοιχεί στη ζήτηση για παραγωγή πράσινης ενέργειας, τόσο από ανεμογεννήτριες, όσο και από άλλες Α.Π.Ε. Με βάση το STEPS, η ετήσια ζήτηση μαγγανίου το 2040, θα είναι μικρότερη και θα ανέρχεται στους 245.027 τόνους (International Energy Agency, 2021a).

4.7.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μαγγανίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Οι (Dominish, Florin, & Teske, 2019) υπολόγισαν τη συνολική ποσότητα μαγγανίου που απαιτείται για την επίτευξη του στόχου του περιορισμού της θέρμανσης του πλανήτη σε κάτω από 1,5°C, μέχρι το 2050 για διάφορα υποσενάρια. Το υποσενάριο στο οποίο παρατηρήθηκε η μέγιστη ζήτηση μαγγανίου, προέβλεπε συνολική ζήτηση 98.446.129 τόνων, ενώ αυτό στο οποίο παρατηρήθηκε η ελάχιστη ζήτηση, προέβλεπε 31.384.886 τόνους, ορίζοντας έτσι το συνολικό εύρος της αναμενόμενης ζήτησης μαγγανίου μέχρι το 2050, από 30.000.000 μέχρι 100.000.000 τόνους περίπου.

Πίνακας 12: Στοιχεία ζήτησης Mn για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].

Mn	Υποσενάριο 1,5°C μέγιστης ζήτησης	Υποσενάριο 1,5°C ελάχιστης ζήτησης
Συνολική Ζήτηση (2018-2050)	98.446.129 τόνοι	31.384.886 τόνοι
Ποσοστό επί των βεβαιωμένων αποθεμάτων (USGS 2018)	14%	5%
Ποσοστό επί των πιθανών αποθεμάτων (USGS 2018)	-	-
Μέγιστη ετήσια ζήτηση	6.438.599 τόνοι	2.447.220 τόνοι
Έτος μέγιστης ζήτησης	2050	2031

Η (World Bank, 2020) προσομοίωσε και ποσοτικοποίησε την αλλαγή που θα υπάρχει στη ζήτηση του μαγγανίου, ανάλογα με τον τύπο των μπαταριών ιόντων λιθίου που θα επικρατήσει στην αγορά. Παρόμοια προσομοίωση με αυτή, περιγράφεται για το νικέλιο στην Ενότητα 4.1.3. Αναλύθηκαν δυο περιπτώσεις-εναλλακτικά σενάρια, τα οποία συνέκριναν δυο διαφορετικούς τύπους μπαταρίας, με μία «μέση» μπαταρία ιόντων λιθίου. Στην πρώτη περίπτωση έγινε η υπόθεση ότι όλες οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που θα χρησιμοποιούνται, θα είναι του τύπου NMC811, ενώ στη δεύτερη ότι όλες θα είναι του τύπου NMC111. Στην περίπτωση που όλες οι μπαταρίες ήταν τύπου NMC111, θα απαιτούνταν περίπου το 196% του μαγγανίου που απαιτείται σε μία μέση μπαταρία ιόντων λιθίου, ενώ αν ήταν όλες τύπου NMC811, θα απαιτούνταν περίπου 44% λιγότερο μαγγάνιο. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται αντιληπτή η εξάρτηση της ζήτησης των Ο.Π.Υ. που εξετάζονται, από τις τεχνολογίες που θα επικρατήσουν στην αγορά. Τέλος, η ετήσια ζήτηση του μαγγανίου από πράσινες τεχνολογίες για το 2050, προσδιορίστηκε στους 694.000 τόνους.

4.8. Μολυβδαίνιο (Mo)

4.8.1. Γενικά στοιχεία για το Μολυβδαίνιο

Το μολυβδαίνιο είναι ένα μέταλλο ασημί-λευκού χρώματος και είναι πολύ σκληρό. Έχει ένα από τα υψηλότερα σημεία τήξης όλων των καθαρών στοιχείων, ενώ επίσης έχει και υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του μολυβδαίνιου.

Πίνακας 13: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες μολυβδαίνιου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

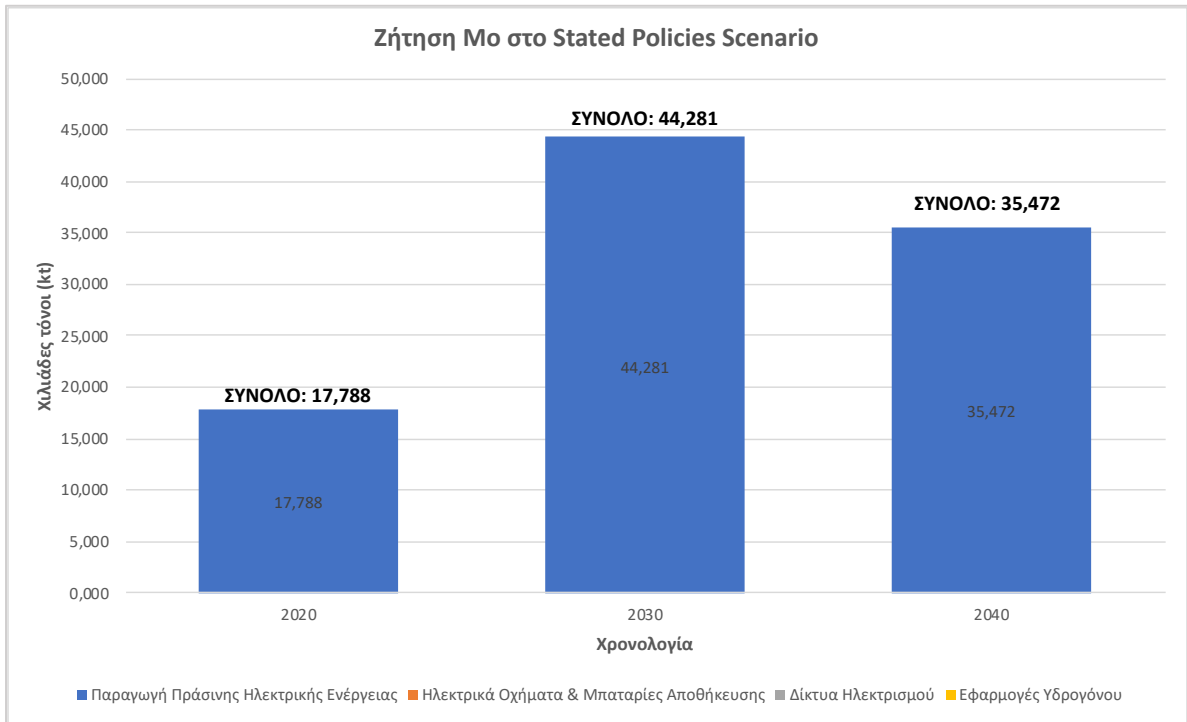
Σύμβολο	Mo
Ατομικός Αριθμός	42
Σημείο Τήξης	2610°C
Σημείο Βρασμού	4825°C

Το μολυβδαίνιο χρησιμοποιείται κυρίως ως κραματική προσθήκη σε χάλυβες, χυτοσιδήρους και υπερκράματα, για την ενίσχυση της αντοχής, της σκληρότητας, της αντοχής σε φθορά και διάβρωση, συχνά σε συνδυασμό με άλλα μέταλλα (όπως το βολφράμιο, το νικέλιο κ.ά.). Καθώς είναι ανθεκτικό στις αυξημένες θερμοκρασίες, έχει βρει εφαρμογή σε ηλεκτρόδια, ηλεκτρικά θερμαινόμενους υαλοπίνακες και προθερμαντήρες, αλλά και σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές εν γένει. Το μέταλλο αυτό, χρησιμοποιείται επίσης και σε εφαρμογές πυρηνικής ενέργειας. Επειδή το μολυβδαίνιο έχει πολύ καλές ιδιότητες, λίγες είναι οι χρήσεις του για τις οποίες υπάρχουν υποκατάστατα υλικά αποδεκτής ποιότητας (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

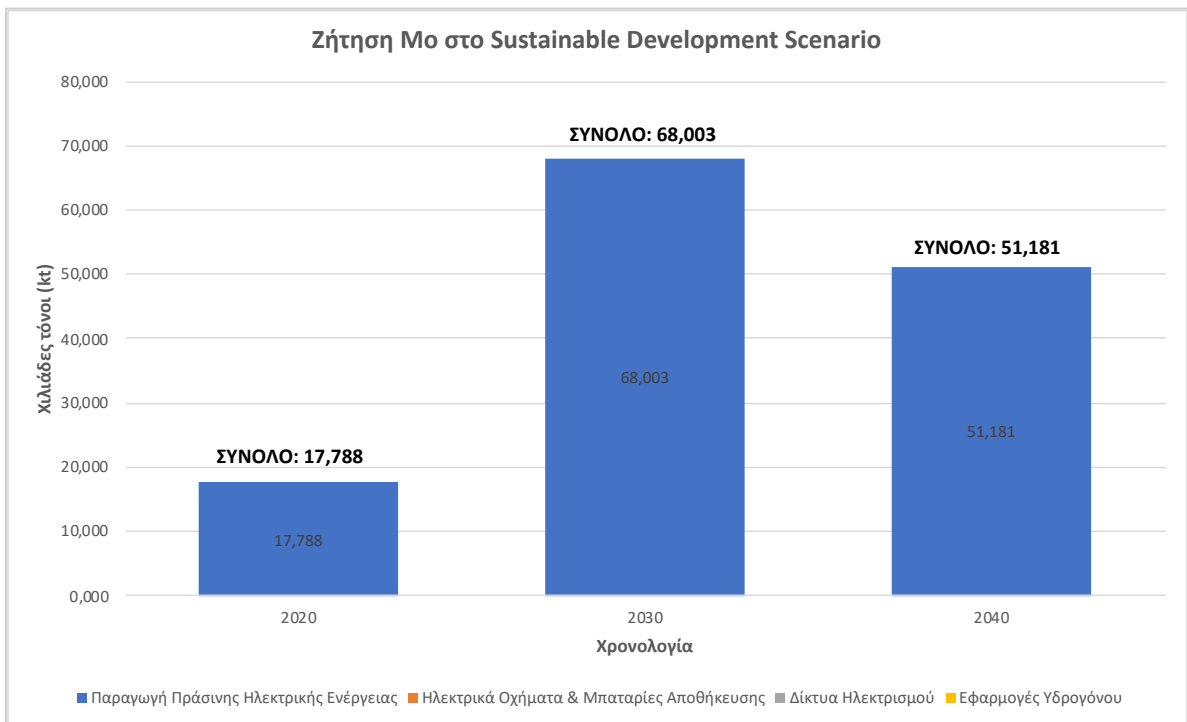
4.8.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μολυβδαίνιου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν μολυβδαίνιο, είναι οι ανεμογεννήτριες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας και η πυρηνική ενέργεια (International Energy Agency, 2021a).

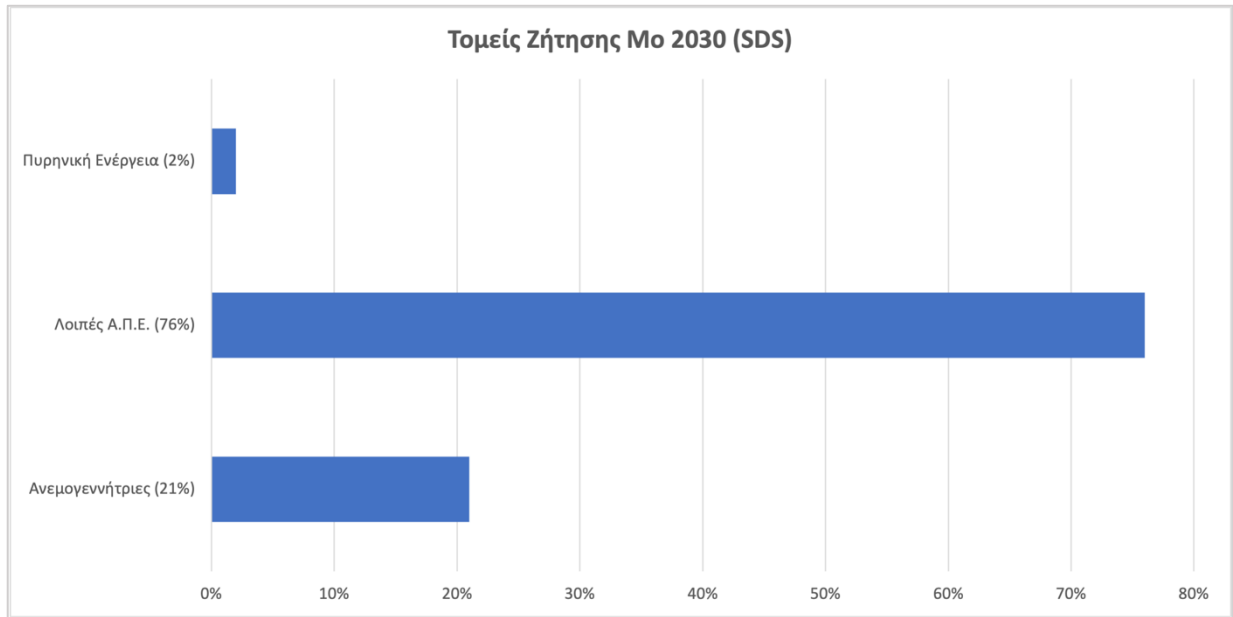
Στα Γραφήματα 32, 33 και 34 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του μολυβδαίνιου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 32: Ζήτηση Μο στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 33: Ζήτηση Μο στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

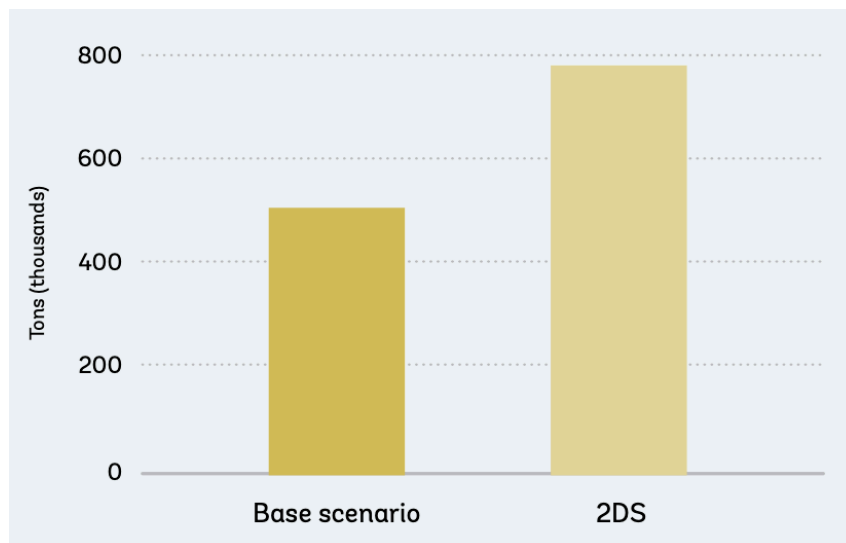


Γράφημα 34: Τομείς Ζήτησης Μο στην Πράσινη Οικονομία για το 2030 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Η (International Energy Agency, 2021a) προβλέπει ότι η ετήσια ζήτηση μολυβδαινίου θα είναι μεγαλύτερη το 2030 από το 2040, τόσο στο STEPS, όσο και στο SDS. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπει ότι η ετήσια ζήτηση για μολυβδαίνιο, το 2030, θα είναι 44.281 τόνοι στο σενάριο STEPS και 68.003 τόνοι στο σενάριο SDS. Οι κύριοι τομείς ζήτησης του μολυβδαινίου θα είναι οι ανεμογεννήτριες (21%), η πυρηνική ενέργεια (2%) και λοιπές Α.Π.Ε. (76%).

4.8.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μολυβδαινίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Στην Εικόνα 11 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποίησε η Παγκόσμια Τράπεζα το 2020 (World Bank, 2020).



Εικόνα 11: Συνολική ζήτηση Μο για Πράσινες τεχνολογίες μέχρι το 2050, για το Base και το 2 Degree Scenario [Πηγή: (World Bank, 2020)].

Τα αποτελέσματα προβλέπουν στο βασικό σενάριο μία συνολική ζήτηση μολυβδαινίου της τάξης των 500.000 τόνων, που ανέρχεται κοντά στους 800.000, αν επιβεβαιωθεί το φιλόδοξο σενάριο 2DS. Επιπροσθέτως, όσον αφορά την ετήσια ζήτηση μολυβδαινίου για το 2050, αυτή εκτιμάται σε 33.000 τόνους. Είναι χαρακτηριστικό και γίνεται εμφανές για άλλη μια φορά, ότι όσο πιο φιλόδοξο είναι το σενάριο σχετικά με τους κλιματικούς στόχους, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι απαιτήσεις σε Ο.Π.Υ. Σε αυτό συνηγορούν για την περίπτωση του μολυβδαινίου, τόσο τα δεδομένα από την (International Energy Agency, 2021a), όσο και από την (World Bank, 2020).

4.9. Ψευδάργυρος (Zn)

4.9.1. Γενικά στοιχεία για τον Ψευδάργυρο

Ο ψευδάργυρος είναι ένα ασημί-λευκό μέταλλο με μπλε απόχρωση. Είναι ένα μέταλλο εύθραυστο και κρυσταλλικό σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά γίνεται ελατό και όλκιμο όταν θερμαίνεται μεταξύ 110°C και 150°C. Είναι ένα αρκετά δραστικό μέταλλο, που θα συνδυαστεί με οξυγόνο και άλλα μη-μέταλλα και θα αντιδράσει με αραιά οξέα για να απελευθερώσει υδρογόνο. Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ψευδαργύρου.

Πίνακας 14: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες ψευδαργύρου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

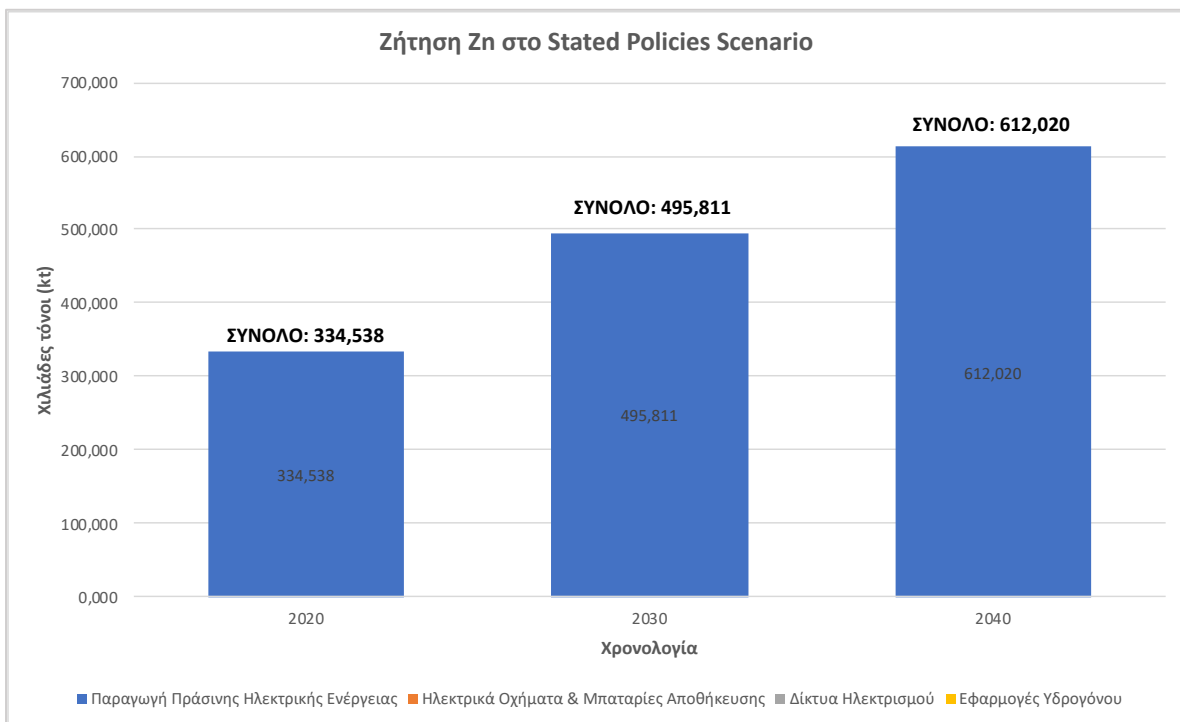
Σύμβολο	Zn
Ατομικός Αριθμός	30
Σημείο Τήξης	420°C
Σημείο Βρασμού	907°C

Το εύρος των χρήσεων του ψευδαργύρου εκτείνεται από μεταλλικά προϊόντα, έως καουτσούκ και φάρμακα. Περίπου το 75% του ψευδαργύρου που καταναλώνεται ως μέταλλο, χρησιμοποιείται κυρίως ως επίστρωση για την προστασία του σιδήρου και του χάλυβα από τη διάβρωση (γαλβανισμένο μέταλλο) και ως κραματικό στοιχείο για την παρασκευή διάφορων κραμάτων. Το υπόλοιπο 25% χρησιμοποιείται με τη μορφή των ενώσεων του ψευδαργύρου, κυρίως από τις βιομηχανίες χημικών, καουτσούκ, βαφών και γεωργικών προϊόντων (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

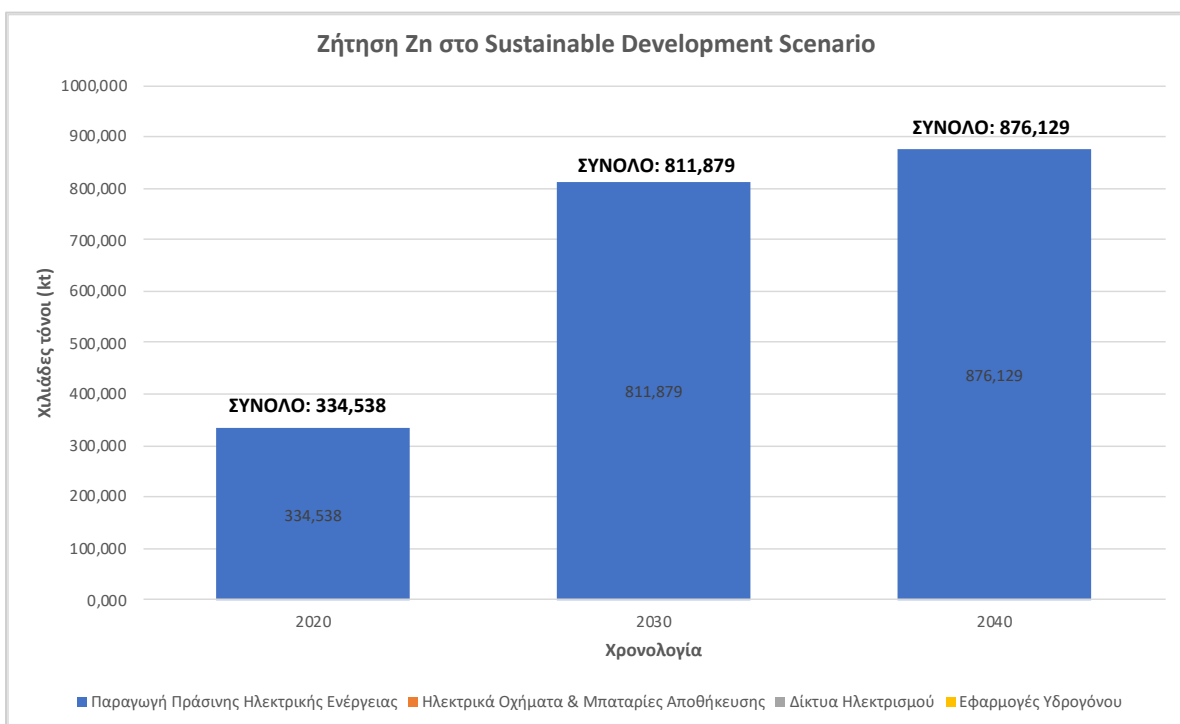
4.9.2 .Προβλεπόμενη Ζήτηση Ψευδαργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν ψευδάργυρο, είναι τα ηλιακά πάνελ των φωτοβολταϊκών, οι ανεμογεννήτριες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η χρήση βιομάζας ως καυσίμου και η συμπτυκνωμένη ηλιακή ενέργεια (International Energy Agency, 2021a).

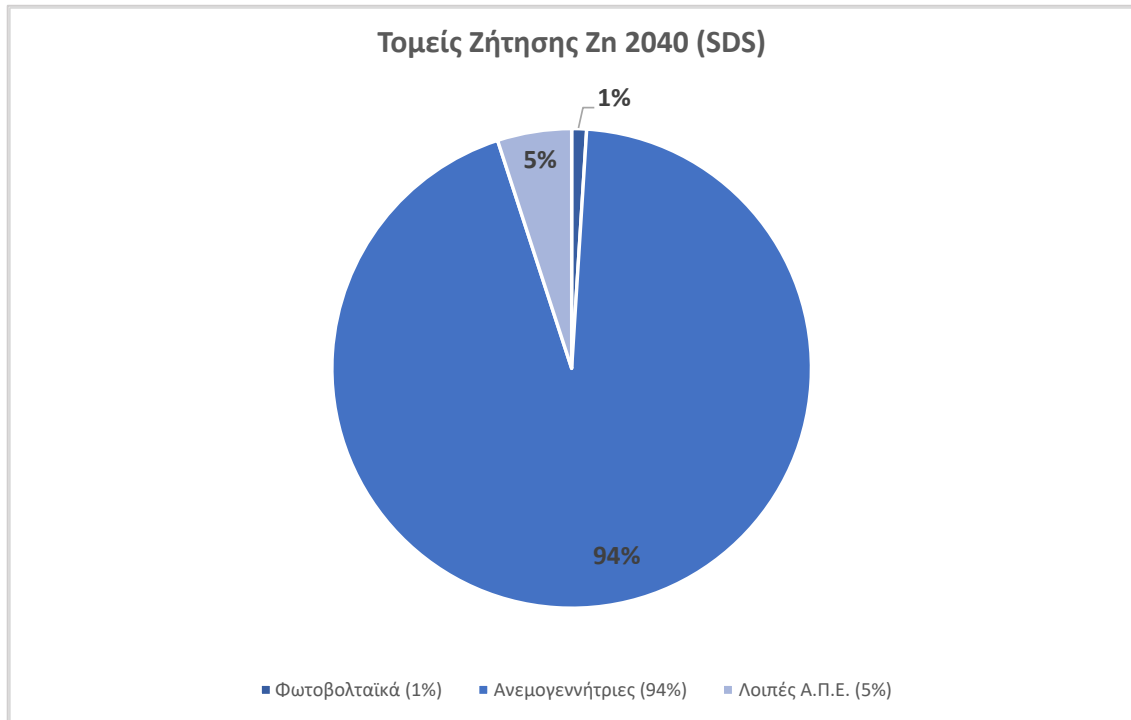
Στα Γραφήματα 35, 36 και 37 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του ψευδαργύρου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 35: Ζήτηση Zn στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 36: Ζήτηση Zn στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

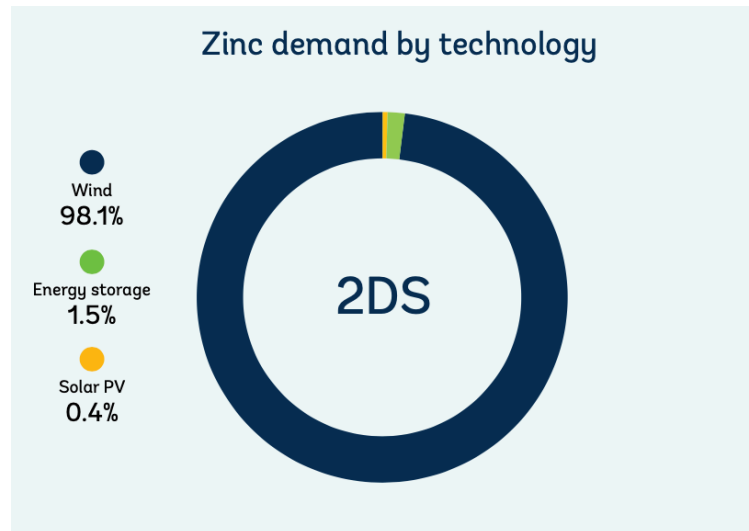


Γράφημα 37: Τομείς Ζήτησης Zn στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Με βάση το SDS, οι τομείς ζήτησης του ψευδαργύρου για το 2040 θα είναι οι ανεμογεννήτριες με 94%, τα φωτοβολταϊκά με 1 % και λοιπές Α.Π.Ε. με 5%. Για την ίδια χρονιά, το σενάριο αυτό προβλέπει απαιτούμενη ποσότητα σε ψευδάργυρο 876.129 τόνων, ενώ για το STEPS η πρόβλεψη είναι 612.020 τόνοι (International Energy Agency, 2021a).

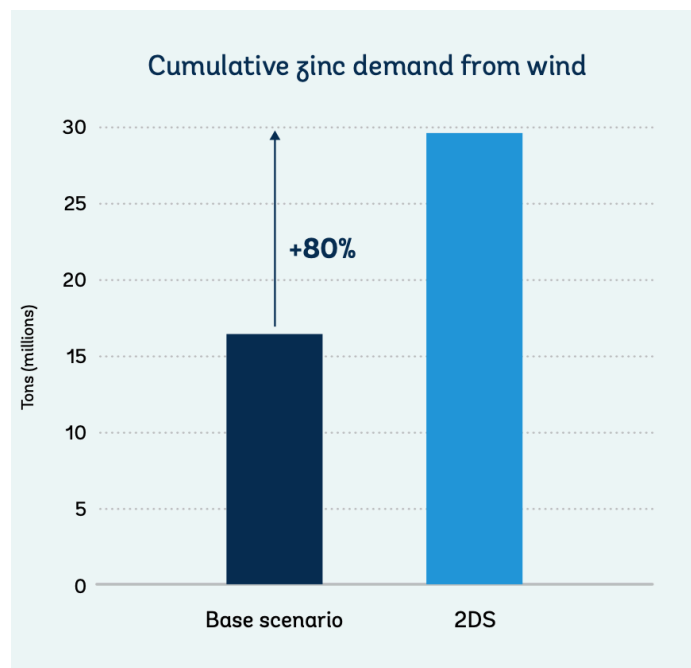
4.9.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Ψευδαργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Σύμφωνα με τη μελέτη της (World Bank, 2020) οι τομείς ζήτησης του ψευδαργύρου για τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 12. Τα αποτελέσματα δείχνουν σχεδόν πλήρη συμφωνία με αυτά του Γραφήματος 37 της (International Energy Agency, 2021a), αναγνωρίζοντας τις ανεμογεννήτριες ως τον κυρίαρχο τομέα ζήτησης ψευδαργύρου.



Εικόνα 12: Τομείς ζήτησης Zn, ανά τεχνολογία της Πράσινης Οικονομίας στο 2DS [Πηγή: (World Bank, 2020)].

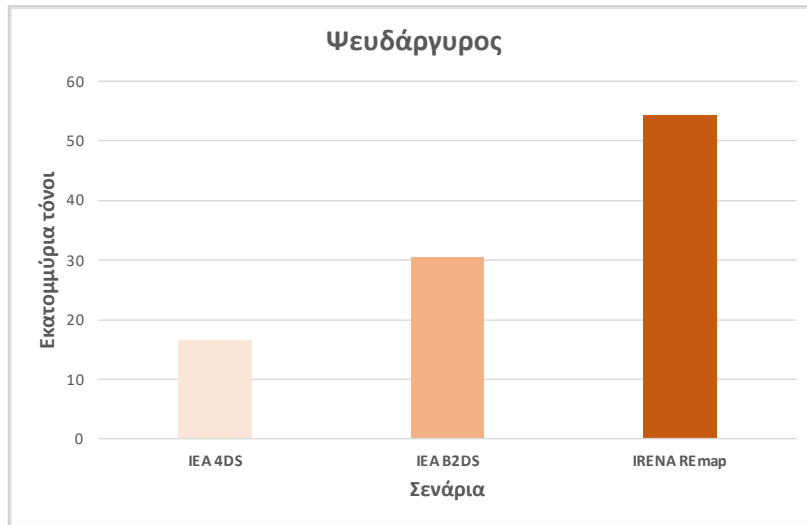
Η συνολική ζήτηση του ψευδαργύρου, μέχρι το 2050, για ανεμογεννήτριες αναμένεται να κυμανθεί από 15.000.000 έως 30.000.000 τόνους περίπου, αναλόγως το σενάριο που θα επικρατήσει, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 13. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με την επιβεβαίωση του 2DS, η ζήτηση ψευδαργύρου για τις αιολικές τεχνολογίες θα είναι κατά 80% αυξημένη, σε σχέση με το βασικό σενάριο.



Εικόνα 13: Συνολική ζήτηση Zn μέχρι το 2050, από αιολικές τεχνολογίες στο Base και το 2 Degree Scenario [Πηγή: (World Bank, 2020)].

Στο Γράφημα 38 παρουσιάζεται η συνολική ζήτηση ψευδαργύρου, για πράσινες τεχνολογίες, μη λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση για τις τεχνολογίες αποθήκευσης. Είναι χαρακτηριστικό, πως αναλόγως με το σενάριο που θα επικρατήσει, θα επηρεαστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό η αναμενόμενη ζήτηση. Αναλυτικότερα, με την πιθανή επικράτηση του πιο φιλόδοξου σεναρίου που παρουσιάζεται στο Γράφημα 38, του REmap της (International Renewable Energy Agency,

2019), η ζήτηση του ψευδαργύρου είναι 5 φορές υψηλότερη από ότι με την επικράτηση ενός πιο συντηρητικού σεναρίου, όπως το 4DS της (International Energy Agency, 2016).



Γράφημα 38: Συνολική ζήτηση Zn για πράσινες τεχνολογίες, (εκτός των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας) μέχρι το 2050, για διάφορα σενάρια [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (World Bank, 2020)].

4.10. Άργυρος (Ag)

4.10.1. Γενικά στοιχεία για τον Άργυρο

Ο άργυρος είναι ένα ελατό και πολύ όλκιμο μέταλλο. Ο καθαρός άργυρος έχει το πιο λευκό χρώμα από όλα τα μέταλλα, την υψηλότερη οπτική ανακλαστικότητα και είναι εξαιρετικός αγωγός θερμότητας και ηλεκτρισμού. Μάλιστα, έχει την υψηλότερη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα από όλα τα μέταλλα. Δεν είναι χημικώς ενεργό μέταλλο, αλλά προσβάλλεται από νιτρικό οξύ και από θερμό συμπυκνωμένο θειικό οξύ. Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αργύρου.

Πίνακας 15: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες αργύρου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

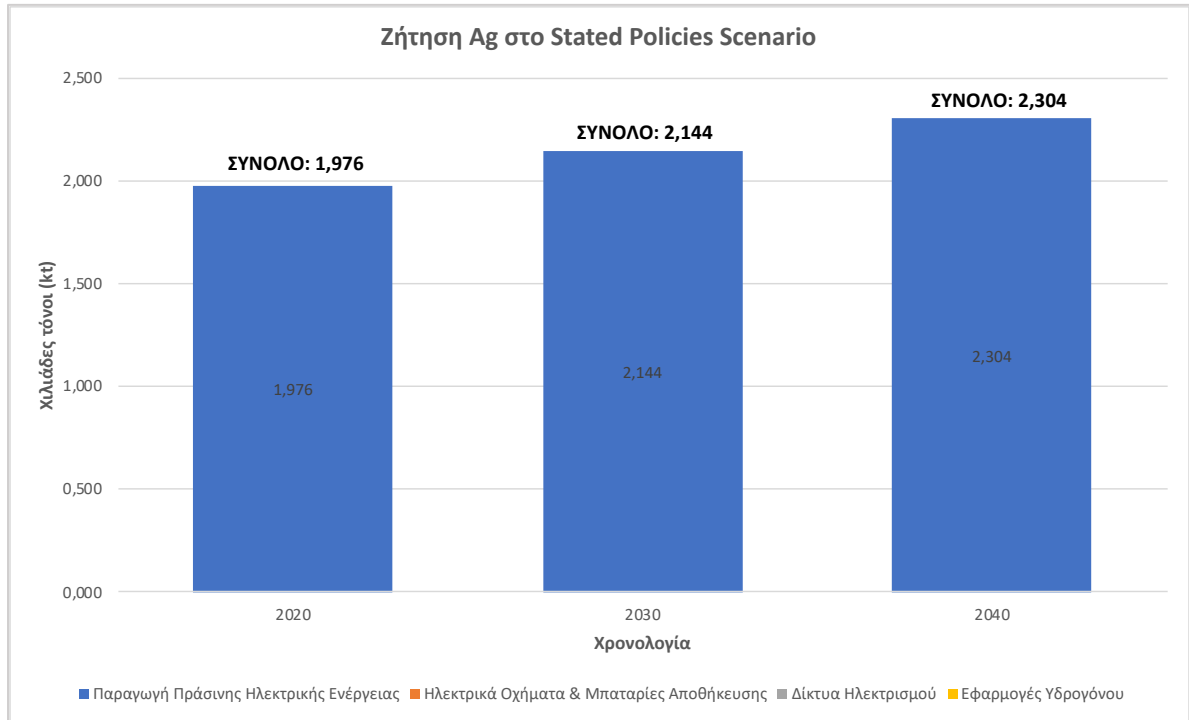
Σύμβολο	Ag
Ατομικός Αριθμός	47
Σημείο Τήξης	962°C
Σημείο Βρασμού	2212°C

Ο άργυρος χρησιμοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια, ως πολύτιμο μέταλλο και ως βάση νομισματικών και εμπορικών συστημάτων. Τα αλογονίδια του αργύρου είναι φωτοευαίσθητα, οπότε έχουν εκτεταμένη χρήση στη βιομηχανία της φωτογραφίας, που είναι μία από τις κυριότερες πηγές κατανάλωσης αργύρου. Οι πολύ καλές του ιδιότητες (όπως, η ολκιμότητα, η θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, κ.λπ.) το καθιστούν κατάλληλο για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές και όχι μόνο, όπως τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα, οι συσκευές οικιακής χρήσης, οι μπαταρίες ψευδαργύρου μακράς διάρκειας, η παραγωγή καθρεπτών, κοσμημάτων, ακόμα και ως καταλύτη σε αντιδράσεις οξείδωσης (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

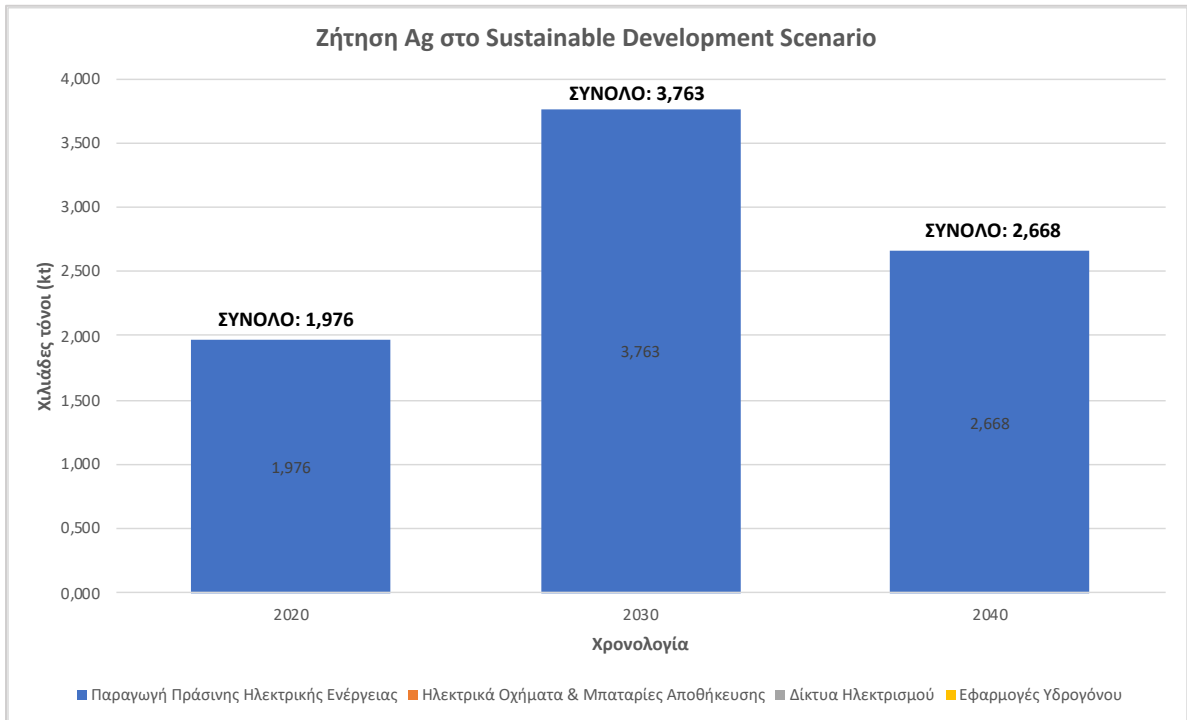
4.10.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Αργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν άργυρο, είναι τα ηλιακά πάνελ των φωτοβολταϊκών, η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια και η πυρηνική ενέργεια (International Energy Agency, 2021a).

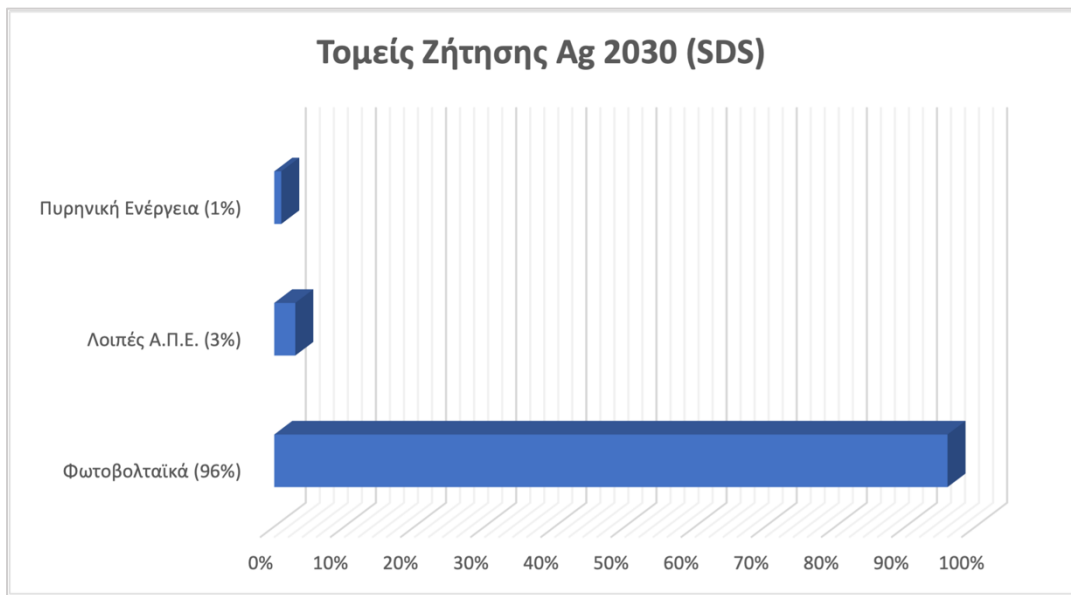
Στα Γραφήματα 39, 40 και 41 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του αργύρου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 39: Ζήτηση Ag στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 40: Ζήτηση Ag στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

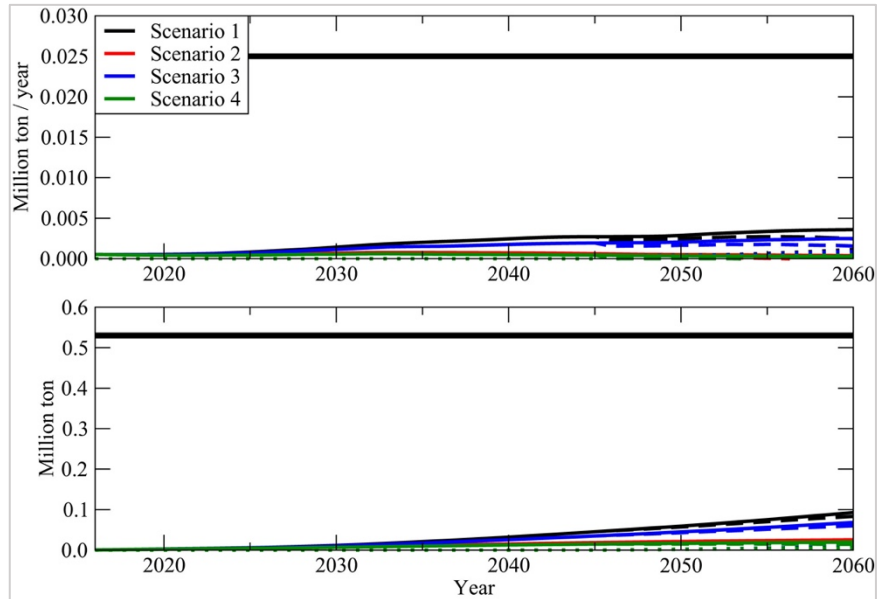


Γράφημα 41: Τομείς Ζήτησης Ag στην Πράσινη Οικονομία για το 2030 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Ο κυριότερος τομέας ζήτησης αργύρου είναι τα ηλιακά φωτοβολταϊκά, αντιπροσωπεύοντας το 96% της συνολικής ζήτησής του, για το 2030, σύμφωνα με το SDS. Η (International Energy Agency, 2021a) προβλέπει ετήσια ζήτηση για άργυρο, το 2030, 2.144 τόνων με βάση το STEPS και 3.763 τόνων με βάση το SDS, αντίστοιχα.

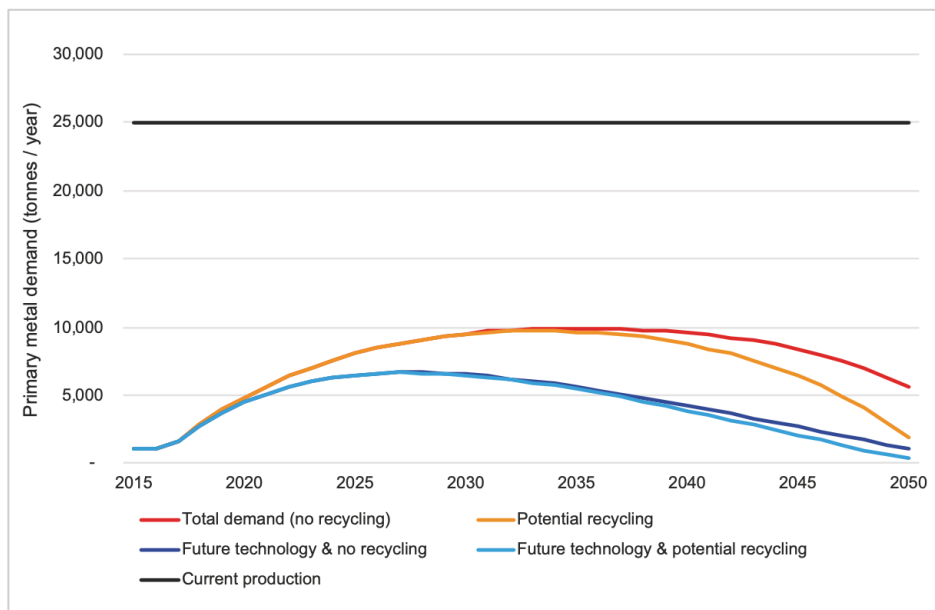
4.10.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Αργύρου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Σύμφωνα με την ανάλυση των (Månberger & Stenqvist, 2018) η ετήσια ζήτηση αργύρου δεν θα παρουσιάσει ιδιαίτερες μεταβολές από το 2040 και μετά και θα κυμανθεί σε περίπου 5.000 τόνους ανά έτος. Επιπροσθέτως, με βάση την Εικόνα 14, γίνεται αντιληπτό ότι δεν προβλέπεται να υπάρξει πρόβλημα εφοδιασμού, καθώς κάθε έτος η ετήσια ζήτηση είναι κατά πολύ χαμηλότερη της ετήσιας παραγωγής. Αλλά και σε μεγαλύτερη κλίμακα, δεν αναμένεται η αθροιστική ζήτηση αργύρου για τις πράσινες τεχνολογίες να ξεπεράσει την ποσότητα των βεβαιωμένων αποθεμάτων.

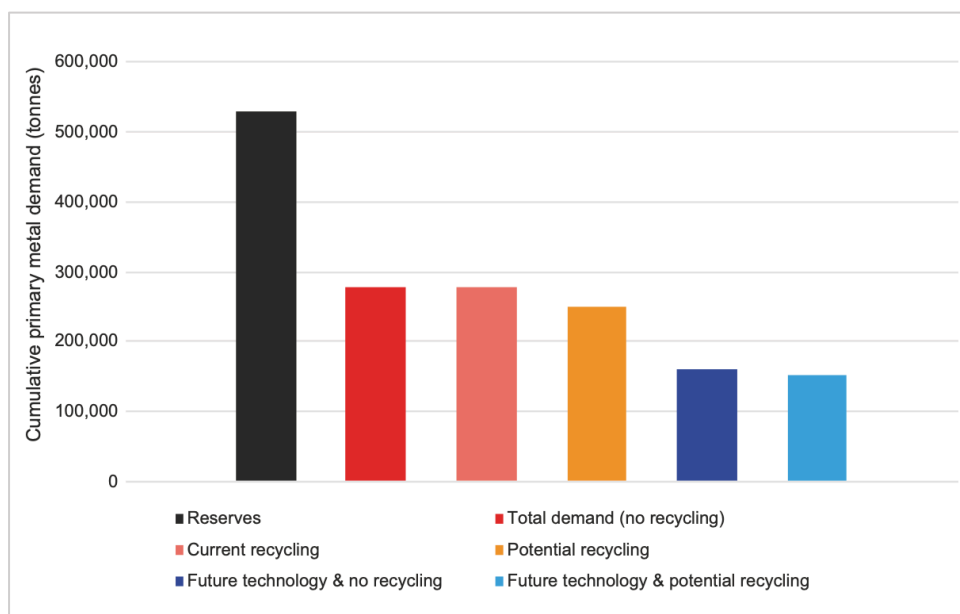


Εικόνα 14: Ετήσια και συνολική ζήτηση Ag με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Η μελέτη των (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019) (Εικόνα 15) παρουσιάζει μια διαφορετική κατάσταση για την πορεία της ζήτησης, από ότι παρουσίασε η προηγούμενη μελέτη. Αρχικά, σε ετήσια βάση οι ποσότητες μετάλλου που απαιτούνται για τα φωτοβολταϊκά (96% της συνολικής ζήτησης αργύρου), είναι μεγαλύτερες σε όλα τα σενάρια, ενώ η πιο σημαντική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η ετήσια ζήτηση προβλέπεται να μεγιστοποιηθεί την περίοδο του 2030, συνεχίζοντας με τους ίδιους ρυθμούς για μια δεκαετία σχεδόν, προτού αρχίσει να φθίνει. Η πρόβλεψη της μεγιστοποίησης της ζήτησης το 2030 (με ετήσια ζήτηση 10.000 τόνων), έρχεται και σε συμφωνία με τα δεδομένα της (International Energy Agency, 2021a), ωστόσο είναι διαφορετική όσον αφορά στην ποσότητα του μετάλλου που θα χρειαστεί [η (International Energy Agency, 2021a) προβλέπει ζήτηση της τάξης των 4.000 τόνων περίπου].



Εικόνα 15: Ετήσια πρωτογενής ζήτηση Ag για ηλιακά φωτοβολταϊκά με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].



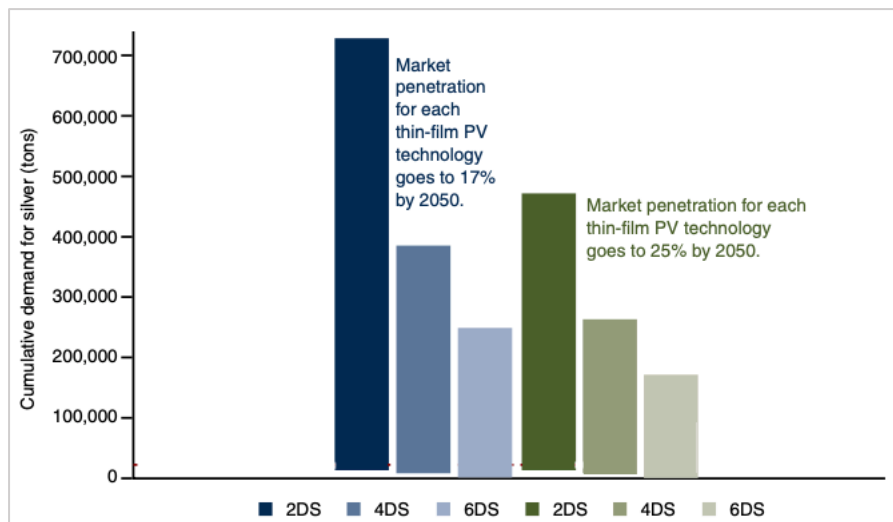
Εικόνα 16: Συνολική πρωτογενής ζήτηση Ag μέχρι το 2050 για ηλιακά φωτοβολταϊκά με βάση υποπεριπτώσεις του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Giurco, Dominish, Florin, Takuma, & McLellan, 2019)].

Όσον αφορά στη συνολική πρωτογενή ζήτηση μέχρι το 2050, αυτή θα κυμανθεί από 153.000 έως 277.000 τόνους μετάλλου. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται τόσο στην Εικόνα 16, όσο και στον Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Στοιχεία ζήτησης Ag για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].

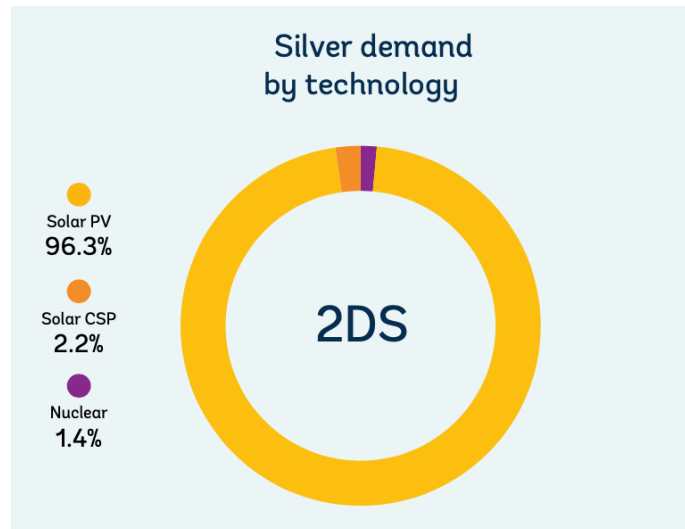
Ag	Υποσενάριο 1,5°C μέγιστης ζήτησης	Υποσενάριο 1,5°C ελάχιστης ζήτησης
Συνολική Ζήτηση (2018-2050)	276.917 τόνοι	152.974 τόνοι
Ποσοστό επί των βεβαιωμένων αποθεμάτων (T. Watari, et.al. 2018)	52%	29%
Ποσοστό επί των πιθανών αποθεμάτων (T. Watari, et.al. 2018)	21%	12%
Μέγιστη ετήσια ζήτηση	9.926 τόνοι	6.646 τόνοι
Έτος μέγιστης ζήτησης	2035	2027

Η (World Bank, 2017) προσομοίωσε και υπολόγισε κάποιες υποπεριπτώσεις διαφορετικών εισχωρήσεων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών στην αγορά, έχοντας ως βάση τα τρία σενάρια 6DS, 4DS και 2DS. Το εύρος των εκτιμήσεων της προσομοίωσης ήταν μεγάλο, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 17.

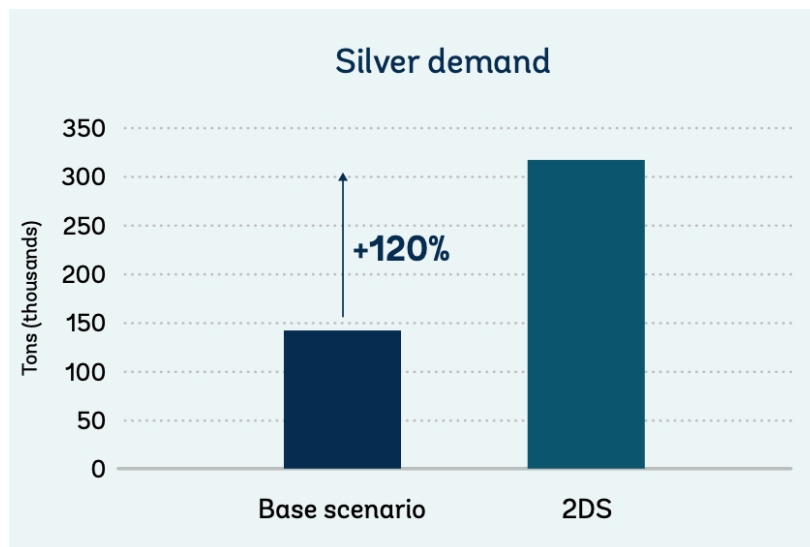


Εικόνα 17: Εύρος συνολικής ζήτησης Ag για ηλιακά φωτοβολταϊκά, μέχρι το 2050 [Πηγή: (World Bank, 2017)].

Τέλος, στη μελέτη του 2020, η (World Bank, 2020) αναγνωρίζει τους τομείς ζήτησης του αργύρου ανά τεχνολογία στο σενάριο 2DS (Εικόνα 18), που έρχονται σε πλήρη συμφωνία με αυτούς της (International Energy Agency, 2021a) (Γράφημα 41). Στην περίπτωση του σεναρίου 2DS, η συνολική ζήτηση αργύρου, μέχρι το 2050, θα είναι αυξημένη κατά 120%, σε σχέση με το βασικό σενάριο (Εικόνα 19) και η ετήσια ζήτηση, το 2050, θα είναι 15.000 τόνοι. Σημειώνεται ότι αυτή είναι η μεγαλύτερη εκτίμηση ετήσιας ζήτησης, για το 2050, από όλες τις μελέτες.



Εικόνα 18: Τομείς ζήτησης Ag, ανά τεχνολογία της Πράσινης Οικονομίας στο 2DS [Πηγή: (World Bank, 2020)].



Εικόνα 19: Συνολική ζήτηση Ag μέχρι το 2050, στο Base και το 2 Degree Scenario [Πηγή: (World Bank, 2020)].

4.11. Σπάνιες Γαίες (REEs)

4.11.1. Γενικά στοιχεία για τις Σπάνιες Γαίες

Οι σπάνιες γαίες είναι μία ομάδα δεκαεφτά χημικών στοιχείων, που εμφανίζονται μαζί στον Περιοδικό Πίνακα. Η ομάδα αποτελείται από το ύτριο, το σκάνδιο και τα στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των λανθανιδών. Όλα τα στοιχεία της ομάδας των σπάνιων γαιών είναι μέταλλα, τα οποία έχουν πολλές παρόμοιες ιδιότητες, γεγονός που τα κάνει να βρίσκονται συχνά στα ίδια γεωλογικά κοιτάσματα. Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται συνοπτικά τα μέταλλα που ανήκουν στην ομάδα των σπάνιων γαιών.

Πίνακας 17: Μέταλλα της ομάδας των σπάνιων γαιών [Πηγή: (King, 2021)].

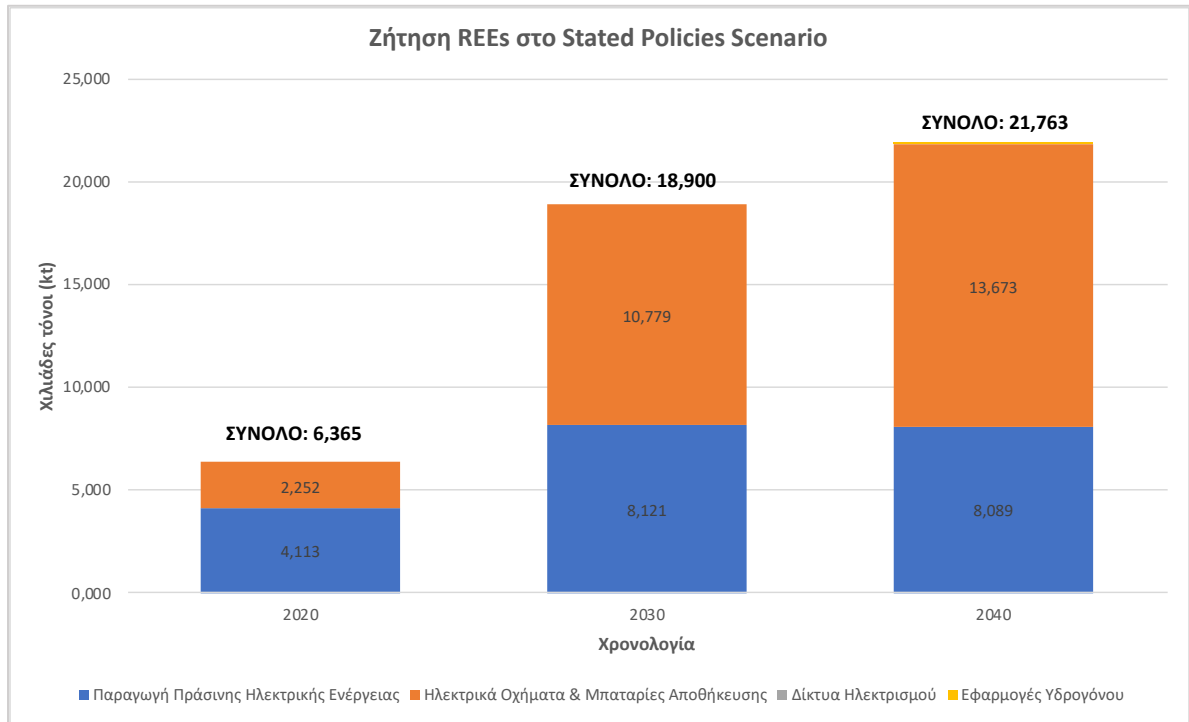
Ύτριο (Y)	Προμήθειο (Pm)	Όλμιο (Ho)
Σκάνδιο (Sc)	Σαμάριο (Sm)	Έρβιο (Er)
Λανθάνιο (La)	Ευρώπιο (Eu)	Θούλιο (Tm)
Δημήτριο (Ce)	Γαδολίνιο (Gd)	Υτέρβιο (Yb)
Πρασεοδύμιο (Pr)	Τέρβιο (Tb)	Λουτήτιο (Lu)
Νεοδύμιο (Nd)	Δυσπρόσιο (Dy)	

Οι σπάνιες γαίες χρησιμοποιούνται σε πολλές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές καθημερινής χρήσης, όπως οι υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, οι καταλυτικοί μετατροπείς κ.α. Τα τελευταία είκοσι περίπου χρόνια, με την αύξηση της χρήσης συσκευών υψηλής τεχνολογίας, έχει αυξηθεί και η χρήση των σπάνιων γαιών. Επίσης, οι σπάνιες γαίες είναι πολύ χρήσιμες σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως οι μαγνήτες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για την ηλεκτροκίνηση (King, 2021).

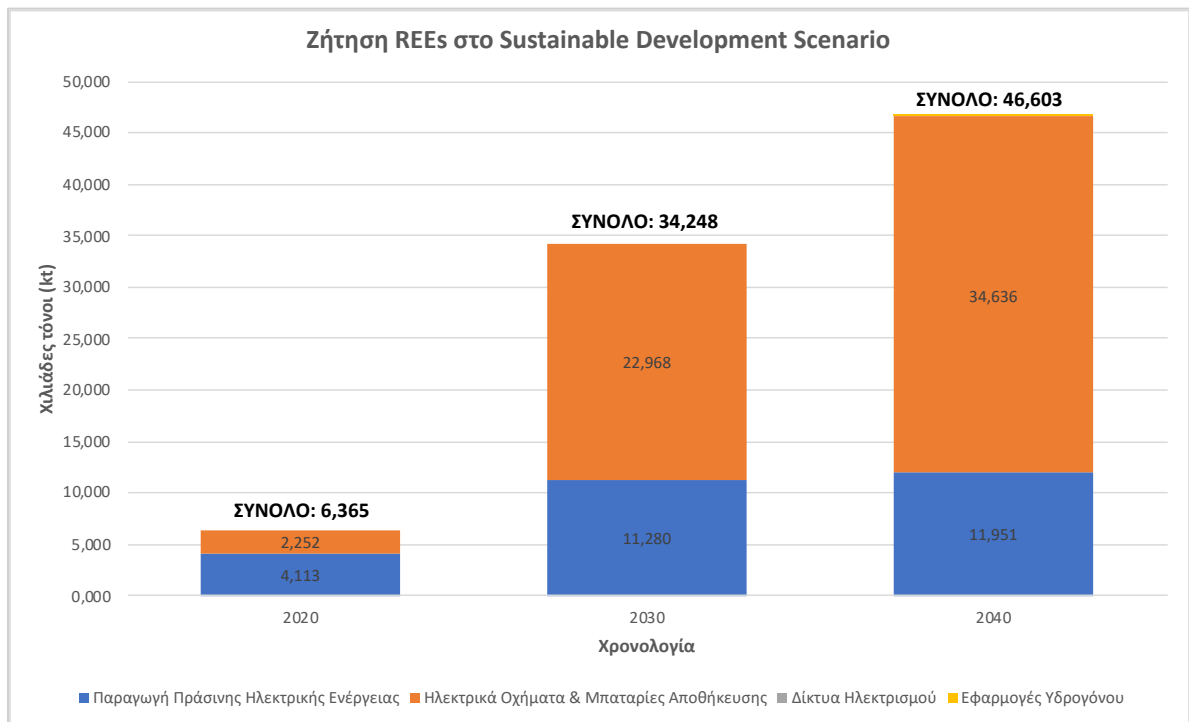
4.11.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Σπάνιων Γαιών λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν σπάνιες γαίες, είναι οι μόνιμοι μαγνήτες, που χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες και στην κατασκευή των κινητήρων των ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, χρήση σπάνιων γαιών γίνεται και για τις εφαρμογές υδρογόνου (International Energy Agency, 2021a).

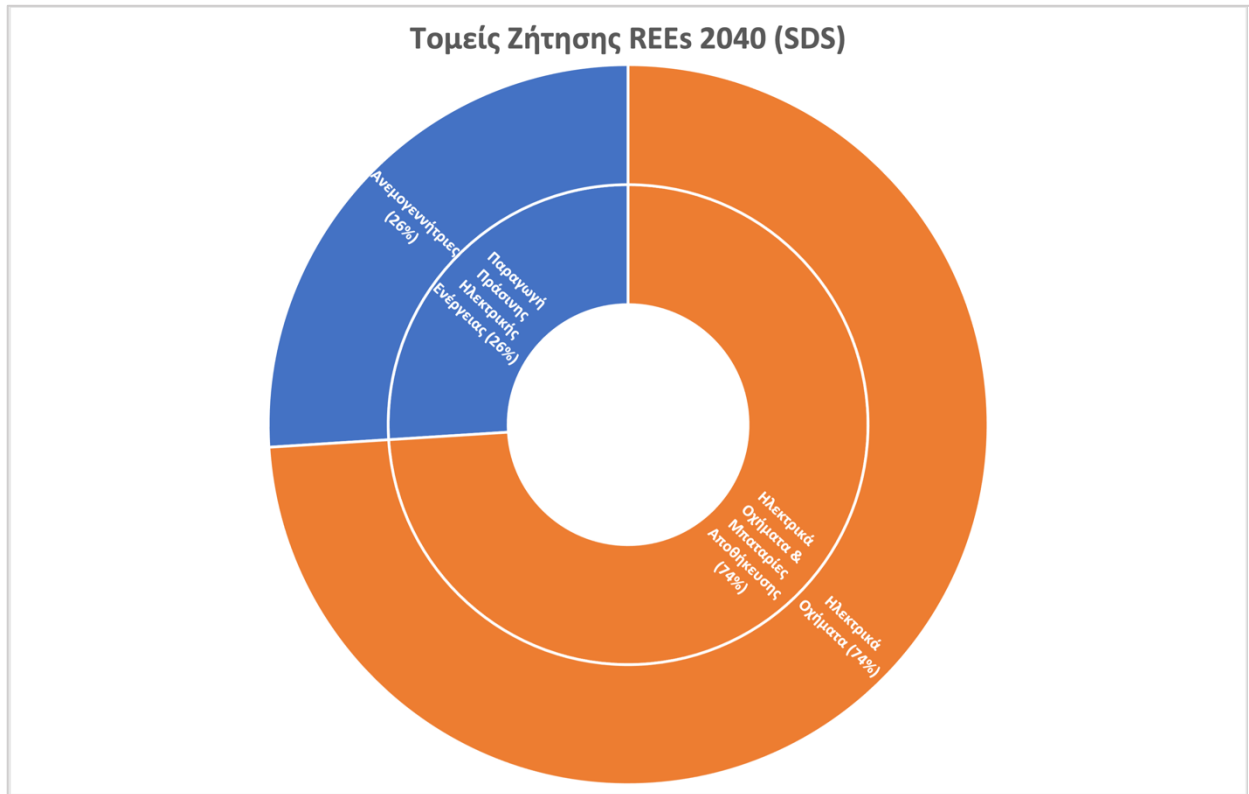
Στα Γραφήματα 42, 43 και 44 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης των σπάνιων γαιών από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 42: Ζήτηση REEs στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 43: Ζήτηση REEs στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 44: Τομείς Ζήτησης REEs στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Οι τομείς ζήτησης των σπάνιων γαιών στην Πράσινη Οικονομία για το 2040, με βάση το SDS της (International Energy Agency, 2021a), είναι τα ηλεκτρικά οχήματα και οι ανεμογεννήτριες, με ποσοστά 74% και 26%, αντιστοίχως. Η ετήσια ζήτηση σπάνιων γαιών, για το 2040, εκτιμάται σε 21.763 τόνους με βάση το STEPS και σε 46.603 τόνους με βάση το SDS, αντίστοιχα.

4.11.3. Ειδικότερη ανάλυση για το Νεοδύμιο

Το νεοδύμιο είναι ένα ασημί μέταλλο με κίτρινη απόχρωση και μεταλλική λάμψη. Είναι πολύ δραστικό μέταλλο και οξειδώνεται γρήγορα όταν βρίσκεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, οπότε πρέπει να φυλάσσεται μακριά από αυτόν. Επίσης, αντιδρά αργά με κρύο νερό και γρήγορα με ζεστό. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νεοδυμίου.

Πίνακας 18: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες νεοδυμίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

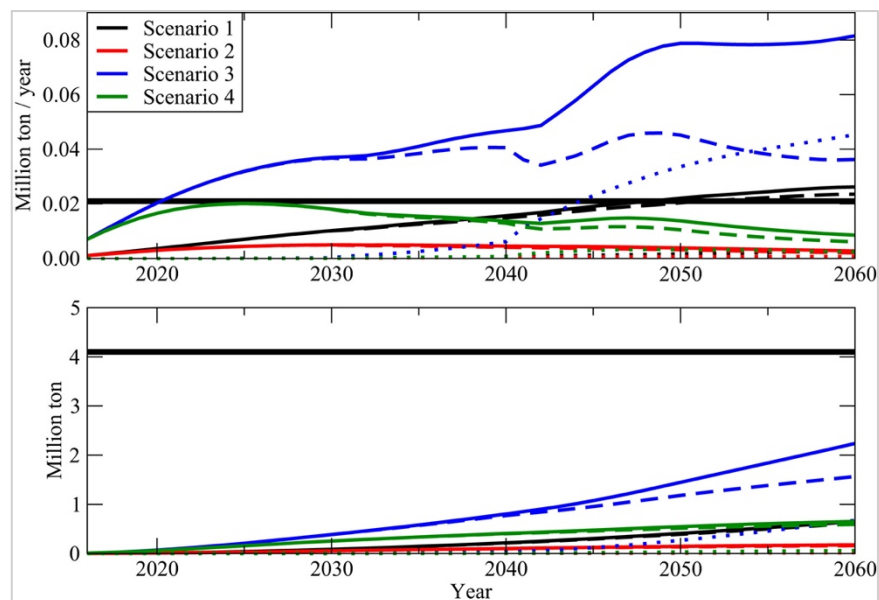
Σύμβολο	Nd
Ατομικός Αριθμός	60
Σημείο Τήξης	1024°C
Σημείο Βρασμού	3074°C

Οι χρήσεις του νεοδυμίου είναι πολλές και περιλαμβάνουν από οικιακές συσκευές μέχρι βιομηχανικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στην παραγωγή τηλεοράσεων, λαμπτήρων φθορισμού και ως στοιχείο κραματικής προσθήκης. Το πιο σημαντικό από τα κράματα που περιέχουν νεοδύμιο είναι το κράμα νεοδυμίου, σιδήρου και βορίου (NIB), το οποίο παράγει

μόνιμους μαγνήτες υψηλής ποιότητας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα, ανεμογεννήτριες, υπολογιστές κ.α. (Lenntech, 2021).

4.11.3.1. Προβλεπόμενη Ζήτηση Νεοδυμίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας

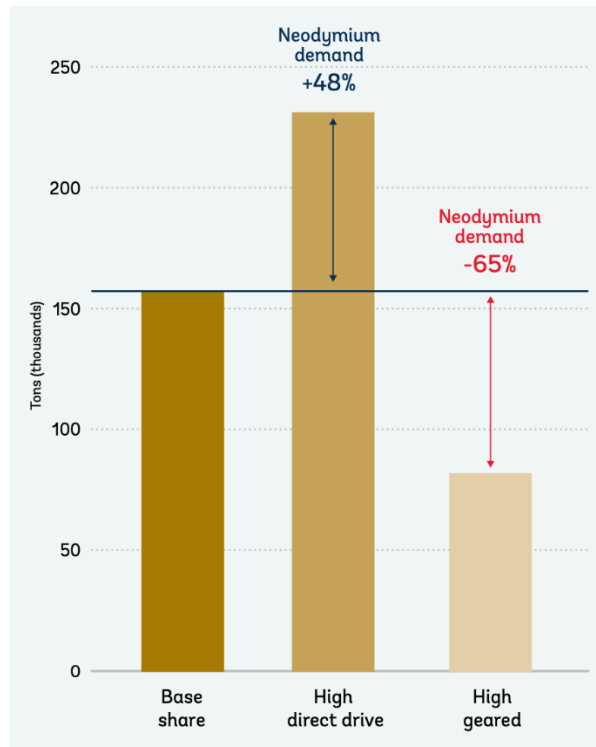
Σε μία Πράσινη Οικονομία το νεοδύμιο χρησιμοποιείται κυρίως στους μαγνήτες των ανεμογεννητριών και των ηλεκτρικών οχημάτων (International Energy Agency, 2021a). Στην Εικόνα 20 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ετήσιας και συνολικής ζήτησης του νεοδυμίου, σύμφωνα με τη μελέτη των (Månberger & Stenqvist, 2018). Όπως φαίνεται από το άνω διάγραμμα, η ετήσια ζήτηση νεοδυμίου δεν ακολουθεί μια σταθερή πορεία, αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις ανά τα έτη. Παρατηρείται ότι σύμφωνα με το Σενάριο 3, που είναι το πιο ακραίο στις προβλέψεις του, η ετήσια ζήτηση νεοδυμίου πλησιάζει ή και ξεπερνάει, από το 2040, τη ζήτηση που θα έχουν συνολικά όλες οι σπάνιες γαίες μαζί, με βάση τις προβλέψεις της (International Energy Agency, 2021a), υπερβαίνοντας κατά πολύ την τωρινή εξορυκτική δυναμικότητα του νεοδυμίου, που ανέρχεται περίπου στους 20.000 τόνους ετησίως.



Εικόνα 20: Ετήσια και συνολική ζήτηση Nd με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Η πρόβλεψη της συνολικής ζήτησης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 20, δείχνει ότι τα περισσότερα σενάρια υπολογίζουν μια συνολική ζήτηση νεοδυμίου, μέχρι το 2050, της τάξης των 100.000 με 500.000 τόνων.

Μια πιο αναλυτική προσέγγιση στη συνολική ζήτηση νεοδυμίου, μέχρι το 2050, γίνεται στην πρόσφατη ανάλυση της (World Bank, 2020), στην οποία διερευνάται η ζήτηση του νεοδυμίου σε συνάρτηση με τις τεχνολογίες που θα επικρατήσουν στην αγορά. Στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται δύο διαφορετικές εκδοχές, ανάλογα με την εισχώρηση των δυο βασικών τύπων ανεμογεννητριών στην αγορά, αυτών με κιβώτιο ταχυτήτων και αυτών με μόνιμους μαγνήτες (που περιέχουν σημαντικές ποσότητες νεοδυμίου), αλλά και το γενικότερο τύπο της ανεμογεννήτριας, αν δηλαδή θα είναι στη στεριά ή πλωτές. Έπειτα, αυτές οι εκδοχές συγκρίνονται με το βασικό σενάριο της μελέτης. Οι ανεμογεννήτριες με μόνιμους μαγνήτες έχουν αυξημένο κόστος, ωστόσο απαιτούν λιγότερη συντήρηση, για αυτό και προτιμώνται στις πλωτές εγκαταστάσεις, ενώ αυτές με το κιβώτιο ταχυτήτων είναι πιο οικονομικές, αλλά απαιτούν περισσότερη συντήρηση, οπότε βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή στη στεριά.



Εικόνα 21: Συνολική ζήτηση Nd αναλόγως τον τύπο της αιολικής τεχνολογίας στο 2DS, μέχρι το 2050 [Πηγή: (World Bank, 2020)].

Στην πρώτη εκδοχή (High direct drive), στις ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται περισσότερο τουρμπίνες με μόνιμους μαγνήτες (40% για τις ανεμογεννήτριες στη στεριά και 90% για τις πλωτές), ενώ στη δεύτερη (High geared) υπερिशύει η τεχνολογία με το κιβώτιο ταχυτήτων (με το κιβώτιο να χρησιμοποιείται στο 90% των ανεμογεννητριών στη στεριά και το 40% των πλωτών). Οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται με το μέσο βασικό σενάριο (Base share), στο οποίο οι μόνιμοι μαγνήτες χρησιμοποιούνται στο 25% των ανεμογεννητριών στη στεριά και στο 75% των πλωτών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στην εκδοχή που επικρατεί η χρήση των τουρμπινών με μόνιμους μαγνήτες, η ζήτηση νεοδυμίου μέχρι το 2050 αυξάνεται κατά 48% σε σχέση με το μέσο βασικό σενάριο, ενώ από την άλλη αν επικρατήσει η τεχνολογία με το κιβώτιο ταχυτήτων, τότε η ζήτηση του νεοδυμίου μέχρι το 2050 μειώνεται κατά 65%, σε σχέση με το βασικό σενάριο. Εν κατακλείδι, η (World Bank, 2020) προβλέπει ότι η ετήσια ζήτηση νεοδυμίου το 2050 για ενεργειακές τεχνολογίες, θα είναι 8.400 τόνοι.

4.11.4. Ειδικότερη ανάλυση για το Δυσπρόσιο

Το δυσπρόσιο έχει ασημένιο χρώμα και είναι ένα μαλακό μέταλλο, με έντονη λάμψη. Είναι χημικώς σταθερό στον αέρα, παρόλο που οξειδώνεται σε αργό ρυθμό από το οξυγόνο, ενώ αντιδρά με κρύο νερό και διαλύεται γρήγορα σε οξέα. Σχηματίζει μια πληθώρα, έντονα χρωματισμένων αλάτων, ωστόσο με την παρουσία ακαθαρσιών μπορεί τα χαρακτηριστικά του να αλλάξουν σημαντικά. Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του δυσπρόσιου.

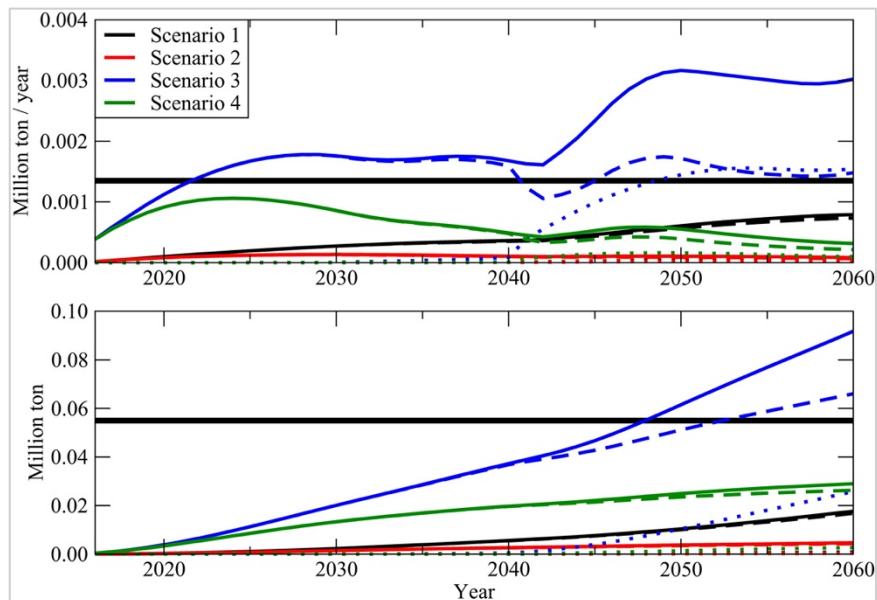
Πίνακας 19: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες δυσπροσίου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

Σύμβολο	Dy
Ατομικός Αριθμός	66
Σημείο Τήξης	1412°C
Σημείο Βρασμού	2562°C

Το δυσπρόσιο χρησιμοποιείται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες ως κεραμομέταλλο (cermet), ένα σύνθετο υλικό αποτελούμενο από κεραμικό και μεταλλικό υλικό, για την κατασκευή ράβδων ελέγχου πυρηνικών αντιδραστήρων, καθώς και σε όργανα μέτρησης της ακτινοβολίας (Lenntech, 2021).

4.11.4.1. Προβλεπόμενη Ζήτηση Δυσπροσίου λόγω της Πράσινης Οικονομίας

Αναφορικά με τις εφαρμογές του σε μία Πράσινη Οικονομία, το δυσπρόσιο χρησιμοποιείται κυρίως για τους μαγνήτες των ανεμογεννητριών και των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ βρίσκει και χρήσεις στην παραγωγή πυρηνικής ενέργειας (International Energy Agency, 2021a). Στην Εικόνα 22, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ετήσιας και της συνολικής ζήτησης του δυσπροσίου, σύμφωνα με τη μελέτη των (Månberger & Stenqvist, 2018). Όπως φαίνεται από το άνω διάγραμμα, η ετήσια ζήτηση δυσπροσίου δεν ακολουθεί μια σταθερή πορεία, αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις ανά τα έτη. Αυτό μπορεί να γίνεται λόγω του χρόνου ζωής των τεχνολογιών στις οποίες να είναι απαραίτητο το δυσπρόσιο. Για παράδειγμα, υπάρχουν περίοδοι έντονης ζήτησης, όταν π.χ. απαιτούνται μόνιμοι μαγνήτες για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, και περίοδοι ύφεσης, π.χ. όσο δεν απαιτούνται νέοι μαγνήτες, και μετά πάλι περίοδοι έντονης ζήτησης, όταν έρθει το τέλος του χρόνου ζωής της ανεμογεννήτριας και θα χρειαστούν νέοι μαγνήτες.



Εικόνα 22: Ετήσια και συνολική ζήτηση Dy με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Η συνολική ζήτηση δυσπροσίου μέχρι το 2050, θα κυμαίνεται από 5.000 τόνους μέχρι 65.000 τόνους, αναλόγως το σενάριο. Επίσης, αν επικρατήσουν τα σενάρια που υπαγορεύουν ισχυρή ζήτηση δυσπροσίου, μπορεί να υπάρξει και θέμα διαθεσιμότητας, καθώς χαρακτηριστικά στο

Σενάριο 3, μέχρι το 2050, η ζήτηση θα έχει ξεπεράσει τα γνωστά βεβαιωμένα αποθέματα δυσπροσίτου. Επιπλέον, όπως φαίνεται από το άνω διάγραμμα της Εικόνας 22, είναι πολύ πιθανό να χρειαστεί και αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας δυσπροσίτου στα επόμενα χρόνια, αν υπάρξει επιβεβαίωση των σεναρίων υψηλής ζήτησης αυτής της σπάνιας γαίας.

4.12. Χαλκός (Cu)

4.12.1. Γενικά στοιχεία για το Χαλκό

Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο με κοκκινωπό χρώμα και μεταλλική λάμψη. Στις ιδιότητές του συγκαταλέγεται ότι είναι ελατός και όλκιμος, με εξαιρετική ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Επίσης, έχει χαμηλή χημική αντιδραστικότητα. Ο χαλκός είναι από τα παλαιότερα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν και υπήρξε ένα από τα σημαντικότερα υλικά για την ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Στον Πίνακα 20 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του χαλκού.

Πίνακας 20: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες χαλκού [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

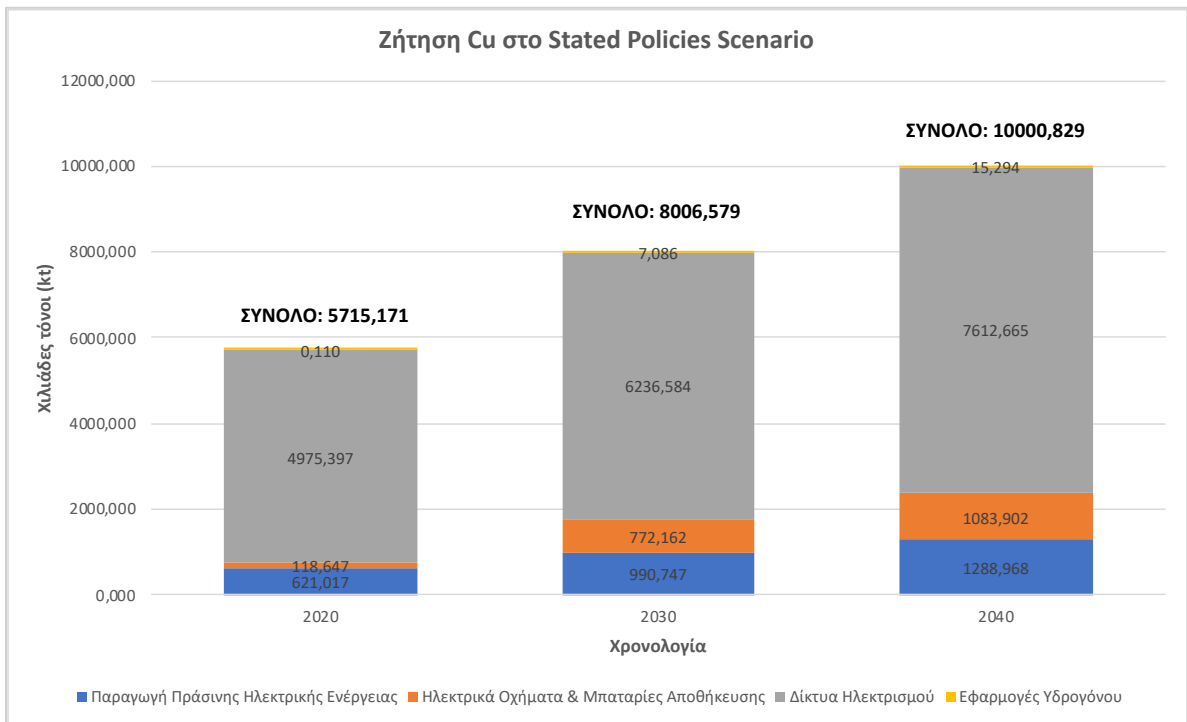
Σύμβολο	Cu
Ατομικός Αριθμός	29
Σημείο Τήξης	1083°C
Σημείο Βρασμού	2595°C

Η εικόνα των χρήσεων του χαλκού μέχρι σήμερα, είναι ότι περίπου το 60% του χαλκού προορίζεται για την παραγωγή ηλεκτρικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, το 20% για κατασκευές, όπως υδραυλικές και κτηριακές εγκαταστάσεις, το 15% για βιομηχανικό εξοπλισμό, παραδείγματος χάριν εναλλάκτες θερμότητας και το 5% για την παρασκευή κραμάτων. Όταν τα προϊόντα του χαλκού ολοκληρώσουν την χρήση τους, μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της πρωτογενούς ζήτησης του υλικού αυτού, καθώς και στην επίτευξη μιας Πράσινης Οικονομίας (Lenntech, 2021), (U.S. Geological Survey, 2021).

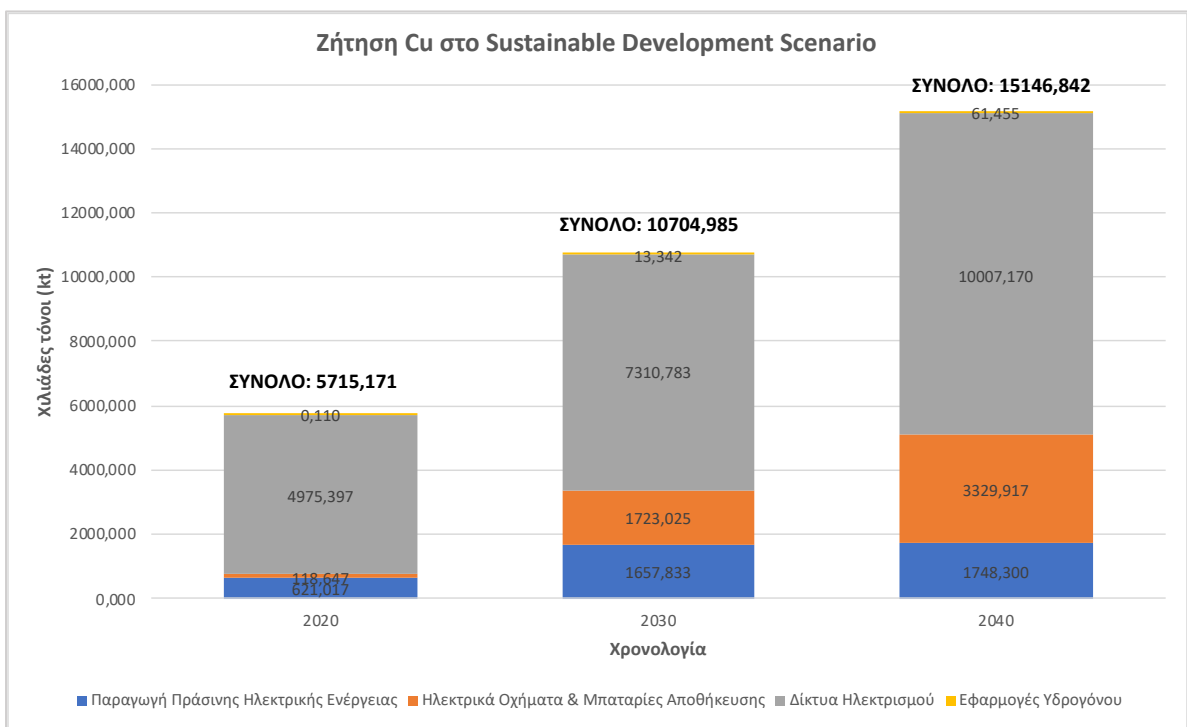
4.12.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χαλκού λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν χαλκό είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι ανεμογεννήτριες, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η χρήση βιομάζας ως καυσίμου, η συμπυκνωμένη ηλιακή ενέργεια, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια και η κατασκευή διάφορων εξαρτημάτων για τα ηλεκτρικά οχήματα και τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης, χρήση του χαλκού γίνεται για την κατασκευή των δικτύων ηλεκτρισμού και για τις εφαρμογές υδρογόνου (International Energy Agency, 2021a).

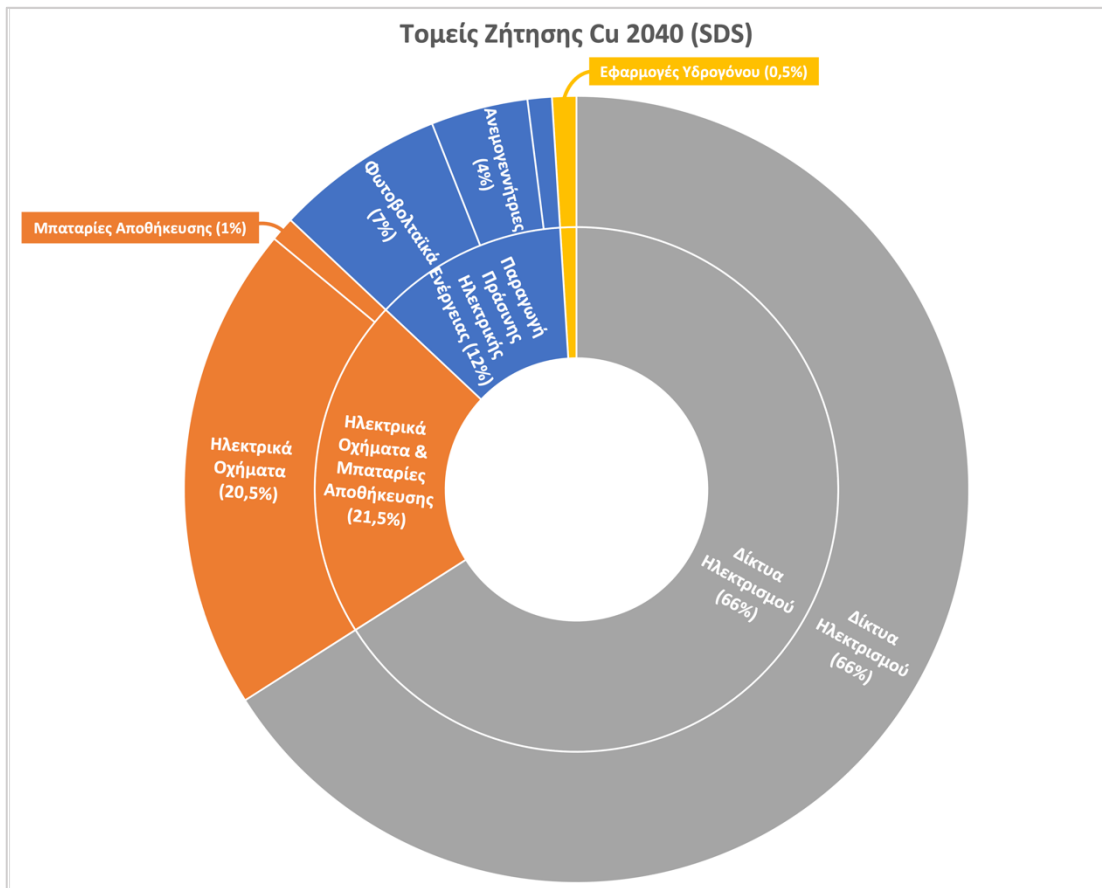
Στα Γραφήματα 45, 46 και 47 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης του χαλκού από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 45: Ζήτηση Cu στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 46: Ζήτηση Cu στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



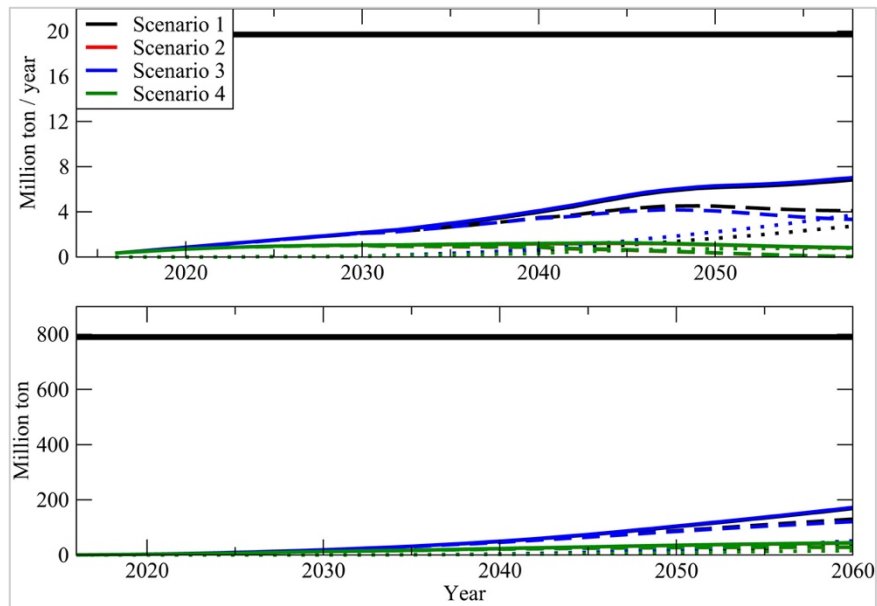
Γράφημα 47: Τομείς Ζήτησης Cu στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Σύμφωνα με την (International Energy Agency, 2021a) η κυριότερη πηγή ζήτησης χαλκού σε μια Πράσινη Οικονομία, θα είναι η κατασκευή και η επέκταση δικτύων ηλεκτρισμού (καλώδια, κολώνες, μετασχηματιστές, κ.λπ.). Στο SDS αυτή η χρήση θα αντιπροσωπεύει το 66% της χρήσης του χαλκού, το 2040. Άλλοι τομείς που θα απαιτούν χαλκό σύμφωνα με το ίδιο σενάριο, για το ίδιο έτος, θα είναι τα ηλεκτρικά οχήματα και οι μπαταρίες αποθήκευσης με μερίδιο 21,5%, η παραγωγή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας με 12% και οι εφαρμογές υδρογόνου με 0,5%. Με βάση το σενάριο αυτό, η ετήσια ζήτηση που αναμένεται να έχει ο χαλκός, το 2040, για τις πράσινες τεχνολογίες είναι 15.146.842 τόνοι, ενώ με βάση το πιο συντηρητικό STEPS είναι 10.000.829 τόνοι.

4.12.3. Προβλεπόμενη Ζήτηση Χαλκού λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με άλλες έρευνες

Στις αναλύσεις που ακολουθούν, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η χρήση του χαλκού για την κατασκευή των δικτύων ηλεκτρισμού, όπως στην αναφορά της (International Energy Agency, 2021a).

Στην ανάλυση που εκπόνησαν οι (Månberger & Stenqvist, 2018), Εικόνα 23, φαίνεται ότι η ετήσια ζήτηση του χαλκού έχει μια αυξητική τάση. Στα πιο ακραία σενάρια, η ετήσια ζήτηση το 2050, εκτιμάται σε περίπου 5.000.000-6.000.000 τόνους, ενώ στα πιο μετριοπαθή σενάρια παραμένει σχεδόν αμετάβλητη, μεταξύ 1.000.000 και 2.000.000 τόνων ανά έτος.



Εικόνα 23: Ετήσια και συνολική ζήτηση Cu με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Η συνολική ζήτηση χαλκού για τις πράσινες τεχνολογίες προβλέπεται να κυμανθεί από 100.000.000 έως 200.000.000 τόνους, ανάλογα με το σενάριο, όπως υποδεικνύουν τα στοιχεία της Εικόνας 23 και του Πίνακα 21. Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα με την κάλυψη της ζήτησης του χαλκού, εξετάζοντας τη χρήση του αυστηρά για τις εφαρμογές της Πράσινης Οικονομίας, καθώς τα βεβαιωμένα αποθέματα είναι της τάξης των 800.000.000 τόνων, ενώ υπάρχει ήδη επαρκής δυναμικότητα της ετήσιας εξορυκτικής παραγωγής, για να καλύψει τις ανάγκες αυτές. Όταν λαμβάνεται ωστόσο υπόψη και η ζήτηση από τις δευτερεύουσες ανάγκες της Πράσινης Οικονομίας, όπως είναι τα δίκτυα ηλεκτρισμού που εξετάστηκαν στην έκθεση της (International Energy Agency, 2021a), οι οποίες είναι μεγάλες, τότε αρχίζει να προκύπτει ένα πιθανό ζήτημα επάρκειας των αποθεμάτων και της δυναμικότητας παραγωγής του χαλκού.

Πίνακας 21: Στοιχεία ζήτησης Cu για μονάδες Α.Π.Ε. και αποθήκευση ενέργειας, στο σενάριο των 1,5°C - Με υποσενάρια μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης του σεναρίου των 1,5°C [Πηγή: (Dominish, Florin, & Teske, 2019)].

Cu	Υποσενάριο 1,5°C μέγιστης ζήτησης	Υποσενάριο 1,5°C ελάχιστης ζήτησης
Συνολική Ζήτηση (2018-2050)	139.539.959 τόνοι	101.093.179 τόνοι
Ποσοστό επί των βεβαιωμένων αποθεμάτων (USGS 2018)	18%	13%
Ποσοστό επί των πιθανών αποθεμάτων (USGS 2018)	4%	3%
Μέγιστη ετήσια ζήτηση	5.626.579 τόνοι	4.493.216 τόνοι
Έτος μέγιστης ζήτησης	2050	2033

Τέλος, σύμφωνα με τους (Dominish, Florin, & Teske, 2019), η μέγιστη ετήσια ζήτηση που προβλέπουν τα σενάρια είναι 5.600.000 τόνοι, για το 2050, με την (World Bank, 2020) να ορίζει ως πιο πιθανή τιμή τους 1.378.000 τόνους στην έκθεσή της.

4.13. Μέταλλα Ομάδας Λευκόχρυσου (PGM)

4.13.1. Γενικά στοιχεία για τα Μέταλλα της Ομάδας του Λευκόχρυσου

Τα μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου ή πλατίνας περιλαμβάνουν έξι χημικά στοιχεία. Χαρακτηριστικό αυτών των μετάλλων είναι ότι έχουν υψηλά σημεία τήξης, υψηλή αντοχή στη θερμότητα και τη διάβρωση και εξαιρετικές καταλυτικές ιδιότητες. Στον Πίνακα 22 παρουσιάζονται συνοπτικά τα μέταλλα που ανήκουν στην ομάδα του λευκόχρυσου.

Πίνακας 22: Μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου [Πηγή: (U.S. Geological Survey, 2021)].

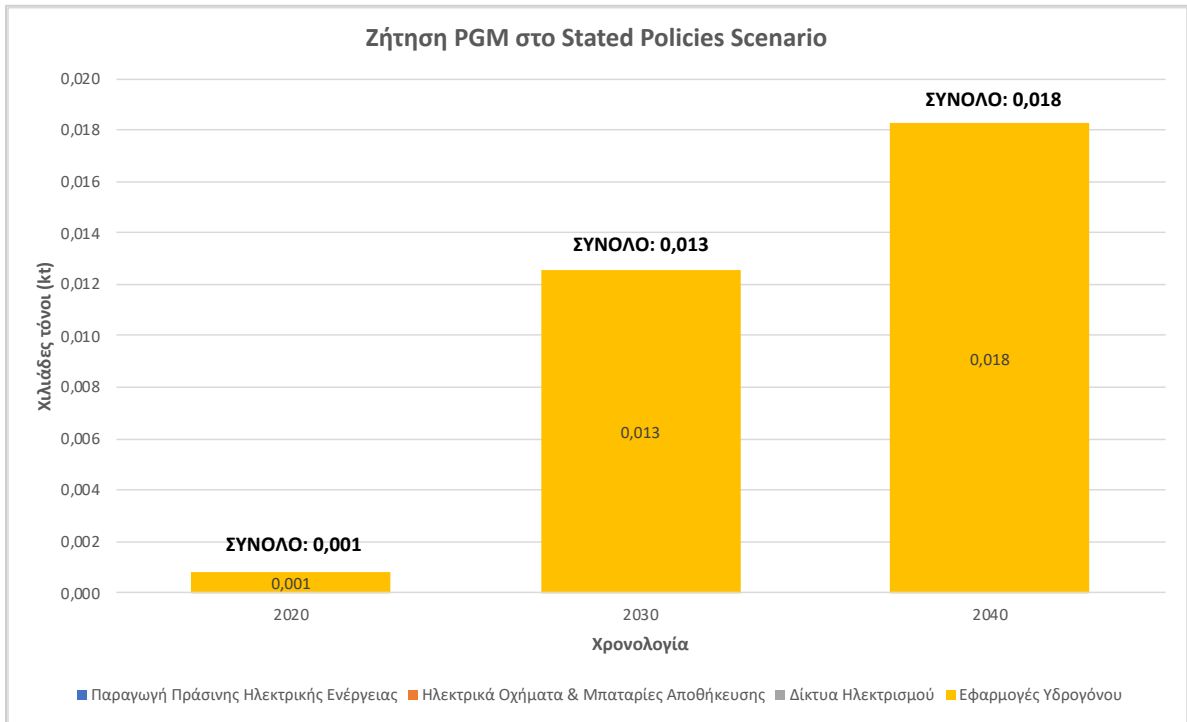
Ιρίδιο (Ir)	Παλλάδιο (Pd)	Ρόδιο (Rh)
Όσμιο (Os)	Πλατίνα (Pt)	Ρουθένιο (Ru)

Οι κυρίαρχες χρήσεις των μετάλλων της ομάδας του λευκόχρυσου είναι η κατασκευή κοσμημάτων, η χρήση τους για την παρασκευή κραμάτων, ενώ η χημική βιομηχανία τα χρησιμοποιεί κατά κόρον ως καταλύτες (U.S. Geological Survey, 2021), (Nose & Okabe, 2014).

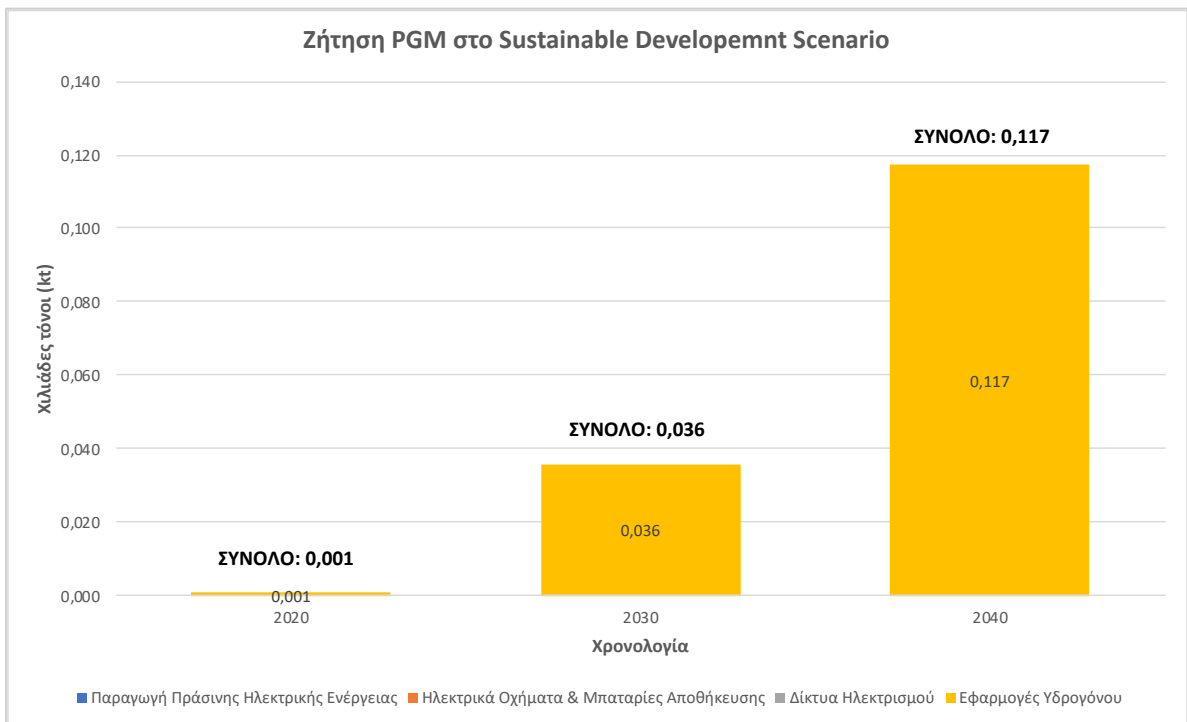
4.13.2. Προβλεπόμενη Ζήτηση Μετάλλων Ομάδας Λευκόχρυσου λόγω της Πράσινης Οικονομίας σύμφωνα με την IEA

Οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας που απαιτούν μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου, είναι οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (International Energy Agency, 2021a).

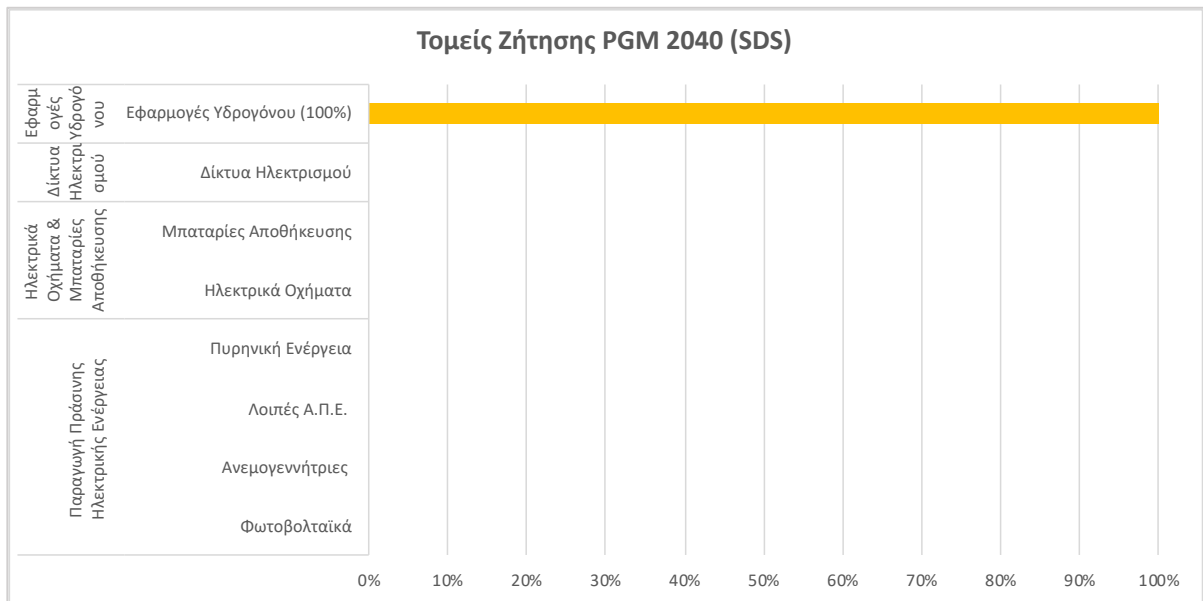
Στα Γραφήματα 48, 49 και 50 παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα της πρόβλεψης της ζήτησης των μετάλλων της ομάδας του λευκόχρυσου από την (International Energy Agency, 2021a), με βάση το STEPS και το SDS.



Γράφημα 48: Ζήτηση PGM στο STEPS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 49: Ζήτηση PGM στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].



Γράφημα 50: Τομείς Ζήτησης PGM στην Πράσινη Οικονομία για το 2040 στο SDS της IEA [Πηγή: Ίδια επεξεργασία από δεδομένα (International Energy Agency, 2021a)].

Η μόνη χρήση των μετάλλων της ομάδας του λευκόχρυσου στις τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας είναι στις εφαρμογές υδρογόνου, δηλαδή στις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Είναι με διαφορά οι Ο.Π.Υ. με τις μικρότερες ποσότητες ζήτησης. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αισθητές διαφορές στην πρόβλεψη της ζήτησής τους, στα δύο σενάρια της (International Energy Agency, 2021a). Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το STEPS, η ζήτηση των PGM για το 2030 αναμένεται να είναι 13 τόνοι και το 2040 18 τόνοι. Στο SDS η ζήτηση για το 2030 προβλέπεται να είναι 36 τόνοι, δηλαδή 2,5 φορές πάνω από αυτή στο STEPS, και το 2040 117 τόνοι, δηλαδή 6,5 φορές πάνω από την αντίστοιχη στο STEPS. Παρατηρείται λοιπόν, ότι παρά το μικρό μέγεθος των ποσοτήτων που εξετάζονται, οι διαφορές στη ζήτηση ανάλογα με το σενάριο που θα επικρατήσει, είναι αισθητές.

4.13.3. Ειδικότερη ανάλυση για το Λευκόχρυσο

Ο λευκόχρυσος ή πλατίνα είναι ένα μέταλλο με ασημί-λευκό χρώμα και έντονη μεταλλική λάμψη. Επίσης, είναι μέταλλο ελατό και όλκιμο, με πολύ υψηλή πυκνότητα. Ο λευκόχρυσος δεν οξειδώνεται από τον αέρα και δεν επηρεάζεται από το νερό, αλλά διαλύεται σε ορισμένα θερμά συμπυκνωμένα οξέα. Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του λευκόχρυσου.

Πίνακας 23: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες λευκόχρυσου [Πηγή: (Lenntech, 2021)].

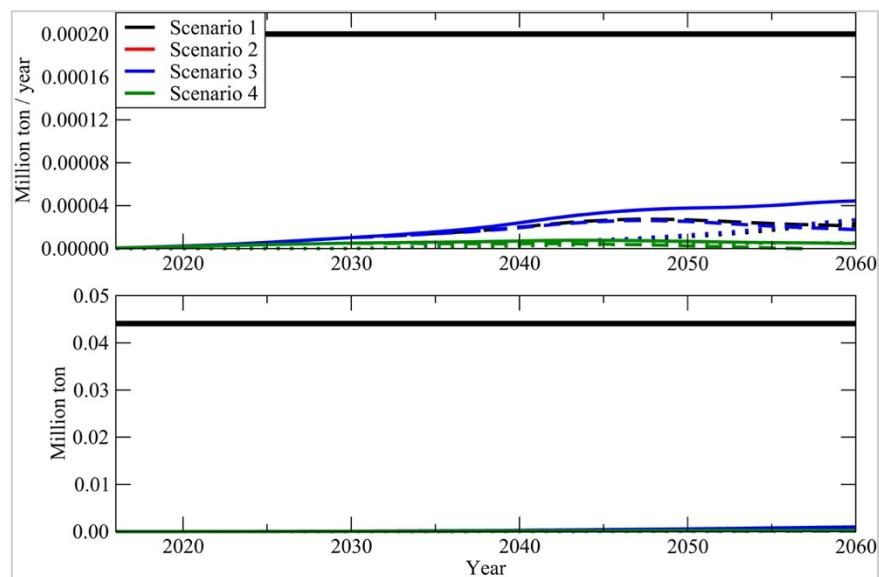
Σύμβολο	Pt
Ατομικός Αριθμός	78
Σημείο Τήξης	1772°C
Σημείο Βρασμού	3800°C

Ο λευκόχρυσος, λόγω των ιδιοτήτων του, όπως αντοχή στη φθορά και στην αμαύρωση, είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται αρκετά στην παραγωγή κοσμημάτων, με περίπου το 50% της ζήτησής του να αφορά αυτόν τον τομέα. Τα κράματά του βρίσκουν εφαρμογή στην κατασκευή χειρουργικών εργαλείων, εργαστηριακών εργαλείων, ηλεκτρικών καλωδίων, ηλεκτρικών επαφών,

κ.λπ., ενώ χρησιμοποιείται επίσης ως καταλύτης στους καταλυτικούς μετατροπείς των οχημάτων εσωτερικής καύσης και στη βιομηχανία των χημικών (Lenntech, 2021).

4.13.3.1. Προβλεπόμενη Ζήτηση Λευκόχρυσου λόγω της Πράσινης Οικονομίας

Όπως αναφέρθηκε, η χρήση του λευκόχρυσου σε τεχνολογίες Πράσινης Οικονομίας αφορά στην παραγωγή κυψελών καυσίμου υδρογόνου (International Energy Agency, 2021a). Οι (Månberger & Stenqvist, 2018) συμπεριέλαβαν στην ανάλυσή τους και το λευκόχρυσο. Στο Σενάριο 3, που είναι αυτό που υπαγορεύει τη μεγαλύτερη ζήτηση λευκόχρυσου για τις πράσινες τεχνολογίες, η ζήτησή του διαγράφει μια μικρή αλλά σταθερή ετήσια αύξηση. Το 2050 η ετήσια ζήτηση λευκόχρυσου με βάση το σενάριο αυτό αναμένεται να είναι περίπου 40 τόνοι. Μόνο η ζήτηση του λευκόχρυσου, για το 2040, αντιστοιχεί περίπου στο 25% της ζήτησης όλων των μετάλλων της ομάδας του, όταν συγκρίνεται με την εκτίμηση της ζήτησης στο SDS της (International Energy Agency, 2021a) για το ίδιο έτος.



Εικόνα 24: Ετήσια και συνολική ζήτηση Pt με βάση 4 σενάρια [Πηγή: (Månberger & Stenqvist, 2018)].

Όπως γίνεται εμφανές και από την Εικόνα 24, η συνολική ζήτηση λευκόχρυσου, μέχρι το 2050, για τις πράσινες τεχνολογίες είναι πάρα πολύ μικρή. Η ενδιαφέρουσα παρατήρηση ωστόσο, είναι πως σε σχέση με τις Ο.Π.Υ. που εξετάστηκαν σε αυτή την εργασία, έχει πολύ περισσότερα βεβαιωμένα αποθέματα από όσα θα είναι αναγκαία για την Πράσινη Οικονομία. Επιπλέον, εκτός της επάρκειας των αποθεμάτων, ο ρυθμός εξόρυξης του λευκόχρυσου είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τις ανάγκες κάλυψης της ζήτησης για τις πράσινες τεχνολογίες. Τέλος, προκύπτει επίσης ότι οι τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας, δεν είναι από τους σημαντικούς τομείς της γενικής ζήτησης του μετάλλου αυτού.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι Ο.Π.Υ. διαδραματίζουν ήδη έναν καθοριστικό ρόλο στη σύγχρονη κοινωνία και οικονομία. Με βάση την έρευνα που διεξήχθη σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία, γίνεται προφανές ότι ο ρόλος τους θα είναι ακόμη πιο κομβικός στην επερχόμενη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία, ενισχύοντας τη σημασία τους στον ενεργειακό και μεταφορικό τομέα. Στην εργασία μελετήθηκε η διεθνής βιβλιογραφία, αναφορικά με τις απαιτήσεις των κρίσιμων, για μία Πράσινη Οικονομία, Ο.Π.Υ. Τα δεδομένα αξιολογήθηκαν και συνδυάστηκαν, προκειμένου να αποτυπωθεί μία συνολική εικόνα, τόσο των κρίσιμων Ο.Π.Υ., όσο και της προβλεπόμενης ζήτησής τους, για τις τεχνολογίες της Πράσινης Οικονομίας.

Συμπερασματικά, τα κυριότερα αποτελέσματα της έρευνας αναφορικά με την προβλεπόμενη ζήτηση για τη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δεδομένα και όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν για αυτές, έχουν ως ακολούθως:

- ◆ **Νικέλιο:** Η ετήσια ζήτηση του νικελίου, το 2050, θα κυμανθεί πιθανότατα από 2,5 έως 4 εκατομμύρια τόνους, με τη συνολική ζήτηση, μέχρι το 2050, να φτάνει τους 30 με 50 εκατομμύρια τόνους.
- ◆ **Κοβάλτιο:** Η ετήσια ζήτηση του κοβαλτίου, το 2050, εκτιμάται σε 350-750 χιλιάδες τόνους, με τη συνολική ζήτηση μέχρι την ίδια χρονιά, να είναι της τάξης των 15 εκατομμυρίων τόνων.
- ◆ **Λίθιο:** Η ετήσια ζήτηση λιθίου, το 2050, προβλέπεται να βρίσκεται στην περιοχή των 500 χιλιάδων με 1,5 εκατομμυρίου τόνων και η συνολική ζήτηση να είναι περίπου 25 εκατομμύρια τόνοι.
- ◆ **Γραφίτης:** Η ετήσια ζήτηση γραφίτη, το 2050, εκτιμάται περίπου στους 4-5 εκατομμύρια τόνους, με τη συνολική ζήτηση να ανέρχεται στους 80 εκατομμύρια τόνους.
- ◆ **Πυρίτιο:** Η ετήσια ζήτηση πυριτίου, το 2040, αναμένεται να είναι μεταξύ 700 και 900 χιλιάδων τόνων.
- ◆ **Χρώμιο:** Η ετήσια ζήτηση, το 2050, προβλέπεται ότι θα κυμανθεί κοντά στους 360 χιλιάδες τόνους (με ένα εύρος από 250 έως 450 χιλιάδες τόνους). Η συνολική του ζήτηση μέχρι τότε, αναμένεται να φτάσει τους 8 εκατομμύρια τόνους.
- ◆ **Μαγγάνιο:** Η ετήσια ζήτηση μαγγανίου, θα είναι πιθανότατα περί τους 600 με 700 χιλιάδες τόνους, για το 2050, με τη συνολική ζήτηση μέχρι τότε να ανέρχεται στους 20-30 εκατομμύρια τόνους.
- ◆ **Μολυβδαίνιο:** Η ετήσια ζήτηση του μολυβδαίνιου, το 2050, θα κυμανθεί στους 30-50 χιλιάδες τόνους, με τη συνολική ζήτηση μέχρι το 2050 να φτάνει τους 500 με 800 χιλιάδες τόνους.
- ◆ **Ψευδάργυρος:** Η ετήσια ζήτηση εκτιμάται σε 600-900 χιλιάδες τόνους, το 2050, και η συνολική ζήτηση έως τότε σε 15 με 30 εκατομμύρια τόνους.
- ◆ **Άργυρος:** Η ετήσια ζήτηση, το 2050, εκτιμάται σε 2-5 χιλιάδες τόνους, με κάποια σενάρια ωστόσο να προβλέπουν ότι ενδέχεται να φτάσει μέχρι και τους 15 χιλιάδες τόνους. Η συνολική ζήτηση, μέχρι το 2050, υπολογίζεται σε περίπου 150 με 300 χιλιάδες τόνους.
- ◆ **Σπάνιες γαίες:** Η ετήσια ζήτηση σπάνιων γαιών, το 2040, αναμένεται να είναι μεταξύ 20 και 50 χιλιάδων τόνων.
 - **Νεοδύμιο:** Για το νεοδύμιο ειδικότερα, η ετήσια ζήτηση, για το 2050, προβλέπεται ότι θα είναι περί τους 8,5 χιλιάδες τόνους, και η συνολική 90-200 χιλιάδες τόνοι.
 - **Δυσπρόσιο:** Για το δυσπρόσιο, η συνολική ζήτηση αναμένεται να κυμανθεί, μέχρι το 2050, από 5 μέχρι 65 χιλιάδες τόνους.

- ◆ **Χαλκός:** Η ετήσια ζήτηση χαλκού, για το 2040, λαμβάνοντας υπόψη και τη ζήτηση για τη δημιουργία των δικτύων ηλεκτρισμού θα είναι 10-15 εκατομμύρια τόνοι. Χωρίς τη χρήση για δίκτυα ηλεκτρισμού, η ετήσια ζήτηση, το 2050, αναμένεται να είναι 4-5 εκατομμύρια τόνοι και η συνολική, μέχρι το 2050, από 100 μέχρι 140 εκατομμύρια τόνοι.
- ◆ **Μέταλλα Ομάδας Λευκόχρυσου:** Η ζήτηση των μετάλλων της ομάδας του λευκόχρυσου, το 2040, προβλέπεται να είναι 18-117 τόνους.
 - **Λευκόχρυσος:** Ειδικότερα για το λευκόχρυσο, υπολογίζεται ότι, μέχρι το 2050, η συνολική ζήτηση θα είναι 40 τόνοι.

Είναι σκόπιμο να αναφερθεί για άλλη μια φορά, ότι οι προβλέψεις που πραγματοποιούνται σε όλες τις μελέτες και τις εκθέσεις που εξετάζονται σε αυτή την εργασία, και στην ίδια την εργασία ως επακόλουθο, εμπεριέχουν σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, οι παράμετροι και οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στα σενάρια και μπορούν να αλλάξουν με το πέρασμα των ετών, είναι αρκετές. Οι πιο χαρακτηριστικές, οι οποίες αναλύονται και στο κύριο σώμα της Διπλωματικής, είναι οι επιλογές που θα γίνουν μεταξύ των τεχνολογιών (π.χ. τα ποσοστά συνεισφοράς της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα), οι επιμέρους τεχνολογίες που θα επικρατήσουν (δηλαδή π.χ. ποιο ποσοστό ανεμογεννητριών θα χρησιμοποιεί μόνιμους μαγνήτες και ποιο κιβώτιο ταχυτήτων), οι απαιτήσεις των τεχνολογιών σε Ο.Π.Υ., οι ρυθμοί ανακύκλωσης και γενικά οι τεχνολογικές εξελίξεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν.

Τέλος, είναι μεγάλης σημασίας η αναφορά στον κλάδο των Ο.Π.Υ. και στη σημασία του για την επιτυχή μετάβαση προς μια Πράσινη Οικονομία. Ο κλάδος των Ο.Π.Υ. περιλαμβάνει στην αλυσίδα αξίας του, όλα τα στάδια από την εξόρυξη, την επεξεργασία, τη μεταλλουργία και την ανακύκλωση. Όσον αφορά στη ζήτηση κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τις πράσινες τεχνολογίες, η ανακύκλωση αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μείωση της πρωτογενούς ζήτησης Ο.Π.Υ., ιδιαίτερα με την πορεία των ετών, όπου οι ρυθμοί ανακύκλωσης θα αυξάνονται και οι δυνατότητες ανακύκλωσης συνθετότερων υλικών (όπως πολύπλοκων κραμάτων) θα βελτιώνονται. Ωστόσο, η ανακύκλωση από μόνη της, δεν θα είναι αρκετή για να καλύψει τη ζήτηση που θα υπάρχει, λόγω σημαντικών προβλημάτων, όπως π.χ. την απουσία της πλήρους γνώσης για το πότε θα έρθει το τέλος ζωής ενός προϊόντος, ώστε να ανακυκλωθούν οι Ο.Π.Υ. του και να επαναχρησιμοποιηθούν. Για αυτούς τους λόγους, η εξόρυξη θα συνεχίσει να είναι το κύριο μέσο κάλυψης της ζήτησης των κρίσιμων Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία. Η έμφαση που θα πρέπει να δοθεί, δεν είναι στην παύση της εξόρυξης των Ο.Π.Υ. που απαιτούνται, αλλά στις βιώσιμες τεχνικές εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων, με σεβασμό στον άνθρωπο, το περιβάλλον και την κοινωνία, την υπεύθυνη εκμετάλλευση δηλαδή, που στη διεθνή ορολογία συναντάται ως “responsible/sustainable sourcing”. Η πρωτογενής εξαγωγή πρώτων υλών είναι ζωτικής σημασίας για να ανταποκριθεί η βιομηχανία στις ανάγκες για τις Ο.Π.Υ., που θα προκύψουν από την Πράσινη Οικονομία. Οι συγκεκριμένες ανάγκες μάλιστα θα είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις σημερινές, εξαιτίας της βαριάς εξάρτησης του πράσινου ενεργειακού μοντέλου από κρίσιμες Ο.Π.Υ., σε αντίθεση με αυτό της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Μέσα από αυτή τη Διπλωματική Εργασία, γίνεται ξεκάθαρη η καιρία και στρατηγική σημασία της βιομηχανίας των Ο.Π.Υ. για τη μετάβαση σε μία Πράσινη Οικονομία, σε όλο το φάσμα της αλυσίδας αξίας της, προσφέροντας στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών το ειδικό βάρος, την ευθύνη αλλά και την ευκαιρία να συμβάλλει καθοριστικά στην επίτευξη αυτού του εγχειρήματος.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- H Ιστορία της Τεχνολογίας.* (2011). Ανάκτηση από <https://schooltec.wordpress.com/2011/04/02/tech-history/>
- Australian Government. (2021). *Outlook for Selected Critical Minerals: Australia 2021*. Commonwealth of Australia.
- British Petroleum. (2020). *Statistical Review of World Energy*. BP p.l.c.
- Dominish, E., Florin, N., & Teske, S. (2019). *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy*. Sydney: UTS.
- European Commission. (2019). *A European Green Deal*. Ανάκτηση από https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Commission. (2020). *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*. Brussels: EC.
- European Commission. (2021). *2050 long-term strategy*. Ανάκτηση από https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en#tab-0-0
- Giurco, D., Dominish, E., Florin, N., Takuma, W., & McLellan, B. (2019). Requirements for Minerals and Metals for 100% Renewable Scenarios. Στο S. Teske, *Achieving the Paris Climate Agreement Goals* (σσ. 437-457). Springer, Cham.
- International Energy Agency. (2015). *Energy Technology Perspectives 2015*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency. (2016). *Energy Technology Perspectives 2016*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017*. Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency. (2020). *Global EV Outlook 2020*. Paris: IEA.
- International Energy Agency. (2020). *World Energy Outlook 2020*. Paris: IEA.
- International Energy Agency. (2021a). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. Paris: IEA.
- International Energy Agency. (2021b). *Net Zero by 2050*. Paris: IEA.
- International Renewable Energy Agency. (2019). *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*. Abu Dhabi: IRENA.
- King, H. M. (2021). *REE-Rare Earth Elements and their Uses*. Ανάκτηση από geology.com: <https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Chromium*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Cobalt*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/co.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Copper*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Dysprosium*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/dy.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Lithium*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/li.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Manganese*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/mn.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Molybdenum*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/mo.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Neodymium*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/nd.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Nickel*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/ni.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Platinum*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/pt.htm>

- Lenntech. (2021). *Lenntech-Silicon*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/si.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Silver*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/ag.htm>
- Lenntech. (2021). *Lenntech-Zinc*. Ανάκτηση από <https://www.lenntech.com/periodic/elements/zn.htm>
- Månberger, A., & Stenqvist, B. (2018). Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. *Energy Policy*, 226-241.
- McDonald, L. (2020, June 16). *Global Electric Vehicle Stock Reaches 7.2 Million*. Ανάκτηση από evstatistics.com: <https://evstatistics.com/2020/06/global-electric-vehicle-stock-reaches-7-2-million/>
- Nose, K., & Okabe, T. H. (2014). Platinum Group Metals Production. *Treatise on Process Metallurgy: Industrial Processes*, 1071-1097.
- Schulz, J. K., DeYoung, H. J., Seal, R. R., & Bradley, C. D. (2017). *Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply*. USGS Professional Paper.
- Togaya, M., Sugiyama, S., & Mizuhara, E. (1994). Melting of graphite. (σσ. 255-258). AIP Conference Proceedings 309.
- U.S. Energy Information Administration. (2021). *How much carbon dioxide is produced per kilowatthour of U.S. electricity generation?* Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Chromium*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Cobalt*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Copper*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Graphite*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Lithium*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Manganese*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Molybdenum*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Nickel*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Platinum-Group Metals*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Silicon*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Silver*. USGS.
- U.S. Geological Survey. (2021). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Zinc*. USGS.
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. Paris: UN.
- United Nations Climate Change. (2021). *The Paris Agreement*. Ανάκτηση από <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

- United Nations Environment Programme. (2021). *Green Economy*. Ανάκτηση από <https://www.unep.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/supporting-resource-efficiency/green-economy>
- World Bank. (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*. Washington, DC: WB.
- World Bank. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Washington, DC: WB.
- Zepf, V., Reller, A., Rennie, C., Ashfield, M., & Simmons, J. (2014). *Materials Critical to the Energy Industry*. BP p.l.c.
- Μέταλλα ορυκτά και πετρώματα: Συστατικά της οικονομίας μας από την εποχή του λίθου έως σήμερα*. (2021). Ανάκτηση από [orykta.gr](https://www.orykta.gr/oryktoi-poroi-kai-h-diahroniki-simasia-tous-stin-oikonomia): <https://www.orykta.gr/oryktoi-poroi-kai-h-diahroniki-simasia-tous-stin-oikonomia>