



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

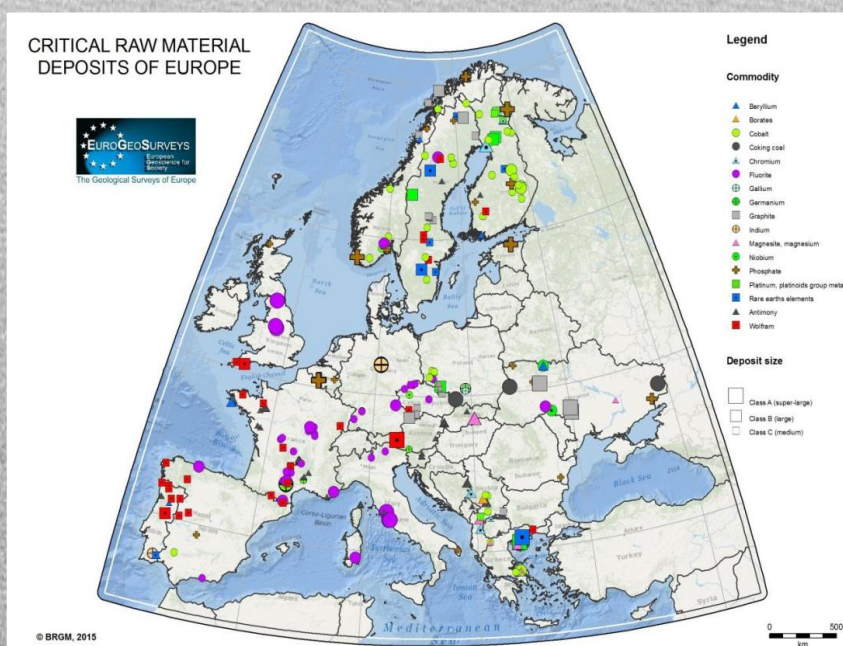
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ «ΚΡΙΣΙΜΑ» ΜΕΤΑΛΛΑ Ή ΜΕΤΑΛΛΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΑΡΔΑΣ Ν. ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ
ΑΕΜ 5404



ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ: 2019-2020





ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ Ν. ΔΑΡΔΑΣ

Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ
«ΚΡΙΣΙΜΑ» ΜΕΤΑΛΛΑ Ή ΜΕΤΑΛΛΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλειος Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Παντελεήμων Ν. Δάρδας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Παντελεήμων Ν. Δάρδας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ «ΚΡΙΣΙΜΑ» ΜΕΤΑΛΛΑ Ή ΜΕΤΑΛΛΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ– *Διπλωματική Εργασία*

© Panteleimon N. Dardas, School of Geology, Dept. of Mineralogy - Petrology - Economic Geology, 2020

All rights reserved.

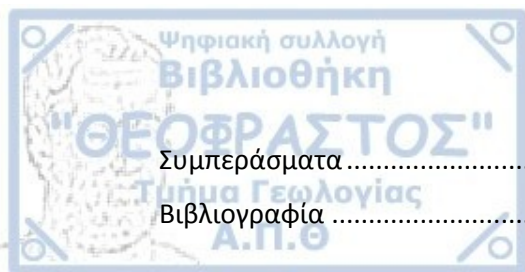
EUROPEAN POLICY ON MINERAL RAW MATERIALS AND THE “CRITICAL” OR TECHNOLOGY METALS – *Bachelor Thesis*

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Τα κοιτάσματα κρίσιμων πρώτων υλών της Ευρώπης σύμφωνα με το EuroGeoSurvey

Συνοτομογραφίες	6
Περίληψη.....	7
Abstract	8
Πρόλογος.....	9
Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 1. Τα μέταλλα στα προϊόντα σύγχρονης τεχνολογίας	15
1.1. Κινητά τηλέφωνα (smartphones).....	16
1.1.1. Νεοδύμιο (Nd).....	16
1.1.2. Ίνδιο (In).....	17
1.1.3. Ταντάλιο (Ta)	17
1.1.4. Χαλκός (Cu)	18
1.1.5. Χρυσός (Au)	19
1.1.6. Λίθιο (Li).....	20
1.1.7. Παλλάδιο (Pd)	21
1.2. Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές	24
1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	24
1.4. Πράσινη Τεχνολογία	27
1.5. Σπάνιες Γαίες.....	29
Κεφάλαιο 2. Κίνδυνος πρόσβασης στα μέταλλα υψηλής τεχνολογίας	34
2.1. Conflict Minerals.....	34
2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	38
Κεφάλαιο 3. Η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις Ορυκτές πρώτες ύλες	40
3.1. Εθνική Πολιτική για τις ΟΠΥ	45
Κεφάλαιο 4. Κρίσιμα μέταλλα	47
4.1. Οι ανανεωμένες λίστες των CRMs του 2014 και 2017	48
4.2. Από τι εξαρτάται η κρισιμότητα.....	50
4.3. Χρήσεις CRMs	52
4.4. Ζήτηση και Κύριοι Παραγωγοί των CRMs.....	54
4.5. Οι Κρίσιμες Πρώτες Ύλες στην Ελλάδα.....	59
4.6. Δυνατότητες αντικατάστασης CRMs και προοπτικές ανακύκλωσης τους	62



Συμπεράσματα.....	66
Βιβλιογραφία	67



Σύντομογραφίες

ΟΠΥ: Ορυκτές πρώτες ύλες

ΔΟΕ: Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας

ΙΓΜΕ: Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΠΑΟΠΥ: Εθνική Πολιτική για την Αξιοποίηση των Ορυκτών Πρώτων Υλών

ΑΕΠ: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

REE: Rare Earth Elements

ppm: parts per million

PGM: Platinum Group Metals

USGS: U.S Geological Survey

EV: Electric Vehicle

HEV: Hybrid Electric Vehicle

REO: Rare Earth Oxides

DRC: Democratic Republic of Congo

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

RMI: Raw Materials Initiative

CRM: Critical Raw Materials

LREE: Light Rare Earth Elements

HREE: Heavy Rare Earth Elements

BGS: British Geological Survey

LED: Light Emitting Diode

UNEP: United Nations Environment Programme



Περίληψη

Η ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΙΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ «ΚΡΙΣΙΜΑ» ΜΕΤΑΛΛΑ Ή ΜΕΤΑΛΛΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Παντελεήμων Ν. Δάρδας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει την σημασία των μετάλλων για τον άνθρωπο. Αρχικά γίνεται μια αναδρομή στο παρελθόν, από την πρώτη επαφή του ανθρώπου με τις ορυκτές πρώτες ύλες και κυρίως τα μέταλλα, έως την ανάπτυξη σπουδαίων πολιτισμών. Στόχος του πρώτου κεφαλαίου είναι να τονιστεί η διαχρονική σχέση του ανθρώπου με τα μέταλλα και η συνεισφορά τους στην εξέλιξη του κατά το παρελθόν.

Έπειτα ακολουθεί η ανάλυση της συμβολής των μετάλλων στα προϊόντα σύγχρονης τεχνολογίας. Στόχος του δεύτερου κεφαλαίου αποτελεί η ανάδειξη της σημαντικότητας των μετάλλων στο παρόν και στο κοντινό μέλλον του σύγχρονου ανθρώπου. Ακολουθώς παρουσιάζονται εκτενώς οι κίνδυνοι πρόσβασης στα μέταλλα υψηλής τεχνολογίας είτε λόγω πολιτικών ασταθειών και καθεστώτων βίας είτε λόγω περιβαλλοντικής ασυνειδησίας. Άμεσος στόχος του κεφαλαίου είναι ο προβληματισμός σε σχέση με τις συνθήκες και τις συνέπειες εξόρυξης μετάλλων που χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως από τον άνθρωπο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της Ευρωπαϊκής και της Εθνικής Πολιτικής για τις ορυκτές πρώτες ύλες, έχοντας ως δεδομένο της ταχύρρυθμη αύξηση της ζήτησής τους. Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η επισήμανση της σημασίας των ορυκτών πρώτων υλών για την ΕΕ και την Ελλάδα, καθώς και την ανάγκη ύπαρξης μίας οργανωμένης στρατηγικής.

Το πέμπτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις κρίσιμες για την ευρωπαϊκή βιομηχανία πρώτες ύλες, τις συγκεντρώσεις παραγωγής τους, τα κριτήρια κρισιμότητάς τους, ενώ γίνεται αναφορά στις δυνατότητες αντικατάστασής τους με τα παρόντα δεδομένα και στις προοπτικές επαναχρησιμοποίησής τους.



Abstract

EUROPEAN POLICY ON MINERAL RAW MATERIALS AND 'CRITICAL' OR TECHNOLOGY METALS

Panteleimon N. Dardas

This diploma thesis aims to highlight the importance of metals for the human being. Initially, we present a look back at the past, from the first human contact with the mineral raw materials and especially metals, to the development of great civilizations. The aim of the first chapter is to emphasize the timeless relationship of man with metals and their own contribution to the human evolution in the past.

After this, the analytical significance of metals to the products of modern technology is presented. The aim of the second chapter is to highlight the importance of metals in the present and in the near future. Afterwards, the access risks to high-tech metals, either due to political instability and violence or due to environmental impacts, are presented in detail. The immediate goal of the chapter is to troubleshoot and awaken the reader by presenting the conditions and consequences of metal mining, of those metals man uses for his own comfort.

The fourth chapter analyzes the European and National Minerals Policy, given the rapid increase in demand. The aim of this chapter is to highlight the importance of mineral resources for the EU and Greece, as well as the need of an organizational strategy.

The fifth chapter focuses on the crucial for the European industry raw materials, on their production concentrations, on their criticality criteria, referring to the possibilities of critical metals substitution, with the present data given and the prospective of reusing them.



Πρόλογος

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς την καθοδήγηση και το ενδιαφέρον του επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Βασιλείου Μέλφου. Τον ευχαριστώ εκ βάθους για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και για την μύηση στον τρόπο σκέψης για την ανάλυση και επεξεργασία του παρόντος θέματος.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους πολύ κοντινούς μου ανθρώπους για την έμπρακτη στήριξη και ενθάρρυνση τους όλο αυτό το διάστημα.

Εισαγωγή

Όλα τα αυτοφυή στοιχεία, καθώς και συγκεντρώσεις ορυκτών και πετρωμάτων, τα οποία έχουν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά που δικαιολογούν την εκμετάλλευσή τους, και γενικά οικονομικό ενδιαφέρον για χρήση σε ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία, εμπόριο, ενέργεια κ.α.), ονομάζονται Ορυκτές Πρώτες Ύλες (ΟΠΥ) (1,2). Οι ΟΠΥ ταξινομούνται σε τρεις κύριες ομάδες (3–5) :

- i) Ενεργειακές ορυκτές πρώτες ύλες ή ορυκτά καύσιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακες, γεωθερμία κ.α.).
- ii) Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα ή μη μεταλλικά (6), ονομάζονται τα γεωλογικά υλικά που εξορύσσονται για την εμπορική τους αξία και χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη ή ως πρόσθετη ύλη σε ένα ευρύ πλαίσιο εφαρμογών στην βιομηχανία. Ορισμένα από αυτά είναι τα εξής: μάρμαρο, περλίτης, μπετονίτης, χαλαζίας, άστριοι, καολίνη, μαγνησίτης, ζεόλιθοι κ.α. Στη κατηγορία αυτή εντάσσονται και οι πολύτιμοι και οι ημιπολύτιμοι λίθοι.
- iii) Μεταλλεύματα (αυτοφυή μέταλλα και ενώσεις μετάλλων), όπου από μεταλλικά ορυκτά όπως ο μαγνητίτης, ο γαληνίτης, ο σιδηροπυρίτης, ο χαλκοπυρίτης, ο σφαλερίτης κ.α., πραγματοποιείται απόληψη ενός ή περισσότερων μετάλλων, καθώς και αποτελούν χημικές πρώτες ύλες.

Πιο ειδικά σύμφωνα με το Άρθρο 2 του Ν.Δ. 210/1973 ΦΕΚ 277/Α/5-10-73 «Περί μεταλλευτικού κώδικος», ως μεταλλευτικά ορυκτά ή μεταλλεύματα θεωρούνται οι παρακάτω ΟΠΥ (7–9):

- Τα αυτοφυή μέταλλα (χαλκός, χρυσός, κ.λ.π.).
- Οι ενώσεις όλων των μετάλλων (αργιλίου, βαρίου, καδμίου, κοβαλτίου, μαγγανίου, νικελίου, σιδήρου, στρόντιου, τιτανίου, υδραργύρου, ψευδαργύρου κ.λ.π.).
- Τα ορυκτά των μετάλλων της ομάδας των σπανίων γαιών.
- Τα ορυκτά των ραδιενεργών στοιχείων.
- Το αυτοφύες θείο, ο γραφίτης, ο φωσφορίτης, ο φθορίτης, ο αμίαντος, ο τάλκης, ο αλουνίτης, ο μαρμαρυγίας, οι άστριοι, οι στυπτηρίες, το ορυκτό χλωριούχο νάτριο, μαζί με τα

παρακολουθούντα αυτό άλατα, οι ενώσεις βορίου, βρωμίου και ιωδίου, ο σηπιόλιθος, ο δολομίτης περιεκτικότητας σε οξείδιο μαγνησίου μεγαλύτερη του 21%.

- Οι πολύτιμοι λίθοι.
- Όλες οι στερεές καύσιμες ορυκτές ύλες, καθώς και η τύρφη (ποάνθρακας).
- Οι φυσικές εναποθέσεις οργανικών λιπασμάτων.
- Οι υδρογονάνθρακες παντός είδους σε στερεά, υγρή ή αέρια κατάσταση, καθώς και τα προϊόντα οξείδωσης τους (οζοκηρίτης, άσφαλτος, πισσάσφαλτος, πισσασφαλτούχοι ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι, κ.λ.π.).
- Οι ρητινώδεις ορυκτές ύλες.
- Το αέριο ήλιο και τα γηγενή αέρια.
- Οι φυσικοί ατμοί (πηγές γεωθερμικής ενέργειας).

Οι Μεταλλικές ΟΠΥ, σύμφωνα με την Βιομηχανική και Καταναλωτική εφαρμογή ορίζονται ως εξής (5,10):

- 1) Μεταλλεύματα Σιδήρου
- 2) Μεταλλεύματα για την παραγωγή Χάλυβος (Mn, Cr, Mo, V)
- 3) Βαρέα Μέταλλα με πυκνότητα $>5,0 \text{ g/cm}^3$ (Cu, Pb, Zn, Co, Sn, Cd, Hg)
- 4) Ελαφρά Μέταλλα με πυκνότητα $<5,0 \text{ g/cm}^3$ (Al, Mg, Ti)
- 5) Ευγενή Μέταλλα (Au, Ag, Pt)
- 6) Σπάνια και Ραδιενεργά Μέταλλα (Be, Re, U)

Οι ΟΠΥ έχουν συνδεθεί με σημαντικά κεφάλαια-σταθμούς της εξέλιξης του ανθρώπου. Απόδειξη αποτελούν οι ονομασίες των μεγάλων χρονικών ενοτήτων της ανθρώπινης προϊστορίας, οι οποίες βασίστηκαν σε ορισμένα μέταλλα και λίθους τα οποία ο άνθρωπος χρησιμοποίησε για την κατασκευή χρηστικών και πολεμικών αντικειμένων. Η σχέση του ανθρώπου με τις ΟΠΥ είναι διαχρονική, από την χρονική περίοδο που αυτός μορφοποίησε την πέτρα για την δημιουργία των πρώτων χρηστικών αντικειμένων για την διευκόλυνση του, μέχρι την αναζήτηση μεγάλων κοιτασμάτων και σπάνιων μετάλλων, τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στην διαρκώς ακμάζουσα τεχνολογία.

Η περίοδος αυγής του ανθρώπινου πολιτισμού, ονομάστηκε Λίθινη Εποχή, μία εποχή που ξεκίνησε πριν από περίπου 3.000.000 έτη, μέχρι περίπου και το 5.000 π.Χ. (11). Από την Παλαιολιθική περίοδο ακόμα, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τις πέτρες για εργαλεία, όπου με μικρή κατεργασία, τις έδινε το επιθυμητό σχήμα. Τα πρώτα εργαλεία από πέτρα χρονολογούνται περίπου πριν από 2.600.000 έτη (7,12). Κατά την εποχή του Λίθου, ευρήματα στο Nile Valley της Αιγύπτου έδειξαν πως ο Homo Sapiens και πιθανόν και ο Neanderthal, χρησιμοποίησε σαν πρώτη ύλη διάφορα είδη πετρωμάτων, όπως ο πυριτιόλιθος (Εικ. 1) και ο οψιδιανός (Εικ. 2) για την κατασκευή όπλων και εργαλείων καθημερινής του χρήσης (13,14).



Εικόνα 1: Άνω όψη μεγάλης λεπίδας πυριτολίθου Ν. Αρτάκης (15).



Εικόνα 2: Λεπίδες οψιδιανού από τη Φυλακωπή Μήλου (16).

Ο οψιδιανός (ή Λιπαραίος λίθος (17)) πρόκειται για ένα ηφαιστειακό πέτρωμα με υψηλή περιεκτικότητα σε SiO_2 , που αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ηφαιστειακή ύαλο. Κατά την προϊστορική περίοδο, στο Αιγαίο, δημιουργήθηκαν όπλα και εργαλεία από οψιδιανό, της Μήλου (18).

Κάπου στις αρχές της 7^{ης} χιλιετίας π.Χ. (τέλος της 6^{ης} χιλιετίας στον Ελλαδικό χώρο) (19), ο άνθρωπος ξεκινάει να χρησιμοποιεί και τα μέταλλα, με πρώτο από όλα τον αυτοφυή χαλκό (Cu), λόγω της αφθονίας του στη φύση καθώς και της καταλληλότητας του για κατασκευή εργαλείων και όπλων (12,20). Με την τήξη του χαλκού και την ανάπτυξη της μεταλλουργίας, σηματοδοτείται μία σημαντική τεχνολογική εξέλιξη του ανθρώπου, και την αφετηρία της Εποχής του Χαλκού (περί το 3.000 π.Χ. στο Αιγαίο). Τα πρώτα κράματα δημιουργήθηκαν, αρχικά με την χρήση αρσενικού (As), και στην συνέχεια πιο εκτεταμένα με κασσίτερο (Sn), γνωστός και ως μπρούτζος ή κρατέρωμα (21). Εκτεταμένη εξόρυξη και χρήση χρυσού (Au) έλαβε χώρα στο βασίλειο της Λυδίας, όπου κατά το 2.600 π.Χ. δημιουργήθηκαν τα πρώτα χρυσά νομίσματα (22).

Παρόλο που ο σίδηρος (Fe) ήταν ήδη γνωστός από τους μετεωρίτες, η παραγωγή σιδήρου με τήξη και αναγωγή μεταλλευμάτων, συνέβη περί το 3.200 π.Χ. (Εποχή του Σιδήρου). Περίπου το 1.300 π.Χ. συντελείται μία από τις μεγαλύτερες κατακτήσεις της μεταλλογνωσίας, με την ανακάλυψη και την ευρεία χρήση του χάλυβα (21,23).

Ο χάλυβας ή ατσάλι πρόκειται για κράμα σιδήρου και άνθρακα. Αναφορές στην μεταλλουργία του σιδήρου συναντούμε σε αρχαία κείμενα, όπως το *Κύρου Ανάβας* του Ξενοφώντα, ο οποίος κάνει αναφορές στην «Χώρα των Χαλύβων» που οι κάτοικοι της «ζούσαν από την επεξεργασία και εμπορία του σιδήρου» (24). Επιπλέον στο έπος της Οδύσσειας, ο Όμηρος, παρομοιάζει την τύφλωση του Κύκλωπα από τον Οδυσσέα με την διαδικασία βαφής του χάλυβα: «*γλήνης καιομένης, σφαραγεῦντο δέ οἱ πυρὶ ῥίζαι. ὥς δ' ὅτ' ἀνὴρ χαλκεὺς πέλεκυν μέγαν ἤε σκέπαρνον εἰν ὕδατι ψυχρῷ βάπτῃ μεγάλα ἰάχοντα φαρμάσσων· τὸ γὰρ αὖτε σιδήρου γε κράτος ἐστὶν ὥς τοῦ σίζ' ὀφθαλμὸς ἐλαϊνέῳ περὶ μοχλῷ.*» (25), ενώ ο Ηρόδοτος κάνει περιγραφή της γέφυρας του ποταμού Ευφράτη, η οποία κατασκευάστηκε από σίδηρο με επίστρωση μόλυβδου, δια να μην οξειδωθεί (26). Τέλος, ο μύθος του χρυσόμαλλου δέρατος, βασίζεται σε μία αληθινή αποστολή των αρχαίων, πριν 3.500 χρόνια περίπου (27), με σκοπό την αναζήτηση χρυσοφόρων κοιτασμάτων, και την εκμάθηση τεχνικών εξόρυξης του.

Η χρήση των μετάλλων σαν πρώτες ύλες, έθεσαν στέρεα βάση και στην ανάπτυξη σπουδαίων πολιτισμών. Θεμέλιο λίθο για την δημιουργία του πανίσχυρου Μακεδονικού κράτους από τον Φίλιππο Β', αποτέλεσαν τα μεταλλεύματα χρυσού και αργύρου των μεγάλων κοιτασμάτων της Μακεδονίας και της Θράκης (Παγγαίου, Γαλλικού ποταμού, Θάσου, Παλαιάς Καβάλας), αλλά και των νοτίων Βαλκανίων (12,28). Τα νομίσματα χρυσού και αργύρου που κόπηκαν από τον Φίλιππο Β', συνετέλεσαν σε μεγάλο βαθμό στην ανέλιξη της αυτοκρατορίας του Μεγάλου Αλεξάνδρου, καθώς και στην επιτυχή εκστρατεία κατά των Περσών. Σημαντικό ρόλο έπαιξαν κατά την κλασσική περίοδο, τα αργυροφόρα κοινάσματα του Λαυρίου, στην εκμετάλλευση των οποίων βάσισε η Αθήνα όλη την νομισματική παραγωγή της. Τέλος οι Ρωμαίοι ήταν αυτοί που ανέπτυξαν δικές τους τεχνικές εξόρυξης και επεξεργασίας του χρυσού, ενώ ξεκίνησαν την παραγωγή ορείχαλκου (κράμα χαλκού με ψευδάργυρο), για την κοπή νομισμάτων.

Κατά το τέλος του 19^{ου} αιώνα ανακαλύπτεται το αργίλιο (αλουμίνιο), ενώ τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση των ειδικών χαλύβων, κραμάτων αργιλίου, τιτανίου, μαγνησίου, πυριτίου, καθώς και προϊόντων της κονιομεταλλουργίας (23), οδήγησε στα εκπληκτικά επιτεύγματα της επιστήμης του Διαστήματος, για την κατάκτηση του. Έκτοτε η επιστημονική έρευνα και η χρήση των μετάλλων συνοδεύτηκε από ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη και έχει παράλληλη πορεία με την οικονομική και πολιτισμική ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού.

Κεφάλαιο 1. Τα μέταλλα στα προϊόντα σύγχρονης τεχνολογίας

Οι ΟΠΥ βρίσκονται παντού γύρω μας. Παρόλο που είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας, η αξία τους δεν είναι ιδιαίτερα αναγνωρίσιμη. Οι Ο.Π.Υ. είναι σημαντικές τόσο στα καταναλωτικά προϊόντα καθημερινής χρήσης, όσο και στα προϊόντα προηγμένης τεχνολογίας. Κινητά τηλέφωνα (smartphones), φωτοβολταϊκά συστήματα, υβριδικά συστήματα αυτοκίνησης, καλώδια οπτικών ινών, μπαταρίες λιθίου, δορυφόροι, συνθετικά καύσιμα, ρομποτικά συστήματα αποτελούν ελάχιστα παραδείγματα των σύγχρονων εφαρμογών των μετάλλων.

Ο μέσος άνθρωπος, καταναλώνει 1.380.000 kg ορυκτών πόρων κατά την διάρκεια της ζωής του (4). Πιο συγκεκριμένα, ένας Ευρωπαίος πολίτης (Εικ. 3), χρησιμοποιεί κατά μέσο όρο (5):



Εικόνα 3: Η κατανάλωση ενός μέσου Ευρωπαίου πολίτη σε Ο.Π.Υ.

Μια τετραμελής οικογένεια απαιτεί ετησίως 10 τόνους λιγνίτη ή 4.000 βαρέλια πετρέλαιο για ηλεκτρική ενέργεια την οποία καταναλώνει για να καλύψει τις ανάγκες της, ενώ μία μέση κατοικία χρειάζεται περίπου 150 τόνους ορυκτών (29,30). Σήμερα σπουδαίο ρόλο στην πρόοδο του βιοτικού επιπέδου μας διαδραματίζουν τα μέταλλα και τα οξείδια τους, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών.

1.1. Κινητά τηλέφωνα (smartphones)

Το κινητό μας τηλέφωνο αποτελεί σήμερα σχεδόν ένα αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητάς μας. Με αυτό κάνουμε σχεδόν τα πάντα. Επικοινωνούμε, διασκεδάζουμε, ενημερωνόμαστε. Οι ανάγκες και οι απαιτήσεις μας συνεχώς αυξάνονται και συνεπώς οι συσκευές των κινητών τηλεφώνων θα πρέπει ολοένα να βελτιώνονται. Όμως πόσα μέταλλα και πόσα ορυκτά καταναλώνει αυτή η μικρή αλλά κατά τα άλλα σπουδαία συσκευή; Τα βασικότερα είναι τα εξής:

1.1.1. Νεοδύμιο (Nd)

Το νεοδύμιο (Nd) ανήκει στην κατηγορία των σπάνιων γαιών (REE). Το μέταλλο αυτό οξειδώνεται γρήγορα, ενώ βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στον φλοιό της Γης από το Co, το Ni ή τον Cu. Εμφανίζεται σε σημαντικές ποσότητες στα μεταλλεύματα μοναζίτη και μπαστναζίτη, ενώ η εξόρυξη του χρίζει ιδιαίτερης προσοχής λόγω των σοβαρών επιπτώσεων του στο περιβάλλον (31).



Εικόνα 4: Το μέταλλο Νεοδύμιο (Nd) (32).

Στα smartphones χρησιμοποιείται στους μόνιμους μαγνήτες των ηχείων, καθώς και στον μαγνήτη NdFeB, στον οποίο οφείλεται η δόνηση. Ο μαγνήτης αυτός περιέχει περίπου 0,1 γραμμάρια Nd. Η ετήσια παγκόσμια μάζα εξόρυξης του Nd είναι 122.600 τόνοι, ενώ οι εκτιμήσεις των παγκόσμιων αποθεμάτων είναι περίπου στους

110.000.000 τόνους. Ένα συντριπτικό ποσοστό της συνολικής εξόρυξης (97% περίπου), γίνεται στην Κίνα (32).

1.1.2. Ίνδιο (In)

Το ίνδιο (In) πρόκειται για ένα μαλακό μέταλλο με μεγάλη πλαστικότητα. Χαράσσεται με το νύχι ενώ μπορεί να υποστεί σχεδόν απεριόριστη παραμόρφωση. Η μέση περιεκτικότητά του στον στερεό φλοιό της Γης υπολογίζεται περίπου 0,05 ppm (περίπου τόσο σπάνιο όσο ο Ag) (31,33). Συναντάται ως ιχνοστοιχείο σε πολλά ορυκτά, κυρίως όμως σε ορυκτά του Zn και του Pb, από τα οποία λαμβάνεται ως υποπροϊόν (34).



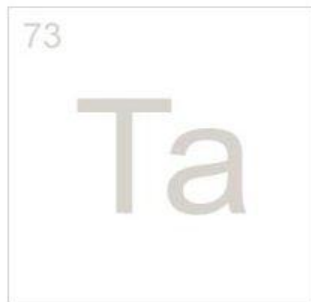
Εικόνα 5: Το μέταλλο Ίνδιο (In) (32).

Το ίνδιο σε συνδυασμό με τον κασσίτερο (Sn) τοποθετείται στις touchscreen οθόνες των σύγχρονων κινητών, υπό μορφή λεπτού στρώματος. Το κράμα αυτό είναι οπτικά διάφανο ενώ χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, συνδυασμός ο οποίος είναι εξαιρετικά σπάνιος, καθιστώντας την συσκευή ικανή να αναγνωρίζει την επαφή του χεριού στην οθόνη. (32) Η παγκόσμια μάζα εξόρυξης υπολογίζεται περίπου στους 600 τόνους ετησίως. Η Κίνα κατέχει ένα 55% της συνολικής παγκόσμιας εξόρυξης, ενώ σημαντικό ποσοστό κατέχουν και η Ν.Κορέα, η Ιαπωνία και ο Καναδάς. (35,36)

1.1.3. Ταντάλιο (Ta)

Πρόκειται για ένα μέταλλο που χαρακτηρίζεται από την υψηλή πυκνότητα, το εξαιρετικά υψηλό σημείο τήξης (2.996 °C), καθώς και την μεγάλη αντοχή του στα

περισσότερα οξέα. Είναι σχετικά σπάνιο, ενώ συναντάται σε παρόμοια αφθονία με το U. (31)



Εικόνα 6: Το μέταλλο Ταντάλιο (Ta) (32).

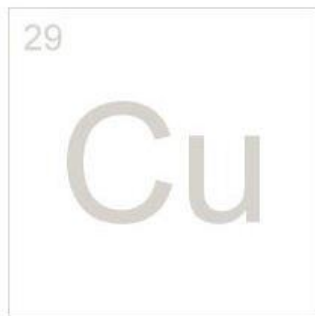
Χρησιμοποιείται σε μικροσκοπικές ποσότητες στο κύκλωμα της συσκευής smartphone. Πιο συγκεκριμένα οι πυκνωτές τανταλίου έχουν την υψηλότερη χωρητικότητα ηλεκτρικού φορτίου ανά μονάδα όγκου από κάθε άλλο πυκνωτή, δηλαδή μπορούν να αποθηκεύσουν εξαιρετικά μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο, σε πολύ μικρό χώρο. Η εφαρμογή των πυκνωτών αυτών έδωσε την δυνατότητα στις εταιρείες κατασκευής κινητών τηλεφώνων, να ελαχιστοποιήσουν τις διαστάσεις των smartphones με ταυτόχρονη αύξηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών τους (37). Η ετήσια παγκόσμια μάζα εξόρυξης του τανταλίου υπολογίζεται στους 810 τόνους περίπου, ενώ εκτιμάται πως τα παγκόσμια αποθέματα είναι στους 261.000 τόνους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του μετάλλου παράγεται από το Κονγκό και την Ρουάντα υπό καθεστώς συγκρούσεων όπως θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο (38,39).

Άλλα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα των smartphones είναι το ζιρκόνιο (Zr), το ύτριο (Y), ο λευκόχρυσος (Pt), το ρουθένιο (Ru), ο άργυρος (Ag), ο κασσίτερος (Sn), ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), το βολφράμιο (W), το παλλάδιο (Pd), ο χρυσός (Au), το βάριο (Ba) και το στρόντιο (Sr) (12).

1.1.4. Χαλκός (Cu)

Κύρια γνωρίσματα του χαλκού (Cu) είναι το κοκκινωπό του χρώμα και το ότι είναι όλκιμος και ελατός, δηλαδή ιδιαίτερα εύπλαστος και ταυτόχρονα ανθεκτικός. Πρόκειται για έναν εξαιρετικό αγωγό ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται στην κατασκευή καλωδίων, σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα, σε υδραυλικές εγκαταστάσεις, σε εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στις

τηλεπικοινωνίες και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Παρόλο που ανευρίσκεται αυτοφυής στην φύση, περισσότερο συνηθισμένη είναι η εμφάνιση του στο φλοιό της Γης ως θειούχο ορυκτό όπως ο χαλκοπυρίτης (CuFeS_2), ο χαλκοσίνης (Cu_2S), ο κοβελλίνης (CuS), ο κυπρίτης (Cu_2O), ο μαλαχίτης ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) και ο αζουρίτης ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) (40).



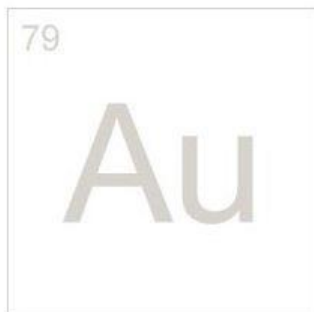
Εικόνα 7: Το μέταλλο του Χαλκού (Cu) (32).

Ο Cu χρησιμοποιείται στις επαφές πάνω στην πλακέτα των κυκλωμάτων του smartphone, στους επεξεργαστές, στα καλώδια καθώς και στην μπαταρία. Υπολογίζεται ότι μία συσκευή περιέχει 14 gr Cu (41). Η παγκόσμια παραγωγή Cu υπολογίζεται στους 20.000 τόνους περίπου ανά έτος, ενώ η εκτίμηση των παγκόσμιων αποθεμάτων είναι κοντά στους 870.000 τόνους. Το κοίτασμα πορφυριτικού Cu στα Όρη των Άνδεων της Χιλής είναι το μεγαλύτερο γνωστό κοίτασμα Cu. Αυτό κάνει την Χιλή πρωταγωνίστρια χώρα παραγωγής Cu παγκοσμίως με ποσοστό που αγγίζει το 30% του συνόλου. Άλλοι σημαντικοί παραγωγοί είναι το Περού, η Κίνα και οι Ηνωμένες Πολιτείες (31,42).

1.1.5. Χρυσός (Au)

Πρόκειται για το πολυτιμότερο και πιο περιζήτητο μέταλλο ήδη από τα αρχαία χρόνια. Επιδεικνύει εξαιρετικές ιδιότητες όπως το ότι δεν οξειδώνεται ούτε φθείρεται, ενώ είναι μαλακός και εύπλαστος. Επιπλέον είναι εξαιρετικός αγωγός ηλεκτρικού φορτίου και θερμότητας. Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν τον χρυσό ιδανικό μέταλλο στις τηλεπικοινωνίες, στην κατασκευή υπολογιστών, ημιαγωγών και ηλεκτρικών κυκλωμάτων, στην Ιατρική και την Οδοντιατρική, στην μηχανική της επιστήμης του Διαστήματος και σε πολλές ακόμα εφαρμογές. (22,41,43). Ο Au εμφανίζεται σε αυτοφυή μορφή, λόγω της χαμηλής δραστηριότητάς του, με μορφή συνήθως κόκκων ή σβόλων σε υδροθερμικές φλέβες, ανάμεσα σε πετρώματα, καθώς και σε

προσχωσιγενή πετρώματα. Εκτιμάται ότι η μέση περιεκτικότητα του στον φλοιό της Γης είναι στα 0,005 ppm (31).



Εικόνα 8: Το μέταλλο του Χρυσού (Au) (32).

Λόγω της εξαιρετικής αγωγιμότητας του υπάρχουν μικρές ποσότητες Au στο εσωτερικό του κυκλώματος των κινητών τηλεφώνων, αλλά και στην κάρτα SIM (32,44). Η παγκόσμια παραγωγή ετησίως αγγίζει τους 3.300 τόνους, ενώ η εκτίμηση των αποθεμάτων ανά τον κόσμο είναι στους 50.000 τόνους. Η Κίνα ηγείται της συνολικής εξόρυξης χρυσού με ποσοστό 13,5%, ενώ συμπρωταγωνιστές είναι η Αυστραλία και η Ρωσία (45).

1.1.6. Λίθιο (Li)

Το λίθιο (Li) πρόκειται για το ελαφρύτερο μέταλλο και είναι εξαιρετικά δραστικό και εύφλεκτο. Βρίσκεται στην φύση με την μορφή ενώσεων του, ενώ αποτελεί εξαιρετικά καλό αγωγό. Το Li μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλα ποσά ενέργειας καθιστώντας το ιδανικό μέταλλο για την κατασκευή συσσωρευτών για φορητές συσκευές όπως smartphones και laptops, αλλά ακόμη και για ηλεκτρικά αυτοκίνητα (31,46,47).



Εικόνα 9: Το μέταλλο Λίθιο (Li) (32).

Το Li μαζί με το Ni, το Co και το Al αποτελούν τα βασικά στοιχεία των σύγχρονων μπαταριών των smartphones. Σύμφωνα με δεδομένα του 2019 (48) η παγκόσμια συνολική εξόρυξη έφτανε τους 77.000 τόνους, ενώ οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα ανά τον κόσμο είναι στους 17.000.000 τόνους. Η Αυστραλία κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό εξόρυξης με 32% περίπου, ενώ ακολουθούν η Χιλή, η Κίνα και η Αργεντινή.

1.1.7. Παλλάδιο (Pd)

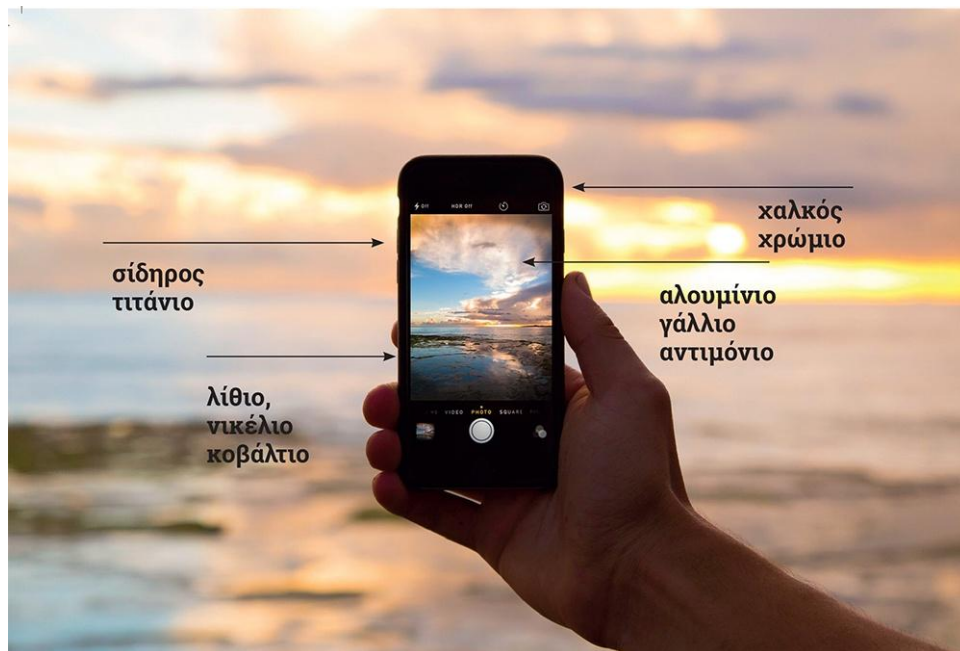
Το παλλάδιο (Pd) ανήκει στην “ομάδα του Λευκόχρυσου” (PGM), είναι πολύτιμο και εξαιρετικά όλκιμο και ελατό. Χρησιμοποιείται ευρέως στην κοσμηματοποιεία, στην Οδοντιατρική, στην αυτοκινητοβιομηχανία ως καταλύτης, καθώς και στα κυκλώματα και στους πυκνωτές. Η μέση σύσταση του μετάλλου στον φλοιό της Γης είναι 0.015 ppm (31,46).



Εικόνα 10: Το μέταλλο Παλλάδιο (Pd) (49).

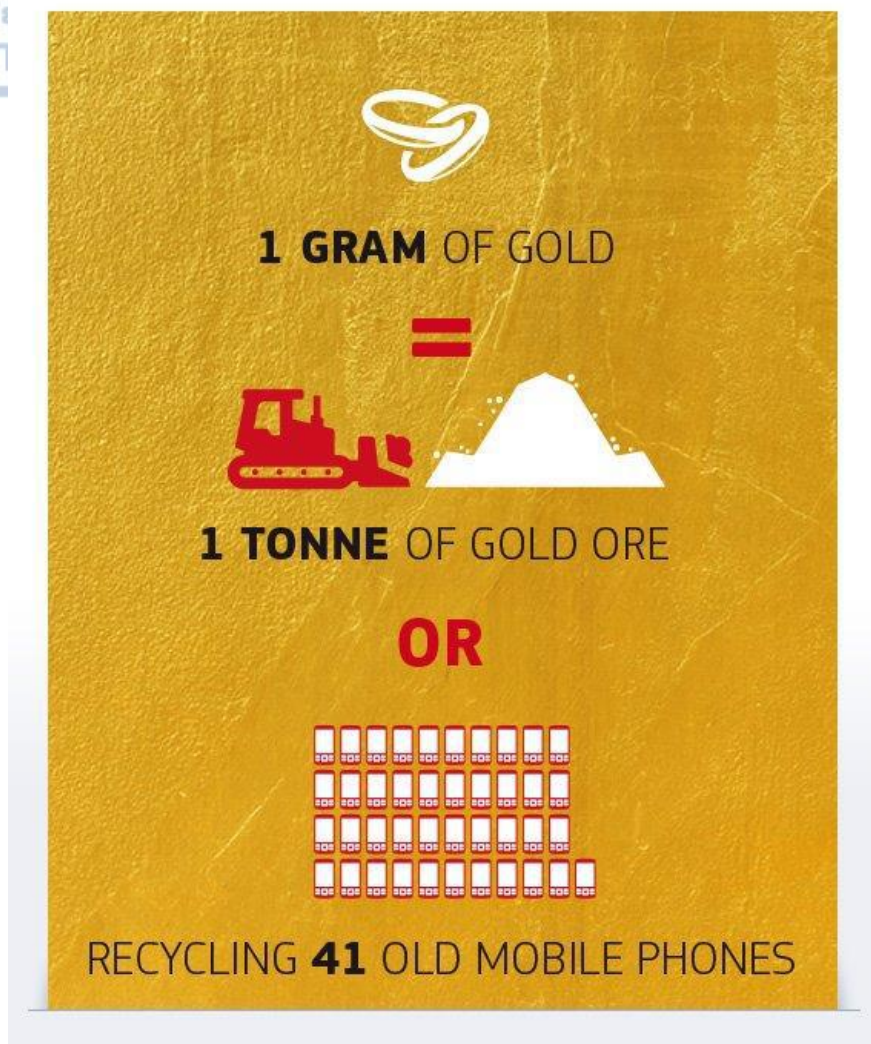
Το Pd είναι ένα ακόμη βασικό μέταλλο που χρησιμοποιείται στις επαφές των κυκλωμάτων των σύγχρονων smartphones (12,50). Η παγκόσμια μάζα εξόρυξης του ετησίως φτάνει τους 210.000 τόνους, ενώ οι κυριότεροι παραγωγοί είναι η Ρωσία με ποσοστό εκ του συνόλου 45% και η Ν.Αφρική με 39% (51).

Η λίστα των μετάλλων που περιέχονται στα κινητά μας τηλέφωνα δεν τελειώνει εδώ. Το πλαίσιο των κινητών και ο φορτιστής περιέχει σίδηρο (Fe), ενώ αλουμίνιο (Al), χρώμιο (Cr), τιτάνιο (Ti) και αντιμόνιο (Sb) χρησιμοποιείται στο κάλυμμα και στο πλαίσιο του. Ο άργυρος (Ag) εμπεριέχεται στο πληκτρολόγιο, το γάλλιο (Ga) στα LEDs, ενώ το βηρύλλιο (Be) στις συνδέσεις (12,52). Γίνεται αντιληπτό επομένως, πως δεν είναι και λίγα τα μέταλλα που προμηθευόμαστε από την Γη για να κατασκευάσουμε τα κινητά μας τηλέφωνα.



Εικόνα 11: Τα "συστατικά" του κινητού μας τηλεφώνου (12).

Η αντίληψη πως οι πηγές των μετάλλων αυτών είναι ανεξάντλητες, και δύνανται να καλύψουν τις καταναλωτικές μας ανάγκες επ' αόριστον δεν είναι τίποτα άλλο παρά ψευδαίσθηση. Οι περιορισμοί στην πρόσβαση των μετάλλων υψηλής τεχνολογίας συνεπάγεται με περιορισμό στην ανάπτυξη. Λύση στο πρόβλημα αυτό καλείται να δώσει η οργανωμένη επαναχρησιμοποίηση τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ποσότητα χρυσού που μπορεί να ανακτηθεί από την ανακύκλωση των κινητών τηλεφώνων (Εικ. 12).



Εικόνα 12: Το όφελος της ανακύκλωσης κινητών τηλεφώνων στην εξοικονόμηση πρώτης ύλης χρυσού (5).

1.2. Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές

Οι Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές και τα εξαρτήματά τους λειτουργούν χάρη στις ΟΠΥ και ειδικά στα μέταλλα. Ένας υπολογιστής περιέχει 1,5 κιλό Cu στις καλωδιώσεις, στα συστήματα ψύξης του επεξεργαστή, στην πλακέτα του κυκλώματος και στα chip του υπολογιστή. Στην πλακέτα κυκλώματος του υπολογιστή υπάρχουν ακόμη ο Au, ο Ag, το Ni, το Al, το Pt, ο Sn και ο Zn. Εξαιρετικά σημαντική είναι η παρουσία του Pd και του Ta στους πυκνωτές. Στα chip του υπολογιστή επίσης χρησιμοποιούνται ο Au, ο Ag, το Al και ο Sn, ενώ στους σκληρούς δίσκους Co, Pt, Nd (στους μαγνήτες), Pd, Al, καθώς και B και W στην κάρτα RAM. Τέλος στις μπαταρίες των φορητών υπολογιστών (laptop) περιέχεται Li, Co, Ni και σε ορισμένες περιπτώσεις Mn (5,53–55).

Για να επιταχύνουν την ταχύτητα των επεξεργαστών τους η IBM και η INTEL άρχισαν να χρησιμοποιούν το χάφνιο (Hf), ένα σπάνιο μέταλλο που χρησιμοποιείται επίσης για ράβδους ελέγχου πυρηνικών αντιδραστήρων, οι οποίοι ελέγχουν τον ρυθμό σχάσης του ουρανίου και του πλουτωνίου (56).

1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

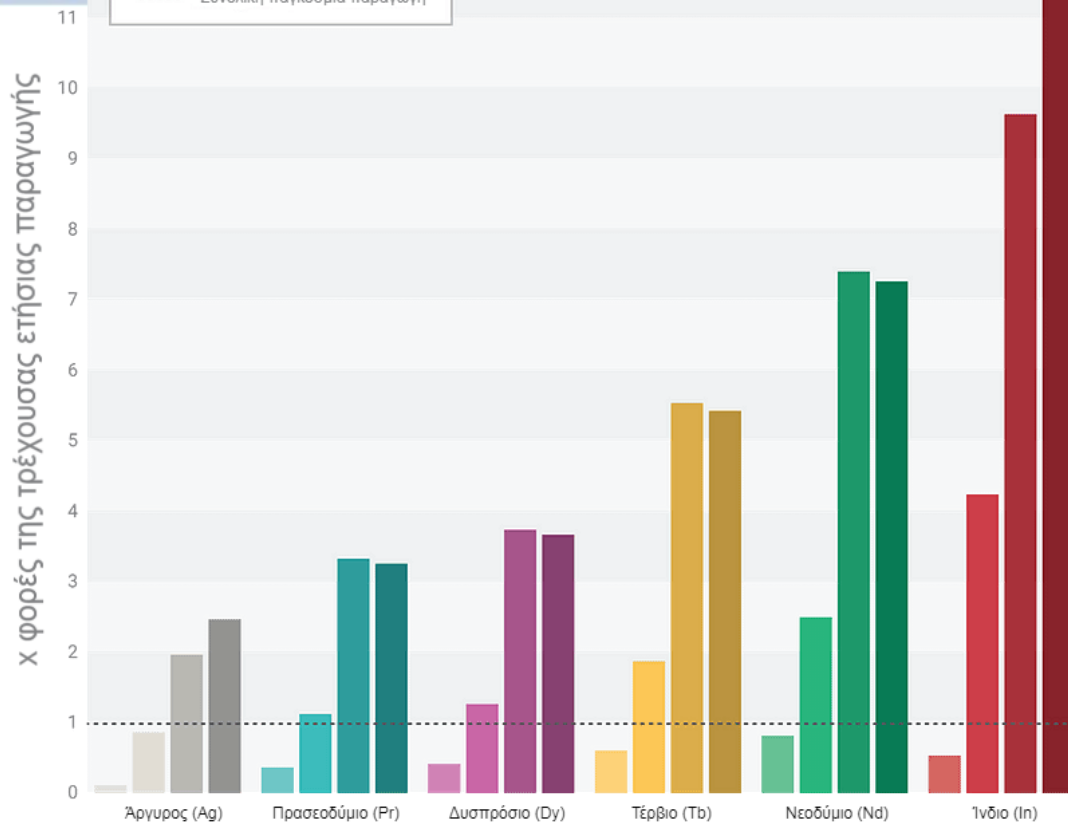
Το 2015 στο Παρίσι της Γαλλίας, 190 χώρες υπέγραψαν την ιστορική συμφωνία του Παρισιού για το κλίμα της Γης, συμπεριλαμβανομένων σχεδίων για την εισαγωγή ενός μεγαλύτερου μεριδίου της αιολικής και ηλιακής ενέργειας για ένα πιο καθαρό ενεργειακό μέλλον (57). Ωστόσο λίγοι από τους εκπροσώπους που συγκεντρώθηκαν στο Παρίσι φάνηκαν να συνειδητοποιούν πόσο σημαντική θα ήταν η συνεισφορά της Κίνας στο εγχείρημα αυτό. Η Κίνα κατέχει ένα συντριπτικό ποσοστό παραγωγής των Σπάνιων Γαιών (REE), την στιγμή που όλες σχεδόν οι καθαρές τεχνολογίες ενέργειας βασίζονται σε σπάνιες γαίες.

Αυτό προκαλεί τις εξής ερωτήσεις: Έχουμε την απαιτούμενη ποσότητα σπάνιων γαιών για να χτίσουμε το καθαρό και έξυπνο μέλλον που φανταζόμαστε; Μπορεί η Κίνα να ανταποκριθεί στην αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης; Ποιες οι περιβαλλοντικές συνέπειες;

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών σήμερα συνεχώς επεκτείνεται για την παραγωγή πράσινης ενέργειας από τον ήλιο και τον άνεμο αντίστοιχα. Σήμερα περίπου το 90% της αγοράς φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από το πυρίτιο (Si), το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στην φύση. Ωστόσο τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασισμένα στο πυρίτιο χρησιμοποιούν συνήθως τον άργυρο (Ag) ως υλικό ηλεκτροδίου (58). Οι περισσότεροι τύποι φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούν μέταλλα όπως αλουμίνιο (Al), ορυκτά βορίου (B), κάδμιο (Cd), ίνδιο (In), σελήνιο (Se), τελλούριο (Te) και γάλλιο (Ga) για ηλιακά κύτταρα. Αρσενίδια του Ga χρησιμοποιούνται στους ημιαγωγούς, ενώ σε πολλούς τύπους χρησιμοποιείται γερμάνιο (59,60). Συμπληρωματικά απαραίτητος είναι ο Cu για τις καλωδιώσεις, ο Fe για τον χάλυβα, καθώς και ο μόλυβδος για τους συσσωρευτές (61).

Σήμερα σπάνιες γαίες όπως το νεοδύμιο (Nd) και το δυσπρόσιο (Dy) χρησιμοποιούνται κυρίως στους μόνιμους μαγνήτες και στους συσσωρευτές των ανεμογεννητριών. Για κάθε ανεμογεννήτρια ισχύος 2MW, απαιτείται περίπου 360 κιλά Nd και 60 κιλά Dy (62). Το Co επίσης απαιτείται στους μαγνήτες και στους συσσωρευτές, ο Cu στις καλωδιώσεις, ενώ Fe, Mn και Mo στον εξωτερικό σκελετό (63–65).

Πολλές χώρες, πολιτείες, πόλεις ή εταιρείες δεσμεύονται να έχουν αυτονομία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 100% έως το 2050. Αυτό θα σημάνει την αναμενόμενη εκθετική αύξηση ηλιακών συλλεκτών και ανεμογεννητριών. Το πρόβλημα ξεκινάει αν αναλογιστούμε την εξάρτηση τους με τα μέταλλα (66).



Διάγραμμα 1: Η μελλοντική παγκόσμια ζήτηση για τα έξι συγκεκριμένα μέταλλα που απαιτούνται για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συγκριτικά με την τρέχουσα ετήσια παραγωγή τους (67).

Σύμφωνα με έρευνα Ολλανδών επιστημόνων (67), μέχρι το 2050 οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ανεμογεννήτριες θα απαιτούν περίπου 12 φορές περισσότερο In, από αυτό που παράγουμε αυτή την στιγμή παγκοσμίως. Η παραγωγή Nd θα πρέπει να αυξηθεί περισσότερες από 7 φορές, και του Ag σχεδόν 3 φορές. Και αυτό πρόκειται μόνο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όλα αυτά τα μέταλλα έχουν άλλες χρήσεις σε διάφορες άλλες βιομηχανίες, πράγμα που σημαίνει ότι η εξόρυξη των μετάλλων αυτών θα πρέπει να αυξηθεί πάρα πολύ γρήγορα. Αυτό είναι ένα σοβαρό πρόβλημα αν σκεφτούμε πως ενδέχεται να χρειαστούν και δεκαετίες για να τεθεί σε λειτουργία μια νέα επιχείρηση εξόρυξης αυτών των μετάλλων.

1.4. Πράσινη Τεχνολογία

Καθώς η παγκόσμια οικονομία κλίνει προς καθαρότερες πιο βιώσιμες τεχνολογίες μεταφορών, ο ρόλος της «πράσινης» αυτοκίνησης (υβριδικά, plug-in υβριδικά και τα αμιγώς ηλεκτρικά) αποκτά μεγαλύτερη σημασία τόσο για τις κυβερνήσεις όσο και για τους καταναλωτές. Κοινό σημείο σε αυτά είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες και η μπαταρία, τα οποία βασίζονται σε μέταλλα μεγάλης σημασίας, κυρίως σπάνιων γαιών και Li (68). Εκτιμάται πως η μάζα των σπανίων γαιών σε ένα μέσο πλήρες υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με μπαταρία υδριδίου νικελίου, είναι περίπου 4,5 κιλά, ενώ με μπαταρία ιόντων λιθίου περίπου 1 κιλό. Άλλα ύψιστης σημασίας μέταλλα που απαιτούνται σε πληθώρα εφαρμογών σε ένα υβριδικό όχημα είναι ορισμένα από τα PGM (Pd, Pt, Rh), καθώς και τα Ga, In, Li, Nb και Ta (69,70).

«Μέταλλο-κλειδί» των υβριδικών αυτοκινήτων είναι το Nd. Πρόκειται για το βασικό συστατικό ενός κράματος (NdFeB) που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των υψηλής ισχύος και ελαχίστου βάρους μαγνητών ενός ηλεκτροκινητήρα. Tb και Dy προστίθεται σε μικρές ποσότητες στο κράμα, για να διατηρηθούν οι μαγνητικές ιδιότητες του Nd σε υψηλές θερμοκρασίες. Το Li και το La μαζί με το Ni, το Co, τον Pb και το Cd είναι τα σημαντικότερα συστατικά για την κατασκευή υβριδικών μπαταριών (71,72). Πιο ειδικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Σύμφωνα με το Forbes (73), οι παγκόσμιες συνολικές πωλήσεις ηλεκτρικών (EV) και υβριδικών αυτοκινήτων (HEV) για το 2019, αυξήθηκαν κατά 24% από αυτές του 2018, ενώ ο Δ.Ο.Ε. εκτιμά ότι έως το 2050 οι ετήσιες πωλήσεις EV/HEV θα ξεπεράσουν τα 50 εκατομμύρια οχήματα (68). Δεδομένης της αυξανόμενης ζήτησης αλλά και των περιορισμένων μετάλλων το ερώτημα παραμένει ως προς το πώς μια πιθανή μείωση ή διακοπή ανεφοδιασμού από την Κίνα, θα επηρεάσει την έρευνα και την παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων. Ως απάντηση στο δίλημμα αυτό, αρκετοί κατασκευαστές έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν στρατηγικές. Η Honda το 2012 επικεντρώθηκε στην ανακύκλωση μετάλλων σπανίων γαιών από χρησιμοποιημένες μπαταρίες νικελίου, ενώ αργότερα το 2016 σε συνεργασία με την Daido Electronics δημιούργησε και έθεσε σε λειτουργία μαγνήτες Nd χωρίς βαριές σπάνιες γαίες (74). Αντίστοιχα η Toyota επενδύει στην έρευνα για αντικατάσταση των σπάνιων γαιών (75), η Volkswagen ισχυρίζεται ότι πραγματοποιούνται μελέτες έργων εξόρυξης στην Αυστραλία και στο Βιετνάμ (76), ενώ η Nissan κάνει δραστικές

προσπάθειες ανακύκλωσης και μείωσης χρήσης των πολύτιμων μετάλλων στους καταλύτες (77).

Πίνακας 1: Τα σημαντικότερα μέταλλα ενός HEV. Από τα μέταλλα αυτά αυτά που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη ποσότητα είναι το Li (6.256,55gr), το Nd (531,88gr), το Dy (129,66gr) και το Nb (109,14gr) (70).

Μέταλλο	Μάζα σε gr. στο HEV	Εφαρμογές στο HEV
Δημήτριο (Ce)	0,31	Ψύξη κινητήρα και αέρα εισαγωγής, εξωτερικός φωτισμός, συστήματα διεύθυνσης κίνησης
Δυσπρόσιο (Dy)	129,66	Σύστημα κλιματισμού, σύστημα μετάδοσης κίνησης, σύστημα τροφοδοσίας τάσης
Γάλλιο (Ga)	0,57	Ψύξη κινητήρα και αέρα εισαγωγής, καθίσματα
Ίνδιο (In)	0,08	Σύστημα τροφοδοσίας τάσης, σύστημα ασφαλείας, ηλεκτρονικά συστήματα αμαξώματος
Λανθάνιο (La)	6,68	Κινητήρας, καύσιμα
Λίθιο (Li)	6256,55	Σύστημα τροφοδοσίας τάσης, σύστημα ασφαλείας, ηλεκτρονικά συστήματα αμαξώματος
Νεοδύμιο (Nd)	531,88	Σύστημα κλιματισμού, σύστημα τροφοδοσίας τάσης, σύστημα μετάδοσης κίνησης
Νιόβιο (Nb)	109,14	Μεταλλικός σκελετός, εξάτμιση, καθίσματα
Παλλάδιο (Pd)	1,81	Προφυλακτήρες και spoilers, κινητήρας, σύστημα τροφοδοσίας τάσης
Πλατίνα (Pt)	5,51	Κινητήρας, σύστημα τροφοδοσίας τάσης
Πρασεοδύμιο (Pr)	4,01	Σύστημα κλιματισμού, καθίσματα
Ρόδιο (Rh)	<0,01	Συστήματα συγκράτησης (ζώνες ασφαλείας, παιδικά καθίσματα) και αερόσακοι
Ταντάλιο (Ta)	10,83	Σύστημα τροφοδοσίας τάσης, συστήματα ασφαλείας, ηλεκτρονικά συστήματα αμαξώματος

1.5. Σπάνιες Γαίες

Οι σπάνιες γαίες (R.E.E.) πρόκειται για μια ομάδα 17 στοιχείων με την γενική ονομασία Λανθανίδες, που διακρίνονται στις ελαφριές σπάνιες γαίες: το λανθάνιο (La), το δημήτριο (Ce), το πρασεοδύμιο (Pr), το νεοδύμιο (Nd), το προμήθειο (Pm), το σαμάριο (Sm), το ευρώπιο (Eu), και τις βαρείες σπάνιες γαίες (πιο σπάνιες): το γαδολίνιο (Gd), το τέρβιο (Tb), το δυσπρόσιο (Dy), το όλμιο (Ho), το έρβιο (Er), το θούλιο (Tm), το υτέρβιο (Yb), το λουτέσιο (Lu). Στην κατηγορία των σπανίων γαιών εντάσσεται το ύτριο (Y) και το σκάνδιο (Sc) παρόλο που δεν ανήκουν στις Λανθανίδες. Οι σπάνιες γαίες εξαιτίας των μοναδικών ιδιοτήτων τους διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη προϊόντων υψηλής (κινητά τηλέφωνα, οθόνες υγρών κρυστάλλων, λέιζερ) και «πράσινης» τεχνολογίας (φωτοβολταϊκά, τουρμπίνες ανεμογεννητριών, μπαταρίες υβριδικών αυτοκινήτων, λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης) (78). Αποτελούν λιθόφιλα στοιχεία και κατά κανόνα απαντώνται μαζί λόγω του σθένους και της ιονικής ακτίνας τους, ενώ οι κυριότερες συγκεντρώσεις τους σχετίζονται με αλκαλικά μαγματικά πετρώματα και καρμπονατίτες, αλλά και σε υδροθερμικά κοιτάσματα και μαγματικά κοιτάσματα σιδήρου – σπανίων γαιών (79–81). Οι κυριότερες οικονομικές πηγές σπανίων γαιών είναι τα ορυκτά μπαστναζίτης ((Ce,La,Y)CO₃F), ο μοναζίτης ((Ce,La,Y,Th)PO₄), ο λοπαρίτης ((Ce,La,Na,Ca,Sr)(Ti,Nb)O₃), ο ξενοτίμης (YPO₄), καθώς και οι λατεριτικοί άργιλοι προσρόφησης ιόντων (82,83).

Πολλοί από εμάς δεν συνειδητοποιούμε το τεράστιο αντίκτυπο που έχουν τα στοιχεία των σπανίων γαιών στην καθημερινή μας ζωή. Είναι σχεδόν αδύνατο να αναφέρουμε ένα προϊόν σύγχρονης τεχνολογίας που να μην τις περιέχει. Τα κινητά τηλέφωνα, οι τηλεοράσεις και οι υπολογιστές απαιτούν μεγάλες ποσότητες σπανίων γαιών ως μαγνήτες σε ηχεία και σκληρούς δίσκους, αλλά και στις οθόνες. Τα υβριδικά αυτοκίνητα τροφοδοτούνται από μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία Li-La και έχουν έναν ηλεκτροκινητήρα με μόνιμους μαγνήτες Nd-Fe-B. Ακόμα και η βενζίνη ή το καύσιμο ντίζελ που χρησιμοποιεί το όχημα εξευγενίζεται χάρη στους καταλύτες που περιέχουν La, Ce ή μεικτά οξειδία σπανίων γαιών (REO) (84,85).

Επιπλέον εκτεταμένη εφαρμογή έχουν και στη βιομηχανία οπλικών συστημάτων, όπου σύμφωνα με το κεφάλαιο 843 του νόμου National Defense Authorization Act του 2010, οι σπάνιες γαίες αποτελούν απαιτούμενες πρώτες ύλες

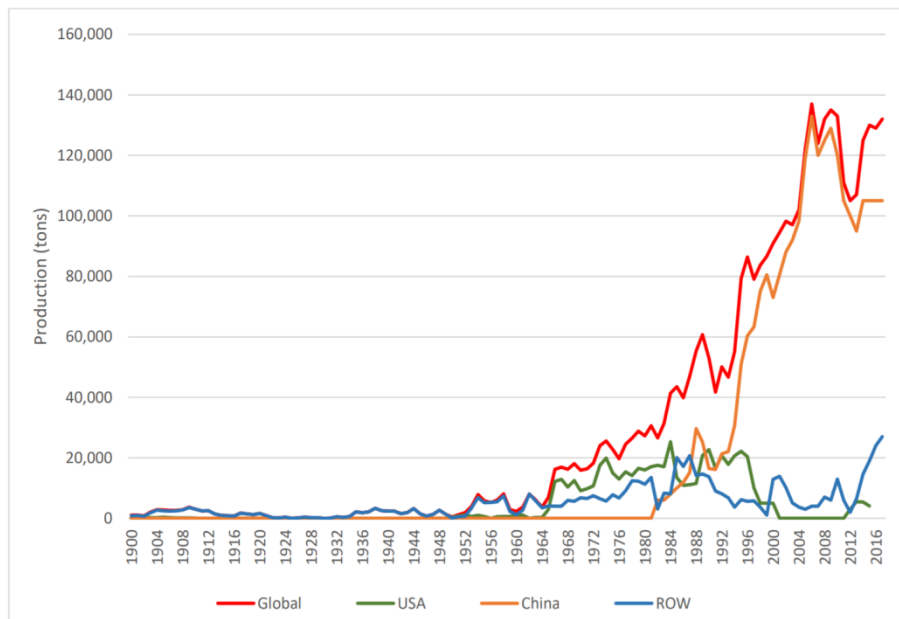
στα συστήματα επικοινωνιών και ραντάρ, στα τηλεκατευθυνόμενα πυρομαχικά ακριβείας, στα λείζερ, στα συστήματα νυχτερινής σκόπευσης, στην αεροναυπηγική και στους δορυφόρους (86). Τέλος διάφορες περιβαλλοντικές εφαρμογές, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, λαμπτήρες φθορισμού, οφείλουν την ύπαρξη τους στις σπάνιες γαίες (31,87,88). Αυτές είναι απλά ορισμένες από τις εφαρμογές που έχουν αυτά τα στρατηγικής σημασίας μέταλλα. Στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 13) φαίνεται ανά ποσοστό οι επικρατέστερες χρήσεις τους σήμερα:



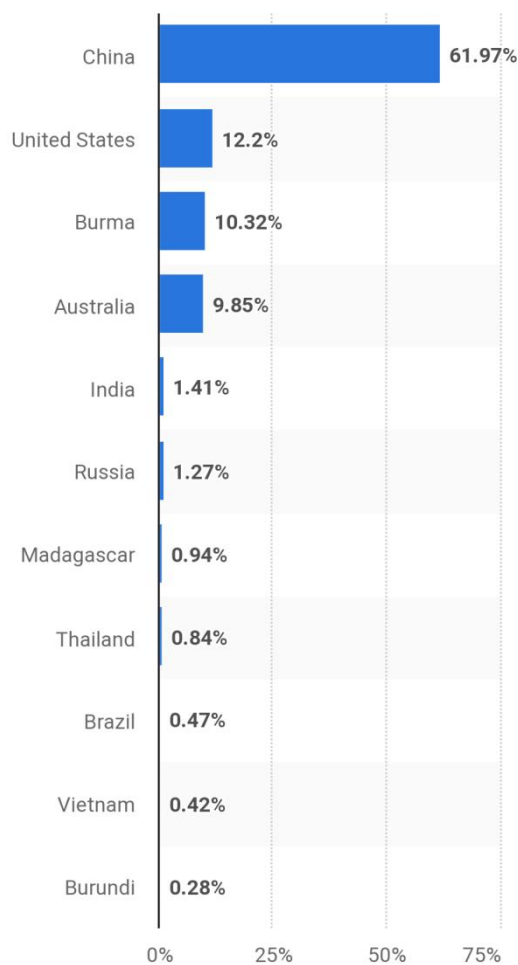
Εικόνα 13: Οι χρήσεις των Σπάνιων Γαιών σήμερα (89).

Σύμφωνα με το Διάγρ. 2, μέχρι τα μισά της δεκαετίας του '80 οι Ηνωμένες Πολιτείες ήταν η κυρίαρχη χώρα στην παραγωγή σπανίων γαιών. Έκτοτε έχουμε αλλαγή στην ηγεσία με την ταχύρυθμη αύξηση της Κίνας στην παραγωγή, η οποία εφαρμόζοντας μια μακροπρόθεσμη βιομηχανική πολιτική στα στρατηγικής σημασίας μέταλλα, κατάφερε να δημιουργήσει σχεδόν ένα απόλυτο μονοπώλιο.

Σύμφωνα με το USGS (90), η Κίνα κατέχει το 40% των παγκόσμιων αποθεμάτων σπανίων γαιών. Επιβεβαιωμένα αποθέματα υπάρχουν σε πολλά άλλα κράτη, όπως την Βραζιλία, το Βιετνάμ, την Ρωσία, την Ινδία, την Αυστραλία κ.α. Όμως μέχρι και το 2010 το 97% των συνολικών 125.000 τόνων που εξορυσσόταν τότε στον πλανήτη προερχόταν αποκλειστικά από την Κίνα. Σήμερα η Κίνα κατέχει το 62% περίπου της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής (Διαγρ. 3), ενώ ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες (12,2%), το Μιανμάρ (10,32%) και η Αυστραλία (9,85%).



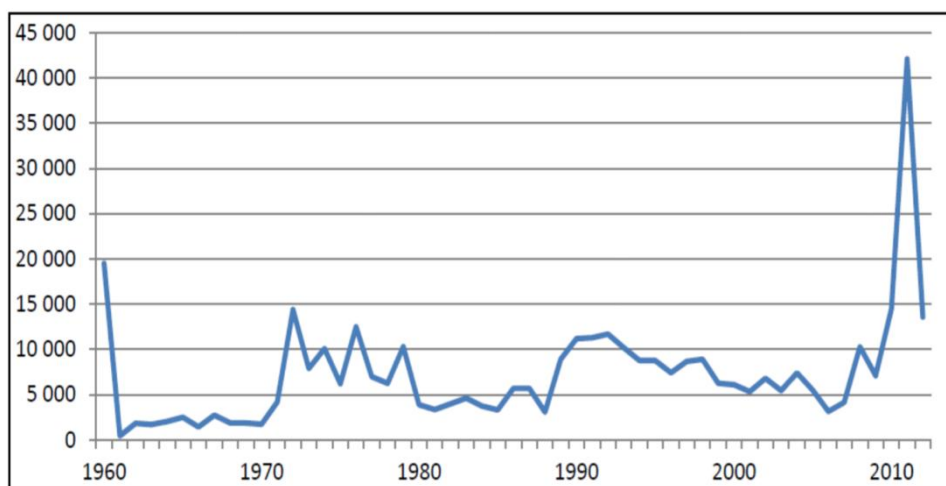
Διάγραμμα 2: Παραγωγή Σπανίων Γαιών από το 1900-σήμερα (91).



Διάγραμμα 3: Κατανομή της επι τοις % παραγωγής Σπανίων Γαιών ανά χώρα για το 2019 (92).

Οι τιμές των σπανίων γαιών δεν καθορίζονται μέσω χρηματιστηρίου, αλλά εξαρτώνται από την προσφορά και την ζήτηση. Εντοπίζονται διαφορές στις τιμές μεταξύ των εμπορεύσιμων μορφών τους, δηλαδή μεταξύ των μεμονωμένων μετάλλων και των οξειδίων τους (83).

Η ισορροπία μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς των σπανίων γαιών παρουσίαζε από πάντα σημαντικές μεταβολές (Διαγρ. 4). Τη δεκαετία 1970-1980 παρατηρείται αύξηση των τιμών τους, άρα και μεγάλη ζήτηση από ανεπτυγμένες χώρες, ενώ τις χρονιές 1991-1992 μειώνονται και παραμένουν σχετικά σταθερές με διακυμάνσεις μεταξύ \$5.000-\$10.000 ανά τόνο. Κατά την τριετία 2009-2011 πραγματοποιήθηκε η πιο σημαντική αύξηση των τιμών, η οποία προκλήθηκε μετά την απόφαση της Κίνας να μειώσει τις εξαγωγές της. Πιο πρόσφατα, το 2012, σημειώθηκε πτώση των τιμών που μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως στην οικονομική κρίση που έχει πλήξει τις βιομηχανικές χώρες, στην μείωση κατανάλωσης προϊόντων υψηλής τεχνολογίας και στην διάθεση μεγάλων αποθεμάτων REO στην αγορά από κινέζικες ιδιωτικές επιχειρήσεις, που φοβούνται πιθανές επιθεωρήσεις και κατασχέσεις από την κινεζική κυβέρνηση (82,93).



Διάγραμμα 4: Διακύμανση των τιμών των Σπανίων Γαιών (98 US\$/t) (93).

Σύμφωνα με στοιχεία του ΙΓΜΕ (94), η Ελλάδα φαίνεται να είναι ένα από τα κράτη της ΕΕ με τις περισσότερες προοπτικές παραγωγής σπανίων γαιών στο μέλλον. Η εκμεταλλευσιμότητα τους όμως εξαρτάται από οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Οι πιο πολλά υποσχόμενες περιοχές για μελλοντική εκμετάλλευση βρίσκονται στην Σερβομακεδονική μεταλλογενετική ζώνη, καθώς και ζώνη της Ροδόπης στην Βόρεια Ελλάδα. Τα κοιτάσματα των μεταλλοφόρων αυτών ζωνών σχηματίστηκαν κατά την διάρκεια του τελευταίου σταδίου της Τριτογενούς Ορογένεσης.

Πιο συγκεκριμένα σημαντικά αποθέματα σπανίων γαιών έχουν εντοπιστεί σε προσχωσιγενείς αποθέσεις του παράκτιου και υποθαλάσσιου περιβάλλοντος μεταξύ Χαλκιδικής και Αλεξανδρούπολης, κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις του Στρυμονικού κόλπου μεταξύ των εκβολών του ομώνυμου ποταμού και της Καβάλας. Η συγκέντρωση των σπανίων γαιών στην περιοχή φτάνει έως και τα 8.000 ppm, με εμφανίσεις κυρίως δημήτριου (Ce), λανθάνιου (La), νεοδύμιου (Nd) και πρασινοδύμιου (Pr). Ο αλλανίτης αποτελεί την κύρια ορυκτολογική φάση των σπανίων γαιών της περιοχής (34,95).

Καθοριστικής σημασίας για το μέλλον της εκμετάλλευσης των Ελληνικών σπανίων γαιών θεωρούνται τα κοιτάσματα βωξίτη του Παρνασσού, καθώς οι συγκεντρώσεις του σε σπάνιες γαίες αγγίζουν τα 6.300 ppm. Επιπλέον τα κοιτάσματα Pb-Zn-Cu του Λαυρίου διαθέτουν περιεκτικότητες 428 ppm λανθάνιο (La) και 976 ppm δημήτριο (Ce), ενώ το πορφυριτικό σύστημα Cu-Au στο Βαθύ του Κιλκίς 500 ppm λανθάνιο (La) και 715 ppm δημήτριο (Ce) (34,96).

Μένει λοιπόν να δούμε στα επόμενα χρόνια αν η Ελλάδα εκμεταλλευόμενη τα επιβεβαιωμένα κοιτάσματα της, θα ενισχύσει δυναμικά την ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής εξορυκτικής βιομηχανίας.

2.1. Conflict Minerals

Η ανοδική ζήτηση ΟΠΥ δημιουργεί την ανάγκη για εξερεύνηση και εκμετάλλευση νέων κοιτασματολογικών στόχων. Το σημαντικότερο μέρος όμως των κοιτασμάτων σπανίων μετάλλων βρίσκονται στον Τρίτο Κόσμο (π.χ. Κίνα, Κονγκό, Ινδία). Για τους κατοίκους αυτών των περιοχών, οι φυσικοί πόροι θεωρούνται περισσότερο κατάρα παρά ευλογία. Κι αυτό διότι η εκμετάλλευση τους έχει καταστροφικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην κοινωνικό-οικονομική και πολιτική σταθερότητα, αποτελώντας συχνά την αιτία ένοπλων συγκρούσεων και βίας. Τα ορυκτά που εξορύσσονται υπό τέτοιες συνθήκες ονομάζονται conflict minerals. Τα τέσσερα conflict minerals που συνήθως εξορύσσονται είναι ο κασσιτερίτης (για Sn), ο βολφραμίτης (για W), το coltan (για Ta και Nb), και μεταλλεύματα Au. Αυτά εξορύσσονται στο Ανατολικό Κονγκό και περνούν από πολλούς μεσάζοντες προτού βγουν στην αγορά. Το κοβάλτιο, ο χαλκός και τα διαμάντια είναι επίσης σημαντικοί πόροι της αφρικανικής χώρας, όμως το μεγαλύτερο μέρος τους δεν εξορύσσεται στην περιοχή σύγκρουσης του Ανατολικού Κονγκό και η εξαγωγή τους δεν περιλαμβάνει πάντα ένοπλες ομάδες (97,98).

Το coltan (γνωστό και ως τανταλίτης) πρόκειται για ένα θαμπό μαύρο μέταλλευμα (Εικ. 14) που περιέχει δύο μέταλλα: το νιόβιο (ή κολόμβιο) και το ταντάλιο. Το ταντάλιο χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή πυκνωτών τανταλίου, που εφαρμόζονται σε ηλεκτρονικά προϊόντα υψηλής τεχνολογίας όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές κ.α. (99) Οι διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες για ταντάλιο ανάγκασε τις βιομηχανίες να στραφούν προς την οικονομική εξόρυξη του μεταλλεύματος και συνεπώς τις Αφρικανικές χώρες. Σύμφωνα με το USGS το μεγαλύτερο μέρος των κοιτασμάτων τανταλίου βρίσκονται στην Ανατολική Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (DRC) και στην γειτονική Ρουάντα, ενώ πάνω από το 50% των μεταλλείων στην περιοχή αυτή ελέγχονται από ένοπλες ομάδες (90). Επιπλέον, παρόλο που το μέγεθος των πραγματικών αποθεμάτων των ορυκτών της DRC είναι άγνωστο, λόγω της έλλειψης σύγχρονων γεωλογικών ερευνών, υπολογίζεται πως η DRC διαθέτει περίπου το 1/3 των παγκόσμιων αποθεμάτων κασσιτερίτη (100).



Εικόνα 14: Το coltan ή τανταλίτης που εξορύσσεται στην Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (DRC) (101).

Το Κονγκό, εδώ και χρόνια, μαστιάζεται από συμμοριτοπόλεμο και σύγκρουση που είναι γνωστή ως ο Παγκόσμιος Πόλεμος της Αφρικής. Η σύγκρουση ονομάστηκε έτσι διότι οκτώ Αφρικανικά έθνη και πάνω από 25 πολιτοφυλακές συμμετείχαν συνολικά και στις δύο αντιμαχόμενες πλευρές. Ο πόλεμος ξεκίνησε το 1998, όταν οι κονγκολέζικες επαναστατικές δυνάμεις, με την υποστήριξη της Ρουάντας και της Ουγκάντας, κατέλαβαν το Ανατολικό Κονγκό και κινήθηκαν προς τις στρατηγικές περιοχές μεταλλείας, επιτιθέμενοι στους πληθυσμούς αυτών (101,102). Το διάστημα εκείνο, ο ΟΗΕ πίστευε κύρια αιτία της σύγκρουσης ήταν οι φυλετικές και εθνικές διαφορές. Η κυβέρνηση της Ρουάντα δικαιολόγησε της εισβολή στη DRC, τον γείτονα της στα δυτικά, ως απάντηση σε αυτούς που διέπραξαν βαρβαρότητες κατά την γενοκτονία του 1994 που στοίχισε την ζωή σε πάνω από 800.000 άτομα. Σύμφωνα με τον ΟΗΕ όμως, η Ρουάντα πολεμούσε στην πραγματικότητα για τα στρατηγικής σημασίας μεταλλεία των ανατολικών περιοχών της DRC. Στα μεταλλεία αυτά υπήρχαν αποθέματα Co, U, Au και coltan (103).

Έως το 1999, οι πολεμικές δυνάμεις της Ρουάντα κατέλαβαν δια της βίας αρκετά από τα μεταλλεία coltan. Ο ΟΗΕ εκτιμά πως τα κέρδη του στρατού της Ρουάντα από το εμπόριο coltan της DRC, εκείνη την χρονιά, έφτασαν τα 250 εκατομμύρια δολάρια (102,104). Άνθρωποι οι οποίοι δεν μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στον πόλεμο (παιδιά, ανάπηροι, φορείς του AIDS) εξαναγκάζονται να εργαστούν στα μεταλλεία με την απειλή βασανιστηρίων ή και θανάτου (100). Εκτιμήσεις δείχνουν πως η

σύγκρουση στη DRC έχει στοιχήσει πάνω από 5,4 εκατομμύρια ζωές από το 1998 που ξεκίνησε μέχρι σήμερα (Η πιο αιματηρή σύγκρουση μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο) (97,105). Ακόμα και σήμερα η σύρραξη δεν έχει λάβει τέλος, παρά την ειρηνευτική συμφωνία που υπογράφηκε το καλοκαίρι του 2002. Οι ξένες στρατιωτικές δυνάμεις έχουν επίσημα αποσυρθεί από το Κονγκό, όμως οι εγχώριες φατρίες παραμένουν στην σύρραξη (106).



Εικόνα 15: Η εξόρυξη conflict minerals, κάτω από συνθήκες παραβίασης ανθρωπίνων δικαιωμάτων (12).

Τα μέταλλα που εξορύσσονται στο Ανατολικό Κονγκό εισέρχονται σε παγκόσμιες αγορές και μπαίνουν σε προϊόντα όπως smartphones, αυτοκίνητα, αεροσκάφη και κοσμήματα. Είναι δύσκολο για τον καταναλωτή να γνωρίζει αν τα προϊόντα του περιέχουν ορυκτά που έχουν χρηματοδοτήσει τη βία.

Για το λόγο αυτό το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και η Αμερικανική Γερουσία (νόμος Dodd-Frank) έθεσαν βασικές κατευθυντήριες γραμμές με τις οποίες υποχρεώνει τους κατασκευαστές προηγμένης τεχνολογίας να γνωστοποιούν την προέλευση των πρώτων υλών τους, ενώ έχει τεθεί περιορισμός στην προέλευση του από χώρες όπως το Κονγκό (37,102). Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σε δήλωσή του διευκρινίζει: «Στόχος μας είναι να διασφαλίσουμε ότι ολόκληρη η αλυσίδα είναι καθαρή σε όλη της διαδρομή της, μέχρι και τις εταιρείες κατασκευής smartphones και tablets. Η διακομματική στήριξη είναι ένα δυνατό σημάδι για την ενίσχυση της

διαφάνειας και της υπευθυνότητας στην αλυσίδα εφοδιασμού ευρωπαϊκών και πολυεθνικών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στις αγορές μας» (107). Η μεγαλύτερη κατασκευάστρια εταιρεία πυκνωτών τανταλίου, η KEMET, διέκοψε την χρήση coltan από την DRC, λόγω των παραβιάσεων των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, υποχρεώνοντας τους προμηθευτές να γνωστοποιούν την προέλευση του μεταλλεύματος (108).



Εικόνα 16: Η συλλογή μετάλλων, απαραίτητων για τα smartphones και τις νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούμε, από ανήλικους εργάτες (109).

Πριν λίγα χρόνια το Κονγκό σύναψε εμπορική συμφωνία ύψους 10 δισ. δολαρίων με την Κινεζική κυβέρνηση, βάσει της οποίας η Κίνα εξασφαλίζει τα δικαιώματα εκμετάλλευσης μιας εκτενούς και πλούσιας σε coltan έκτασης, με αντάλλαγμα την υλοποίηση έργων υποδομής στο έδαφος της αφρικανικής χώρας (12,110).

Τα διαμάντια έχουν παίξει βασικό ρόλο στην χρηματοδότηση συγκρούσεων στις χώρες της Αγκόλας (εμφύλιος πόλεμος 1975-2002), της Σιέρρα Λεόνε (εμφύλιος πόλεμος 1991-2002) και της Λιβερίας (Α' εμφύλιος πόλεμος 1989-1996 και Β' εμφύλιος 1999-2003), με αποτέλεσμα τον θάνατο και τον εκτοπισμό εκατομμύρια ανθρώπων. Το διαμάντι αποτελείται από καθαρό άνθρακα και πρόκειται για την σκληρότερη φυσική δομή που είναι γνωστή στον άνθρωπο. Η υψηλή σκληρότητα του το καθιστά ιδανικό υλικό για βιομηχανικές εφαρμογές, ενώ πρόκειται για τον γνωστότερο και πιο περιζήτητο πολύτιμο λίθο διαχρονικά. Σχηματίζονται κάτω από μεγάλες πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες σε κιμπερλίτες ή φλέβες καθώς και

δευτερογενώς, ως προϊόν αποσάθρωσης των πρωτογενών. Η μάχη για τον έλεγχο των διαμαντιών και παράνομη εξόρυξη τους στις χώρες αυτές οδήγησαν σε τεράστια κέρδη και συνεπώς χρηματοδότηση των συρράξεων. Η σύνδεση τους με τα εγκλήματα πολέμου και τις απάνθρωπες συνθήκες εξόρυξης τους έδωσε τον χαρακτηρισμό «ματωμένα διαμάντια» (“blood diamonds”) (111–114).

2.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η εκτεταμένη εξόρυξη μετάλλων στο Κονγκό, έχει οδηγήσει σε σταδιακή καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής με συνέπεια την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Προκειμένου να εξορύξουν το coltan, οι αντάρτες κατέλαβαν τα εθνικά πάρκα του Κονγκό καταστρέφοντας μεγάλες εκτάσεις από τα πλούσια δάση της περιοχής. Επιπλέον η φτώχεια και η πείνα που προκλήθηκε από τον πόλεμο, ώθησε τους πληττόμενους να κυνηγήσουν τους απειλούμενους ελέφαντες και γορίλλες για φαγητό, γεγονός που κινητοποίησε περιβαλλοντικούς φορείς και διεθνείς οικολογικές οργανώσεις (115). Πολύ σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον (στα εδάφη, στους υδάτινους πόρους κ.α.) από την εκτεταμένη μεταλλευτική δραστηριότητα χωρίς τα απαραίτητα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος, όπως αυτά καταγράφονται και τονίζονται από την επιστημονική κοινότητα (97).

Σημαντικό είναι το πρόβλημα περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εξόρυξη και την επεξεργασία σπανίων γαιών στην Κίνα. Τα προβλήματα γίνονται αντιληπτά με το παράδειγμα της περιοχής Bayan Obo στην Βόρεια Κίνα (το πιο σημαντικό κοιτάσμα REEs), όπου παράλληλα με την παραγωγή ενός τόνου οξειδίων σπανίων γαιών, παράγονται 63.000 m³ αερίων που περιέχουν S, 200 m³ αερίων που περιέχουν F, 200 m³ όξινου νερού και 1,4 τόνοι ραδιενεργών αποβλήτων, κυρίως Th και U (116–118). Οι εργάτες των ορυχείων της περιοχής που εμπλέκονται με το στάδιο της θραύσης των πετρωμάτων, εκτίθενται σε μεγάλες ποσότητες Th, με συνέπεια να εμφανίζουν διπλάσια ποσοστά καρκίνου του πνεύμονα από τους υπόλοιπους εργάτες. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την επικινδυνότητα της μακροχρόνιας έκθεσης σε σκόνη προερχόμενη από της επεξεργασία σπανίων γαιών (116,119,120).

Έντονο είναι το φαινόμενο των όξινων απορροών σε πολλές περιοχές εξόρυξης σπανίων γαιών στην Κίνα (Εικ. 17), καθώς τοξικά απόβλητα από την μεταλλευτική δραστηριότητα διαρρέουν στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα δημιουργώντας μεγάλες λίμνες (Εικ.) (121,122). Η ρύπανση και διασπορά ραδιενεργών στοιχείων και αποβλήτων στο περιβάλλον εντείνεται με τις παράνομες εξορύξεις (περίπου το 1/3 των εξαγωγών σπανίων γαιών προέρχονται από παράνομα ορυχεία) και το σχετικά χαλαρό νομοθετικό σύστημα της Κίνας (123). Η κινεζική Κυβέρνηση το 2010 ανακοίνωσε πως κύριο μέλημα της αποτελεί η αναδιάρθρωση της βιομηχανίας εξόρυξης σπανίων γαιών, με στόχο την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και την μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης (124). Σήμερα στην Κίνα έχουν ξεκινήσει ενεργά προσπάθειες περιορισμού και αποκατάστασης της ρύπανσης του αέρα, του νερού και του εδάφους, αλλά και αποκλεισμού παράνομων επιχειρήσεων εξόρυξης σπανίων γαιών. Σύμφωνα με εμπειρογνώμονες, θα χρειαστούν 50 με 100 χρόνια για να ανακάμψει πλήρως το περιβάλλον, ενώ επιστημονικά και κυβερνητικά στελέχη της Κίνας ισχυρίζονται πως το κόστος αποκατάστασης δεν πρέπει να το επωμιστεί μόνο η κινεζική Κυβέρνηση, αλλά και η βιομηχανία σπανίων γαιών, οι παγκόσμιες εταιρείες και οι καταναλωτές που επωφελούνται από αυτές τις τεχνολογίες (125).



Εικόνα 17: Οι όξινες απορροές που σχηματίζουν τοξικές λίμνες στην περιοχή Μπαστού στην Κίνα (126).

Κεφάλαιο 3. Η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις Ορυκτές πρώτες ύλες

Από το 2007 η Ευρωπαϊκή Ένωση τονίζει την σημασία των πρώτων υλών για την βιώσιμη λειτουργία της βιομηχανίας, αλλά και των σύγχρονων κοινωνιών, προσθέτοντας πως οι οικονομικά προσιτές ΟΠΥ και η πρόσβαση σε αυτές παίζουν καθοριστικό ρόλο στην καλή λειτουργία της οικονομίας της. Εκτιμάται πως ο ενοποιημένος κύκλος εργασιών των κατασκευών, των χημικών προϊόντων, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροναυπηγικής, των μηχανημάτων και των κατασκευών γενικού εξοπλισμού ανέρχεται περίπου σε 1,3 τρισεκατομμύρια ευρώ και παρέχει σταθερή απασχόληση σε 30 εκατομμύρια ανθρώπους (127).

Για όλες τις ορυκτές ύλες παρατηρείται ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση του πληθυσμού της Γης, στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων των υπανάπτυκτων χωρών, στην καταναλωτική μανία που χαρακτηρίζει τις κοινωνίες των ανεπτυγμένων χωρών καθώς και στην τεχνολογική εξέλιξη (128). Σύμφωνα με τον OECD η κατανάλωση πρώτων υλών αναμένεται να διπλασιαστεί έως το 2060 (Εικ. 14).



Εικόνα 18: Η πρόβλεψη του OECD για την κατανάλωση πρώτων υλών το 2060 (σε Gigatonnes) (129).

Τα τελευταία χρόνια αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία καταναλώνουν ταχύρυθμα αυξανόμενες ποσότητες ΟΠΥ, με αποτέλεσμα να έχουν προσδώσει στις μεταλλευτικές τους πολιτικές στρατηγικό χαρακτήρα. Μεσοπρόθεσμα, το γεγονός αυτό αναμφισβήτητα θα επιφέρει ανταγωνιστικές δυσκολίες στην προμήθεια των ευρωπαϊκών χωρών με πρώτες ύλες, καθώς η βιομηχανία τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές αυτών των υλών (128,130,131).

Ο Ευρωπαίος πολίτης κάθε χρόνο χρειάζεται 16 τόνους ορυκτών, με το 70% από αυτά να εισάγεται από τρίτες χώρες. Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καταναλώνουν το 30% των μετάλλων που παράγονται σε παγκόσμιο επίπεδο, την

στιγμή που η παραγωγή μετάλλων εντός της ΕΕ είναι της τάξεως του 3% της παγκόσμιας παραγωγής (12,130). Επίσης πολλά σημαντικά μέταλλα δεν παράγονται καθόλου στην ΕΕ. Αυτά σε συνδυασμό με τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες καθιστούν απαραίτητο βήμα τον εντοπισμό και την αξιοποίηση νέων κοιτασματολογικών αποθεμάτων συχνά σε νέες περιοχές και σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα.

Η ΕΕ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές πρώτων υλών στρατηγικής σημασίας, οι οποίες επηρεάζονται όλο και περισσότερο από τις στρεβλώσεις του διεθνούς εμπορίου. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η εξάρτηση των μετάλλων υψηλής τεχνολογίας λόγω της οικονομικής τους αξίας και των υψηλών κινδύνων ως προς τον εφοδιασμό. Έτσι η ευρωπαϊκή βιομηχανία χρειάζεται επαρκή πρόσβαση σε πρώτες ύλες, τόσο από την ίδια την ΕΕ όσο και εκτός αυτής.

Για την βελτίωση της μακροπρόθεσμης διαθεσιμότητας των πρώτων υλών, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Νοέμβριο 2008 με την σύμφωνη γνώμη του Αντιπροέδρου της G. Veurheugen, δημοσιοποίησε μια νέα ευρωπαϊκή πολιτική με θέμα: «Η Πρωτοβουλία για τις Πρώτες Ύλες με στόχο την κάλυψη των κρίσιμων αναγκών μας για ανάπτυξη και απασχόληση στην Ευρώπη» (Raw Materials Initiative – RMI). Πρόκειται για μια ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Communication 2008/699) προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο Υπουργών, που μεταξύ άλλων τονίζει ότι: *«Η διασφάλιση αξιόπιστης και χωρίς στρεβλώσεις πρόσβαση στις ορυκτές πρώτες ύλες καθίσταται με αυξανόμενο ρυθμό ένας σημαντικός παράγοντας για την ανταγωνιστικότητα της ΕΕ και ως εκ τούτου κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία των στόχων του Συμφώνου της Λισαβόνας για την ανάπτυξη και την απασχόληση»* (127). Η πρωτοβουλία αυτή έθεσε επί τάπητος αφενός την αναγκαιότητα διασφάλισης του βιώσιμου εφοδιασμού με ορυκτές πρώτες ύλες και αφετέρου την μείωση της κατανάλωσης των πρωτογενών πρώτων υλών, ενώ παράλληλα τόνισε την σημασία της εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων για την βιώσιμη ανάπτυξη αναπτυσσόμενων και μη οικονομιών (132).

Η πρωτοβουλία αυτή έχει πάρει πλέον διάσταση πολιτικής για τις πρώτες ύλες και βασίζεται σε τρεις συγκεκριμένους πυλώνες (127,133):

- 1) Διασφάλιση της πρόσβασης στις πρώτες ύλες των διεθνών αγορών, κάτω από τις ίδιες προϋποθέσεις και με καθεστώς διαφάνειας για όλους τους βιομηχανικούς ανταγωνιστές.**

- 2) **Θέσπιση κατάλληλου κανονιστικού πλαισίου εντός της ΕΕ προκειμένου να προωθηθεί η βιώσιμη παροχή των πρώτων υλών από τα κοιτάσματα ορυκτών πρώτων υλών που βρίσκονται στο έδαφος της ΕΕ, καθώς και δημιουργία μιας ενιαίας βάσης γεωλογικών δεδομένων.**
- 3) **Ενίσχυση της συνολικής αποδοτικότητας στην χρήση των ορυκτών πόρων και προώθησης της ανακύκλωσης προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση πρωτογενών πρώτων υλών από την ΕΕ και να ελαττωθεί η αντίστοιχη εξάρτηση από εισαγωγές.**

Ο πρώτος πυλώνας αναφέρεται στην δημιουργία συνθηκών εύκολης πρόσβασης σε πρώτες ύλες από χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ, με όρους που ισχύουν και για τους διεθνείς ανταγωνιστές, χωρίς στρεβλώσεις, κάτι που θα επηρέαζε την ανταγωνιστικότητα και την ανάπτυξη της ευρωπαϊκής βιομηχανίας.

Υπό το πρίσμα αυτό η ΕΕ πρέπει να επιδιώξει ενεργά «διπλωματία για τις πρώτες ύλες», δηλαδή στρατηγικών συμμαχιών και εξωτερικών πολιτικών της (εξωτερικές σχέσεις, εμπόριο και ανάπτυξη), ενώ εντείνεται η ανάγκη για συντονισμό ενός πολιτικού διαλόγου τόσο με τις χώρες που διαθέτουν κοιτάσματα σημαντικών πρώτων υλών (π.χ. Κίνα, χώρες Αφρικής, Ρωσία), όσο και με τις χώρες που εξαρτώνται από τους «διεθνείς» φυσικούς πόρους (π.χ. ΗΠΑ, Ιαπωνία).

Επιπλέον, στο κείμενο της πρωτοβουλίας τονίζεται η σημασία της συμμετοχής της ΕΕ σε διεθνή φόρα και πρωτοβουλίες, αλλά και η ανάγκη αναμόρφωσης εμπορικής και κανονιστικής πολιτικής της ΕΕ με προτεραιότητα την πρόσβαση σε πρωτογενείς και δευτερογενείς πρώτες ύλες. Ενδεικτικά η πρωτοβουλία αναφέρει την ανάγκη για εξασφάλιση διεθνών δεσμεύσεων και την προσπάθεια για την άρση μέτρων που στρεβλώνουν τις εμπορικές συναλλαγές με τρίτες χώρες. Τέλος η ΕΕ πρέπει επίσης να παρακολουθεί το δασμολογικό καθεστώς, ώστε να αξιολογεί τους τρόπους μείωσης των εισαγωγικών περιορισμών για τις πρώτες ύλες.

Ήδη από το 2008, η οικονομική ύφεση σε πολλές χώρες έκανε επιτακτική την ανάγκη για την ανάληψη συγκεκριμένων δράσεων στο πνεύμα του πρώτου τομέα πολιτικής. Στην προσπάθεια εξομάλυνσης των στρεβλώσεων, η ευρωπαϊκή επιτροπή σε συνεργασία με το Μεξικό και τις ΗΠΑ, τον Ιούνιο του

2009, αντέδρασε στους εξαγωγικούς περιορισμούς πρώτων υλών που επέβαλλε η Κίνα (134). Καθώς η παραπάνω δράση δεν στέφθηκε με επιτυχία, τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους, δημιουργήθηκε μια ομάδα δράσης υπό την αιγίδα του διεθνούς οργανισμού εμπορίου. Η ΕΕ χρησιμοποιεί τις συνεργασίες της με παγκόσμιους οργανισμούς για την ενίσχυση των διαπραγματεύσεων με χώρες που έχουν ισχυρό εξαγωγικό χαρακτήρα μη ενεργειακών πρώτων υλών.

Ο δεύτερος πυλώνας της πρωτοβουλίας αναφέρεται στην προώθηση της ιδέας του βιώσιμου εφοδιασμού με πρώτες ύλες από ευρωπαϊκές πηγές. Στο πλαίσιο αυτό η πρωτοβουλία αναγνωρίζει το πρόβλημα της περιορισμένης πρόσβασης σε κοιτάσματα εξαιτίας του αυξημένου ανταγωνισμού για διάφορες χρήσεις γης ή και άλλων προβλημάτων, καθώς και την ύπαρξη διοικητικών διαδικασιών που μετατρέπουν την αξιοποίηση ενός κοιτάσματος πρώτων υλών σε ιδιαίτερα χρονοβόρα και ίσως μη συμφέρουσα διαδικασία.

Σύμφωνα με το κείμενο της πρωτοβουλίας είναι επιτακτική η ανάγκη για βελτίωση των γνώσεων σχετικά με τα κοιτάσματα ορυκτών που βρίσκονται στην ΕΕ, οι οποίες μπορεί να είναι περιορισμένες εξαιτίας των διαφορετικών χρήσεων γης αλλά και της απουσίας σχετικών γεωλογικών στοιχείων σε διάφορες περιοχές. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο κατέχουν τα εθνικά γεωλογικά ιδρυτήρια, τα οποία καλούνται να συμμετάσχουν στην οργάνωση και στην εκπόνηση των σχεδίων χρήσης γης των κρατών μελών, ενώ η βελτίωση της δικτύωσης και της συνεργασίας μεταξύ των ευρωπαϊκών γεωλογικών ιδρυτημάτων θα διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών και την δημιουργία μιας κοινής βάσης γνώσεως για τα διαθέσιμα ευρωπαϊκά κοιτάσματα (133).

Στο πλαίσιο του δεύτερου πυλώνα της πολιτικής αυτής, η Ευρωπαϊκή επιτροπή προωθεί και υποστηρίζει ερευνητικά έργα με επίκεντρο την καινοτομία στην έρευνα, την εξόρυξη και την αξιοποίηση πρώτων υλών. Η Επιτροπή χρηματοδότησε σχετικά έργα τεχνολογικής ανάπτυξης και καινοτομίας υπό το 7^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (FP7) την περίοδο 2007-2013 (135). Επιπλέον, σύμφωνα με κείμενο εργασίας της πρωτοβουλίας, το οποίο κατατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το 2014 (136), διατίθενται σημαντικά κονδύλια από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης, μέσω του μηχανισμού Horizon 2020, τόσο για έρευνα και καινοτομία, όσο και για την υποστήριξη επιχειρήσεων και προγραμμάτων που δραστηριοποιούνται στην εξερεύνηση και διαχείριση πρώτων υλών.

Επιπλέον, υπάρχει η ανάγκη ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών σχετικά με την αναγκαιότητα της εξόρυξης πρώτων υλών για την ευρωπαϊκή οικονομία, προάγοντας παράλληλα θέματα ορθής περιβαλλοντικής διαχείρισης που καταδεικνύουν τους περιβαλλοντικούς κινδύνους από την εξόρυξη τους. Τέλος η Επιτροπή δεσμεύτηκε να ενθαρρύνει και να βελτιώσει την εκπαίδευση και την καλλιέργεια δεξιοτήτων (μέσω μεταπτυχιακών και διδακτορικών σπουδών του προγράμματος Erasmus) που παρέχεται στους απασχολούμενους στην εξορυκτική βιομηχανία, προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και κατ' επέκταση η ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας.

Ο τρίτος πυλώνας της πρωτοβουλίας αφορά στην μείωση της κατανάλωσης πρώτων υλών στην ΕΕ, ενώ στοχεύει στον περιορισμό της εξάρτησης της ΕΕ από εισαγωγές πρωτογενών πρώτων υλών και στην άμεση βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και της ανάπτυξης της ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Ο πυλώνας αυτός περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη στρατηγική διαχείρισης των πρώτων υλών, ξεκινώντας από θέματα οικολογικού σχεδιασμού, έτσι όπως ορίζονται στην Οδηγία 2005/32 (137), ενώ επεκτείνεται σε θέματα αποδοτικότητας πρώτων υλών, ανακύκλωσης και χρήσης δευτερογενών πρώτων υλών.

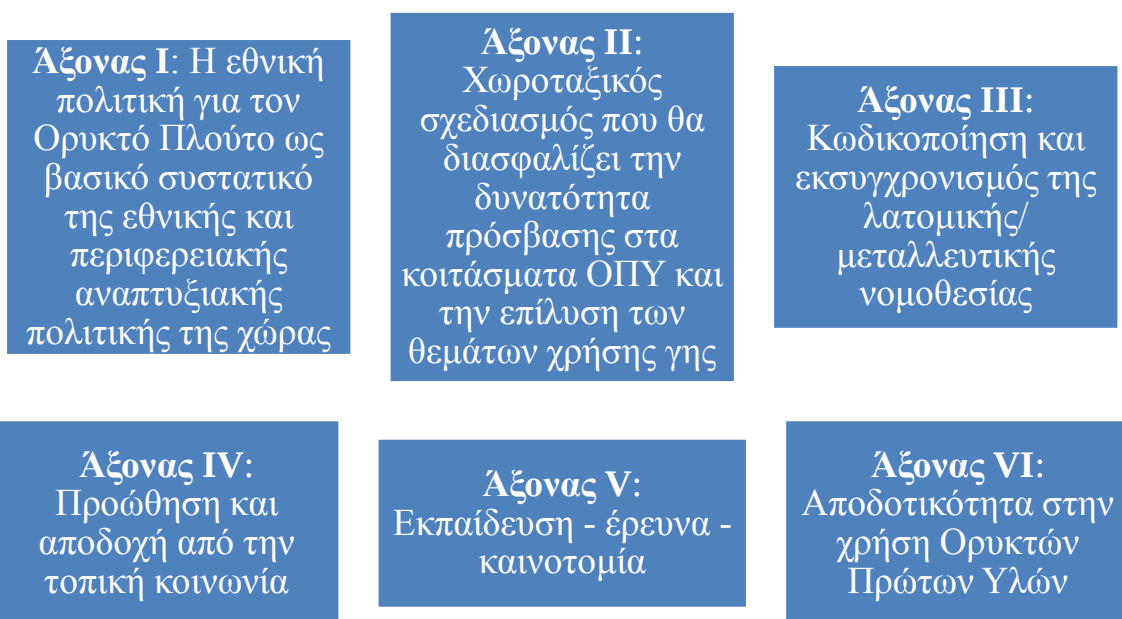
Άμεσος στόχος είναι η ενθάρρυνση της ανακύκλωσης, διότι οι διαδικασίες ανακύκλωσης σε ορισμένα κράτη μέλη δεν είναι αποτελεσματικές, με αποτέλεσμα σημαντικές ποσότητες πρώτων υλών με σημαντική εμπορική αξία να απορρίπτονται στο περιβάλλον. Σήμερα, καθώς η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των απορριμμάτων αποτελεί θεμέλιο λίθο της περιβαλλοντικής πολιτικής, αλλά και μέσο για την επίτευξη των στόχων της στρατηγικής Ευρώπη 2020 (138), η σημασία της διαχείρισης πρώτων υλών που βρίσκονται σε επάρκεια εντός ευρωπαϊκών συνόρων, είναι αναβαθμισμένη.

Η πρωτοβουλία αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής στρατηγικής για το εμπόριο «Παγκόσμια Ευρώπη», η οποία αντικαταστάθηκε το 2010 από νεότερη στρατηγική με τίτλο «Εμπόριο, Ανάπτυξη και Διεθνείς σχέσεις», η οποία λαμβάνει υπόψη και τις συνέπειες της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης για την ανάπτυξη των κρατών μελών (132).

3.1. Εθνική Πολιτική για τις ΟΠΥ

Η Εθνική πολιτική ακολουθεί την ευρωπαϊκή στοχεύοντας στην ύπαρξη ενός υγιούς και δυναμικού κλάδου που να καλύπτει τις ανάγκες της εγχώριας και της ευρωπαϊκής βιομηχανίας εν γένει. Τον Φεβρουάριο του 2012, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ανέδειξε την Εθνική Πολιτική για την Αξιοποίηση των Ορυκτών Πρώτων Υλών (ΕΠΑΟΠΥ) της χώρας (139). Σκοπός της πολιτικής αυτής είναι η διασφάλιση της κοινωνίας με ΟΠΥ με οικονομικά βιώσιμο τρόπο, εναρμονισμένο με τις εθνικές πολιτικές ανάπτυξης άλλων τομέων, την προστασία του περιβάλλοντος και σύμφωνα με την αρχή της αειφόρου ανάπτυξης. Η θεμελιώδης προϋπόθεση για την αποτελεσματική εφαρμογή ΕΠΑΟΠΥ είναι η θέσπιση ενός κανονιστικού πλαισίου, μέσα από ευρεία ενημέρωση και διάλογο με όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, η οποία θα συμβάλει στην διαχρονική του εφαρμογή με συνέπεια, διαφάνεια και ενιαίο τρόπο. Η σημασία μιας τέτοιας πολιτικής είναι εξαιρετικά μεγάλη, με δεδομένη την διαθεσιμότητα κοιτασμάτων στον ελλαδικό χώρο, την ανάγκη για προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και φυσικά την σημαντική απώλεια εθνικού προϊόντος και θέσεων απασχόλησης τα τελευταία χρόνια, λόγω της οικονομικής κρίσης.

Η ΕΠΑΟΠΥ δομείται σε έξι βασικούς άξονες πολιτικής (Διαγρ. 5). Οι άξονες πλαισιώνονται από επιμέρους απαιτούμενες δράσεις και πολιτικές.



Διάγραμμα 5: Οι βασικοί άξονες της Εθνικής Πολιτικής για την Αξιοποίηση των Ορυκτών Πρώτων Υλών (139).

Η Εθνική Πολιτική δεν πήρε την μορφή νομοθετικών κειμένων με αποτέλεσμα σημαντικά βήματα που θα επιταχύνουν την εφαρμογή της δεν έχουν υλοποιηθεί. Η γνώση για τα υφιστάμενα κοιτάσματα είναι περιορισμένη, ενώ οι διαδικασίες αδειοδότησης για την αξιοποίηση πρώτων υλών είναι πολύπλοκες και χρονοβόρες. Έντονα είναι τα προβλήματα επίσης που δημιουργούνται τόσο στις υφιστάμενες όσο και σε δυνητικές επενδύσεις από τα χαρακτηριστικά της πολυνομίας, τις πολυάριθμες προσφυγές διαφόρων υποθέσεων στο Συμβούλιο της Επικρατείας και τις καθυστερήσεις που προκαλούνται ως την εκδίκαση τους. Επιπλέον απαιτείται εκσυγχρονισμός του λατομικού νομοσχεδίου, καθώς και μείωση του μη μισθολογικού κόστους (τέλη, μισθώματα, λοιπή φορολογία, κόστος ενέργειας κ.λ.π.).

Ωστόσο ο ελληνικός εξορυκτικός τομέας αποτελεί ελπιδοφόρο τομέα οικονομικής δραστηριότητας της Ελλάδας (3,4% του ΑΕΠ) και διαχρονικά τροφοδοτεί με απαραίτητες πρώτες ύλες ζωτικούς για την εθνική οικονομία κλάδους όπως της παραγωγής ενέργειας, της τσιμεντοβιομηχανίας, των κατασκευών, των οικοδομικών υλικών κ.α. Ταυτόχρονα έχει έντονο εξωστρεφή χαρακτήρα, καθώς οι εξαγωγές αντιπροσωπεύουν πάνω από 65% των πωλήσεων του, διαμορφώνοντας έτσι έναν σημαντικό παραγωγικό κρίκο για την ευρωπαϊκή αγορά (140).

Κεφάλαιο 4. Κρίσιμα μέταλλα

Η εξασφάλιση αξιόπιστης πρόσβασης σε μη ενεργειακές πρώτες ύλες αποτελεί πρόκληση για την ευρωπαϊκή βιομηχανία. Δεδομένης της παγκόσμιας ζήτησης για ορυκτές πρώτες ύλες είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη εάν υπάρχουν επαρκείς πόροι στο φλοιό της Γης, ώστε να καλύψουμε τις μελλοντικές μας ανάγκες. Σύμφωνα με έκθεση ομάδας εμπειρογνομόνων υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, που δημοσιεύτηκε στις 17 Ιουνίου 2010, η διαθεσιμότητα ορισμένων πρώτων υλών στρατηγικής σημασίας ελαττώνεται συνεχώς (141).

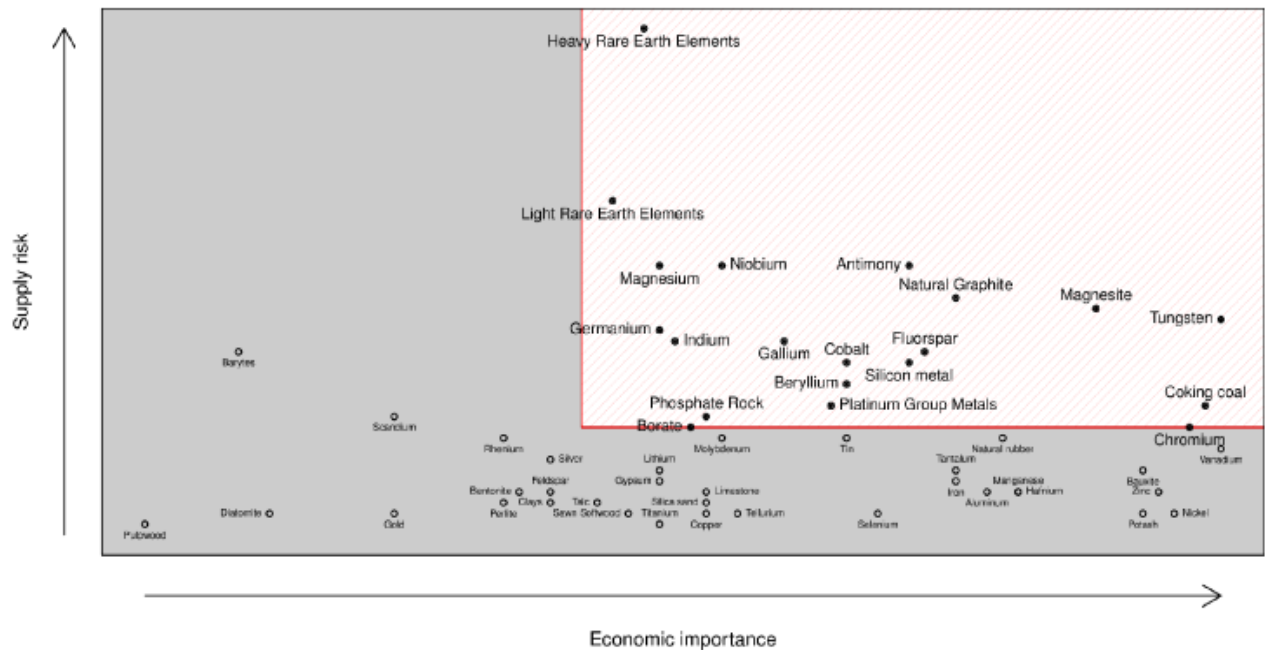
Έτσι στο πλαίσιο εφαρμογής και εξειδίκευσης της Ευρωπαϊκής Πρωτοβουλίας για τις Πρώτες Ύλες και με βάση τον απολογισμό το 2011, καταρτίστηκε κατάλογος με 14 πρώτες ύλες οι οποίες κρίθηκαν «κρίσιμες» για το μέλλον της ευρωπαϊκής βιομηχανίας (142). Αυτές είναι το αντιμόνιο (Sb), το βηρύλλιο (Be), το κοβάλτιο (Co), το γάλλιο (Ga), το γερμάνιο (Ge), το ίνδιο (In), το μαγνήσιο (Mg), το νιόβιο (Nb), τα πλατινοειδή μέταλλα (PGE), οι σπάνιες γαίες (REE), το ταντάλιο (Ta), ο κασσίτερος (Sn), ο φθορίτης (CaF_2), ο γραφίτης (C) και το βολφράμιο (W). Ως κρίσιμης σημασίας πρώτες ύλες (CRM) σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρούνται εκείνες οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλό κίνδυνο ανεπαρκούς προσφοράς κατά τα επόμενα 10 έτη και οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την αλυσίδα προστιθέμενης αξίας, για την εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και για εφαρμογές βελτίωσης του περιβάλλοντος. Ο κίνδυνος προσφοράς σχετίζεται με την συγκέντρωση της παραγωγής σε συγκεκριμένες και ελάχιστες χώρες, καθώς και με τη χαμηλή πολιτικο-οικονομική σταθερότητα ορισμένων εκ των χωρών-προμηθευτών. Σε πολλές περιπτώσεις ο κίνδυνος επαυξάνεται λόγω της χαμηλής υποκαταστασιμότητας και των χαμηλών ποσοστών ανακύκλωσης.

Η Επιτροπή δεσμεύτηκε να αναθεωρεί και να επικαιροποιεί τη λίστα τουλάχιστον ανά 3 έτη, καθώς η κρίσιμότητα θεωρείται δυναμική κατάσταση και πρέπει να επαναξιολογείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (142). Στο πλαίσιο αυτό ενημερώσεις της λίστας των κρίσιμων πρώτων υλών (CRM) δημοσιεύτηκαν το 2014 και το 2017.

4.1. Οι ανανεωμένες λίστες των CRMs του 2014 και 2017

Η δημιουργία της ανανεωμένης λίστας κρίσιμων πρώτων υλών (CRM) του 2014 βασίστηκε στην ίδια μεθοδολογία με αυτή του 2011. Για την λίστα αυτή αναλύθηκαν 54 μη ενεργειακές πρώτες ύλες με ανανεωμένα δεδομένα και με ευρύτερη αξιολόγηση σε σχέση με την πρώτη λίστα (143). Αυτό επέτρεψε την σύγκριση των λιστών του 2011 και του 2014 και οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η κρισιμότητα πρώτων υλών έχει αλλάξει μέσα στα 3 χρόνια που μεσολάβησαν.

Η λίστα αυτή είναι πιο λεπτομερής όσον αφορά τις σπάνιες γαίες, διακρίνοντας τις σε δυο κύριες κατηγορίες, τις «βαρείες» και τις «ελαφριές». Το παρακάτω διάγραμμα (Διαγρ. 6) παρουσιάζει τα συνολικά αποτελέσματα της λίστας του 2014.

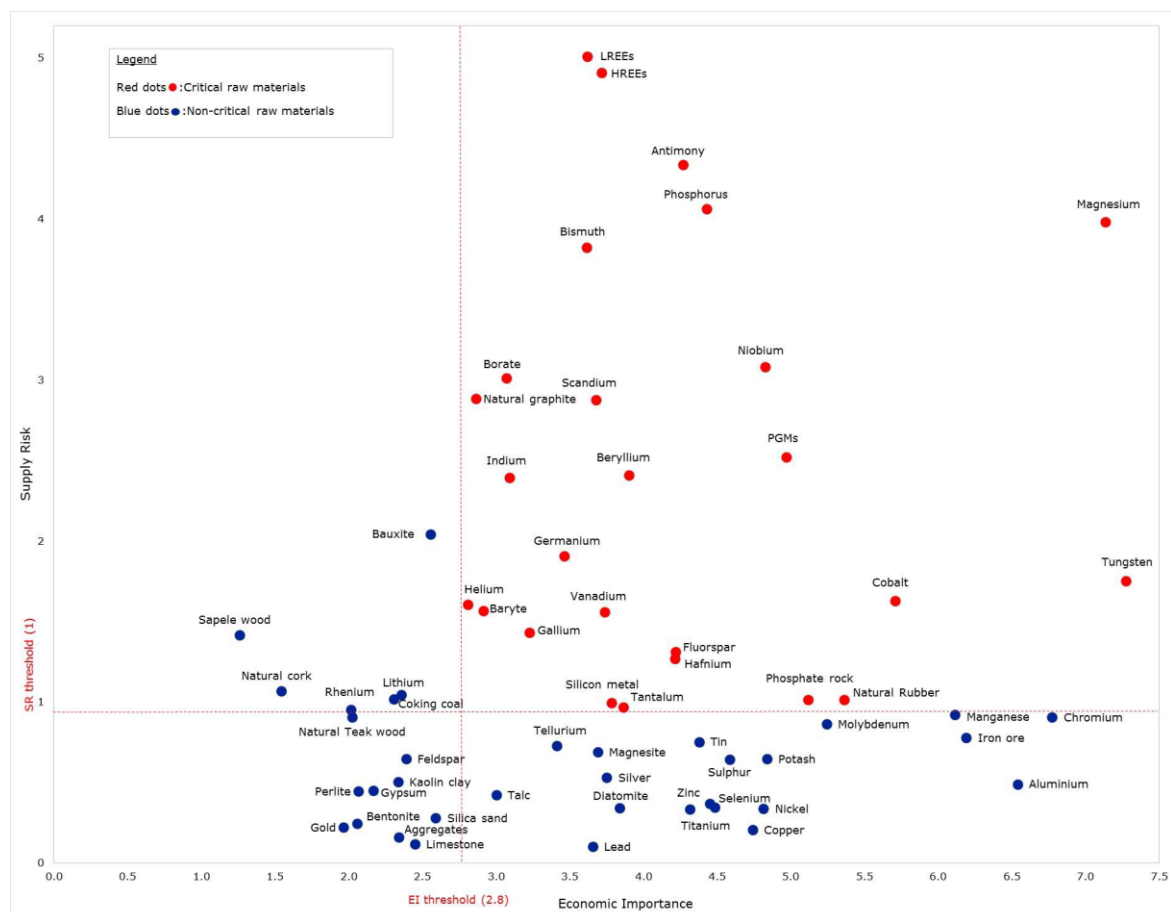


Διάγραμμα 6: Διάγραμμα της αναθεωρημένης λίστας του 2014 για τις κρίσιμες πρώτες ύλες. Στο πλαίσιο που οριοθετείται από την κόκκινη ζώνη απεικονίζονται οι CRMs (144).

Η λίστα του 2014 περιλαμβάνει 13 από τις 14 πρώτες ύλες που είχαν συμπεριληφθεί σε αυτή του 2011, με μόνο το ταντάλιο (Ta) να μένει εκτός. Έξι νέες ύλες εισήχθησαν στην λίστα: τα βορικά άλατα, το χρώμιο (Cr), ο άνθρακας οπτανθρακοποίησης (κοκ), ο μαγνησίτης ($MgCO_3$), ο φωσφορίτης και το μεταλλικό πυρίτιο (Si). Η μελέτη της παγκόσμιας πρωτογενούς προμήθειας των 54 υποψηφίων υλών προσδιορίζει ότι το 90% περίπου της παγκόσμιας προσφοράς προέρχεται από

πηγές εκτός ΕΕ. Τα στοιχεία αυτά κάνουν έκδηλη την απόλυτη εξάρτηση της ΕΕ όσον αφορά τις CRMs.

Η αξιολόγηση κρισιμότητας του 2017 αφορούσε 78 πρώτες ύλες ενώ ο κατάλογος των CRMs απαριθμεί συνολικά 27 πρώτες ύλες (145). Από τις ύλες αυτές οι εννέα είναι νέες σε σύγκριση με την αξιολόγηση του 2014 και είναι οι εξής: ο βαρύτης (BaSO_4), το βισμούθιο (Bi), το χάνφιο (Hf), το ήλιο (He), το φυσικό καουτσούκ, ο φώσφορος (P), το σκάνδιο (Sc), το ταντάλιο (Ta) και το βανάδιο (V). Τρεις πρώτες ύλες (το χρώμιο, ο άνθρακας οπτανθρακοποίησης και ο μαγνησίτης) μένουν εκτός, με βάση την αξιολόγηση του 2017. Οι βαρείες σπάνιες γαίες, οι ελαφριές, καθώς και τα πλατινοειδή μέταλλα (PGM) μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διαγρ. 7).

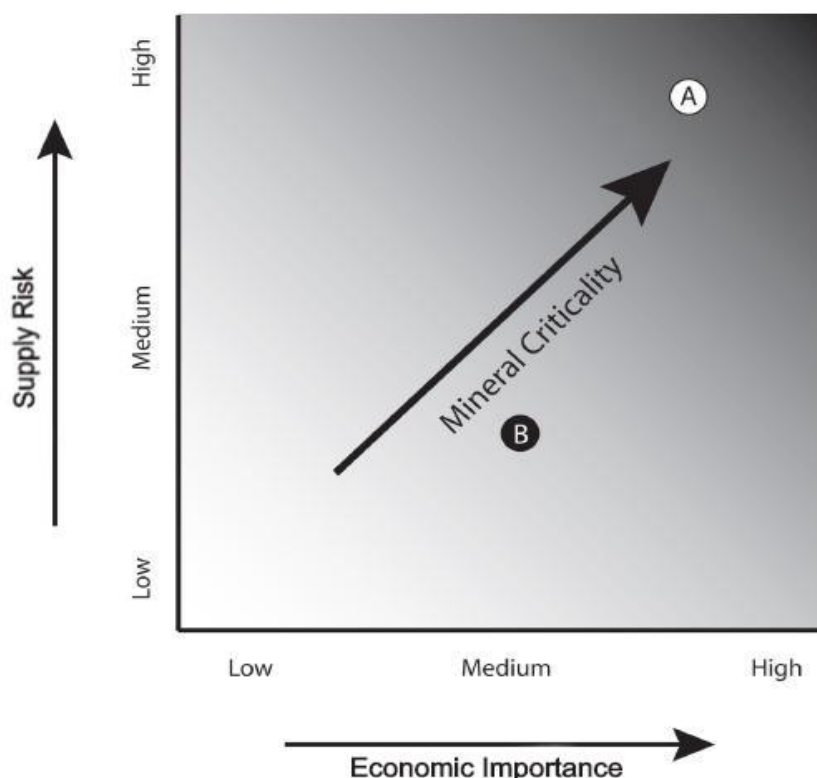


Διάγραμμα 7: Αποτελέσματα της αναθεωρημένης λίστας του 2017 για τις κρίσιμες πρώτες ύλες (146).

Η αξιολόγηση του 2017 εφαρμόζει μια αναθεωρημένη έκδοση της μεθοδολογίας κρισιμότητας πρώτων υλών, διασφαλίζοντας παράλληλα την συγκρισιμότητα με τις αξιολογήσεις του 2011 και 2014 (146).

4.2. Από τι εξαρτάται η κρισιμότητα

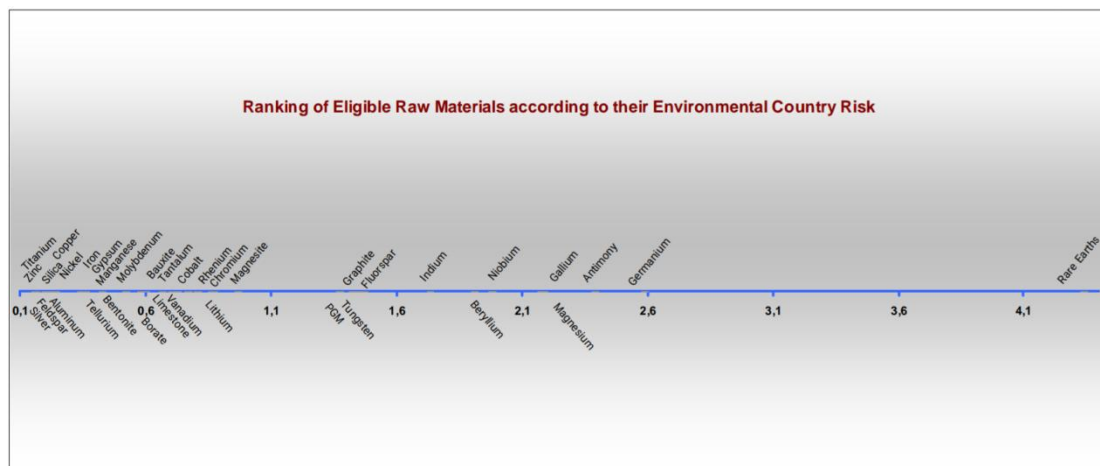
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει την «κρισιμότητα» με βάση την οικονομική σημασία της εκάστοτε πρώτης ύλης, δηλαδή αν το οικονομικό της αντίκτυπο στην οικονομία της ΕΕ είναι υψηλότερο από περισσότερα υλικά, αλλά και τον κίνδυνο εφοδιασμού της (Διαγρ. 8). Η συγκέντρωση της παραγωγής σε λίγες χώρες που χαρακτηρίζονται από πολιτική κι οικονομική αστάθεια, σε συνδυασμό με το χαμηλό ποσοστό ανακύκλωσης αλλά και την χαμηλή δυνατότητα υποκατάστασης οδηγούν σε πολύ υψηλό κίνδυνο εφοδιασμού (141,147,148).



Διάγραμμα 8: Η αξιολόγηση της κρισιμότητας με βάση τον κίνδυνο εφοδιασμού και την οικονομική σημασία. Η πρώτη ύλη Α, σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία είναι πιο κρίσιμη από την πρώτη ύλη Β (70).

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 7, οι σπάνιες γαίες και κυρίως οι ελαφριές (LREE) τοποθετούνται πολύ ψηλά στο διάγραμμα κρισιμότητας. Η Βρετανική Γεωλογική Υπηρεσία (BGS) σε έκθεσή της το 2015, κατηγοριοποιεί τις σπάνιες γαίες σε αντίστοιχη λίστα, με δείκτη ρίσκου διαταραχής της προμήθειας 9.5/10 (149).

Η Επιτροπή ωστόσο αναφέρει και μια τρίτη διάσταση, τους περιβαλλοντικούς κινδύνους στις χώρες εξόρυξης. Ωστόσο η διάσταση αυτή έχει πολύ μικρή έως αμελητέα επίδραση στα αποτελέσματα των αναλύσεων των υποψηφίων ορυκτών πρώτων υλών. Αυτό σημαίνει πως ένα υλικό δεν μπορεί να προστεθεί στην λίστα των CRMs με βάση μόνο την διάσταση αυτή. Στο Διάγραμμα 9 φαίνονται οι πρώτες ύλες οι οποίες έχουν ήδη κριθεί κρίσιμες σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία, σε κατάταξη ανάλογα με τους περιβαλλοντικούς κινδύνους στις χώρες εξόρυξης τους (141).



Διάγραμμα 9: Κατάταξη των επιλέξιμων πρώτων υλών με βάση τον περιβαλλοντικό κίνδυνο των χωρών εξόρυξης τους (141).

Συνοπτικά τα τρία κριτήρια για τον προσδιορισμό του «επιπέδου κρισιμότητας» των πρώτων υλών είναι τα εξής:

- Η οικονομική σημασία της συγκεκριμένης πρώτης ύλης για την ευρωπαϊκή οικονομία.
- Κίνδυνοι εφοδιασμού από τις χώρες εξόρυξης
- Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι στις χώρες εξόρυξης

4.3. Χρήσεις CRMs

Πολλές τεχνολογίες με μεγάλο αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής μας βασίζονται στις κρίσιμες πρώτες ύλες. Πληθώρα εφαρμογών από συσκευές φωτισμού (LED, OLED, CFL: σπάνιες γαίες όπως Ce, Y, Eu καθώς και Tb, In), έως συσκευές συλλογής ενέργειας (διαφανή αγώγιμα στρώματα, ηλιακοί απορροφητές, θερμικά υλικά), μόνιμοι μαγνήτες (NdFeB, SmCo), καταλυτικοί μετατροπείς, καταλύτες ηλεκτροδίων σε κυψέλες καυσίμου (PGM και καταλύτες από Rh) και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (σπάνιες γαίες, γραφίτης και Co, Li, Ni) απαιτούν ένα ή και περισσότερα από τα 27 κρίσιμα μέταλλα.

Εκτός από τις σπάνιες γαίες και το πλήθος εφαρμογών τους που αναλύονται ενδελεχώς στο Κεφάλαιο 1, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου ή πλατινοειδή (PGM). Τα Pt, Pd και Rh χρησιμοποιούνται ευρέως στους καταλύτες αυτοκινήτων και στα φίλτρα σωματιδίων ντίζελ για την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον σημαντική είναι η συνεισφορά τους στην κοσμηματοποιία και στην οδοντιατρική, ενώ χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία ηλεκτρονικών εφαρμογών όπως σκληρούς δίσκους υπολογιστών (Pt, Ru), πολυστρωματικούς κεραμικούς πυκνωτές (Pd) ή υβριδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (61,150).

Ένα μέταλλο με εξαιρετικά ενδιαφέρουσες εφαρμογές, λόγω των ιδιαίτερων φυσικοχημικών ιδιοτήτων του είναι το γερμάνιο (Ge). Βασική είναι η χρήση του στην κατασκευή υψηλής απόδοσης καλωδίων οπτικών ινών για τις συνδέσεις ίντερνέτ και τις τηλεπικοινωνίες γενικότερα. Ωστόσο κυρίαρχο ρόλο παίζει και στις συσκευές υπέρυθρων ακτίνων και φακών νυκτερινής όρασης, καθώς και ως καταλύτης πολυμερισμού για την παραγωγή συνθετικών υφαντικών ινών (61,151). Τέλος το γερμάνιο βρίσκει εφαρμογή στην βιομηχανία φωτοβολταϊκών στα φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ ως λεπτό υπόστρωμα (152).

Το γάλλιο (Ga), όπως και το γερμάνιο (καθώς και τα In, Se) είναι βασική πρώτη ύλη για την κατασκευή φωτοβολταϊκών τεχνολογίας λεπτού φιλμ (65,152). Ωστόσο το γάλλιο (GaAs), λόγω των ημιαγώγιμων ιδιοτήτων του, έχει εξαιρετική σημασία στην παραγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες, στους υπολογιστές και τα smartphone υψηλής απόδοσης, σε

υπέρυθρες εφαρμογές, σε διόδους λέιζερ και εκπομπής φωτός (LED) και γενικά σε μια ευρεία κατηγορία οπτικοηλεκτρονικών εφαρμογών (153,154).

Το νιόβιο (Nb) παρουσιάζει πολλές χημικές ομοιότητες με το ταντάλιο (Ta). Χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, κυρίως όμως ως πρόσθετο στο ατσάλι για την αύξηση της αντοχής του, στην κατασκευή κραμάτων υψηλής αντοχής, καθώς και στην κατασκευή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Κράματα νιοβίου χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αγωγών μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου, στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, στην παρασκευή υψηλής αντοχής εξοπλισμού για χημικά εργαστήρια, στην κατασκευή μαγνητών, ακόμα και στην κατεργασία διαμαντιών (37,155,156). Σε συνδυασμό με τον Fe, το νιόβιο δημιουργεί ένα υπερκράμα το οποίο βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή των τουρμπίνων των αεροσκαφών, στους πυραύλους, στην κατασκευή τμημάτων αυτοκινήτων κ.α. (150,157)

Ακόμη μία κρίσιμη για την ευρωπαϊκή βιομηχανία πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται σε κράματα είναι το κοβάλτιο (Co). Ειδικά κράματα Co-Cr-Mo χρησιμοποιούνται σε προσθετικά μέρη όπως οι αντικαταστάσεις γονάτων και γοφών όπως επίσης και σε προσθετικές στα δόντια (158,159), ενώ σε συνδυασμό με το Sm (μαγνήτης Sm-Co) και τα Al-Ni-Co-Cu-Fe-Ti (κράμα Alnico) αντίστοιχα βρίσκει εφαρμογή στους μόνιμους μαγνήτες (160). Η κύρια όμως εφαρμογή του είναι στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου (ως υλικό αρνητικού ηλεκτροδίου) αλλά και νικελίου – καδμίου και νικελίου – μετάλλου (161). Κοβάλτιο επίσης θα βρούμε και σε εργαλεία κοπής λόγω της αντοχής του σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και ως καταλύτη σε βιομηχανίες πλαστικών και υφασμάτων (61).

Μία πρώτη ύλη που αποτελεί βασικό συστατικό των κοινών μολυβιών έχει επίσης κριθεί κρίσιμη σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Ο γραφίτης χρησιμοποιείται ως επιβραδυντής νετρονίων υπό μορφή παχέων πλακών σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, καθώς επίσης και στην κατασκευή ηλεκτροδίων με τα οποία πραγματοποιείται παρασκευή αργιλίου από την ηλεκτρόλυση της αλουμίνας (65,162). Τέλος σημαντική είναι η συνεισφορά του στην βιομηχανία χάλυβα και ορειχάλκου, στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών και μπαταριών (το ηλεκτρόδιο ανόδου των κοινών μπαταριών είναι από γραφίτη) (163).

4.4. Ζήτηση και Κύριοι Παραγωγοί των CRMs

Οι προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής έδειξαν πως η ζήτηση ορισμένων CRMs ενδέχεται να υπερτριπλασιαστεί μέχρι το έτος 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του έτους 2006 (Πιν. 2). Η διαρκής αύξηση της ζήτησης οφείλεται στην ανάπτυξη των αναδυόμενων οικονομιών και στην διαρκώς ακμάζουσα τεχνολογία. Η μεγάλη συνεισφορά τους σε εφαρμογές και νέες τεχνολογίες αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα αύξησης της ζήτησης. Επιπλέον αρκετές αναδυόμενες οικονομίες βασίζουν τη βιομηχανική τους εξέλιξη σε εμπορικά, φορολογικά και επενδυτικά μέτρα, με άμεσο στόχο να εξασφαλίσουν την αποκλειστική εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών τους πόρων.

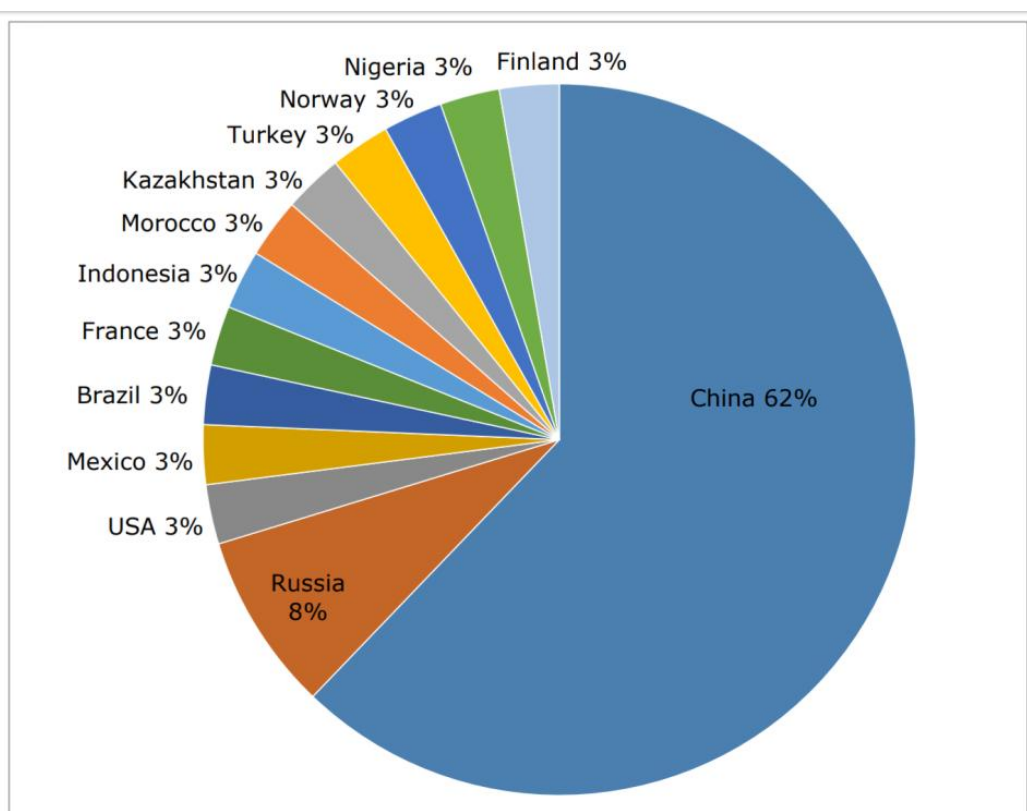
Πίνακας 2: Παγκόσμια ζήτηση πρώτων υλών για τις νέες τεχνολογίες το 2006 και το 2030, σε σχέση με τη συνολική παγκόσμια παραγωγή κάθε πρώτης ύλης για το έτος 2006 (141).

Πρώτη ύλη	Παραγωγή 2006 (σε τόνους)	Ζήτηση από τις νέες τεχνολογίες το 2006 (σε τόνους)	Ζήτηση από τις νέες τεχνολογίες το 2030 (σε τόνους)	Δείκτης 2006 ¹	Δείκτης 2030 ¹
Γάλλιο (Ga)	152	28	603	0,18	3,97
Ίνδιο (In)	581	234	1.911	0,40	3,29
Γερμάνιο (Ge)	100	28	220	0,28	2,20
Νεοδύμιο (Nd)	16.800	4.000	27.900	0,23	1,66
Λευκόχρυσος (Pt)	255	Πολύ μικρή	345	0	1,35
Ταντάλιο (Ta)	1.384	551	1.410	0,40	1,02
Άργυρος (Ag)	19.051	5.342	15.823	0,28	0,83
Κοβάλτιο (Co)	62.279	12.820	26.860	0,21	0,43
Παλλάδιο (Pd)	267	23	77	0,09	0,29
Τιτάνιο (Ti)	7.211.000 ²	15.397	58.148	0,08	0,29
Χαλκός (Cu)	15.093.000	1.410.000	3.696.070	0,09	0,24

¹Ο δείκτης αυτός δείχνει το ποσοστό της ζήτησης από τις νέες τεχνολογίες το 2006 και το 2030 σε σχέση με τη συνολική ζήτηση κάθε πρώτης ύλης για το έτος 2006.

²Συμπύκνωμα μεταλλεύματος

Η πλειονότητα των πρωτογενών κρίσιμων πρώτων υλών παράγονται από χώρες εκτός ΕΕ. Πολλά CRM δεν υπάρχουν στην ΕΕ, όπως για παράδειγμα το αντιμόνιο, το βηρύλλιο, τα βορικά άλατα, το μαγνήσιο, το νιόβιο, ο φώσφορος, το σκάνδιο, το ταντάλιο, το βανάδιο, οι REE αλλά και οι PGM. Αυτό οφείλεται είτε σε απουσία αυτών των υλικών στο ευρωπαϊκό έδαφος, είτε σε οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες που επηρεάζουν την έρευνα (ανακάλυψη και χαρακτηρισμό κοιτασμάτων, την εκτίμηση των πόρων και των αποθεμάτων) και την εξόρυξη (κλείσιμο των ήδη υπαρχόντων μεταλλείων, απροθυμία δημιουργίας νέων). Για να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτά τα ύψιστης σημασίας CRMs η ΕΕ δεν έχει άλλη επιλογή από την εισαγωγή μεταλλευμάτων, συμπυκνωμάτων ή εξευγενισμένων υλικών από τρίτες χώρες προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες της. Οι μόνες κρίσιμες πρώτες ύλες από τις οποίες η ΕΕ δεν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από εξωευρωπαϊκές εισαγωγές είναι το χάρνιο (παγκόσμια κύρια παραγωγός: Γαλλία) και το ίνδιο (164).



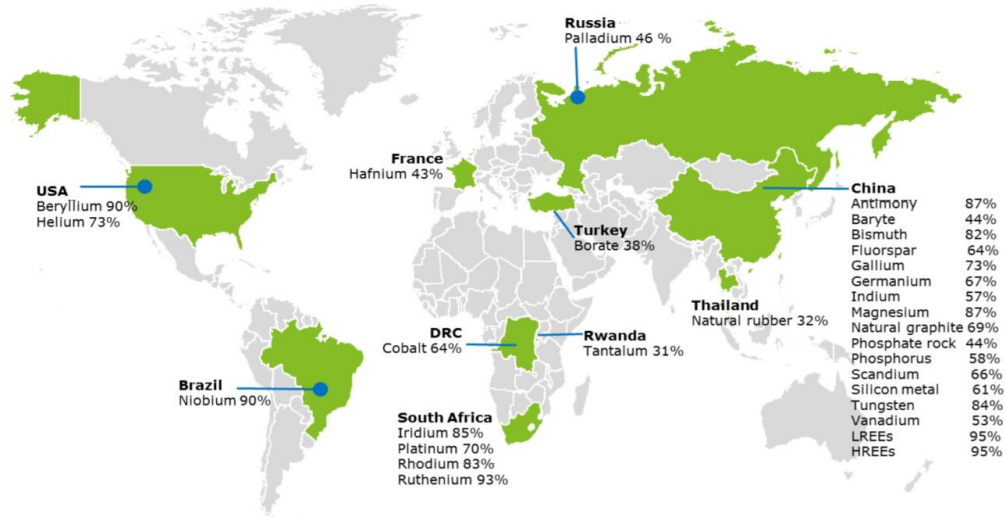
Διάγραμμα 10: Κύριοι προμηθευτές CRMs της ΕΕ (165).

Η Κίνα είναι η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό σε παγκόσμιο επίπεδο, στην προμήθεια των περισσοτέρων CRMs. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τον

μεγαλύτερο παγκόσμιο προμηθευτή για 30 από τις 43 (70%) μεμονωμένες κρίσιμες πρώτες ύλες, όπως είναι οι REE, το Mg, το W, το Sb, το Ga, το Ge, μεταξύ άλλων. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι η Κίνα είναι σημαντικός καταναλωτής πολλών εξ' αυτών, εντείνοντας τον ανταγωνισμό με την ΕΕ.

Αρκετά άλλα κράτη κατέχουν δεσπόζουσα θέση στην προμήθεια συγκεκριμένων CRMs όπως η Βραζιλία (νιόβιο), το Μεξικό (φθορίτης και βολφράμιο) και οι ΗΠΑ (βηρύλλιο και ήλιο). Η προμήθεια των πλατινοειδών (PGM) συγκεντρώνεται στην Ρωσία (παλλάδιο) και στην Ν. Αφρική (ιρίδιο, λευκόχρυσος, ρόδιο και ρουθίνιο) (145). Η συνεισφορά χωρών-προμηθευτών φαίνεται αναλυτικότερα στην Εικόνα 15.

Εικόνα 19: Οι χώρες που αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μερίδιο της παγκόσμιας προσφοράς CRMs (165).



Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει σύμφωνα με την ανανεωμένη λίστα των CRMs της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (145) τις 27 κρίσιμες ορυκτές πρώτες ύλες, τους κυριότερους παραγωγούς σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και τις πηγές εφοδιασμού της ΕΕ.

Πίνακας 3: Οι 27 κρίσιμες πρώτες ύλες για την ΕΕ, οι κυριότεροι παραγωγοί, οι πηγές εφοδιασμού της ΕΕ και ο ποσοστιαίος βαθμός εξάρτησης της από εισαγωγές σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (145).

Πρώτες Ύλες	Κυριότεροι Παραγωγοί σε παγκόσμιο επίπεδο	Πηγές εφοδιασμού της ΕΕ	Βαθμός εξάρτησης από εισαγωγές
Αντιμόνιο	Κίνα (87%) Βιετνάμ (11%)	Κίνα (90%) Βιετνάμ (4%)	100%
Βαρύτης	Κίνα (44%) Ινδία (18%) Μαρόκο (10%)	Κίνα (34%) Μαρόκο (30%) Γερμανία (8%) Τουρκία (6%) Ηνωμένο Βασίλειο (5%) Άλλες χώρες της ΕΕ (4%)	80%
Βηρύλλιο	ΗΠΑ (90%) Κίνα (8%)	ά.α.	ά.α. ¹
Βισμούθιο	Κίνα (82%) Μεξικό (11%) Ιαπωνία (7%)	Κίνα (84%)	100%
Βορικά άλατα	Τουρκία (38%) ΗΠΑ (23%) Αργεντινή (12%)	Τουρκία (98%)	100%
Κοβάλτιο	Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (64%) Κίνα (5%) Καναδάς (5%)	Φινλανδία (66%) Ρωσία (31%)	32%
Άνθρακας οπτανθρακοποίησης	Κίνα (54%) Αυστραλία (15%) ΗΠΑ (7%) Ρωσία (7%)	ΗΠΑ (38%) Αυστραλία (34%) Ρωσία (9%) Καναδάς (7%) Πολωνία (1%) Γερμανία (1%) Τσέχικη Δημοκρατία (1%) Ηνωμένο Βασίλειο (1%)	63%
Φθορίτης	Κίνα (64%) Μεξικό (16%) Μογγολία (5%)	Μεξικό (27%) Ισπανία (13%) Κίνα (12%) Ν.Αφρική (11%) Ναμίμπια (9%) Κέννα (7%) Γερμανία (5%) Βουλγαρία (4%) Ηνωμένο Βασίλειο (4%) Άλλες χώρες της ΕΕ (1%)	70%
Γάλλιο ²	Κίνα (85%) Γερμανία (7%) Καζαχστάν (5%)	Κίνα (36%) Γερμανία (27%) ΗΠΑ (8%) Ουκρανία (6%) Ν.Κορέα (5%) Ουγγαρία (5%)	34%

Γερμάνιο	Κίνα (67%) Φινλανδία (11%) Καναδάς (9%) ΗΠΑ (9%)	Κίνα (43%) Φινλανδία (28%) Ρωσία (12%) ΗΠΑ (12%)	64%
Χάφνιο	Γαλλία (43%) ΗΠΑ (41%) Ουκρανία (8%) Ρωσία (8%)	Γαλλία (71%) Καναδάς (19%) Κίνα (10%)	9%
Ήλιο	ΗΠΑ (73%) Κατάρ (12%) Αλγερία (10%)	ΗΠΑ (51%) Αλγερία (29%) Κατάρ (8%) Ρωσία (7%) Πολωνία (3%)	96%
Ίνδιο	Κίνα (57%) Ν.Κορέα (15%) Ιαπωνία (10%)	Κίνα (28%) Βέλγιο (19%) Καζαχστάν (13%) Γαλλία (11%) Ν.Κορέα (8%) Χονγκ Κονγκ (6%)	0%
Μαγνήσιο	Κίνα (87%) ΗΠΑ (5%)	Κίνα (94%)	100%
Φυσικός γραφίτης	Κίνα (69%) Ινδία (12%) Βραζιλία (8%)	Κίνα (63%) Βραζιλία (13%) Νορβηγία (7%) ΕΕ (<1%)	99%
Φυσικό καουτσούκ	Ταϊλάνδη (32%) Ινδονησία (26%) Βιετνάμ (8%) Ινδία (8%)	Ινδονησία (32%) Μαλαισία (20%) Ταϊλάνδη (17%) Ακτή Ελεφαντοστού (12%)	100%
Νιόβιο	Βραζιλία (90%) Καναδάς (10%)	Βραζιλία (71%) Καναδάς (13%)	100%
Φωσφορίτης	Κίνα (44%) Μαρόκο (13%) ΗΠΑ (13%)	Μαρόκο (28%) Ρωσία (16%) Συρία (11%) Αλγερία (10%) ΕΕ – Φινλανδία (12%)	88%
Φώσφορος	Κίνα (58%) Βιετνάμ (19%) Καζαχστάν (13%) ΗΠΑ (11%)	Καζαχστάν (77%) Κίνα (14%) Βιετνάμ (8%)	100%
Σκάνδιο	Κίνα (66%) Ρωσία (26%) Ουκρανία (7%)	Ρωσία (67%) Καζαχστάν (33%)	100%
Μεταλλικό πυρίτιο	Κίνα (61%) Βραζιλία (9%) Νορβηγία (7%) ΗΠΑ (6%) Γαλλία (5%)	Νορβηγία (23%) Γαλλία (19%) Βραζιλία (12%) Κίνα (12%) Ισπανία (9%) Γερμανία (5%)	64%
Ταντάλιο ³	Ρουάντα (31%) Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (19%) Βραζιλία (14%)	Νιγηρία (81%) Ρουάντα (14%) Κίνα (5%)	100%
Βολφράμιο ³	Κίνα (84%) Ρωσία (4%)	Ρωσία (50%) Πορτογαλία (17%) Ισπανία (15%) Αυστρία (8%)	44%

Βανάδιο	Κίνα (53%) Ν.Αφρική (25%) Ρωσία (20%)	Ρωσία (60%) Κίνα (11%) Ν.Αφρική (10%) Βέλγιο (9%) Ηνωμένο Βασίλειο (3%) Κάτω Χώρες (2%) Γερμανία (2%) Άλλες χώρες της ΕΕ (0,5%)	84%
PGM	Ν.Αφρική (83%) - ιρίδιο, λευκόχρυσος, ρόδιο, ρουθίνιο Ρωσία (46%) - παλλάδιο	Ελβετία (34%) Ν.Αφρική (31%) ΗΠΑ (21%) Ρωσία (8%)	99,6%
HREE	Κίνα (95%)	Κίνα (40%) ΗΠΑ (34%) Ρωσία (25%)	100%
LREE	Κίνα (95%)	Κίνα (40%) ΗΠΑ (34%) Ρωσία (25%)	100%

¹Η εξάρτηση της ΕΕ από εισαγωγές για το βηρύλλιο δεν μπορεί να υπολογιστεί επειδή εντός της ΕΕ δεν πραγματοποιείται παραγωγή ή εμπόριο μεταλλευμάτων και εμπλουτισμένων μεταλλευμάτων βηρυλλίου.

²Το γάλλιο είναι ένα υποπροϊόν. Τα βέλτιστα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν την παραγωγική ικανότητα και όχι την παραγωγή αυτή καθαυτή.

³Το ταντάλιο και το βολφράμιο καλύπτονται από τον κανονισμό περί ορυκτών από περιοχές συγκρούσεων [κανονισμός (ΕΕ) 2017/821], με τον οποίο θεσπίζεται ενωσιακό σύστημα για τη δέουσα επιμέλεια στην αλυσίδα εφοδιασμού προκειμένου να περιοριστούν οι δυνατότητες ενόπλων ομάδων και δυνάμεων ασφαλείας να εμπορεύονται κασσίτερο, ταντάλιο και βολφράμιο και μεταλλεύματα αυτών, ή χρυσό.

4.5. Οι Κρίσιμες Πρώτες Ύλες στην Ελλάδα

Η Ελλάδα πρόκειται για ένα από τα κράτη της ΕΕ με τις περισσότερες προοπτικές προμήθειας αυτών των κρίσιμων πρώτων υλών για την ευρωπαϊκή βιομηχανία στο μέλλον, καθώς φιλοξενεί μεγάλο αριθμό κοιτασμάτων. Οι μεταλλοφορίες επιθερμικού και πορφυριτικού τύπου, καθώς και τα intrusion related συστήματα της Σερβομακεδονικής και μεταλλογενετικής επαρχίας της μάζας της Ροδόπης, αποτελούν πολλά υποσχόμενους στόχους για μελλοντική εκμετάλλευση Sb, Te, Mo, Re, Ga, In, REE και PGM (34). Τα CRMs, όπως έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, που απαντώνται στην Ελλάδα είναι τα εξής:

- Αντιμόνιο (Sb): Το αντιμόνιο εντοπίζεται και συγκεντρώνεται σε φλέβες του ορυκτού αντιμονίτη ή στιβνίτη σε περιοχές της Ροδόπης (Καλλυντήριο), Ριζανών – Λαχανά και Φιλαδέλφιο Θεσσαλονίκης, Κιλκίς (Γερακαριό) και Χίου (34), με περιεκτικότητες που κυμαίνονται από 1-2,5% Sb και συνοδεύεται με θειούχα ορυκτά Pb, Fe, Cu, Ag, Au (>1 γραμ./τόνο), As, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και W. Η αποθεματική διάσταση εμφανίζεται ιδιαίτερα δυναμική γεγονός που τεκμηριώνει την εκτέλεση περαιτέρω κοιτασματολογικής έρευνας (166).

- Κοβάλτιο (Co): Το νικέλιο εξορύσσεται από λατεριτικά κοιτάσματα της Λοκρίδος, της Ευβοίας και της Καστοριάς. Αυτοί οι Fe-Ni λατερίτες, που περιέχουν κοβάλτιο, είναι κατά κύριο λόγο αλλόχθονοι και σχετίζονται με οφιολίθους του Μεσοζωϊκού (34). Οι περιεκτικότητες του φτάνουν τα 0,10% στο Παλαιοχώρι Γρεβενών, 0,14% στο Βέρμιο, 0,16% στην Καστοριά και 0,22% στην Λοκρίδα (167).

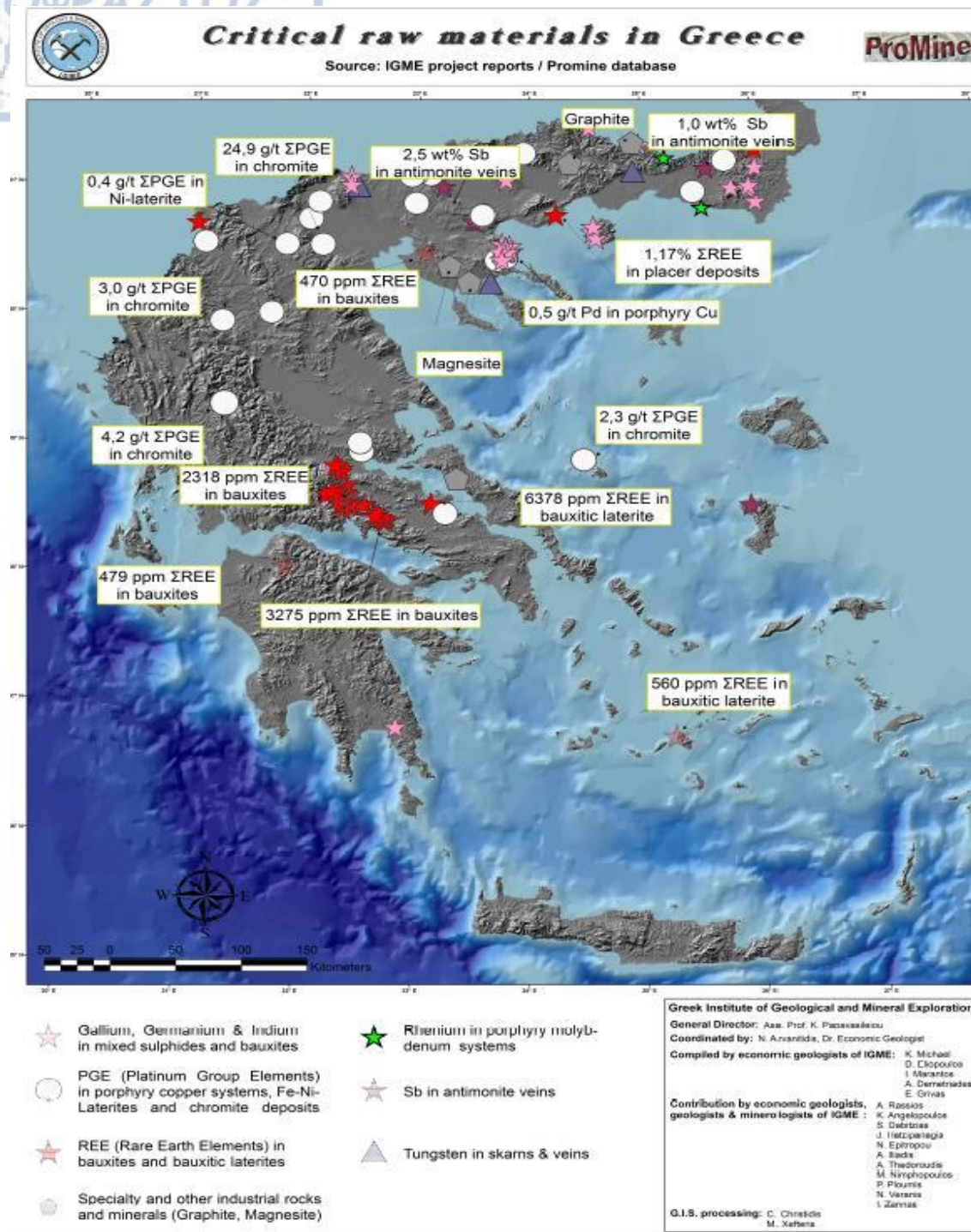
- Γάλλιο (Ga), Γερμάνιο (Ge) και Ίνδιο (In): Τα τρία αυτά μέταλλα βρίσκονται στο επίκεντρο βιομηχανικών εφαρμογών κραμάτων υψηλής τεχνολογίας. Το γάλλιο παράγεται ως παραπροϊόν της επεξεργασίας βωξίτη καθώς και της διαδικασίας ανάκτησης Zn από τον σφαλερίτη, αν και τα μεγαλύτερα αποθέματα σχετίζονται με φωσφορικά μεταλλεύματα (χαμηλή περιεκτικότητα σε Ga στην Ελλάδα). Το γερμάνιο και το ίνδιο ανακτώνται κατά την διαδικασία παραγωγής Zn (151). Οι επιθερμικές πολυμεταλλικές φλέβες της μάζας της Ροδόπης αποτελούν τους πιο υποσχόμενους τύπους μεταλλεύματος για εκμετάλλευση Ga, Ge και In στην Ελλάδα. Το μεταλλείο του Αγίου Φιλίππου στην Κίρκη (νομός Έβρου) που ταξινομείται στις επιθερμικές μεταλλοφορίες υψηλής θείωσης (όξινου-θειικού τύπου) έχει μια ασυνήθιστη ορυκτολογία με θειοάλατα του Pb-As-Cu-Bi-Sn (168). Ο βουρτσίτης είναι το κυρίαρχο ορυκτό του Zn στον Άγιο Φίλιππο, οπού μαζί με τον σφαλερίτη υπό μορφή φλεβών και κοκκώδους μάζας περιέχουν σημαντικές ποσότητες In (έως και 3,5 wt%), Ga (έως και 1,6 wt%) αλλά και Ge (έως 0,3 wt%). Επιπλέον στα Πεύκα Έβρου αναλύσεις έδειξαν σχετικά υψηλές περιεκτικότητες In (έως 675 ppm), σε αντίθεση με αυτές των Ga και Ge (μέγιστο 17 ppm και 16 ppm αντίστοιχα) (34). Τέλος, μεταλλοφόρες περιοχές όπως π.χ. Πολύκαστρο (Κιλκίς), Μολάοι (Λακωνία), Θέρμες

(Ξάνθη) και Ολυμπιάδα (Χαλκιδική) πρέπει επίσης να αξιολογούνται για το δυναμικό και τις προοπτικές τους στα τρία αυτά μέταλλα.

- Σπάνιες Γαίες (REE): Σημαντικά αποθέματα REE εντοπίζονται σε προσχωσιγενείς αποθέσεις στο παράκτιο περιβάλλον του Στρυμονικού κόλπου μεταξύ του ομώνυμου ποταμού και της Καβάλας, όπως περιγράφεται λεπτομερώς στην ενότητα 1.5, ενώ οικονομικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κόκκινη λάσπη της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας (169). Κοιτασματολογικές έρευνες του ΙΓΜΕ υπολογίζουν αποθέματα 485.000.000 τόνων σπανίων γαιών με μέση περιεκτικότητα 1,17% (166).

- Πλατινοειδή μέταλλα (PGE): Κοιτασματολογικό στόχο για την παρουσία οικονομικά εκμεταλλεύσιμων συγκεντρώσεων PGM αποτελούν τα πορφυρικά συστήματα Cu που ανήκουν στο μεταλλογενετικό τόξο με ΒΔ διεύθυνση από τα κοιτάσματα Σκουριών - Φισώκας (Χαλκιδική) σε αυτά της Ποντοκερασιάς - Γερακαριού (Κιλκίς). Συγκεκριμένα στο εκμεταλλεύσιμο μέταλλευμα των Σκουριών έχουν εντοπιστεί σημαντικές οικονομικές συγκεντρώσεις Pd (0,5 γραμ./τόνο) αλλά και Pt (166,170). Επιπλέον, υψηλές συγκεντρώσεις PGE (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) προσδιορίστηκαν σε χρωμίτες των οφιολίθων της Βέροιας, της Πίνδου και της Σκύρου, φτάνοντας τα 25 ppm συνολικά. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως τα οφιολιθικά συμπλέγματα της Θεσσαλονίκης (Τριάδι, Βασιλικά) και Χαλκιδικής (Βάβδος, Γερακινή-Ορμύλια) περιέχουν σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε PGE (<0,5 ppm), συνεπώς δεν έχουν οικονομική σημασία (34,171).

- Γραφίτης: Ο γραφίτης αν και ανήκει στην κατηγορία των βιομηχανικών ορυκτών, εντάσσεται στην ομάδα των κρίσιμων για την ΕΕ πρώτων υλών. Εντοπίζεται σε περιοχές της Ξάνθης και της Δράμας όπου περιέχει γραφιτικό άνθρακα 600.000 τόνων περίπου με μέση περιεκτικότητα 6%. Ωστόσο με τις παρούσες συνθήκες το κοιτάσμα κρίνεται υπο-οικονομικό (166).



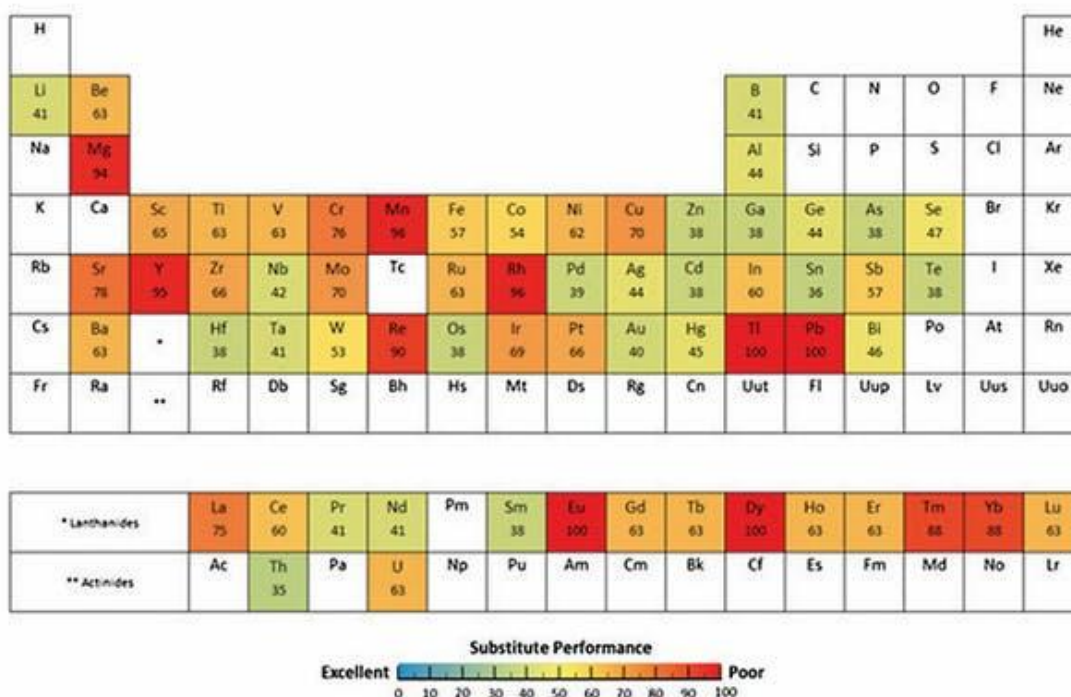
Εικόνα 20: Οι κρίσιμες πρώτες ύλες της Ελλάδας (172).

4.6. Δυνατότητες αντικατάστασης CRMs και προοπτικές ανακύκλωσης τους

Από το 2005 η Κίνα έθετε όλο και αυστηρότερα μέτρα στις εξαγωγές των στρατηγικών για την βιομηχανία σπανίων γαιών, προβάλλοντας ως δικαιολογία την αυξημένη ζήτηση από τις δικές της ακμάζουσες κατασκευαστικές βιομηχανίες. Τον

Ιούλιο του 2010 όμως ανακοίνωσε μείωση στην ποσόστωση των εξαγωγών κατά 40% σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονιά, πράγμα το οποίο αναπόφευκτα οδήγησε σε σημαντικές αυξήσεις τιμών και τελικά στην κρίση των σπανίων γαιών, αλλά και την επιτακτική ανάγκη υποκατάστασης τους (91).

Σύμφωνα με τον Thomas Graedel του πανεπιστημίου Yale: «το καλύτερο υποκατάστατο ενός μετάλλου για μια συγκεκριμένη χρήση δεν είναι πάντα εύκολα εμφανές». Οι στοιχειώδεις ιδιότητες είναι μοναδικές και η αντικατάσταση συχνά μειώνει την απόδοση του προϊόντος, όμως είναι εφικτή (173). Η μελέτη του πανεπιστημίου περιλάμβανε 62 μέταλλα και μεταλλοειδή τα οποία εμφανίζουν ή ενδέχεται να εμφανίσουν πρόβλημα κρισιμότητας λόγω της σπανιότητάς τους. Κανένα από τα 62 στοιχεία όπως φαίνονται στην Εικόνα 17 δεν έχει υποκατάστατα που να αποδίδουν εξίσου καλά, ενώ μερικά όπως τα Rh, Re, La, Eu, Dy, Tm, Yb, Y, Sr, Tl κ.α. δεν έχουν καθόλου υποκατάστατα ή αν υπάρχουν, τότε είναι ανεπαρκή.



Εικόνα 21: Τα 62 μέταλλα της μελέτης. Η κλίμακα δείχνει ποια μέταλλα έχουν καλά υποκατάστατα και ποια όχι (173).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως υπήρξαν επιτυχημένες αντικαταστάσεις στο παρελθόν, όπως τα παραδείγματα του Co και του Re (174)(175). Όμως σύμφωνα με τον Graedel: «Έχουμε δείξει ότι η αντικατάσταση μετάλλων είναι πολύ προβληματική. Η αντικατάσταση θα πρέπει να μιμείται αυτές τις μοναδικές ιδιότητες

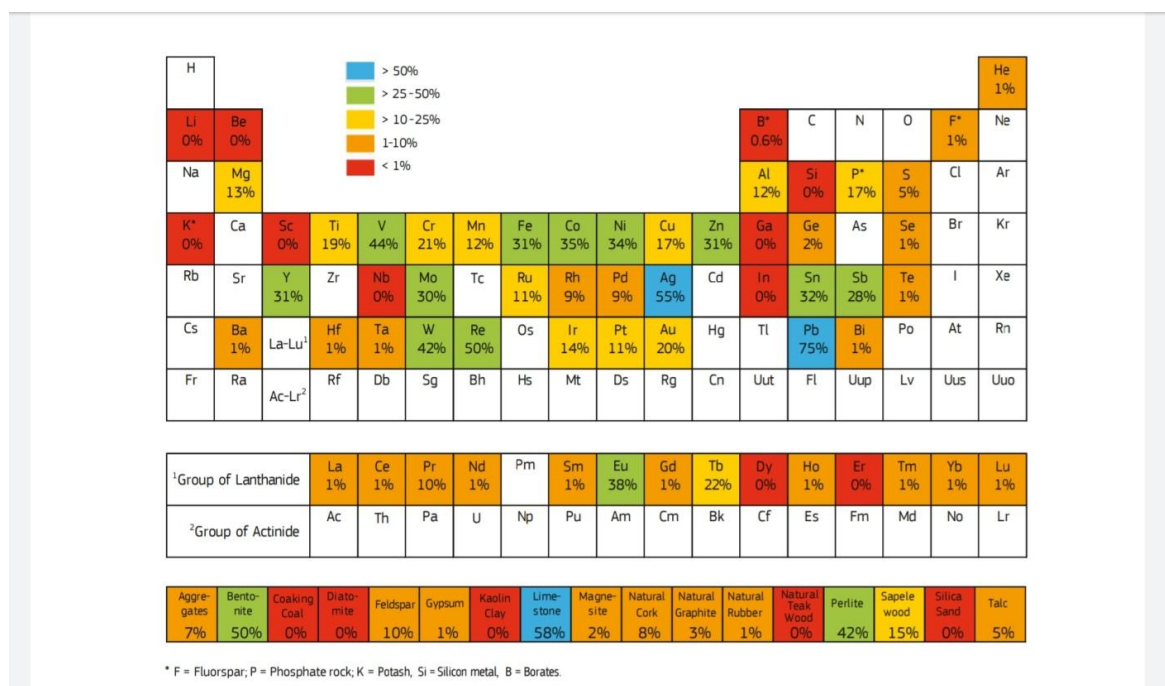
– μια πραγματική πρόκληση σε πολλές εφαρμογές». Μία ενδεχόμενη λύση στο πρόβλημα της υποκατάστασης στο μέλλον μπορεί να δώσει η χημεία στερεάς κατάστασης, η επιστήμη των πολυμερών καθώς και η νανοτεχνολογία, με την βοήθεια των οποίων μπορούν να ανακαλυφθούν υλικά με νέες ιδιότητες (176,177).

Για να μετριαστεί το πρόβλημα του εφοδιασμού των CRMs για την ευρωπαϊκή βιομηχανία, σημαντικό ρόλο εκτός από την αναζήτηση υποκατάστατων έχει η ανακύκλωση. Πολλά υλικά που περιέχουν CRMs μπορούν να ανακυκλωθούν, αλλά όχι όλα. Για τον προσδιορισμό του ποσοστού ανακύκλωσης παγκοσμίως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρησιμοποιεί τον «ρυθμό εισροής ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής». Με τον όρο αυτό μετράται την αναλογία (ποσοστό) της ανακύκλωσης από παλαιά απορρίμματα (σκραπ, μεταλλικά υπολείμματα) προς τη ζήτηση στην ΕΕ για μια ορισμένη πρώτη ύλη. Η ζήτηση ισούται με το άθροισμα των εισροών πρωτογενούς και δευτερογενούς προμήθειας του υλικού στην ΕΕ (145,178).

Σύμφωνα με το United Nations Environment Programme (UNEP) το ποσοστό ανακύκλωσης βαθμολογήθηκε ως εξής (179):

- Υψηλό (high) = >30%
- Μέτριο (medium) = μεταξύ 10% και 30%
- Χαμηλό (low) = <10%

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το ποσοστό ανακύκλωσης ανά στοιχείο που εξέδωσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή:



Εικόνα 22: Ποσοστά ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής ανά στοιχείο (%) (180).

Στην περίπτωση των CRMs υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής συναντώνται στο βανάδιο (44%), στο βολφράμιο (42%) και στο κοβάλτιο (35%). Αυτό εν μέρει σχετίζεται με νομοθεσίες για τα απόβλητα, οι οποίες απαιτούν την εξαγωγή και την ανάκτηση συγκεκριμένων εξαρτημάτων (π.χ. μπαταρίες) (180). Το ποσοστό των PGE κυμαίνεται μεταξύ 10% και 20% παρά το γεγονός ότι τα μέταλλα αυτά έχουν υψηλά ποσοστά ανάκτησης στο τέλος του κύκλου ζωής τους (π.χ. έως και 95% από βιομηχανικούς καταλύτες και 50%-60% από καταλύτες αυτοκινήτων). Αυτό συμβαίνει λόγω της αυξανόμενης ζήτησης τους η οποία δεν μπορεί να πληρωθεί μόνο μέσω της ανακύκλωσης. Τα ποσοστά των REE πλην του ευρωπαϊού και του τερβίου είναι της τάξεως του 1%-10%. Προβληματίζει το γεγονός ότι το ποσοστό πολλών άλλων CRMs όπως το γάλλιο, το ίνδιο, το σκάνδιο, το νιόβιο, το βηρύλλιο, τα βορικά άλατα, ο άνθρακας οπτανθρακοποίησης (κοκ) κ.α. δεν ξεπερνά το 1%.

Έχοντας ως δεδομένο την παγκόσμια αύξηση της ζήτησης των κρίσιμων για την βιομηχανία πρώτων υλών, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης δευτερογενών υλικών που θα επιτρέψει μια πιο κυκλική οικονομία με σκοπό την ελάττωση του κινδύνου εφοδιασμού. Η αύξηση της προσφοράς των δευτερογενών υλικών μέσω της ανακύκλωσης αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της Πρωτοβουλίας για της Ορυκτές Πρώτες Ύλες ήδη από το 2008. Πρόκληση επομένως για την ΕΕ τα επόμενα χρόνια είναι να συμπεριληφθεί η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των ορυκτών πόρων στην έννοια της βιωσιμότητας. Το παραπάνω βέβαια για να επιτευχθεί απαιτείται ένας συνδυασμός ενεργειών όπως είναι η ολόπλευρη εκπαίδευση των πολιτών και η περαιτέρω έρευνα πάνω στον τομέα της ανακύκλωσης.



Τα μέταλλα διαχρονικά αποτελούν μέσο της ραγδαίας ανέλιξης της ανθρωπότητας όπως την γνωρίζουμε σήμερα. Σήμερα τα μέταλλα είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας.

Η σύνδεση αυτή των μετάλλων με το παρελθόν, το παρόν αλλά και το μέλλον μας, τονίζει την ανάγκη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ανεύρεση νέων πηγών, νέων μεθόδων έρευνας και εξόρυξης, καθώς και νέων τεχνικών επαναχρησιμοποίησης τους, σύμφωνα με τις αρχές της βιωσιμότητας.

Όσο το κινητό μας έχει ένα μικρό κομμάτι από την γη του Κονγκό θα πρέπει να αισθανόμαστε ενοχές και θα πρέπει να μάθουμε να συμμετέχουμε και εμείς στην διαδικασία εξόρυξης και ανακύκλωσης σπανίων και χρήσιμων μετάλλων.



Βιβλιογραφία

1. Tzeferis PG. Οι Ορυκτές Πρώτες Υλεις (ΟΠΥ) και το Σύνταγμα [Internet]. Ο Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. 2010 [cited 2020 Mar 28]. Available from: http://www.oryktosploutos.net/2010/12/blog-post_30.html
2. Www.orykta.gr. Ορυκτοί Πόροι - Κοιτασματολογία [Internet]. [cited 2020 Mar 28]. Available from: <https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/oryktoi-poroi-koitasmatologia>
3. Stephen E. Kesler, Adam C. Simon AFS. Mineral Resources, Economics and the Environment [Internet]. 2015 [cited 2020 Mar 29]. Available from: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=AIWpCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=kesler+simon&ots=mbxNZmZAhU&sig=jkQB9Zb5j4t8UUVBM_J5nmLoK1s&redir_esc=y#v=onepage&q=kesler simon&f=false
4. Μέλφος Β, Φιλιππίδης Α, Καθηγητής Α, Γεωχημείας Κ. Ορυκτοί Πόροι και Αποθέματα. 2018.
5. Μέλφος Β. Οικονομική Κοιτασματολογία - Σημειώσεις μαθήματος.
6. Μιχαηλίδης Μ. Κλέοπας, Βαβελίδης Κ. Μιχαήλ ΦΑΑ. Σημειώσεις Κοιτασματολογίας Βιομηχανικών ορυκτών. Θεσσαλονίκη; 2013.
7. Περί Μεταλλευτικού Κώδικος Νομοθετικό Διάταγμα 210/1973 - ΦΕΚ 277/Α/5-10-1973. In 1973 [cited 2020 Mar 29]. Available from: <http://www.opengov.gr/minenv/?p=4846>
8. (Ε.Λ.Ι.Ν.Υ.Α.Ε.) ΕΙΥ και Α της Ε. Περί Μεταλλευτικού Κώδικος. Available from: <http://elinyae.gr/ethniki-nomothesia/nd-2101973-fek-277a-5101973>
9. Μπεάζη Κατσιώτη Μ. Νομοθεσία μεταλλευμάτων και προϊόντων δομικών κατασκευών. 2015;124–6.
10. Βαβελίδης Κ. Μιχαήλ. Κοιτασματολογία Μεταλλευμάτων - Σημειώσεις μαθήματος.
11. Ανδριοπούλου Ε. Η εξέλιξη των τεχνικών μηχανημάτων από την αρχαία εποχή μέχρι την βιομηχανική επανάσταση. 2013.
12. Μέλφος Β. Τα μέταλλα και εμείς. Ελληνικό Πανόραμα [Internet]. 2019 [cited 2020 Mar 28]; Available from: <https://www.elliniko-panorama.gr/articles/401/1,6,9/ta-metalla-kai-emeis.html>
13. Orykta.gr. Μέταλλα ορυκτά και πετρώματα: Συστατικά της οικονομίας μας απο την εποχή του λίθου εως σήμερα [Internet]. Available from: <https://www.orykta.gr/oryktoi-poroi-kai-h-diahroniki-simasia-tous-stin-oikonomia>
14. Ancient Egyptian Tools: Building Civilizations. Gt Courses Dly [Internet]. 2019 [cited 2020 Apr 3]; Available from: <https://www.thegreatcoursesdaily.com/ancient-egyptian-tools-building->



- civilizations/
15. www.archaiologia.gr. Προϊστορικές τεχνικές και μέθοδοι κατεργασίας του λίθου (Μέρος Α΄) - Αρχαιολογία Online [Internet]. [cited 2020 Apr 8]. Available from: <https://www.archaiologia.gr/blog/2013/04/15/προϊστορικές-τεχνικές-και-μέθοδοι-κα/>
 16. Μεταλλευτικό Μουσείο Μήλου [Internet]. [cited 2020 Apr 8]. Available from: <https://www.milosminingmuseum.com/>
 17. Θεόφραστος. Περί Λίθων.
 18. www.jewelpedia.com. Obsidian.
 19. Koukouli-Chrysanthaki, C., & Bassiakos Y. Non-slagging copper production of the 5th millennium: the evidence from the Neolithic settlement of Promachon-Topolnica (Eastern Macedonia, Greece). In: 8th EAA Annual Meeting Thessaloniki, Hellas. 2002. p. 193-194).
 20. Μαριολάκος Η. Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Δραστηριότητα των Προϊστορικών Κατοίκων Του Αιγαίου και περι-Αιγαίου Χώρου: Μια Γεωμυθολογική Προσέγγιση. In: Bulletin of the Geological Society of Greece. 2013.
 21. Arndt NT, Fontboté L, Hedenquist JW, Kesler SE, Thompson JFH, Wood DG. Future global mineral resources. *Geochemical Perspect*. 2017;6(1):1–184.
 22. www.euromines.org. Αειφόρος εξόρυξη χρυσού στην Ευρώπη.
 23. Πετρόπουλος ΠΓ. Τεχνολογία Μηχανουργικών Υλικών. 1992. 1–3 p.
 24. Ξενοφών. Κύρου Ανάβασις [Internet]. [cited 2020 Apr 4]. p. Βιβλίο 5ο. Available from: http://www.greek-language.gr/digitalResources/ancient_greek/library/browse.html?page=7&text_id=112
 25. Όμηρος. Οδύσσεια - Ραψωδία Ι [Internet]. [cited 2020 Apr 4]. p. 390–5. Available from: <http://users.uoa.gr/~nektar/arts/tributes/omhros/od09.htm>
 26. Ηρόδοτος. Ιστορίαι [Internet]. [cited 2020 Apr 4]. p. 1.186. Available from: http://www.greek-language.gr/digitalResources/ancient_greek/library/browse.html?text_id=30&page=30
 27. Okrostsvaridze A, Gagnidze N, Akimidze K. A modern field investigation of the mythical ‘gold sands’ of the ancient Colchis Kingdom and ‘Golden Fleece’ phenomena. *Quat Int*. 2016 Jul 21;409:61–9.
 28. Θώμογλου Κ. Τα οικονομικά της εκστρατείας του Μεγάλου Αλεξάνδρου. 2017.
 29. González-Barros MR. Industrial minerals & rocks: our invisible friends. *European Geologist*. 2013;34.

30. Τσιραμπίδης Α, Φιλιππίδης Α. Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία [Internet]. 2013 [cited 2020 Mar 28]. Available from: <http://users.auth.gr/ananas>
31. BRITANNICA ENCYCLOPÆDIA. Chemical elements. In [cited 2020 Apr 15]. Available from: <https://www.britannica.com>
32. Verus+ Information Systems. Το κινητό μας ένα μικρό θησαυροφυλάκιο [Internet]. 2012 [cited 2020 Apr 15]. Available from: <https://verusplus.blogspot.com/2012/12/blog-post.html>
33. Downs AJ. Chemistry of Aluminium, Gallium, Indium and Thallium [Internet]. 1993 [cited 2020 Apr 15]. Available from: https://books.google.gr/books?id=v-04Kn758yIC&printsec=frontcover&dq=Chemistry+of+aluminium,+gallium,+indium,+and+thallium&hl=el&ei=ixMyTIm1NqCUsQbv0aDOBA&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CCQQ6wEwAA#v=onepage&q&f=false
34. Melfos V, Voudouris PC. Geological, mineralogical and geochemical aspects for critical and rare metals in Greece. Minerals. 2012;2(4):300–17.
35. Ulrich Schwarz-Schampera PMH. Indium: Geology, Mineralogy, and Economics [Internet]. 2002 [cited 2020 Apr 15]. Available from: https://books.google.gr/books?id=k7x_2_KnupMC&printsec=frontcover&dq=Indium:+geology,+mineralogy,+and+economics&hl=el&ei=PrsyTMH5Ls2XONKX3ZMC&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false
36. National Minerals Information Center USGS. Indium Data Sheet - Mineral Commodity Summaries 2020. 2020.
37. Klaus J. Schulz, Nadine M. Piatak and JFP. Niobium and Tantalum. USGS. 2017.
38. USGS NMIC. Shift in Global Tantalum Mine Production, 2000-2014 [Internet]. [cited 2020 Apr 16]. Available from: <http://minerals.usgs.gov/>
39. National Minerals Information Center USGS. Tantalum Data Sheet - Mineral Commodity Summaries 2020 [Internet]. 2020. Available from: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>
40. Mark E. Schlesinger, Matthew J. King, Kathryn C. Sole WGD. Extractive Metallurgy of Copper [Internet]. 2011 [cited 2020 Apr 16]. 281–282 p. Available from: https://books.google.gr/books?id=bcwiQepD2yYC&pg=PA281&lpg=PA281&dq=Extractive+Metallurgy+Copper&source=bl&ots=RVd_r4UI7a&sig=SL9yxTv_f1MPHeGbI4eZx7LqWQM&hl=el&sa=X&ei=2L7EVP2QO4P0aLC2gSA&ved=0CG8Q6AEwCQ#v=onepage&q&f=false
41. Hellas Gold. Ορυκτά, πρώτη ύλη της ζωής μας [Internet]. [cited 2020 Apr 16]. Available from: <https://www.hellas-gold.com/tosopolytima/>
42. National Minerals Information Center USGS. Copper (Data in thousand metric

- tons of copper content unless otherwise noted). 2020 [cited 2020 Apr 16]; Available from: <https://doi.org/10.3133/fs20143004>.
43. Παπαδάκης Βασίλειος & Κουρτέσης Αναστάσιος. Ασφάλεια Εργασίας - Τεχνική Νομοθεσία εξόρυξης Χρυσού. 2014.
 44. Www.mygoldguide.in. Gold in your mobile phone. 2018;
 45. National Minerals Information Center USGS. Gold Data Sheet - Mineral Commodity Summary 2020.
 46. Krebs E. Robert. The History and Use of Our Earth's Chemical Elements: A Reference Guide [Internet]. 2006 [cited 2020 Apr 17]. Available from: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=yb9xTj72vNAC&oi=fnd&pg=PR15&dq=krebs+2006&ots=ixWXvXCI_b&sig=oII3ILOveQAwr-pl7tovO3DTQA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
 47. Κόλλιας Δ. Το λίθιο (Li) ως μέλος των στρατηγικών μετάλλων. Πηγές, μεταλλουργία και εφαρμογές στην βιομηχανία συσσωρευτών. 2018.
 48. National Minerals Information Center USGS. Lithium Data Sheet - Mineral Commodity Summaries [Internet]. 2020. Available from: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>
 49. Element Mania. Palladium [Internet]. [cited 2020 Apr 17]. Available from: <http://elementmania.weebly.com/palladium.html>
 50. BIANATT AE. Τι υλικά περιέχει ένα κινητό τηλέφωνο [Internet]. [cited 2020 Apr 15]. Available from: https://www.vianatt.gr/contents_gr.asp?id=105
 51. National Minerals Information Center USGS. Platinum Group Metals Data Sheet - Mineral Commodity Summaries. 2020.
 52. Geyer R, Blass VD. The economics of cell phone reuse and recycling. Int J Adv Manuf Technol. 2010;47(5–8):515–25.
 53. Bleiwas D, Kelly T. Obsolete Computers, 'Gold Mine,' or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling. USGS Fact Sheet [Internet]. 2001;2014(25/07/2014):4. Available from: <http://pubs.usgs.gov/factsheet/fs060-01/>
 54. Concept Management UK. Precious Metal Removal from Electronic Components [Internet]. [cited 2020 Apr 19]. Available from: <https://www.conceptmanagement.co.uk/services/disposal/precious-metal>
 55. Vintage Computer Chip Collectibles Memorabilia & Jewelry. Valuable Metals used in Computers [Internet]. [cited 2020 Apr 19]. Available from: <https://www.chipsetc.com/valuable-metals-used-in-computers.html>
 56. Www.engineering.com. What Raw Materials Are Used to Make Hardware in Computing Devices? [Internet]. 2018. [cited 2020 Apr 19]. Available from: <https://www.engineering.com/Hardware/ArticleID/17668/What-Raw-Materials-Are-Used-to-Make-Hardware-in-Computing-Devices.aspx>

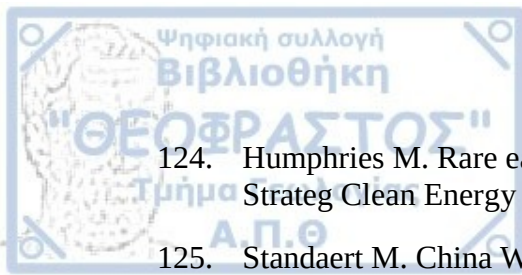
57. UNFCCC. The Paris Agreement [Internet]. 2015. [cited 2020 Apr 20]. Available from: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
58. Fraunhofer Ise. Photovoltaics Report [Internet]. 2019 [cited 2020 Apr 21]. Available from: www.ise.fraunhofer.de
59. Bleiwas DI. Byproduct Mineral Commodities Used for the Production of Photovoltaic Cells [Internet]. 2010 [cited 2020 Apr 21]. Available from: <http://www.wapa.gov/newsroom/NewsFeatures/ftcarsonsolar.htm>
60. Grandell L, Höök M. Assessing Rare Metal Availability Challenges for Solar Energy Technologies. Sustainability [Internet]. 2015 Aug 26 [cited 2020 Apr 21];7(9):11818–37. Available from: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/9/11818>
61. Öko-Institut e.V. Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential. 2009.
62. Καμενόπουλος ΣΝ. Οι δύο όψεις της πράσινης ενέργειας: Ευχή ή κατάρα; [Internet]. HuffPost Greece. 2017 [cited 2020 Apr 23]. Available from: https://www.huffingtonpost.gr/sotiris-kamenopoulos/_11472_b_16446656.html
63. European Commission. Copper and dysprosium are critical metals in growth of the German wind energy sector [Internet]. 2019 [cited 2020 Apr 21]. Available from: <https://www.umweltbundesamt>.
64. William Hodder. What Mineral Products & Metals Are Needed To Make Wind Turbines? [Internet]. 2010 [cited 2020 Apr 21]. Available from: http://tonto.eia.doe.gov/kids/energy.cfm?page=wind_home-basics
65. Moss RL, Tzimas E, Kara H, Willis P, Kooroshy J. Critical Metals in Strategic Energy Technologies [Internet]. JRC-scientific and strategic reports, European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. 2011. 164 p. Available from: [http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/CriticalMetalsinSET\[pdf.pdf](http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/CriticalMetalsinSET[pdf.pdf)
66. Arrobas, D. L. P., Hund, K. L., McCormick, M. S., Ningthoujam, J. & D. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. 2017;(June).
67. Leiden University. Metal Demand for Renewable Electricity Generation in the Netherlands [Internet]. [cited 2020 Apr 21]. Available from: <https://www.metabolic.nl/publication/metal-demand-for-renewable-electricity-generation-in-the-netherlands/>
68. Jamie Speirs. Electric vehicles and critical metals [Internet]. European Commission. 2015 [cited 2020 Apr 24]. Available from: <https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/materials-energy/electric-vehicles-and-critical-metals-jamie-speirs>
69. Alonso E, Wallington T, Sherman A, Everson M, Field F, Roth R, et al. An Assessment of the Rare Earth Element Content of Conventional and Electric

- Vehicles. Int J Mater Manuf [Internet]. 2012 [cited 2020 Apr 23];5(2):473–7. Available from: <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26268481?seq=1&cid=pdf->
70. Cullbrand K, Magnusson O. The Use of Potentially Critical Materials in Passenger Cars. Department of Energy and Environment. Available at: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/162842.pdf>. 2012;
71. Gorman S. As hybrid cars gobble rare metals, shortage looms [Internet]. Reuters. 2009 [cited 2020 Apr 24]. Available from: <https://www.reuters.com/article/us-mining-toyota/as-hybrid-cars-gobble-rare-metals-shortage-looms-idUSTRE57U02B20090831>
72. Tzeferis P. Goodbye Fossil Fuel Dependence, Hello Rare Earth Dependence! 2009;2554:49–50.
73. Montgomery G. Can Metals Supply Keep Up With Electric Vehicle Demand? [Internet]. Forbes. 2019 [cited 2020 Apr 24]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/woodmackenzie/2019/07/24/can-metals-supply-keep-up-with-electric-vehicle-demand/#1d8097b6c9b5>
74. Honda. Global Search for Rare Metals [Internet]. [cited 2020 Apr 24]. Available from: [https://search.global.honda/all/search.x?q=Rare metals&ie=utf8&imgsize=3](https://search.global.honda/all/search.x?q=Rare%20metals&ie=utf8&imgsize=3)
75. Reuters. Toyota finds way to avoid using rare earth-media [Internet]. 2012. [cited 2020 Apr 25]. Available from: <https://www.reuters.com/assets/print?aid=USL4E8CN4GC20120123>
76. Volkswagen. Lithium mining: What you should know about the contentious issue [Internet]. [cited 2020 Apr 25]. Available from: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2020/03/lithium-mining-what-you-should-know-about-the-contentious-issue.html#>
77. Nissan Motor Corporation. Nissan Green Program 2022 [Internet]. [cited 2020 Apr 25]. Available from: <https://www.nissan-global.com/EN/ENVIRONMENT/GREENPROGRAM/DEPENDENCY/>
78. Tzeferis P. Σπάνιες Γαίες- Ερευνα Αγοράς [Internet]. Ο Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. 2017 [cited 2020 Apr 27]. Available from: http://www.oryktosploutos.net/2017/02/blog-post_16.html#.WLKSKPmLTIU
79. Keith R. Long, Bradley S. Van Gosen, Nora K. Foley and DC. The Geology of Rare Earth Elements [Internet]. Wwww.geology.com. 2010 [cited 2020 Apr 27]. Available from: <https://geology.com/usgs/ree-geology/>
80. Παπαμανώλη ΣΚ. Κατανομή Σπανίων Γαιών στο κλάσμα βαρέων ορυκτών των Μαύρων Άμμων στην παράκτια περιοχή της Καβάλας: Ορυκτοχημική και Κοιτασματολογική Μελέτη [Internet]. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών; 2019 [cited 2020 Apr 27]. Available from: <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2879173/theFile/2879185>

81. Lehmann B. Economic Geology of rare-earth elements in 2014: a global perspective. *Eur Geol.* 2010;(29):21–4.
82. Δηλγεράκη ΖΠ. Ραδιομετρική και Γεωχημική Μελέτη των παράκτιων Βαρέων Αμμών του Νομού Καβάλας. 2017.
83. Castor SB, Hedrick JB. Rare Earth Elements. *Encycl Inorg Bioinorg Chem.* 2005;769–92.
84. US Department of Energy. Critical Materials Strategy. 2011.
85. Yasushi Watanabe, Mihoko Hoshino, Hiroyasu Murakami K, Sanematsu, Yoshiaki Kon YH. The Role of Earth Science for the Supply of Rare Earth Elements. In: *ERES2014: First European Rare Earth Resources Conference*, Milos, Greece. 2014. p. 6.
86. Government Accountability Office. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2010. 2009.
87. Gordon Haxel. Rare Earth Elements: Critical Resources for High Technology [Internet]. 2002 [cited 2020 Apr 27]. Available from: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=sd5zZG3EqAsC&oi=fnd&pg=PP3&dq=ree+rare+earth+elements&ots=rCeu4ERokT&sig=6UKSO6xHJJVWaALUhagr9fNMxFg&redir_esc=y#v=onepage&q=ree+rare+earth+elements&f=false
88. Vikström H. Rare metals: energy security and supply [Internet]. 2012. Available from: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:491055/FULLTEXT01.pdf>
89. Natural Resources Canada. Rare earth elements facts [Internet]. 2019 [cited 2020 Apr 28]. Available from: <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/rare-earth-elements-facts/20522>
90. Sangine E. Mineral Commodity Summaries 2020 [Internet]. United States Geological Survey. 2020. 132–133 p. Available from: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>
91. Φίλιππας Α. Υλικά & Μόνιμοι Μαγνήτες : Ένα υπολογιστικό μοντέλο για τη διαθεσιμότητα και τις γεωπολιτικές παραμέτρους των σπανίων γαιών. 2019.
92. Statista. Rare earths production distribution by country 2019 [Internet]. 2020 [cited 2020 Apr 29]. Available from: <https://www.statista.com/statistics/270277/mining-of-rare-earths-by-country/>
93. European Commission. Report on Critical Raw Materials for the EU. 2014.
94. Τσιμογιάννης Α. Η Ελλάδα διέξοδος για την Δύση - Οι Ελληνικές Σπάνιες Γαίες σπάνε την εξάρτηση της Δύσης από την Κίνα [Internet]. *Ambassadors at Large*. 2018 [cited 2020 Apr 29]. Available from: <https://ambassadorsatlarge.com/archives/74185>
95. Tzeferis P. Υπάρχουν σπάνια μέταλλα/γαίες στην Ελλάδα; [Internet]. Ο

- Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. 2014 [cited 2020 Apr 29]. Available from: http://www.oryktosploutos.net/2014/08/blog-post_8.html#.VI8upvl_vLc
96. Eliopoulos D, Economou G, Tzifas I, Papatrechas C. The potential of rare earth elements in Greece. ERES2014 First Eur Rare Earth Resour Conf Milos, Greece. 2014;308–16.
97. BSR. Conflict Minerals and the Democratic Republic of Congo. 2010.
98. Global Witness. Conflict Minerals in Eastern Congo [Internet]. 2015. Available from: <https://www.globalwitness.org/en/campaigns/conflict-minerals/conflict-minerals-eastern-congo/>
99. Melcher F, Sitnikova M, Graupner T, Martin N. Fingerprinting of conflict minerals: columbite-tantalite ('coltan') ores. 2008.
100. Garrett N. Walikale-Artisanal Cassiterite Mining and Trade in North Kivu-Implications for Poverty Reduction and Security. Communities Small-scale Min (CASM), ... [Internet]. 2008; Available from: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Artisanal+Cassiterite+Mining+and+trade+North+Kivu+implications+for+poverty+reduction+and+security#0>
101. www.metalleiachalkidikis.gr. Εξόρυξη Κολτανίου: Μια πικρή ιστορία [Internet]. Available from: <https://www.metalleiachalkidikis.gr/blog/2013/08/metalleiachalkidikis-coltan/>
102. Parker DP, Vadheim B. Resource Cursed or Policy Cursed ? US Regulation of Conflict Minerals and Violence in the Congo. J Assoc Environ Resour Econ. 2017;4(1).
103. Koning R De. Conflict minerals in the Democratic Republic of the Congo: Aligning Trade and Security. SIPRI Policy Pap. 2011;(27).
104. Lasker J. Ο Αφρικανικός Πόλεμος του Playstation [Internet]. Toward Freedom. 2018. Available from: https://geniusloci2017.wordpress.com/2018/08/10/playstation_war/
105. Montague D. Stolen Goods: Coltan and Conflict in the Democratic Republic of Congo. SAIS Rev. 2002;22(1):103–18.
106. Stearns J. North Kivu: The Background to Conflict in North Kivu Province of Eastern Congo [Internet]. Vol. 2, Wikipedia. 2012. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/North_Kivu
107. Lawspot. 'Ματωμένα Smartphones': Μέτρα της ΕΕ για την εισαγωγή ορυκτών από περιοχές συγκρούσεων [Internet]. 2017. Available from: <https://www.lawspot.gr/nomika-nea/matomena-smartphones-metra-tis-ee-gia-tin-eisagogi-orykton-apo-periohes-sygkroyseon>
108. KEMET. The Advent of a Stable Tantalum Supply Chain and Why It Matters to System Designers [Internet]. 2016. Available from: <https://www.kemet.com/en/us/about/sustainability.html#section3>

109. Κρητικού Ε. Smartphones, 'βουτηγμένα στο αίμα' [Internet]. Pathfinder. 2014. Available from: <http://www.pathfinder.gr/stories/3724961/smartphones-boythgmena-sto-aima/>
110. W. Wallis RB. Alarm over China's Congo deal. Financ Times [Internet]. 2007; Available from: <https://www.ft.com/content/d66142e4-66d9-11dc-a218-0000779fd2ac>
111. Rodrigues CU. Mining in Angola. 2016.
112. Goredema C. Diamonds and Other Precious Stones in Armed Conflicts and Law Enforcement Cooperation in Southern Africa. ISS Occassional Pap 57. 2002;
113. Johnson E. Blood Diamonds: The Conflict in Sierra Leone. EDGE [Internet]. 2002; Available from: [https://web.stanford.edu/class/e297a/Conflict in Sierra Leone.htm](https://web.stanford.edu/class/e297a/Conflict%20in%20Sierra%20Leone.htm)
114. Global Witness. Conflict Diamonds [Internet]. Available from: <https://www.globalwitness.org/en/campaigns/conflict-diamonds/#more>
115. Delawala I. What is Coltan? [Internet]. ABC News. 2006. Available from: <https://abcnews.go.com/Nightline/story?id=128631&page=1>
116. Weng ZH, Jowitt SM, Mudd GM, Haque N, Weng ZH, Jowitt SM, et al. Assessing rare earth element mineral deposit types and links to environmental impacts Assessing rare earth element mineral deposit types and links to environmental impacts. 2013;7453.
117. Mcllellan BC, Corder GD, Ali SH. Sustainability of Rare Earths—An Overview of the State of Knowledge. 2013;304–17.
118. Doris Schüler, Matthias Buchert, Ran Liu, Stefanie Dittrich CM. Study on Rare Earths and Their Recycling. 2011;49(January):30–40.
119. Chen X, Cheng Y, Rong Z. Recent results from a study of thorium lung burdens and health effects among miners in China Recent results from a study of thorium lung burdens and health effects among miners in China. 2007;
120. Ali SH. Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries. 2016;(March 2014).
121. Kaiman J. Rare earth mining in China: the bleak social and environmental costs [Internet]. The Guardian. 2014. Available from: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/rare-earth-mining-china-social-environmental-costs>
122. Hongqiao L. The Dark Side of Renewable Energy. Earth Journal Netw [Internet]. 2016; Available from: <https://earthjournalism.net/stories/the-dark-side-of-renewable-energy>
123. G. Charalampides, K. Vatalis VK and AB. Global Market Of Rare Earth Metals ENVIRONMENTAL DEFECTS AND ECONOMIC IMPACT. 2016;

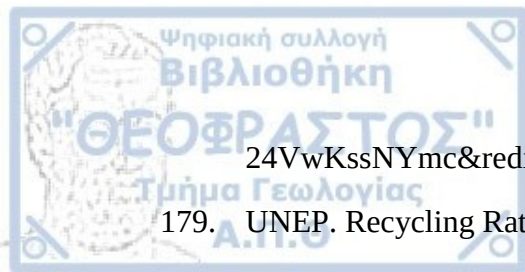


124. Humphries M. Rare earth elements: The global supply chain. Crit Mater Strateg Clean Energy Technol. 2011;143–58.
125. Standaert M. China Wrestles with the Toxic Aftermath of Rare Earth Mining. Yale Environ 360 [Internet]. 2019; Available from: <https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining>
126. Tim Maughan. The dystopian lake filled by the world's tech lust [Internet]. BBC. 2015. Available from: <https://www.bbc.com/future/article/20150402-the-worst-place-on-earth>
127. Commission of the European Communities. The Raw Materials Initiative - meeting our critical needs for growth and jobs in Europe. In 2008 [cited 2020 May 2]. Available from: http://ec.europa.eu/enterprise/non_energy_extractive_industries/raw_materials.htm
128. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής με θέμα «Οι κίνδυνοι και τα προβλήματα που σχετίζονται με τον εφοδιασμό της ευρωπαϊκής βιομηχανίας με πρώτες ύλες». 2006;
129. OECD. Global Material Resources Outlook to 2060. Glob Mater Resour Outlook to 2060. 2019;
130. ΥΠΕΚΑ. Ελληνική Εξορυκτική Βιομηχανία: Διεθνές περιβάλλον, φυσιογνωμία - προοπτικές [Internet]. [cited 2020 May 3]. Available from: <http://docplayer.gr/29732494-Elliniki-exoryktiki-viomihania.html>
131. Kesler BSE. Mineral Supply and Demand into the 21st Century. 2002;
132. Α. Μουστάκα, Η. Ντεμιάν, Γ. Παύλου, Σ. Σταυράκη SD. Η συμβολή της εξορυκτικής βιομηχανίας στην ελληνική οικονομία. 2016.
133. European Commission. Improving Framework Conditions for Extracting Minerals for Use Planning , Permitting and. 2010.
134. European Commission. Έκθεση του 2013 για τα εμπόδια στο εμπόριο και στις επενδύσεις. In: Έκθεση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο [Internet]. 2013. Available from: <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
135. European Commission. Το Έβδομο Πρόγραμμα Πλαίσιο (7ο ΠΠ). 2007.
136. European Commission. Το Horizon 2020 Εν Συντομία. 2014.
137. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οδηγία 2005/32/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. 2005;
138. European Commission. Ευρώπη 2020 : η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανάπτυξη και την απασχόληση. In 2010 [cited 2020 May 5]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:em0028&from=EL>

139. ΥΠΕΚΑ. Εθνική Πολιτική για την Αξιοποίηση των Ορυκτών Πρώτων Υλών. In 2012.
140. Στρατούλη Ε. Η Βιώσιμη Αναπτυξη και οι Ορυκτές Πρώτες Ύλες στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση. 2017.
141. European Commission. Critical raw materials for the EU. Eucom [Internet]. 2010;39(July):1–84. Available from: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf
142. European Commission. Η Αντιμετώπιση των Προκλήσεων που αφορούν τις Αγορές βασικών Εμπορευμάτων και τις Πρώτες Ύλες. In: Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών. 2011. p. 29.
143. European Commission. Σχετικά με την Επανεξέταση του Καταλόγου Πρώτων Υλών Κρίσιμης Σημασίας για την ΕΕ και την εφαρμογή της Πρωτοβουλίας για τις Πρώτες Ύλες. In: Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών. 2014. p. 8.
144. European Commission. The European Critical Raw Materials review. 2014.
145. European Commission. Σχετικά με τον Κατάλογο Πρώτων Υλών Κρίσιμης Σημασίας για την ΕΕ, για το 2017. In: Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών. 2017.
146. European Commission. Study on the review of the list of Critical Raw Materials Executive summary. 2017.
147. Ferro P, Bonollo F. Materials selection in a critical raw materials perspective. Mater Des [Internet]. 2019;177:107848. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107848>
148. Lusty PAJ, Gunn AG. Challenges to global mineral resource security and options for future supply. 2015;
149. British Geological Survey. Risk List 2015 - An update to the supply risk index for elements or element groups that are of economic value. Vol. 1. 2015.
150. European Commission. Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. 2010.
151. Frenzel M, Ketris MP, Gutzmer J. On the geological availability of germanium. Miner Depos. 2014;49(4):471–86.
152. Πηλίκος Β. Μέθοδοι Επεξεργασίας και Ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων. 2013.
153. Μαντρατζή Μ. Οι Συγκεντρώσεις Τεχνολογικά Κρίσιμων Χημικών Στοιχείων στην Ελλάδα και οι πιθανές Βιολογικές Επιπτώσεις τους. 2016.

154. C. Y. Chang FK. GaAs High-Speed Devices: Physics, Technology and Circuit Applications [Internet]. 1994. Available from: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=S3KyulONSSMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=gallium+arsenide+applications&ots=ZLh8RkODPu&sig=1qAzRJP ErAXjcGIdLX1ypgkIIyU&redir_esc=y
155. Mehrabian R. Technical Aspects of Critical Materials Use by the Steel Industry. Vol. II. 1983.
156. Yang Z, Xia GG, Wang CM, Nie Z, Templeton J, Stevenson JW, et al. Investigation of iron-chromium-niobium-titanium ferritic stainless steel for solid oxide fuel cell interconnect applications. J Power Sources. 2008;183(2):660–7.
157. CRM Alliance. Niobium [Internet]. [cited 2020 May 26]. Available from: <https://www.crmalliance.eu/niobium>
158. Matković T, Matković P, Malina J. Effects of Ni and Mo on the microstructure and some other properties of Co-Cr dental alloys. J Alloys Compd. 2004;366(1–2):293–7.
159. Giacchi J V., Morando CN, Fornaro O, Palacio HA. Microstructural characterization of as-cast biocompatible Co-Cr-Mo alloys. Mater Charact [Internet]. 2011;62(1):53–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2010.10.011>
160. Zhou L, Miller MK, Lu P, Ke L, Skomski R, Dillon H, et al. Architecture and magnetism of alnico. Acta Mater [Internet]. 2014;74:224–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2014.04.044>
161. Ζερβάκης Μ. Συσσωρευτές Ηλεκτρικής Ενέργειας στις Ηλεκτρονικές Συσκευές. 2016.
162. Hugh O. Pierson. Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes: Properties, Processing and Applications [Internet]. 1993 [cited 2020 May 27]. 110 p. Available from: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=Ub-GAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=graphite+applications&ots=FD5qNQqt6c&sig=j1JrJUQAxEBRhRBddKK8X3srSLU&redir_esc=y#v=onepage&q=graphite applications&f=false
163. Toshiaki Enoki; Masatsugu Suzuki; Morinobu Endo. Graphite Intercalation Compounds and Applications [Internet]. 2003 [cited 2020 May 27]. 337 p. Available from: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=gsbQCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=graphite+applications&ots=we3DLAKW34&sig=HuATl6wq8tL8-fWLkKZy7MJATHs&redir_esc=y#v=onepage&q=graphite applications&f=false
164. European Commission. Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy [Internet]. 2018. 80 p. Available from: <http://rmag.soil.msu.ru/articles/503.pdf%0Ahttp://europa.eu>
165. European Commission. Study on the review of the list of Critical Raw

- Materials: Criticality Assessments. 2017.
166. Arvanitidis N. Critical Raw Materials in Greece [Internet]. Green Minerals. 2011. Available from: <http://nikolaosarvanitidis.eu/?p=258>
 167. Eliopoulos DG, Economou-Eliopoulos M. Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-Ni- and bauxitic-laterite deposits of Greece. *Ore Geol Rev.* 2000;16(1-2):41-58.
 168. Skarpelis N. The Agios Filippos ore deposit, Kirki (Western Thrace). A base metal part of a high sulfidation epithermal system. 1999.
 169. Dedy ÉA, Mouchos E, Goodenough K, Williamson BJ, Wall F. A review of the potential for rare-earth element resources from European red muds: examples from Seydişehir, Turkey and Parnassus-Giona, Greece. *Mineral Mag.* 2016;80(1):43-61.
 170. Tsirambides A, Filippidis A. Metallic Mineral Resources of Greece. 2012;4(4):641-50.
 171. Prichard HM, Brough CP. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits. *New Dev Magmat Ni-Cu PGE Depos.* 2009;277-90.
 172. Tzeferis PG. Κρίσιμες ορυκτές πρώτες ύλες – Μια νέα πρόκληση. Ποιές υπάρχουν στην Ελλάδα; [Internet]. Ο Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. 2011. Available from: http://www.oryktosploutos.net/2011/06/blog-post_02.html
 173. Graedel TE, Harper EM, Nassar NT, Reck BK. On the materials basis of modern society. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2015 May 19 [cited 2020 Apr 15];112(20):6295-300. Available from: <https://theconversation.com/metals-in-your-smartphone-have-no-substitutes-21142>
 174. Cuffari B. Cobalt Alternatives for Battery Production. 2018;1-4.
 175. Flight Global. GE develops new superalloys to reduce use of rare rhenium [Internet]. 2008. Available from: <https://www.flightglobal.com/ge-develops-new-superalloys-to-reduce-use-of-rare-rhenium/78402.article>
 176. Halme K, Piirainen KA, Vekinis G, Sievers E-U, Viljamaa K. Substitutionability of Critical Raw Materials. *Eur Parliam Dir Intern Policies, Policy Dep A Econ Sci Policy - Ind Res Energy - Study* [Internet]. 2012;PE 492.448(January):104. Available from: <http://www.europarl.europa.eu/committees/en/studiesdownload.html?language=Document=EN&file=76391>
 177. Evangelos I. Gkanas; Yannis L. Bakouros; Sofoklis S. Makridis. "Substitutionability" of the Critical Raw Materials in Energy Applications: A Short Review and Perspectives. *Mater Sci Eng with Adv Res.* 2015;1(3):1-9.
 178. T. E. Graedel, Gus Gunn LTE. Critical Metals Handbook [Internet]. 2014. Available from: <https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=5wGJAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT14&dq=Critical+metals&ots=OkQ5EplcpI&sig=AkkiP1cZ7ofz1FD->



- 24VwKssNYmc&redir_esc=y#v=onepage&q=Critical metals&f=false
179. UNEP. Recycling Rates of Metals: A Status Report. 2011.
180. Beatriz V-L, Blengini GA, Mathieux F, Latunussa C, Mancini L, Nita V, et al. Raw Materials Scoreboard 2018 [Internet]. European Commission. 2018. 135 p. Available from: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/117c8d9b-e3d3-11e8-b690-01aa75ed71a1>