



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ -  
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ, ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ  
Ε.Ε ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ»

ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2020



**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:** Σ. Τριανταφυλλίδης, Μ. Περράκη,  
Α.Ξενίδης

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** Σ. Τριανταφυλλίδης

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα πρέπει να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σταύρο Τριανταφυλλίδη για την επίβλεψη αυτής της εργασίας καθώς και για το γεγονός ότι ήταν πάντα διαθέσιμος να μου προσφέρει τις γνώσεις και τη βοήθειά του. Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω πάνω από όλα στην οικογένειά μου και στους φίλους μου που ήταν πάντα εκεί για μένα για να μου δίνουν θάρρος και αυτοπεποίθηση να συνεχίσω να κυνηγάω τα όνειρά μου.

Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στην μητέρα μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η ανακύκλωση των μετάλλων ή άλλων ορυκτών πρώτων υλών που μπορούν να ανακτηθούν ώστε να χρησιμοποιηθούν σε άλλες σημαντικές εφαρμογές. Βασικός στόχος της εργασίας είναι η ενημέρωση σχετικά με τις τεχνολογίες που υπάρχουν σήμερα στον τομέα της ανακύκλωσης μετάλλων αλλά και γενικότερα η ευαισθητοποίηση του αναγνώστη για την προστασία του περιβάλλοντος και τα πολλαπλά οφέλη της ανακύκλωσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά της έννοιας της ανακύκλωσης και πιο συγκεκριμένα της ανακύκλωσης μετάλλων καθώς και κατά πόσο μπορεί να συνδεθεί με την αειφόρο/βιώσιμη ανάπτυξη. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το πρόβλημα των αποβλήτων στη χώρα μας αλλά και σε χώρες του εξωτερικού.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς οι τεχνολογίες ανακύκλωσης των μετάλλων που υπάρχουν τη σημερινή εποχή. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην ανάκτηση του αλουμινίου, του σιδήρου, την ανακύκλωση μετάλλων (νικελίου, λιθίου, μολύβδου, κοβαλτίου, μαγγανίου) που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής συσσωρευτών καθώς και άλλων μετάλλων που είναι πολύ σημαντικά στον τομέα της ανακύκλωσης.

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανακύκλωση των κρίσιμων μετάλλων (σπάνιες γαίες, ίνδιο κλπ) που προκύπτουν από τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού ενώ μετέπειτα τονίζεται η σπουδαιότητα κάποιων κρίσιμων πρώτων υλών ( γερμάνιο, γάλλιο) που θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στο μέλλον. Κλείνοντας, εξάγονται κάποια συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της διπλωματικής καθώς και το ποια θα πρέπει να είναι η στρατηγική που θα πρέπει να ακολουθηθεί από εδώ και πέρα σύμφωνα με τις προτάσεις και τους στόχους που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για το μέλλον.

## **ABSTRACT**

The subject of this thesis is the recycling of metals or other raw materials that can be recovered for use in other important applications. The main objective of this thesis is to provide information on current technologies in the field of metal recycling and in general, to raise the awareness of the reader on environmental protection and the multiple benefits of recycling.

The first chapter discusses the concept of recycling and more specifically metal recycling as well as if it can be linked with sustainable development. The second chapter analyzes the problem of wastes in our country as well as in foreign countries.

The third chapter describes in detail the current metal recycling technologies. Particular reference is made to the recovery of aluminum, iron, recycling of metals (nickel, lithium, lead, cobalt, manganese) used in the battery industry and other metals that are very important in the raw material recycling sector.

The fourth chapter focuses on the recycling of critical metals (rare earth elements, indium, etc.) resulting from the electrical and electronic equipment waste, and then emphasizes the importance of some critical raw materials (germanium, gallium) that will play a vital role in the future. Finally, conclusions are drawn on what should be the strategy to be followed hereafter in line with the suggestions and goals set by the European Union in the future.

## Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ.....	11
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ.....	11
1.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	13
1.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ .....	14
1.4.1 ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ-SUSTAINABLE DEVELOPMENT.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	22
2.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ.....	22
2.2 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΕ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΔΟ ΤΩΝ ΧΡΟΝΩΝ .....	23
2.3 Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ .....	23
2.4 Η ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	26
2.5 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ .....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	29
3.1 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ .....	29
3.1.1 ΤΥΠΟΙ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	30
3.1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ .....	31
3.1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ ΑΠΟ ΒΩΞΙΤΗ .....	32
3.1.4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ.....	33
3.1.5 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	35
3.2 ΣΙΔΗΡΟΣ (Fe) – ΤΙΤΑΝΙΟ (Ti) .....	36
3.2.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΠΡΩΙΜΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ .....	38
3.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΤΙΤΑΝΙΟΥ .....	39
3.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....	41

3.3.1	
ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	41
3.3.2 ΚΥΡΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	42
3.4 ΒΟΛΦΡΑΜΙΟ (W).....	53
3.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΡΒΙΔΙΟΥ ΒΟΛΦΡΑΜΙΟΥ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΡΙΣΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	59
4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	59
4.1.1 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ, ΙΝΔΙΟΥ ΚΑΙ ΧΡΥΣΟΥ.....	61
4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	62
4.2.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ.....	63
4.2.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΙΝΔΙΟΥ.....	64
4.2.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	65
4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :

**Εικόνα 1 σελ. 11 :** Παγκόσμιο σύμβολο ανακύκλωσης,

**Εικόνα 2 σελ. 12:** Διάφορα είδη ανακυκλώσιμων μετάλλων

**Εικόνα 3 σελ. 18 :** 17 παγκόσμιοι στόχοι για την αειφόρο ανάπτυξη-sustainable development.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :

**Εικόνα 4 σελ. 21:** Απόβλητα όπως χαρτί, γυαλί, πλαστικό κλπ.

**Εικόνα 5 σελ. 23 :** Η ιεράρχηση των αποβλήτων από την ΕΕ που δεν είναι «πανάκεια»

**Εικόνα 6 σελ.27 :** Πανοραμική άποψη του ΧΥΤΑ Φυλής-Ελλάδα

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :

**Εικόνα 7 σελ. 36 :** Μαγνητίτης-ορυκτό του σιδήρου ( $Fe_3O_4$ )

**Εικόνα 8 σελ.37 :** Ιλμενίτης-ορυκτό οξείδιο του τιτανίου και του σιδήρου ( $FeTiO_3$ )

**Εικόνα 9 σελ.41:** Μπαταρίες μολύβδου-οξέος

**Εικόνα 10 σελ.42 :** Νικελίνης-ορυκτό του νικελίου ( $NiAs$ )

**Εικόνα 11 σελ. 45 :** Αμβλυγωνίτης-ορυκτό λιθίου

**Εικόνα 12 σελ. 46 :** Γαληνίτης-ορυκτό του μολύβδου ( $PbS$ )

**Εικόνα 13 σελ.48 :** Κοβαλτίτης-ορυκτό του κοβαλτίου ( $CoAsS$ )

**Εικόνα 14 σελ. 51 :** Πυρολουσίτης-ορυκτό του μαγγανίου ( $MnO_2$ )

**Εικόνα 15 σελ. 53 :** Βολφραμίτης-ορυκτό του βολφραμίου

**Πίνακας 1 σελ. 29 :** Σύγκριση πρωτογενών και δευτερογενών διαδικασιών παραγωγής αλουμινίου.

**Πίνακας 2 σελ. 30** : Διάφορα στερεά απόβλητα προερχόμενα από τον τομέα παραγωγής αλουμινίου

**Πίνακας 3 σελ. 44** : Κοινά ορυκτά που περιέχουν νικέλιο

**Πίνακας 4 σελ. 50** : Κοινά ορυκτά που περιέχουν κοβάλτιο

**Πίνακας 5 σελ. 52** : Κοινά ορυκτά που περιέχουν μαγγάνιο

**Πίνακας 6 σελ. 55** : Τυπική περιεκτικότητα σε βολφράμιο σε υλικά θραύσματος βολφραμίου

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι ευρέως γνωστό πως ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα της ανθρωπότητας είναι η μόλυνση του περιβάλλοντος λόγω του τεράστιου όγκου σκουπιδιών στις σύγχρονες καταναλωτικές κοινωνίες. Η τεράστια τεχνολογική εξέλιξη καθώς και η ολοένα αυξανόμενη συγκέντρωση πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα οδήγησε στη ραγδαία αύξηση των αποβλήτων. Η λύση στο πρόβλημα είναι αφενός η μείωση όλων αυτών των απορριμμάτων και αφετέρου η επαναχρησιμοποίηση των υλικών που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας μέσω της ανακύκλωσης.

«Ως ανακύκλωση ορίζεται οποιαδήποτε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μετατρέπονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες που προορίζονται είτε να εξυπηρετήσουν και πάλι τον αρχικό τους σκοπό είτε άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών αλλά όχι την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή σε εργασίες επίχωσης». (ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΝΩΣΗΣ, Οδηγία 2008/98/ΕΚ)

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ολοένα αυξανόμενη προώθηση της ανακύκλωσης από παγκόσμιους οργανισμούς και φορείς για την ευαισθητοποίηση του ανθρώπου σχετικά με το περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά, η ιδέα της ανακύκλωσης δεν είναι κάτι καινούργιο καθώς υφίσταται εδώ και αιώνες. Οι πηγές που αναφέρουν ότι η ανακύκλωση ξεκίνησε κατά την εποχή του χαλκού (3000-1000 πΧ) δεν έχουν επιβεβαιωθεί, ενώ πολλοί ιστορικοί υποστηρίζουν πως η ανακύκλωση πρωτοεμφανίστηκε με την ανάπτυξη των πρώτων ανθρώπων οι οποίοι ήταν τεχνίτες. Ωστόσο, κάποιες αρχαιολογικές έρευνες έχουν αποδείξει ότι τα πρώτα απόβλητα στην Αρχαία Ελλάδα περίπου το 400 π.Χ περιείχαν λιγότερα χρησιμοποιούμενα εργαλεία, γεγονός που δείχνει ότι τα υλικά επαναχρησιμοποιήθηκαν συστηματικά για να φτιαχτούν νέα χρήσιμα αντικείμενα για την τότε εποχή.

Το 1031 η Ιαπωνία ξεκινά την πρώτη επαναχρησιμοποίηση χαρτιού ενώ το 1690 ιδρύεται η πρώτη εταιρεία ανακύκλωσης χαρτιού (Rittenhouse Mill) στη Φιλαδέλφεια. Προς τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, το 1897, η Νέα Υόρκη δημιουργεί μια εγκατάσταση ανάκτησης υλικών όπου τα σκουπίδια ταξινομούνται και χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες όπως χαρτί, μέταλλα και υφάσματα ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> και πιο συγκεκριμένα το 1904, εγκαθιδρύεται στο Σικάγο το πρώτο εργοστάσιο ανακύκλωσης αλουμινίου. Αρκετά χρόνια αργότερα, κατά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο διάφορα υλικά όπως νάυλον, ελαστικά και διάφορα απορρίμματα μετάλλων ανακυκλώνονται στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ προκειμένου να ενισχύσουν τον πόλεμο ενάντια στις δυνάμεις του Άξονα. Το 1970, το σύμβολο της ανακύκλωσης γνωστό και ως “mobius strip”,(εικόνα 1) γίνεται το παγκόσμιο λογότυπο για ανακυκλώσιμα υλικά. Τα νεότερα χρόνια και πιο συγκεκριμένα τον 21<sup>ο</sup> αιώνα η ανακύκλωση υλικών αποτελεί ζωτικό παράγοντα για την διατήρηση της ανθρώπινης ύπαρξης. Όλο και περισσότεροι άνθρωποι ευαισθητοποιούνται καθώς η βιομηχανία ανακύκλωσης απασχολεί περισσότερους από 1,5 εκατομμύρια ανθρώπους σε ολόκληρο τον κόσμο (Bradbury et al., 2017, [www.paprec.com](http://www.paprec.com), 15/11/2019).



**Εικόνα 1:** Παγκόσμιο σύμβολο ανακύκλωσης ([www.hintonswaste.co.uk](http://www.hintonswaste.co.uk), 15/11/2019)

## 1.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ



**Εικόνα 2:** Διάφορα είδη ανακυκλώσιμων μετάλλων ([www.globalmetalrecycling.com](http://www.globalmetalrecycling.com), 15/11/19)

- **Τι είναι τα μέταλλα?**

Τα μέταλλα είναι χημικά στοιχεία του γνωστού σε όλους μας περιοδικού πίνακα, τα οποία εμφανίζουν ορισμένες κοινές ιδιότητες. Μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ως σιδηρούχα και μη σιδηρούχα. Τα σιδηρούχα μέταλλα είναι συνδυασμοί σιδήρου και άνθρακα. Εκτός από σίδηρο περιλαμβάνουν και κράματά του όπως χυτοσίδηρος και χάλυβας. Από την άλλη μεριά, τα μη σιδηρούχα μέταλλα περιλαμβάνουν αλουμίνιο, χαλκό, μόλυβδο, ψευδάργυρο και κασσίτερο (**εικόνα 2**). Μια πολύ σημαντική κατηγορία των μη σιδηρούχων είναι τα πολύτιμα μέταλλα στα οποία ανήκουν ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, ο άργυρος ή ασήμι και το παλλάδιο.

- **Γιατί ανακυκλώνουμε τα μέταλλα?**

Τα μέταλλα είναι πολύτιμα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν ξανά και ξανά χωρίς να υποβαθμίζονται οι ιδιότητές τους. Ο πιο σημαντικός λόγος ανακύκλωσής τους είναι η μείωση των αποβλήτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Επίσης η ανακύκλωση μετάλλων μας επιτρέπει να διατηρούμε τους φυσικούς μας πόρους(νερό, ορυκτά, ξύλο) ενώ παράλληλα απαιτούμε λιγότερη ενέργεια χρησιμοποιώντας παρθένες πρώτες ύλες. Επιπλέον η ανακύκλωση εκπέμπει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα καθώς και άλλες επιβλαβείς για το περιβάλλον ουσίες. Τέλος

εξοικονομούνται χρήματα καθώς επιτρέπεται στις επιχειρήσεις να μειώσουν το κόστος παραγωγής τους ενώ παράλληλα προσφέρονται νέες θέσεις εργασίας.

- **Κύρια στάδια της διαδικασίας ανακύκλωσης μετάλλων.**

- i. Συλλογή
- ii. Ταξινόμηση
- iii. Επεξεργασία
- iv. Τήξη
- v. Καθαρισμός
- vi. Στερεοποίηση
- vii. Μεταφορά μεταλλικών ράβδων

(Leblanc et al., 2019, [www.thebalancesmb.com](http://www.thebalancesmb.com), 18/11/2019)

## 1.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Οι έννοιες της ανακύκλωσης και της αειφόρου ανάπτυξης είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους αλλά και εξίσου σημαντικές για την ανθρώπινη ύπαρξη. Βασικός τους στόχος είναι η διατήρηση του περιβάλλοντος μέσω βασικών πρακτικών του ανθρώπου στην καθημερινή του ζωή αλλά και μέσω ενός διαφορετικού τρόπου σκέψης για το πώς θα πρέπει να αντιμετωπίσουμε όλα όσα μας προσφέρει ο πλανήτης μας γενικότερα ([www.EPA.gov.com](http://www.EPA.gov.com), 18/11/19).

### 1.4.1 ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ- SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Η γενική εξέλιξη της ανθρωπότητας τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει όλο και περισσότερο στις δυσμενείς κλιματικές αλλαγές και τις φυσικές καταστροφές, στους πολέμους και τις πολιτικές κοινωνικοοικονομικής αστάθειας καθώς και στις ανάγκες για ορुकτές πρώτες ύλες. Μέσα από αυτές τις δυσάρεστες εξελίξεις, οι άνθρωποι έχουν επηρεάσει αρνητικά το περιβάλλον θέτοντας σε κίνδυνο την επιβίωση του πλανήτη

μας αλλά και των μελλοντικών γενεών. Οι συνθήκες αυτές οδήγησαν στην ανάγκη για την επίλυση όλων αυτών των παγκόσμιων προβλημάτων μέσω της έννοιας της αειφόρου ανάπτυξης.

«Η αειφόρος ανάπτυξη είναι μια ανάπτυξη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες.» (Shah, 2008, *Encyclopedia of Ecology*).

Η έννοια της αειφόρου-βιώσιμης ανάπτυξης μπορεί να ερμηνευθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αλλά στον πυρήνα της είναι μια προσέγγιση της ανάπτυξης που αναζητά την εξισορρόπηση διαφορετικών και συχνά ανταγωνιστικών αναγκών ενάντια στη συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών περιορισμών που αντιμετωπίζουμε ως κοινωνία. Με πιο απλά λόγια αποσκοπεί στο να βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης των ατόμων και της ποιότητας ζωής τους διαφυλάσσοντας παράλληλα το περιβάλλον τους σε βραχυπρόθεσμη, μεσοπρόθεσμη και κυρίως σε μακροπρόθεσμη βάση.

### **Απαραίτητες προϋποθέσεις για την υλοποίηση της αειφόρου ανάπτυξης.**

Για να προωθηθεί η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης, οι δημόσιες αρχές θα πρέπει να λάβουν μέτρα για:

- την βιώσιμη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων,
- την καταπολέμηση του κοινωνικού αποκλεισμού και της φτώχειας στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο,
- την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών και τον περιορισμό των επιπτώσεών τους.

### ***1.4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ***

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης έλαβε την πρώτη μεγάλη διεθνή της αναγνώριση το 1972 στη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το ανθρώπινο

περιβάλλον που πραγματοποιήθηκε στη Στοκχόλμη. Ο όρος δεν αναφέρεται ρητά αλλά η διεθνής κοινότητα συμφώνησε ότι τόσο η ανάπτυξη όσο και το περιβάλλον που αντιμετωπίζονταν ως ξεχωριστές οντότητες, θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με αμοιβαίο επωφελή τρόπο.

Ο όρος διαδόθηκε 15 χρόνια αργότερα το 1987 στο ‘Κοινό Μέλλον’, την έκθεση της παγκόσμιας επιτροπής για το περιβάλλον και την ανάπτυξη, η οποία περιλάμβανε τον κλασσικό ορισμό που αναφέρθηκε παραπάνω.

Η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης αποτέλεσε τη βάση της διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το περιβάλλον και την ανάπτυξη που πραγματοποιήθηκε στο Ρίο Ντε Τζανέιρο το 1992. Η σύνοδος αυτή αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια για την κατάρτιση σχεδίων και στρατηγικών για έναν πιο βιώσιμο τρόπο ζωής. Συμμετείχαν περισσότεροι από 100 αρχηγοί κρατών και εκπρόσωποι από 178 εθνικές κυβερνήσεις. Η αειφόρος ανάπτυξη ήταν η λύση στα προβλήματα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης που συζητήθηκε από την επιτροπή Brundtland στην έκθεση ‘Το Κοινό Μέλλον μας’ του 1987. Η αποστολή της έκθεσης αυτής ήταν να ερευνήσει από τις ανησυχίες που είχαν εκδηλωθεί πολλές δεκαετίες πριν, δηλαδή ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είχε σοβαρές επιπτώσεις στον πλανήτη και ότι τα πρότυπα ανάπτυξης θα ήταν μη βιώσιμα εάν συνεχίζονταν με τον ίδιο ρυθμό.

Πιο πρόσφατα η παγκόσμια διάσκεψη κορυφής για την αειφόρο ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε στο Γιοχάνεσμπουργκ το 2002, στην οποία συμμετείχαν 191 εθνικές κυβερνήσεις, υπηρεσίες του ΟΗΕ αλλά και άλλες μεγάλες ομάδες για την εξέλιξη της προόδου από το Ρίο ([www.sustainabledevelopmentcommission.com](http://www.sustainabledevelopmentcommission.com), 20/11/19).

Πριν από τη σύνοδο κορυφής του Γιοχάνεσμπουργκ όπου είχε πραγματοποιηθεί και το Σεπτέμβριο του 2000, ηγέτες από όλο τον κόσμο έκαναν ένα πρωτοφανές βήμα για τον καθορισμό των στόχων του 2015 για τους αναπτυξιακούς στόχους της χιλιετίας που σχετίζονται με τη φτώχεια, την πείνα, την υγεία, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και μια παγκόσμια εταιρική σχέση για την ανάπτυξη. Η πρόοδος που είχε σημειωθεί μέχρι το 2007 έδειξε ότι πολλοί από τους



παραπάνω στόχους δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν μέχρι το 2015 σε παγκόσμιο επίπεδο. Πλέον έχουν τεθεί 17 παγκόσμιοι στόχοι που πρέπει να πραγματοποιηθούν μέχρι το 2030 στην γνωστή ατζέντα του 2030 για τους παγκόσμιους στόχους όσον αφορά την αειφόρο ανάπτυξη (SUSTAINABLEDEVELOPMENTGOALS - SDG)

### ***1.4.3 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ***

Η αειφόρος ανάπτυξη υπήρξε εδώ και πολύ καιρό στο επίκεντρο του ευρωπαϊκού σχεδίου και οι Συνθήκες της ΕΕ αναγνωρίζουν τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές της διαστάσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν από κοινού. Για σχεδόν 20 χρόνια, η ΑΑ υπήρξε ένας από τους θεμελιώδεις στόχους της ΕΕ, δεδομένου ότι συμπεριλήφθηκε στη συνθήκη του Άμστερνταμ ως πρωταρχικός στόχος της ΕΕ. Η συνθήκη της ΕΕ καθορίζει το όραμά της για μια αειφόρο ανάπτυξη της Ευρώπης που βασίζεται στην ισορροπημένη οικονομική ανάπτυξη και τη σταθερότητα των τιμών, μια άκρως ανταγωνιστική κοινωνική οικονομία της αγοράς με στόχο την πλήρη απασχόληση και την κοινωνική πρόοδο καθώς επίσης και υψηλό επίπεδο προστασίας και βελτίωσης του περιβάλλοντος.

Η αειφόρος ανάπτυξη ενσωματώθηκε στις πολιτικές στην νομοθεσία της ΕΕ μέσω της στρατηγικής της ΕΕ 2020 και μέσω της ατζέντας της ΕΕ για τη βελτίωση της νομοθεσίας. Αποτυπώνεται στις τομεακές πολιτικές όπως το 7<sup>ο</sup> πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον. Οι προσπάθειες αυτές συνοδεύονται από υψηλό επίπεδο συμμετοχής των κρατών μελών και των ενδιαφερόμενων μερών, γεγονός που αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή τους. Τέλος η ΕΕ συνέβαλε αποφασιστικά στη διαμόρφωση της παγκόσμιας ατζέντας του 2030. Η ατζέντα είναι απόλυτα συνεπής με το όραμα της Ευρώπης και έχει γίνει πλέον σχέδιο παγκόσμιας βιώσιμης ανάπτυξης ([www.ec.europa.eu.com](http://www.ec.europa.eu.com), 22/11/19).

## ***1.4.4 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗ***

Ο γενικός στόχος της στρατηγικής της ΕΕ για την αειφόρο ανάπτυξη είναι να προσδιορίσει και να αναπτύξει δράσεις που θα επιτρέψουν στην ΕΕ να επιτύχει μια συνεχή μακροπρόθεσμη βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσω της δημιουργίας βιώσιμων κοινοτήτων ικανών να διαχειρίζονται και να χρησιμοποιούν πόρους αποτελεσματικά και δυναμικό κοινωνικής καινοτομίας της οικονομίας ικανό να διασφαλίσει την ευημερία, την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική συνοχή ([www.ec.europa.eu.com](http://www.ec.europa.eu.com), 22/11/19).

Οι Στόχοι για την Αειφόρο Ανάπτυξη (SDG) είναι το σχέδιο ενός καλύτερου και πιο βιώσιμου μέλλοντος για όλους. Προέρχονται από τις παγκόσμιες προκλήσεις που αντιμετωπίζουμε, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με τη φτώχεια, την ανισότητα, το κλίμα, την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, την ευημερία, την ειρήνη και τη δικαιοσύνη ([www.un.sustainabledevelopmentgoals.com](http://www.un.sustainabledevelopmentgoals.com), 22/11/19).

### ***Η ΑΤΖΕΝΤΑ ΤΟΥ 2030 ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗ***

1. Μηδενική Φτώχεια - No Poverty
2. Μηδενική Πείνα - Zero Hunger
3. Καλή Υγεία και Ευημερία - Good Health and Well Being
4. Ποιοτική Εκπαίδευση - Quality Education
5. Ισότητα των Φύλων - Gender Equality
6. Καθαρό Νερό και Υγιεινή - Clean Water and hygiene
7. Οικονομικά προσιτή και καθαρή Ενέργεια - Affordable and clean Energy
8. Αξιοπρεπής Εργασία και οικονομική Ανάπτυξη - Decent Work and economic Growth

9. Βιομηχανική Καινοτομία και Υποδομές- Industry Innovation and Infrastructure
10. Μειωμένες Ανισότητες - Reduced Inequalities
11. Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες - Sustainable cities and Communities
12. Υπεύθυνη Παραγωγή και Κατανάλωση - Responsible Production and Consumption
13. Κλιματική Δράση - Climate Action
14. Ζωή κάτω από το νερό - Life below water
15. Ζωή στη στεριά - Life on Land
16. Ειρήνη, Δικαιοσύνη και Ισχυροί θεσμοί - Peace, Justice and Strong institutions
17. Συνεργασίες για τους Στόχους - Partnerships for the Goals

Οι 17 παγκόσμιοι στόχοι απεικονίζονται στην εικόνα 3 ([www.un.sustainabledevelopmentgoals.com](http://www.un.sustainabledevelopmentgoals.com), 22/11/19).



**Εικόνα 3:** 17 παγκόσμιοι στόχοι για την αειφόρο ανάπτυξη-sustainable development. ([www.ecsa.eu/shiprecycling.com](http://www.ecsa.eu/shiprecycling.com), 22/11/19)

### **1.4.5 ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Η Ελλάδα είναι αποφασισμένη να εφαρμόσει την ατζέντα του 2030 με τους 17 παγκόσμιους στόχους για βιώσιμη ανάπτυξη προκειμένου να εξασφαλιστεί μια ισορροπία μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης, κοινωνικής συνοχής και δικαιοσύνης εξασφαλίζοντας παράλληλα την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και του πλούσιου

οικολογικού πλούτου της χώρας. Αποτελεί πρωταρχικό στόχο για τη χώρα μας η συμμετοχή σε αυτές τις παγκόσμιες δράσεις, καθώς όπως φαίνεται η αειφόρος ανάπτυξη αποτελεί τη μοναδική καινοτόμα λύση ώστε να αντιμετωπιστούν πολλά προβλήματα εν μέσω οικονομικής κρίσης.

Το 2017 εκπονήθηκε μια εμπειριστατωμένη άσκηση απογραφής και χαρτογράφησης η οποία οδήγησε στην έγκριση 8 εθνικών προτεραιοτήτων για την προσαρμογή των 17 παγκόσμιων στόχων στις εθνικές ανάγκες και περιστάσεις, σύμφωνα πάντα και με την εθνική στρατηγική για βιώσιμη ανάπτυξη. Οι οχτώ αυτές εθνικές προτεραιότητες είναι οι εξής:

1. Προώθηση μιας ανταγωνιστικής, καινοτόμου και βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης.
2. Προώθηση της πλήρους απασχόλησης και της αξιοπρεπούς εργασίας για όλους.
3. Αντιμετώπιση της φτώχειας και του κοινωνικού αποκλεισμού και παροχή καθολικής πρόσβασης σε ποιοτικές υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης.
4. Μείωση των κοινωνικών και περιφερειακών ανισοτήτων και εξασφάλιση ίσων ευκαιριών για όλους.
5. Παροχή υψηλής ποιότητας και χωρίς αποκλεισμούς εκπαίδευσης.
6. Ενίσχυση της προστασίας και της βιώσιμης διαχείρισης του φυσικού κεφαλαίου ως βάση για την κοινωνική ευημερία και τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
7. Δημιουργία αποτελεσματικών, υπεύθυνων και διαφανών θεσμών.
8. Ενίσχυση ανοικτών, συμμετοχικών, δημοκρατικών διαδικασιών και προώθηση εταιρικών σχέσεων.

Η πρώτη στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε το 2002. Ωστόσο, σήμερα η χώρα μας έχει προσεγγίσει μια πραγματική στρατηγική στηρίζοντας την αειφόρο ανάπτυξη. Για την επίτευξη των στόχων αειφόρου ανάπτυξης (SDG) η Ελλάδα έχει εγκρίνει επιτυχώς μια προσέγγιση με ένα ενεργό επιχειρησιακό διυπουργικό συντονιστικό δίκτυο, υπό τη διεύθυνση της γενικής γραμματείας της κυβέρνησης, ενός βασικού κυβερνητικού φορέα και μιας προσέγγισης «ολόκληρης της κοινωνίας» με έντονη συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων στη διαδικασία

ανάλυσης και απογραφής, ενισχύοντας τη διαφάνεια, την εταιρική σχέση και τη λογοδοσία.

Τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί πρόοδος στη χώρα όσον αφορά τους στόχους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Βασικές εθνικές προτεραιότητες περιλαμβάνουν τη στροφή προς μια κυκλική οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τη βελτίωση της μείωσης των αποβλήτων, της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης για τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την αύξηση της αποδοτικότητας των πόρων. Η Ελλάδα έχει δεσμευτεί να επιτύχει τους στόχους της συμφωνίας των Παρισίων, η οποία βρίσκεται σε καλό σημείο για να επιτύχει τους στόχους μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πριν το 2030. Επιτυχίες περιλαμβάνουν επίσης η πλήρης εφαρμογή των αρχών ολοκληρωμένων διαχειριστικών υδάτινων πόρων λαμβάνοντας υπόψη τις κοινωνικές πτυχές και τις ανάγκες των οικοσυστημάτων εξασφαλίζοντας ένα υψηλό επίπεδο προστασίας του φυσικού πλούτου.

Τα επόμενα βήματα περιλαμβάνουν μέσα στο έτος (2020) την εκπόνηση ενός εθνικού σχεδίου εφαρμογής για τους παγκόσμιους στόχους, σύμφωνα με την εθνική στρατηγική ανάπτυξης, με συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων σε όλα τα στάδια, καθώς και την ενεργό συμμετοχή του ελληνικού κοινοβουλίου στη συνολική διαδικασία παρακολούθησης και επανεξέτασης της υλοποίησης του SDG ([www.un.sustainabledevelopmentgoals.com](http://www.un.sustainabledevelopmentgoals.com), 22/11/19).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΒΛΗΤΑ

### 2.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα των ανεπτυγμένων χωρών είναι η διαχείριση των αποβλήτων. Τα απόβλητα είναι ένα ζήτημα που μας επηρεάζει όλους. Όλοι παράγουμε απόβλητα. Κατά μέσο όρο καθένας από τα 500 εκατομμύρια άτομα που ζούμε στην ευρωπαϊκή ένωση, πετάμισό τόνο σκουπίδια οικιακής χρήσης κάθε χρόνο. Εκτός από τα απορρίμματα οικιακής χρήσης, υπάρχουν και άλλες σημαντικές δραστηριότητες οι οποίες αποτελούν πηγές αποβλήτων όπως βιομηχανίες (360 εκατομμύρια τόνους), κατασκευές (900 εκατομμύρια τόνους) ενώ η παροχή νερού και η παραγωγή ενέργειας παράγει άλλα 95 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων. Συνολικά η ΕΕ παράγει 3 δις τόνους αποβλήτων ετησίως ([www.ec.europa.eu/environment/waste.com](http://www.ec.europa.eu/environment/waste.com), 25/11/19).

Παρόλο που η διαχείριση των αποβλήτων εξακολουθεί να βελτιώνεται στην ΕΕ, η ευρωπαϊκή οικονομία εξακολουθεί να χάνει σημαντικά ποσά δυνητικών “δευτερογενών πρώτων υλών” όπως τα μέταλλα, το ξύλο, το γυαλί, το χαρτί (**εικόνα 4**). Το 2010, η συνολική παραγωγή αποβλήτων στην ΕΕ ανήλθε σε 2,5 δις τόνους. Από αυτό το σύνολο ανακυκλώθηκε μόνο ένα περιορισμένο (αν και αυξανόμενο) μερίδιο (36%) ενώ τα υπόλοιπα απορρίφθηκαν ή κάηκαν, από τα οποία 600 εκατομμύρια τόνοι θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν ή να ξαναχρησιμοποιηθούν ([www.ec.europa.eu/environment/waste.com](http://www.ec.europa.eu/environment/waste.com), 25/11/19).



**.Εικόνα 4:** Απόβλητα όπως χαρτί, γυαλί, πλαστικό κλπ.  
([www.ec.europa.eu/environment/waste.com](http://www.ec.europa.eu/environment/waste.com), 25/11/19).

## 2.2 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΕΕ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΔΟ ΤΩΝ ΧΡΟΝΩΝ

Κατά τα 30 τελευταία χρόνια τα απόβλητα ήταν στο επίκεντρο της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ και επιτεύχθηκε σημαντική πρόοδος. Αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές για την επεξεργασία των επικίνδυνων αποβλήτων. Οι επικίνδυνες ουσίες αφαιρούνται από τα οχήματα καθώς και από τον ηλεκτρικό και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Οι εξαιρετικάμολυσμένοι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης καθαρίζονται. Τα επίπεδα των διοξινών και άλλων εκπομπών από την αποτέφρωση περιορίζονται.

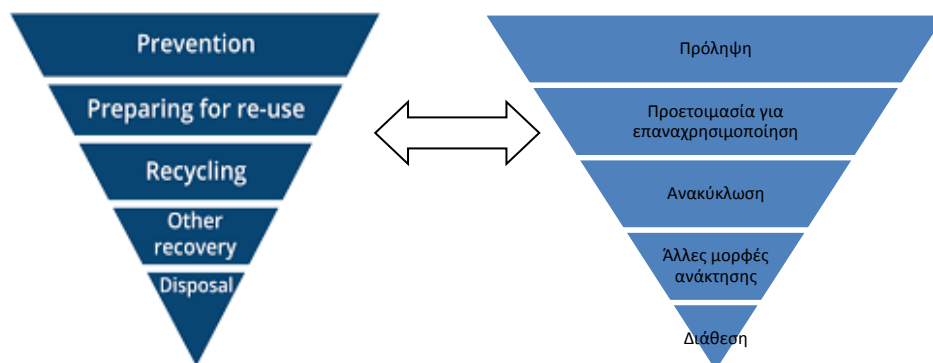
Με την πάροδο του χρόνου η βιομηχανία αντιμετωπίζει τα απόβλητα όλο και περισσότερο ως πολύτιμο πόρο. Αρχίζουν να εφαρμόζονται διαδικασίες όπως η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ανάκτηση ενέργειας στα απόβλητα για τα οποία ισχύουν νομοθετικές ρυθμίσεις – απόβλητα από συσκευασίες, οχήματα που έχουν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους, απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού βιοαποδομήσιμα απόβλητα και ελαστικά αυτοκινήτων. Η εκτροπή των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής και η αυξανόμενη ανακύκλωση και ανάκτηση, συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Βρυξέλλες 21/12/2005, [www.eur-lex.europa.eu/legal.com](http://www.eur-lex.europa.eu/legal.com)).

## 2.3 Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Σήμερα, στην ΕΕ, τα αστικά απόβλητα διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής (49%), αποτέφρωση (18%), ανακύκλωση και λιπασματοποίηση (33%). Στα νέα κράτη μέλη, όπου έγιναν μεγάλες προσπάθειες και επενδύσεις για να επιτευχθεί ευθυγράμμιση με το κεκτημένο της ΕΕ, η κατάσταση εξελίσσεται γρήγορα αλλά επικρατούν ακόμη οι ΧΥΤΑ. Υπάρχουν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα κράτη μέλη, που κυμαίνονται από εκείνα τα οποία ανακυκλώνουν τις μικρότερες ποσότητες (90% ΧΥΤΑ, 10% ανακύκλωση και ανάκτηση ενέργειας) μέχρι εκείνα που είναι ιδιαίτερα φιλικά με το περιβάλλον (10 % ΧΥΤΑ, 25% ανάκτηση ενέργειας και 65% ανακύκλωση).

Η σημερινή πολιτική αποβλήτων της ΕΕ στηρίζεται σε μια έννοια που είναι γνωστή ως ιεράρχηση των αποβλήτων (**Εικόνα 5**). Αυτό σημαίνει ότι ιδανικά, τα απόβλητα πρέπει να προλαμβάνονται και ότι δεν μπορεί να προληφθεί πρέπει να επαναχρησιμοποιείται, να ανακυκλώνεται και να ανακτάται όσον είναι εφικτό, ενώ η υγειονομική ταφή χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν λιγότερο. Η υγειονομική ταφή είναι η χειρότερη εναλλακτική λύση για το περιβάλλον καθώς σημαίνει απώλεια πόρων και μπορεί να μετατραπεί σε μελλοντική περιβαλλοντική υποθήκη. Η ιεράρχηση των αποβλήτων δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απόλυτος και άμεσος κανόνας, δεδομένου ιδίως ότι οι διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων μπορεί να έχουν διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο ο στόχος μετάβασης σε μια κοινωνία ανακύκλωσης και ανάκτησης σημαίνει μετακίνηση σε ανώτερη θέση στην ιεράρχηση, απομάκρυνση από την υγειονομική ταφή και όλο πιο εκτεταμένη ανακύκλωση και ανάκτηση ([www.eur-lex.europa.eu/legal.com](http://www.eur-lex.europa.eu/legal.com), 25/11/19).

**Εικόνα 5:** Η ιεράρχηση των αποβλήτων από την ΕΕ που δεν είναι «πανάκεια»



([www.ec.europa.eu/environment/waste.com](http://www.ec.europa.eu/environment/waste.com), 25/11/19)

Το νομικό πλαίσιο της ΕΕ που αποτελεί τη βάση αυτής της στρατηγικής προσέγγισης περιλαμβάνει οριζόντια νομοθεσία για την διαχείριση αποβλήτων π.χ. την οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα, την οδηγία για τα επικίνδυνα απόβλητα καθώς και τον κανονισμό για την μεταφορά αποβλήτων. Οι παραπάνω πράξεις συμπληρώνονται με λεπτομερέστερες νομικές πράξεις σχετικά με την επεξεργασία των αποβλήτων και τις εργασίες διάθεσης όπως οι οδηγίες για τους χώρους υγειονομικής ταφής και για την αποτέφρωση, καθώς και με νομοθεσία για την ρύθμιση της διαχείρισης ειδικών κατηγοριών αποβλήτων (χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB) / πολυχλωριωμένα τριφαινύλια (PCT) και συσσωρευτές. Έχουν καθοριστεί στόχοι για την ανακύκλωση και την ανάκτηση ορισμένων πολύπλοκων κατηγοριών



αποβλήτων καθοριστικής σημασίας, π.χ. συσκευασίες, οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής (ELV) και απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (WEEE) (Βρυξέλλες 21/12/2005, [www.eur-lex.europa.eu/legal.com](http://www.eur-lex.europa.eu/legal.com)).

Παρά την σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, ο συνολικός όγκος των αποβλήτων συνεχίζει να αυξάνεται και η απόλυτη ποσότητα των αποβλήτων που καταλήγουν σε υγειονομική ταφή δεν μειώνεται. Από το 1990 μέχρι το 1995 η συνολική παραγωγή αποβλήτων στην ΕΕ και την ΕΖΕΣ (ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΖΩΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΣΥΝΑΛΛΑΓΩΝ) αυξήθηκε κατά 10% ενώ το ΑΕΠ αυξήθηκε κατά 6,5%. Η παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση αυτή και συνδέεται με το επίπεδο της οικονομικής δραστηριότητας καθώς τόσο η παραγωγή ΑΣΑ και το ΑΕΠ της ΕΕ των 25 αυξήθηκε κατά 19% από το 1990 ως το 2003. Οι μικρότερες αλλά σημαντικές κατηγορίες αποβλήτων αυξάνονται επίσης: η παραγωγή επικίνδυνων αποβλήτων αυξήθηκε κατά 13% από το 1998 ως το 2002 ενώ το ΑΕΠ αυξήθηκε κατά 10%.

Καθώς αναμένονται υψηλότερα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης, προβλέπεται ότι θα συνεχιστεί η αύξηση του συνολικού όγκου και αυτό θα αφορά τα περισσότερα απόβλητα. Για παράδειγμα ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος προβλέπει ότι τα απόβλητα από χαρτί / χαρτόνι, γυαλί και πλαστικά θα αυξηθούν κατά 40% μέχρι το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Ο ΟΟΣΑ (ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ) προβλέπει ότι η παραγωγή ΑΣΑ θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι το 2050 άλλα με ελαφρώς μικρότερο ρυθμό. Το Κοινό Κέντρο Ερευνών προβλέπει αύξηση της παραγωγής ΑΣΑ κατά 42,5 μέχρι το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 1995.

Όλες αυτές οι μη αειφόρες τάσεις οφείλονται στη μη ικανοποιητική εφαρμογή της νομοθεσίας για τα απόβλητα, η οποία με τη σειρά της οφείλεται εν μέρει σε ορισμένα στοιχεία της πολιτικής και του νομικού πλαισίου που θα μπορούσαν να βελτιωθούν (Βρυξέλλες 21/12/2005, [www.eur-lex.europa.eu/legal.com](http://www.eur-lex.europa.eu/legal.com)).

## 2.4 Η ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Οι περισσότερες αναπτυγμένες οικονομίες και πολλές αναπτυσσόμενες χώρες επιδιώκουν τη βελτίωση της διαχείρισης των αποβλήτων. Οι χώρες με λιγότερο αναπτυγμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων επιδιώκουν συνήθως να βελτιώσουν τις βασικές πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων, ιδίως όσον αφορά την υγειονομική ταφή αστικών αποβλήτων και την διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων. Οι χώρες με ωριμότερα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων προσπαθούν να προλάβουν την παραγωγή αποβλήτων και να αυξήσουν την ανακύκλωση και την ανάκτησή τους.

Οι σημαντικότερες πρωτοβουλίες που έχουν αναληφθεί σε διεθνές επίπεδο είναι η σύμβαση για τον έλεγχο της διασυνοριακής διακίνησης επικίνδυνων αποβλήτων και της διάθεσής τους (Σύμβαση της Βασιλείας) και οι εργασίες του ΟΟΣΑ σχετικά με τον έλεγχο της μεταφοράς αποβλήτων και την ανάπτυξη διεθνώς συμφωνημένων μεθόδων συγκριτικής αξιολόγησης για την περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση των αποβλήτων. Αυτό αποβλέπει ανάμεσα στ' άλλα και στην ενίσχυση των θεσμικών και μη θεσμικών ικανοτήτων διαχείρισης αποβλήτων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η ΕΕ συμβάλλει στην δημιουργία συστήματος ελέγχου σε διεθνές επίπεδο μέσω των πολιτικών της και ιδίως μέσω του κοινοτικού κανονισμού για τη μεταφορά αποβλήτων, που έχει στόχο να εξασφαλίσει υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας (**Βρυξέλλες 21/12/2005**, [www.eur-lex.europa.eu/legal.com](http://www.eur-lex.europa.eu/legal.com)).

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ

**ΙΑΠΩΝΙΑ:** Η Ιαπωνία διαθέτει εκτεταμένη νομοθεσία σχετικά με τα απόβλητα και άλλες πολιτικές αειφόρου παραγωγής και κατανάλωσης στο πλαίσιο των “3R” (reducing, re-using, recycling δηλαδή μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση). Σε αυτήν περιλαμβάνονται νόμοι που καθορίζουν στόχους για την γενική πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων, την ανακύκλωση των αποβλήτων και την αποφυγή της τελικής διάθεσης. Στόχος της Ιαπωνίας είναι να ανακυκλώνει το 24% των αστικών αποβλήτων και να περιορίσει την τελική διάθεση των αποβλήτων στο 50%. Εκτός από τους παραπάνω στόχους, η Ιαπωνία έχει θεσπίσει σειρά νόμων για την ανακύκλωση, μερικοί από τους οποίους αντιστοιχούν στις οδηγίες ανακύκλωσης της ΕΕ

(συσκευασίες, ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός, οχήματα), ενώ άλλοι καλύπτουν θέματα που δεν καλύπτονται από νομοθεσία στην ΕΕ (υλικά οικοδομών και τρόφιμα). Σε τοπικό επίπεδο, ορισμένες τοπικές αρχές απαιτούν την καταβολή τελών για την επεξεργασία των αποβλήτων και επιβάλλουν φόρους για τα βιομηχανικά απόβλητα τα οποία καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής.

**ΗΠΑ:** Στις ΗΠΑ έχουν θεσπιστεί πολιτικές σε ομοσπονδιακό και πολιτειακό επίπεδο. Η ομοσπονδιακή κυβέρνηση έχει θεσπίσει μακροπρόθεσμο ενδεικτικό στόχο για εθνικό ποσοστό ανακύκλωσης ίσο με το 35% των αστικών αποβλήτων το οποίο και υποστηρίζεται μέσω αρκετών, κυρίως θεμελιωδών, προγραμμάτων. Σε αυτά περιλαμβάνονται προσπάθειες υποστήριξης έξυπνων σχεδιασμών και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων. Αρκετές μεμονωμένες πολιτείες έχουν θεσπίσει νομοθεσία που περιορίζει την υγειονομική ταφή και προωθεί την ανακύκλωση διαφόρων κατηγοριών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης νομοθεσίας που αντιστοιχεί στις οδηγίες ανακύκλωσης της ΕΕ (συσκευασίες, ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός). Αποδίδεται επίσης σημασία στην υψηλή παραγωγή αστικών αποβλήτων.

**ΚΙΝΑ:** Η Κίνα έχει θέσει σε εφαρμογή αρκετούς νόμους που αφορούν την διαχείριση των αποβλήτων. Με τους νόμους αυτούς επιδιώκεται ιδίως η προώθηση της «κυκλικής οικονομίας». Σήμερα η Κίνα καταρτίζει μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα σχέδια για την ανάπτυξη αυτής της έννοιας. Στη Κίνα αυξάνεται επίσης η ζήτηση για ανακυκλώσιμα υλικά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να εξασκηθεί πρόσφατα πίεση στις αγορές για τα υλικά αυτά κάτι που προβλέπεται ότι θα ενταθεί στο μέλλον (**Βρυξέλλες 21/12/2005, [www.eur-lex.europa.eu/legal.com](http://www.eur-lex.europa.eu/legal.com)**).

## 2.5 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Σε αντίθεση με πολλές προηγμένες χώρες της ΕΕ αλλά και με τα παραδείγματα των χωρών που αναφέρθηκαν παραπάνω (Ιαπωνία, ΗΠΑ, Κίνα), η Ελλάδα βρίσκεται πολύ πίσω στον τομέα των αποβλήτων. Η χώρα μας δεν διαθέτει κάποιο συγκεκριμένο σχέδιο όσον αφορά τη διαχείριση των απορριμμάτων ενώ πολλές φορές δεν εναρμονίζεται με τους κανόνες και τους στόχους που έχει θέσει η ΕΕ. Δεν είναι λίγες οι

φορές άλλωστε που η Ευρώπη έχει κινήσει δικαστικές διαδικασίες εναντίον της Ελλάδας για σκουπιδότοπους που δεν πληρούν τις προϋποθέσεις της ΕΕ.

Στη χώρα μας η κύρια μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων είναι η διάθεση σε ΧΥΤΑ (εικόνα 6) καθώς και σε παράνομες χωματερές. Σύμφωνα με το υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 517 ανεξέλεγκτες χωματερές λειτουργούσαν στην Ελλάδα στις αρχές του 2009. Έπειτα από τα συνεχιζόμενα πρόστιμα που επέβαλλε η ΕΕ στη χώρα μας ο αριθμός αυτός έχει μειωθεί αισθητά. Ωστόσο το ποσοστό ανεξέλεγκτης απόρριψης η ελλιπούς εφαρμογής της υγειονομικής ταφής παραμένει υψηλό δημιουργώντας προβλήματα ρύπανσης των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων, ενώ η αυτανάφλεξη των απορριμμάτων στους χώρους αυτούς ευθύνεται για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με τοξικά αέρια και σε ένα ποσοστό της τάξης του 10% και για την πρόκληση πυρκαγιών([www.wwf.gr](http://www.wwf.gr), 25/11/2019)



**Εικόνα 6:** Πανοραμική άποψη του ΧΥΤΑ Φυλής-Ελλάδα ([www.kathimerini.gr](http://www.kathimerini.gr), 1/12/2019).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

## 3.1 ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Γενικά η βιομηχανική παραγωγή συνοδεύεται από θέματα όπως η παραγωγή αποβλήτων και η εξάντληση των φυσικών πόρων. Τα βιομηχανικά απόβλητα συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου προκαλώντας σοβαρές περιβαλλοντικές προκλήσεις καθώς και βλάβες για τη δημόσια υγεία (Xiao et al., 2005). Μια από τις σημαντικότερες βιομηχανίες παραγωγής επικίνδυνων αποβλήτων είναι η βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου.

Το αλουμίνιο ως το 3<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο στη Γη δεν μπορεί να βρεθεί ως ελεύθερο στοιχείο στη φύση (Kadir et al., 2015). Το αργίλιο (Al) είναι το δεύτερο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο μετά το σίδηρο. Είναι ελαφρύ, αγωγιμο, εύπλαστο, ανθεκτικό στη διάβρωση και μη μαγνητικό. Έχει επίσης χαμηλή πυκνότητα (περίπου 2,70g/cm<sup>3</sup>) και χαμηλή θερμοκρασία τήξης (περίπου 933K) (Gil, 2005 ; Tsakiridis et al., 2013). Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν κάνει αυτό το μέταλλο ως ένα ευρέως εφαρμόσιμο υλικό στην αεροναυπηγική, στην αρχιτεκτονική και στις θαλάσσιες βιομηχανίες (Tsakiridis et al., 2013).

Το 1886 οι Charles Martin Hall και Paul L.T Heroult εφεύραν μια βιομηχανική ηλεκτρολυτική διαδικασία για την παραγωγή αλουμινίου από οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνα). Σε αυτή τη διαδικασία, η αλουμίνα χωνεύεται σε ένα ηλεκτρολυτικό λουτρό που περιέχει κρυόλιθο (χημική ονομασία: εξαφθοροαλουμινικό νάτριο). Ένα ηλεκτρικό ρεύμα περίπου 150.000 αμπέρ περνά μέσω του ηλεκτρολύτη (Tsakiridis et al., 2013). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, το οξυγόνο κινείται προς την άνοδο και αντιδρά με το ηλεκτρόδιο γραφίτη. Τέλος, το αλουμίνιο παράγεται στην κάθοδο. Η συνολική αντίδραση έχει ως εξής:  $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 4\text{Al} + 3\text{CO}_2$  (1) (Gil, 2005). Σε σύγκριση με άλλα υλικά, η παραγωγή αλουμινίου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά στην ενέργεια μεταξύ πρωτογενούς και δευτερογενούς παραγωγής (174-186MJ/kg για την πρωτογενή και 10-20 MJ/kg για την δευτερογενή παραγωγή) (Πίνακας 1) (Green, 2007). Συνεπώς, σήμερα, το αλουμίνιο παράγεται μέσω 2 διαφορετικών οδών: η πρωτογενής παραγωγή Al από την αλουμίνα που εξάγεται από το βωξίτη και η

δευτερογενής παραγωγή Al από τα θραύσματα αλουμινίου και τα χρησιμοποιημένα προϊόντα αλουμινίου.

**Πίνακας 1:** Σύγκριση πρωτογενών και δευτερογενών διαδικασιών παραγωγής αλουμινίου (Gil, 2005 ; Menzie et al., 2010 ; Tsakiridis et al., 2013)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ
Κατανάλωση ενέργειας (GJ/tAl)	174-186	10-20
Ατμοσφαιρικές εκπομπές (kg/tAl)	204	12
Στερεά Απόβλητα (kg/tAl)	2100-3650	400
Κατανάλωση νερού (kg/tAl)	57	1,6
Κόστος επένδυσης	Υψηλό	Χαμηλό
Εκπομπές	Υψηλό επίπεδο	Χαμηλό επίπεδο

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα του πίνακα η πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου απαιτεί πολύ περισσότερη ενέργεια και κατανάλωση νερού από τη δευτερογενή παραγωγή Al. Επίσης, η πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου απελευθερώνει σημαντικές ατμοσφαιρικές εκπομπές και στερεά απόβλητα σε σύγκριση με τη δευτερογενή (Mahinroosta and Allahverdi, 2018).

### 3.1.1 ΤΥΠΟΙ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Σε γενική κατανομή, τα απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες: βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα και μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα. Τα μη βιοαποικοδομήσιμα παραμένουν στο περιβάλλον για πολλά χρόνια και προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα και προβλήματα υγείας. Εντούτοις, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να μειωθούν με την υιοθέτηση κατάλληλων



μέτρων. Παραδείγματα τέτοιων διορθωτικών μέτρων περιλαμβάνουν την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και τη μείωση αποβλήτων.

**Πίνακας 2:** Διάφορα στερεά απόβλητα προερχόμενα από τον τομέα παραγωγής αλουμινίου:

ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	ΠΗΓΗ
<b>Κόκκινη λάσπη</b>	Παραγωγή αλουμίνιας από βωξίτη	(Liu and Naidu, 2014 ;Li et al., 2016)
<b>Λευκή σκωρία</b>	Πρωτογενής διαδικασία τήξης	(Kim et al., 2009 ;Yoshimura et al., 2008)
<b>Μαύρη σκωρία</b>	Δευτερογενής σκωρία τήξης	(Kim et al., 2009 ; Yoshimura et al., 2008)
<b>Φίλτρο λειάνσης, σκόνη</b>	Προεπεξεργασία σκωρίας αλουμινίου	(Gil, 2005)
<b>Φίλτρο αερίου φούρνου, σκόνη</b>	Φούρνος τήξης	(Gil, 2005)
<b>Ηλεκτρικοί φούρνοι</b>	Φούρνος χωρίς άλμη	(Gil, 2005)
<b>Κέικ αλατιού</b>	Διαδικασία τήξης σε περιστροφική κάμινο	(Gil, 2005)

### 3.1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, η δημόσια συνείδηση και η ανησυχία σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος έχει αναγκάσει τους νομοθέτες να υιοθετήσουν αυστηρούς κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τη διάθεση διαφόρων βιομηχανικών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, στην Ευρώπη, η απόρριψη σκωρίας και το κέικ αλατιού απαγορεύονται καθώς τα διαλυτά άλατα αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης των υπόγειων υδάτων (Shinzato and Hypolito, 2005). Σήμερα αυξανόμενος αριθμός περιβαλλοντικών νόμων έχει αναγκάσει την Ευρώπη και τις ΗΠΑ να αναπτύξουν μεθόδους και τεχνολογίες ανακύκλωσης για τη μείωση των αποβλήτων (Graziano et al., 1996 ; Pickens, 2000 ; Tsakiridis et al., 2013). Μία από τις μεθόδους είναι η “downcycling”, κατά την οποία τα υλικά ανακυκλώνονται σε προϊόντα χαμηλότερης αξίας.(Epple et al., 2009).

Κάποιες νέες τεχνολογίες, όπως οι περιστροφικοί κλίβανοι που τροφοδοτούνται με οξυγόνο, έχουν δείξει ότι το 80% του αλουμινίου μπορεί να ανακυκλωθεί μέσω δευτερογενούς παραγωγής απαιτώντας μόνο το 5% της ενέργειας και εκπέμποντας μόνο το 5% των αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με την πρωτογενή παραγωγή. Κάποιες άλλες τεχνολογίες ανάκτησης στη βιομηχανία αλουμινίου είναι η Alcan η οποία δοκιμάστηκε στο καναδικό κέντρο έρευνας Hydro-Quebec, η Drosargraphitearc η οποία αναπτύχθηκε από την ίδια εταιρία που χρησιμοποιεί άμεσο τόξο ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ 2 ηλεκτροδίων γραφίτη για θέρμανση, η διαδικασία Alurec που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση και η διαδικασία Ecocent η οποία εκμεταλλεύεται τη φυγοκέντρωση θερμής σκωρίας (Mahinroosta and Allahverdi, 2018).

### 3.1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ ΑΠΟ ΒΩΞΙΤΗ

Η διαδικασία παραγωγής αλουμίνας από βωξίτη προτάθηκε από τον K.J.Bayer. Στη διαδικασία αυτή, ο βωξίτης μαζί με το υδροξείδιο του νατρίου θερμαίνονται σε υψηλή πίεση (περίπου 30atm) και θερμοκρασίες μεταξύ 373K και 593K που καταλήγουν σε διάλυμα αργλικού νατρίου σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:  $Al_2O_3 \cdot xH_2O + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + (x+1)H_2O$  (2)

Ταυτόχρονα, τα οξείδια του σιδήρου, το διοξείδιο του τιτανίου και το πυριτικό οξύ απομακρύνονται από το τετηγμένο υγρό και σχηματίζουν κόκκινη λάσπη. Στο επόμενο βήμα, το αλουμινικό άλας υδρολύεται και στη συνέχεια κατακρημνίζεται με τη μορφή υδροξειδίου του αλουμινίου. Το υδροξείδιο του αλουμινίου-Al μετατρέπεται τελικά σε αλουμίνα μέσω της φρύξης σε υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 1273K). Μετά την παράδοση της αλουμίνας στη βιομηχανία αλουμινίου, η αλουμίνα μετατρέπεται σε μεταλλικό αλουμίνιο μέσω ηλεκτρολυτικής διαδικασίας (Gil, 2005)



### 3.1.4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ

Το μεταλλικό αλουμίνιο μπορεί να διαλυτοποιηθεί τόσο στα όξινα όσο και στα βασικά διαλύματα καθώς και να παράγει σύμπλοκα αλουμινίου. Η ανάκτησή του από τις υδρομεταλλουργικές διεργασίες δεν είναι εύκολη μέθοδος καθώς σε πολλές περιπτώσεις το αλουμίνιο ανακτάται ως οξείδιο του αργιλίου ή αλουμίνα (**Karuppuswamy et al., 2016**). Εμπορικά για την παραγωγή ενός τόνου αλουμίνας, χρειάζονται δύο τόνοι βωξίτη.

Η αλουμίνα μπορεί να υπάρχει σε πολλές κρυσταλλικές φάσεις αλλά μόνο σε δύο από αυτές είναι εμπορικά διαθέσιμη στην αγορά. Μεταξύ των κρυσταλλικών φάσεων, η  $\alpha'$  αλουμίνα είναι μια σταθερή θερμοδυναμική κρυσταλλική φάση. Είναι χημικά και θερμικά σταθερή, και παρουσιάζει εξαιρετική μονωτική ιδιότητα. Έχοντας σκληρότητα 9 στην κλίμακα Mohs, αυτό το ανόργανο οξείδιο είναι κατάλληλο για εφαρμογές πυρίμαχων, δομικών, ηλεκτρικών και τριβής (**Lopez Delgado et al., 2009 ; Tsakiridis et al., 2013**).

Η άλλη εμπορική μορφή αλουμίνας είναι η  $\gamma'$  φάση αλουμίνας που χρησιμοποιείται κυρίως ως καταλύτης και σε εφαρμογές φιλτραρίσματος. Η  $\gamma'$  αλουμίνα είναι ένα μετασταθές υλικό το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε διαφορετικές φάσεις αλουμίνας με θερμική επέμβαση σε υψηλές θερμοκρασίες (**Lopez Delgado et al., 2009**).

Μέσω αυξανόμενης ζήτησης για πολύτιμα υλικά, περιβαλλοντικούς κανονισμούς και την ανάπτυξη μιας κουλτούρας ανάκαμψης στην παγκόσμια οικονομία, πολλοί ερευνητές προσπαθούν να βρουν τρόπους να χρησιμοποιήσουν τα απόβλητα τα οποία είναι πλούσια σε αλουμίνα. Έχουν αναπτύξει ποικίλες διεργασίες όπως η έκπλυση με όξινη βάση (**Huiquan et al., 2014**), η μέθοδος άσβεστου (**Wahab et al., 2014**) και η μέθοδος θρυμματισμού άσβεστου (**Pedersen et al., 1927**) για την εξαγωγή αλουμίνας από στερεά απόβλητα. Η ανάκτηση αυτών των αποβλήτων σε πολύτιμα προϊόντα αποτελεί μια σημαντική απόφαση τόσο για τις βιομηχανίες όσο και για το περιβάλλον (**Lopez Delgado et al., 2009**).

Συνολικά, υπάρχουν δύο πιθανές προσεγγίσεις για τη διαχείριση δευτερογενούς σκωρίας: πυρομεταλλουργικές και υδρομεταλλουργικές διεργασίες. Οι πυρομεταλλουργικές αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της υψηλής κατανάλωσης

ενέργειας ενώ απαιτούν σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Οι υδρομεταλλουργικές διεργασίες εξακολουθούν να αποτελούν ελπιδοφόρο μονοπάτι για το μέλλον και έναν ενδιαφέροντα τρόπο για την ανάκτηση και την επανεπεξεργασία δευτερογενούς σκωρίας. Αυτές οι μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί ως εναλλακτικές σε χώρες που έχουν έλλειψη πόρων βωξίτη.

Η διεργασία Bayer λειτουργεί επιλεκτικά για το αλουμίνιο, έτσι ώστε ο σίδηρος να είναι σχεδόν αδιάλυτος σε αλκαλικά διαλύματα αλλά όταν τα αργιλοπυριτικά υποστούν επεξεργασία, το πυρίτιο να εξαλειφθεί. Από την άλλη μεριά, όταν το αλουμίνιο εισέρχεται στη φάση  $Al^{3+}$ , το πυρίτιο παραμένει αδιάλυτο στο οξύ, αλλά η επεξεργασία απόπλυσης δεν λειτουργεί επιλεκτικά για το αλουμίνιο, έτσι ώστε το τιτάνιο, το κάλιο, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το ασβέστιο και το νάτριο να είναι επίσης διαλυμένα. Η υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο και η χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο δείχνουν σαφώς ότι μια όξινη διαδρομή μπορεί να είναι τεχνικά ένας πιο κατάλληλος τρόπος (Sarker et al., 2015) .

Ένα σημαντικό ζήτημα πριν από οποιαδήποτε υδρομεταλλουργική διεργασία είναι η απομάκρυνση διαλυτών αλάτων από την σκωρία. Η σκωρία αλουμινίου περιέχει περίπου 8% κατά βάρος άλατα χλωριούχου νατρίου και χλωριούχου καλίου. Κατά τη διάρκεια της έκπλυσης τα άλατα αυτά μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα των αντιδράσεων διάλυσης. Μπορεί να ληφθεί σχετικά σημαντική αλλαγή στη συμπεριφορά της διάλυσης εάν τα άλατα ξεπλυθούν. (Das et al., 2007 ; Dash et al., 2008, Teodorescu et al., 2013). Εάν η σκωρία δεν εκπλυθεί αρχικά, τα άλατα ενσωματώνονται στη φάση του διαλύματος και μολύνουν το τελικό οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνα). Η επίδραση του χρόνου πλύσης από 1 έως 24 ώρες έχει δείξει ότι οι σκόνες πλύσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για μια ώρα θα αφαιρέσει το 65% του αλατιού που υπήρχε στη σκωρία. Αν η σκωρία εκπλυθεί και πάλι με φρέσκο νερό για 1 ώρα, η ανάκτηση του αλατιού θα βελτιωθεί 5-7%. Προκειμένου να βελτιωθεί η ανάκτηση άλατος, η σκωρία πρέπει να πλυθεί σε θερμοκρασία περίπου 80 βαθμούς κελσίου για 1 ώρα. Απομάκρυνση άλατος περίπου 100% θα συμβεί σε δύο στάδια πλύσης στους 80 βαθμούς κελσίου. Το προκύπτον διάλυμα εξατμίζεται για να επιτευχθούν κρύσταλλοι NaCl και KCl (Das et al., 2007) (Mahinroosta and Allahverdi, 2018).

### 3.1.5 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Η ανάκτηση του μετάλλου αλουμινίου είναι τόσο σημαντική, ώστε η ανάκτηση 1 kg κουτιού αλουμινίου έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση περίπου 4 kg βωξίτη, 2 kg χημικών ουσιών και 7,5 κιλοβατώρες (kWh) ηλεκτρικής ενέργειας (**Azom, 2002, Hu and Bakker, 2015, Shinzato and Hypolito, 2005**). Στις περισσότερες εφαρμογές τα ανακυκλώσιμα υλικά αλουμινίου λειτουργούν όπως τα πρωτογενή υλικά και παρέχουν σημαντική εξοικονόμηση στην παραγωγή και το κόστος ενέργειας (**Seng et al., 2006**). Στην πρωτογενή παραγωγή Al, αρχικά εξάγεται αλουμίνα από βωξίτη μέσω της διαδικασίας Bayer. Στη συνέχεια, το στοιχειακό αλουμίνιο παράγεται από την ηλεκτροχημική διαδικασία HallHeroult. (**Shinzato and Hypolito, 2005**). Ανάλογα με την τιμή αγοράς αλουμινίου και το κόστος μεταφοράς, η μαύρη σκωρία αλουμινίου που έχει παραχθεί μπορεί να υποστεί επεξεργασία για να ανακυκλώσει σχεδόν το 20% του παραμένουτος μετάλλου με περιστρεφόμενες καμίνους ή με μύλους. Όταν η ανάκτηση σκωρίας αλουμινίου δεν είναι οικονομικά δικαιολογημένη, απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής (**Tsakiridis et al., 2013**).

Για τον σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι: εξάπλωση ζεστής σκωρίας για να επιταχυνθεί η διαδικασία ψύξης, χρησιμοποιώντας ένα ουδέτερο αέριο (άζωτο ή αργό) για την αποτροπή οξείδωσης, αναδεύοντας ή συμπιέζοντας τη σκωρία κατά τη διάρκεια της ψύξης για να διαχωριστεί το μεταλλικό αλουμίνιο (**Zahorka, 1986**). Η πλέον αποτελεσματική μέθοδος ψύξης είναι η χρησιμοποίηση ενός περιστροφικού σωλήνα που ψύχεται με νερό (**Fragner, 1987 ; Davies, 1989**) και η οποία διατηρεί την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο έως 50-60%. Ο διαχωρισμός του μετάλλου αλουμινίου από άλατα και οξείδια συνθέτει το δεύτερο ουσιαστικό βήμα στην διαδικασία ανάκτησης. Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την άλεση της σκωρίας για να μειωθεί το μέγεθος των οξειδίων και να διαχωριστούν από το μεταλλικό αλουμίνιο με διαλογή. Ευτυχώς, η στοίβα του κέικ αλατιού είναι εύθραυστη και μπορεί εύκολα να συνθλιβεί και συνεπώς το μεταλλικό αλουμίνιο να ανακτηθεί μέσω διαλογής (**Bruckard and Woodcock, 2009**). Το κόστος μιας τέτοιας ενέργειας είναι 5 έως 60 δολάρια ανά τόνο (**Seng et al., 2006**).

Μέθοδοι εκχύλισης που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση μετάλλου αλουμινίου περιλαμβάνουν διαλογή, επίπλευση και ηλεκτροστατικό διαχωρισμό (**Bruckard and**

**Woodcock, 2009**). Με αυτόν τον τρόπο, το μέταλλο αλουμινίου διαχωρίζεται ως πιο ανδρομερές τμήμα. Το αδρόκοκκο τμήμα περιέχει 70-80% μέταλλο αλουμινίου, το οποίο συνήθως τήκεται σε φούρνο χύτευσης για την παραγωγή πλινθωμάτων. Το λεπτομερέςκλάσμα περιέχει 80% μεταλλικά οξείδια τα οποία διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Οι **Dan and Bennet (1993)** πρότειναν μια διαδικασία για την ανάκτηση του αλουμινίου, νατρίου και χλωριούχου καλίου από τη δευτερογενή σκωρία αργίλου. Η διαδικασία που προτείνεται από τους Dan και Bennet συνεπάγεται τη μείωση του μεγέθους του σωματιδίου σκωρίας χρησιμοποιώντας ένα σφαιρικό μύλο, το οποίο τήκεται σε έναν περιστροφικό κλίβανο φορτωμένο με ροή άλατος για να διαλύσει το οξείδιο αλουμινίου και να ανακτήσει το μέταλλο αλουμινίου. Η έκπλυση με νερό, το φιλτράρισμα, η εξάτμιση και η ξήρανση αποτελούν επίσης μεθόδους για την ανάκτηση των αλάτων. Χειρωνακτικός διαχωρισμός και διαχωρισμός βάσει πυκνότητας όπως υδραυλικοί ταξινομητές είναι κάποιες άλλες μέθοδοι (**Barton, 1979**). Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι είναι λιγότερο πρακτικές εξαιτίας του υψηλού κόστους εργασίας. (**Mahinroosta and Allahverdi, 2018**)

### 3.2 ΣΙΔΗΡΟΣ (Fe) – TITANIO (Ti)

#### *ΣΙΔΗΡΟΣ (Fe)*

Ο σίδηρος είναι μια εύθραυστη, σκληρή ουσία, ταξινομημένη ως μέταλλο στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων. Είναι το πιο άφθονο από όλα τα μέταλλα, ενώ η καθαρή του μορφή διαβρώνεται από την έκθεσή του σε υγρό αέρα και υψηλές θερμοκρασίες. Αποτελεί επίσης το 4<sup>ο</sup> πιο κοινό στοιχείο του φλοιού της γης ενώ μεγάλο μέρος του πλανήτη μας θεωρείται ότι αποτελείται από σίδηρο. Το μεγαλύτερο μέρος του χρησιμοποιείται για την κατασκευή χάλυβα, ένα κράμα σιδήρου και άνθρακα. Ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο οποίος περιέχει τουλάχιστον 10,5% χρώμιο, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός στη διάβρωση. Η προσθήκη άλλων στοιχείων μπορεί να παράσχει χάλυβα με άλλες χρήσιμες ιδιότητες. Για παράδειγμα, το νικέλιο το καθιστά πιο ανθεκτικό στη θερμότητα και τα οξέα, ενώ το βολφράμιο βοηθάει στη διατήρηση της σκληρότητας σε υψηλές θερμοκρασίες



**Εικόνα 7: Μαγνητίτης-ορυκτό του σιδήρου ( $Fe_3O_4$ )**([www.geology.com](http://www.geology.com), 5/12/19)

Η Κίνα κατέχει την πρώτη θέση όσον αφορά την παραγωγή ακατέργαστου χάλυβα, σε ολόκληρο τον κόσμο από το 1996, με ετήσια παραγωγή ακόμη και μεγαλύτερη από 800 εκατομμύρια τόνους τα τελευταία χρόνια. Αυτό σημαίνει τεράστια κατανάλωση χάλυβα ενώ καθίσταται αδύνατο για τα εγχώρια χαλυβουργεία να παράγουν 100% υψηλής ποιότητας σιδηρομεταλλεύματα με υψηλότερη περιεκτικότητα σε σίδηρο για την παραγωγή χάλυβα. Στην πραγματικότητα περισσότερα φτωχά μεταλλεύματα σιδήρου και ανακυκλωμένα υλικά αποβλήτων σιδήρου (RIM-recycled iron materials) με υψηλή περιεκτικότητα επικίνδυνων στοιχείων (μέταλλα αλκαλίων και βαρέα μέταλλα) χρησιμοποιήθηκαν ως ανακυκλωμένες ύλες με σκοπό τη μείωση του κόστους παραγωγής και την επίτευξη του στόχου της κυκλικής οικονομίας. Πράγματι, η ετήσια παραγωγή των RIM αντιπροσώπευε περίπου το 10% της ετήσιας ακαθάριστης παραγωγής χάλυβα, η οποία ανήλθε σε περίπου 80 εκατομμύρια τόνους το 2016.

Ωστόσο, η υψηλή περιεκτικότητα σε επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στις πρώτες ύλες οδήγησε στην αύξηση του περιεχομένου τους σε ενδιάμεσα προϊόντα πυροσυσσωμάτωσης, τετηγμένου σιδήρου και τελικού προϊόντος χάλυβα. Κατά συνέπεια, ήταν δύσκολο να παραχθεί χάλυβας υψηλής ποιότητας (Blaszczak-Boxe Agata, 2017) ([www.livescience.com](http://www.livescience.com), 5/12/19).

### *TITANIO (Ti)*

Το τιτάνιο αποτελεί το 9<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο της γης. Είναι τόσο ισχυρό όσο ο χάλυβας αλλά δεν είναι εξίσου πυκνό. Ως εκ τούτου είναι σημαντικό ως παράγοντας κράματος με πολλά μέταλλα όπως σίδηρο, αλουμίνιο και μολυβδαίνιο. Αυτά τα κράματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αεροσκάφη, διαστημόπλοια και πυραύλους

λόγω της χαμηλής πυκνότητας και της ικανότητάς τους να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Το τιτάνιο έχει επίσης πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση ενώ χρησιμοποιείται και στον ιατρικό εξοπλισμό. Το φυσικώς απαντώμενο οξείδιο του τιτανίου είναι το  $TiO_2$  (διοξείδιο του τιτανίου), το οποίο με τη σειρά του χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική, στα καλλυντικά, τις οδοντόκρεμες ενώ πληθαίνουν οι χρήσεις του ως πρόσθετο τροφίμων. Σύμφωνα με τα στοιχεία της USGS, η Κίνα είναι άφθονη και σε πόρους τιτανίου, καθώς διαθέτει περίπου το 24% του συνολικού αποθέματος στον κόσμο. Ο ιλμενίτης αποτελεί την κύρια υπάρχουσα μεταλλική φάση στη συγκεκριμένη χώρα (USGS,2019) (Pappas Stefanie, 2017) ([www.livescience.com](http://www.livescience.com), 5/12/19).



**Εικόνα 8: Ιλμενίτης-ορυκτό οξείδιο του τιτανίου και του σιδήρου ( $FeTiO_3$ )**  
([www.geology.com](http://www.geology.com), 5/12/19)

### **3.2.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΠΡΩΙΜΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ**

Είναι γνωστό σε όλους μας ότι οι φυσικοί πόροι είναι πεπερασμένοι με αποτέλεσμα η βελτιστοποίησή τους να αποτελεί σημαντικό ζήτημα σε ολόκληρο τον κόσμο. Η δευτερογενής ανακύκλωση των πόρων διαδραματίζει όλο και σημαντικότερο ρόλο σε αυτό το πλαίσιο. Παραδείγματος χάρη, η ανάκτηση μετάλλων όπως καλίου, φωσφόρου

(K,P) από τέφρα βιομάζας, η αποτέφρωση αστικών αποβλήτων καθώς και η ευεργετική επαναχρησιμοποίηση γυαλιού, αδρανών κλπ υπήρξε ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια (**Donatello and Cheeseman, 2013 ; Donatello et al., 2010 ; Novais et al., 2019 ; Vassilev et al., 2013**). Τα απορρίμματα χάλυβα τα οποία γενικά περιέχουν μόλυβδο και βανάδιο και οι ευεργετικές προσπάθειες ανακύκλωσής τους απασχολούν όλο και περισσότερους ερευνητές (**Hobson et al., 2017, Tang et al., 2017**). Όσον αφορά τα πρώιμα απορρίμματα έχουν τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθούν αποδοτικά με την ταυτόχρονη εξέλιξη της τεχνολογίας (**Bryan et al., 2006 ; Lottermoser, 2011**). Όλες αυτές οι πρακτικές έχουν τον εξής σκοπό: την αύξηση της χρήσης των πόρων αλλά και τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Η συνολική ανάκτηση σιδήρου και τιτανίου αποτελεί μια συστηματική προσπάθεια στον βιομηχανικό τομέα. Η ανάκτηση σιδήρου επιτυγχάνεται μέσω του μαγνητικού διαχωρισμού, ενώ η ανάκτηση του τιτανίου στηρίζεται στο συνδυασμό μαγνητικού διαχωρισμού, προ-συγκέντρωσης και επίπλευσης. Ειδικότερα για ανάκτηση του τιτανίου έχουν μελετηθεί και άλλες μέθοδοι όπως ο υπερηχητικός καθαρισμός ώστε να μειωθεί η επίδραση της σοβαρής επιφανειακής ρύπανσης των πρώιμων απορριμμάτων (**Zhai et al., 2019**).

### 3.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΚΑΙ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για την ανάκτηση σιδήρου διεξάγεται κυρίως μαγνητικός διαχωρισμός χρησιμοποιώντας το μαγνητικό διαχωριστή ηλεκτρομαγνητικού κυλίνδρου RK/CRS ο οποίος κατασκευάστηκε στο ινστιτούτο έρευνας μεταλλευτικής και μεταλλουργίας LTD στην κινεζική πόλη Τσανγκσά (**Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy CO, LTD**). Αρχικά ο ασθενής μαγνητικός διαχωρισμός διεξάγεται για να ληφθούν σχετικά υψηλά μαγνητικά ορυκτά που περιέχουν σίδηρο, ενώ τα υπολείμματα να αποτελούν την πρώτη ύλη για την ανάκτηση του τιτανίου. Έπειτα, διεξάγονται πειράματα άλεσης ακολουθούμενα από την λειτουργία αφαίρεσης ασθενή μαγνητικού διαχωρισμού. Στο τρίτο βήμα, διεξάγεται αδύναμος μαγνητικός διαχωρισμός δύο σταδίων για να αποκτηθεί το τελικό κατάλληλο συμπύκνωμα σιδήρου.



Λόγω του χαμηλού επιπέδου ιλμενίτη (ο οποίος ονομάζεται και υπόλειμμα προ-συγκέντρωσης σιδήρου), η πρώτη ύλη δεν είναι κατάλληλη για την άμεση επεξεργασία επίπλευσης. Επομένως, διεξάγεται και πάλι μαγνητικός διαχωρισμός σε δύο βαθμίδες με μεγάλη κλίση στην προ-συγκέντρωση του ιλμενίτη. Όσον αφορά την επωφελή χρήση του ιλμενίτη, η αποθείωση αποτελεί μια απαιτούμενη διαδικασία για την ανταπόκριση απαιτήσεων της αγοράς περιεκτικότητας σε θείο στο συμπύκνωμα ιλμενίτη.

Ένα άλλο πράγμα που θα πρέπει να τονιστεί, είναι η μέθοδος προ-συγκέντρωσης οξειδίου του τιτανίου ( $TiO_2$ ) καθώς στην παρούσα διαδικασία υπάρχουν 2 δείγματα για την επίπλευση με ιλμενίτη, δηλαδή τα ακατέργαστα/μη επεξεργασμένα και με υπερηχητικό καθαρισμό δείγματα. Ο σκοπός των δειγμάτων αυτών είναι η βελτίωση της ικανότητας επίπλευσης του ιλμενίτη που περιέχει πρώτη ύλη λόγω της σοβαρής ρύπανσης της επιφάνειας των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, η οποία έχει αυξανόμενη επίδραση στην ικανότητα επίπλευσης του ιλμενίτη. Μετά τον πρώτο μαγνητικό διαχωρισμό με μεγάλη κλίση, πριν τη δεύτερη βαθμίδα μαγνητικού διαχωρισμού, γίνεται ανάλυση για τα προϊόντα συμπυκνώματος ενός διαχωριστή υψηλής έντασης και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τα 100 δείγματα, ο βαθμός απελευθέρωσης είναι κάτω από 80%.

Σύμφωνα με ορυκτολογικές μελέτες απορριμμάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Κίνα, έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο τιτανιομαγνητίτης και ο ιλμενίτης αποτελούν τις κύριες υπάρχουσες μορφές σιδήρου και τιτανίου που μπορούν να ανακυκλωθούν. Τέλος η συνολική ανάκτηση τιτανίου και σιδήρου καθώς και οι πόροι που μπορούν να ληφθούν από τα απορρίμματα μπορούν να έχουν τεράστια οικονομικά οφέλη, καθώς και άλλα συναφή πλεονεκτήματα όπως η μείωση απαίτησης γης, μείωση περιβαλλοντικών κινδύνων για απόθεση, μείωση απώλειας πολύτιμων πόρων αλλά και ευερετική αειφόρο ανάπτυξη (Zhai et al., 2019).



### 3.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

#### 3.3.1 ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΑΠΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Η παραγωγή και η χρήση μετάλλων μέσω της ανακύκλωσης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της κοινωνίας και στη δημιουργία της μελλοντικής οικονομίας. Πρακτικά, όλες οι τεχνολογίες λειτουργούν με ηλεκτρισμό και επομένως το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση για αποδοτικούς και ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική είναι οι «πράσινες» πηγές οι οποίες έχουν περιορισμένη εφαρμογή τη σημερινή εποχή. Για συνεχή χρήση, η αποθήκευση ενέργειας είναι απαραίτητη. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν οι μπαταρίες οι οποίες είναι συσκευές ηλεκτροχημικής αποθήκευσης που μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί όποτε και όπου χρειάζεται (Meshram et al., 2019).

Η τεχνολογία μπαταριών είναι εξαιρετικά σημαντική σήμερα. Η κατανάλωση μπαταριών κατά τα προσεχή έτη αναμένεται να αυξηθεί με την κατανάλωση ηλεκτρονικών συσκευών (Chagnes and Pospiech, 2013). Η ανακύκλωση αυτών των μπαταριών μετά τη χρήση είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την τήρηση των αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών και την διατήρηση των πόρων. Εάν είναι επιτυχής, η ανακύκλωση μπορεί να αντιμετωπίσει τις δυσμενείς συνέπειες εξόρυξης μεταλλευμάτων σε παρθένα μέταλλα, τη μεταφορά πρώτων υλών, την κατανάλωση ενέργειας κλπ. Επιπλέον μπορεί να εξισορροπήσει τη δυναμική των εξελισσόμενων δαπανών και να εξασφαλίσει σταθερή παροχή πρώτων υλών. Όταν τα μέταλλα των μπαταριών και οι ενώσεις τους έχουν συμβατικές θερμοδυναμικές και φυσικές ιδιότητες, η τεχνολογία επεξεργασίας που χρησιμοποιείται είναι πιθανό να επιτύχει τον οικονομικό διαχωρισμό τους. Εάν όχι, τα μεικτά κράματα, οι ιλύες και οι σκωρίες που παράγονται καθίστανται απόβλητα που περιέχουν πόρους που προστίθεται περαιτέρω στο κόστος αποθήκευσης. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την εξασφάλιση των προμηθειών των μετάλλων και των ενώσεων που χρησιμοποιούνται

στις ηλεκτρικές στήλες συμπεριλαμβανομένων των σπάνιων γαιών ή λανθανίδων(πχ λανθάνιο), του νικελίου, του κοβαλτίου, του μαγγανίου, του μολύβδου (εικόνα 9), του λιθίου και των ενώσεών τους. Απαιτούνται διαδικασίες που μπορούν να ανακτήσουν όλα τα ανακυκλώσιμα για να επεκτείνουν την προσφορά υλικών και να περιορίσουν τις τιμές, να επεξεργαστούν όλες τις πιθανές χημικές ουσίες και να ελαχιστοποιήσουν τις ενεργειακές και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις(Turekian and Wedepohl, 1961) (Meshram et al., 2019).



Εικόνα 9: Μπαταρίες μολύβδου-οξέος ([www.batteryuniversity.com](http://www.batteryuniversity.com), 7/12/2019).

### 3.3.2 ΚΥΡΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

#### *ΝΙΚΕΛΙΟ (Ni)*

Το νικέλιο είναι το 16<sup>ο</sup> πιο άφθονο μέταλλο της γης και η μέση κατά βάρος περιεκτικότητα στο φλοιό είναι περίπου 0,008% (Smith and Huyck, 1999). Το νικέλιο υφίσταται υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης, επομένως κράματα που περιέχουν νικέλιο είναι απαραίτητα σε τέτοιες εφαρμογές (στροβίλους,

αεριοθούμενες μηχανές). Τα κράματα νικελίου είναι ανθεκτικά στη διάβρωση, διευκολύνουν τις χημικές αντιδράσεις μέσω της κατάλυσης και βρίσκουν εφαρμογές στην κατασκευή συσσωρευτών, την ηλεκτρολυτική επικάλυψη, την υδρογόνωση των λιπών και στη χρώση. Το νικέλιο μπορεί να κατασκευαστεί σε επιθυμητές μορφές και σχήματα με διάφορες τεχνικές μεταλλουργίας, χύτευση, έλξη, εξώθηση, σφυρηλάτηση, μηχανική κατεργασία ή κύλιση. Το νικέλιο χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα μέσω του κράματος του σιδηρονικελίου (66%), στην παραγωγή μη σιδηρούχων κραμάτων (12%), ειδικών κραμάτων χάλυβα (5%), στην επιμετάλλωση (7%), στη χύτευση των μετάλλων (3%) και στους συσσωρευτές (2%).



**Εικόνα 10: Νικελίνης-ορυκτό του νικελίου (NiAs)([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr), 7/12/19)**

Οι πόροι νικελίου παγκοσμίως εκτιμώνται σήμερα σε σχεδόν 300 εκατομμύρια τόνους. Η Αυστραλία, η Ινδονησία, η Νότια Αφρική, η Ρωσία και ο Καναδάς αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των παγκοσμίων πόρων νικελίου. Οι πόροι τύπου λιθίουβρίσκονται στην Ινδονησία, τις Φιλιππίνες, τη Βραζιλία, την Κούβα και τη Νέα Ζηλανδία (Nicholas et al., 2015). Η Αυστραλία έχει τους μεγαλύτερους πόρους νικελίου σε κοιτάσματα μεταλλεύματος θειούχων και λατερίτη. (Nicholas et al., 2015) Η παγκόσμια πρωτογενής παραγωγή νικελίου ήταν 1.989 μετρικοί τόνοι το 2014 και μειώθηκαν σε 1.983 το 2015. Η INSG (internationalnickelstudygroup) προβλέπει μείωση της παραγωγής που θα μπορούσε να φτάσει περίπου σε 1.913 μετρικούς τόνους το 2016. Το μεγαλύτερο μέρος του νικελίου πιστεύεται ότι συγκεντρώνεται στον πυρήνα της γης. Οι γεωλογικές μελέτες δείχνουν ότι οι περισσότερες αποθέσεις νικελίου φιλοξενούνται σε υπερβασικά πετρώματα όπως ο περιδοτίτης και ο σερπεντινίτης. Πρόκειται για πυριγενή πετρώματα χαμηλής περιεκτικότητας σε χαλαζία και άστριο αλλά υψηλά σε σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά άλατα. Οι κόνδυλοι μαγγανίου, οι οποίοι απαντώνται στην πυθμένα των ωκεανών, περιέχουν σημαντικές

ποσότητες διαφόρων μετάλλων συμπεριλαμβανομένου και του νικελίου (Meshram et al., 2019).

**Πίνακας 3:** Κοινά ορυκτά που περιέχουν νικέλιο-Grundwell et al., 2011

Mineral	Formula	%Ni content
Native nickel-iron	Ni <sub>3</sub> Fe	54,8
Pentlandite	(Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>	34,21
Bravoite	(Fe,Ni)S <sub>2</sub>	9,71
Violarite	Ni <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub>	38,9
Vaesite	NiS <sub>2</sub>	47,78
Polydymite	Ni <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	57,85
Heazlewoodite	Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	73,30
Siegenite	(Ni,Co) <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	28,9
Gersdorffite	NiAsS	35,42
Niccolite	NiAs	43,93
Chloanthite	(Ni,Co)As <sub>3-5</sub>	16,39
Smaltite	(Co,Fe,Ni)As <sub>2</sub>	15,07
Skutterudite	(Co,Ni)As <sub>3</sub>	5,96
Maucherite	Ni <sub>11</sub> As <sub>8</sub>	51,9
Ullmannite	NiSbS	23,44
Parkerite	Ni <sub>3</sub> Bi <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	29,7
Annabergite	Ni <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> x 8H <sub>2</sub> O	29,4
Morenosite	NiSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	20,9

### ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΠΟΡΟΙ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΝΙΚΕΛΙΟ

Οι διάφοροι τύποι διαθέσιμων δευτερευόντων πόρων νικελίου μπορούν να υποστούν οικονομική επεξεργασία για την ανάκτηση των μετάλλων, πράγμα που θα ελαχιστοποιήσει επίσης τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Το μεγαλύτερο μέρος του ανακυκλωμένου νικελίου έχει τη μορφή θραυσμάτων από ανοξείδωτο χάλυβα ή θραύσματα από κράμα χάλυβα. Άλλοι δευτερεύοντες πόροι είναι οι μπαταρίες, μπρούντζος, καταλύτες, τα χημικά εκχυλίσματα/πλούσια σε μέταλλα διαλύματα, τα νομίσματα και η σκόνη πέπειτα από επεξεργασία. εκτός από τις σκωρίες, τα κέικ φίλτρου και τα ηλεκτρόδια. (Goonan, 2009 ; Agrawal et al., 2009)

Οι χρησιμοποιούμενες μπαταρίες NiMH, NiCd είναι επίσης καλές πηγές νικελίου (**Wu et al., 2009**). Καθώς οι μπαταρίες καταστρέφονται στο έδαφος ιδιαίτερα σε όξινο περιβάλλον, τα βαρέα μέταλλα μπορούν να διέλθουν σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Το νικέλιο χρησιμοποιείται ως υλικό ανόδου και στις δύο συστοιχίες(**Shukla et al., 2001**) με Ni σε μπαταρίες NiCd περίπου 16,4% και Ni σε μπαταρίες NiMH 25-49% (**Scott,2009**). Το χρησιμοποιούμενο ενεργό υλικό Ni είναι στην πραγματικότητα υδροξείδιο οξειδίου του νικελίου(NiOOH) και μετατρέπεται σε διυδροξείδιο (NiOH<sub>2</sub>) κατά τη διάρκεια εκκένωσης της μπαταρίας και αναμορφώνεται κατά τη διάρκεια της επαναφόρτισης. Το κάδμιο, ένα εξαιρετικά τοξικό μέταλλο, μπορεί να αντικατασταθεί με ένα κράμα απορρόφησης υδρογόνου σε μπαταρίες NiMH, το οποίο είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον και αυξάνει την απόδοση τέτοιων μπαταριών (**Beck and Ruetschi, 2000 ; Fetcenko et al., 2007 ; Shukla et al., 2001**). Οι τρέχουσες προσεγγίσεις ανακύκλωσης περιλαμβάνουν το διαχωρισμό των στοιχείων της μπαταρίας ακολουθούμενες από πυρομεταλλουργικές ή υδρομεταλλουργικές τεχνολογίες (**Bernardes et al., 2004 ; Espinosa et al., 2004a, 2004b**). Το πρώτο βήμα διαχωρισμού έχει περισσότερες εφαρμογές αλλά μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος της διαδικασίας. Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες χρησιμοποιούνται βιομηχανικά για την ανάκτηση μετάλλων σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ η υδρομεταλλουργία χρησιμοποιεί οξέα ή βάσεις για έκπλυση που ακολουθείται από ανάκτηση μετάλλων με διαφορετικές τεχνικές (**Meshram et al., 2019**).

### *ΛΙΘΙΟ (Li)*

Το λίθιο είναι ένα δευτερεύον συστατικό των πυριγενών πετρωμάτων, κυρίως του γρανίτη. Πετρώματα και ορυκτά που περιέχουν λίθιο είναι ο πηγματίτης, ο αμβλυγωνίτης(Li,Na)Al(PO<sub>4</sub>)(F,OH) (**εικόνα 11**) και ο πεταλίτης (LiAlSi<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(Άλλες πηγές είναι ο λεπιδολίτης K(Li,Al)<sub>3</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(F,OH)<sub>2</sub>και ο ευκρυπτίτης-LiAlSiO<sub>4</sub>) (**Ferrell, 1985**). Η θεωρητική περιεκτικότητα λιθίου σε αυτά τα ορυκτά είναι 3-5,53% αλλά οι περισσότερες αποθέσεις ορυκτών έχουν περίπου 0,5-2% Li ενώ τα μεταλλεύματα που φέρουν Li < 1% σε πηγματίτες (**Mohr et al., 2010**). Σχεδόν το 70% των παγκόσμιων κοιτασμάτων λιθίου συγκεντρώνεται σε χώρες της Νότιας Αμερικής όπως Αργεντινή, Βολιβία και Χιλή. Οι συγκεντρώσεις λιθίου σε αυτές τις χώρες είναι της τάξης του 0,04%-0,16%. Οι πόροι του λιθίου υπολογίζονται σε 64 εκατομμύρια

μετρικούς τόνους. (Yaksic and Tilton, 2009) Το θαλάσσιο νερό περιέχει περίπου 0,1-0,2mg/LLi με συνολική ποσότητα 230 δις τόνων μεταλλικού λιθίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι όζοι που περιέχουν λίθιο αποτελούν το 66% των παγκόσμιων πόρων λιθίου, ο πηγματίτης το 26% και τα ιζηματογενή πετρώματα (εβαπορίτες, αλμυρές λύμνες-brines) το υπόλοιπο 8%(Kesler et al., 2012).



Εικόνα 11: Αμβλυγωνίτης-ορυκτό λιθίου ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr), 7/12/19)

#### ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΠΟΡΟΙ ΛΙΘΙΟΥ

Διάφορες χρήσεις λιθίου είναι διασκορπιστικού χαρακτήρα, με υπερβολικά χαμηλή περιεκτικότητα σε μέταλλο στο τελικό προϊόν για να καταστήσει ελκυστική την ανακύκλωση ή για υλικά από τα οποία δεν είναι εφικτή η ανακύκλωση. Μόνο λίθιο σε μπαταρίες και κράματα Al-Li μπορούν να ανακυκλωθούν με τις τρέχουσες τεχνολογίες. Η χρήση λιθίου στην αεροναυπηγική θα μπορούσε να επιφέρει σημαντική πρόοδο τα επόμενα χρόνια, επηρεάζοντας τις συνολικές απαιτήσεις για λίθιο. Σύμφωνα με έναν παραγωγό αυτού του κράματος (Constellium Airware) είναι 100% ανακυκλώσιμο.

Η αυξανόμενη αγορά μπαταριών ιόντων λιθίου (LIBs) εγείρει ανησυχίες σχετικά με την αειφόρο διαχείριση αυτών των συσσωρευτών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Οι τρέχουσες τιμές ανακύκλωσης των LIB επικεντρώνονται κυρίως στα υλικά καθόδου, το κοβάλτιο και το νικέλιο, αλλά σε μεγάλο βαθμό παραμελούν το μαγγάνιο και το λίθιο, ακόμα και όταν υπάρχουν εξελιγμένα συστήματα ανακύκλωσης (Dewulf et al., 2010). Γενικά το λιθιο δεν θεωρείται για ανακύκλωση, επειδή είναι αρκετά φθηνό για να απορρίψει τις παλιές μπαταρίες και να εξορύξει το παρθένο υλικό (Meshram et al., 2019).



## ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb)

Ο μόλυβδος εμφανίζεται σπάνια ως φυσικό μέταλλο στη φύση. Η μέση περιεκτικότητα στο γήινο φλοιό είναι περίπου 15ppm, η οποία ισοδυναμεί σε μισή ουγγιά μολύβδου ανά τόνο πετρώματος. Το περιεχόμενο μολύβδου των κοινών τύπων πετρωμάτων που συνθέτουν το φλοιό της γης κυμαίνονται από περίπου 30ppm για τα γρανιτικά πετρώματα, το ρυόλιθο και το μαύρο σχιστόλιθο σε περίπου 1ppm για τους εβαπορίτες, το βασάλτη και τα πυριγενή πετρώματα όπως ο δουνίτης, τα οποία είναι πλούσια σε μαγνήσιο και σίδηρο και φτωχά σε οξείδιο του πυριτίου. Το κύριο ορυκτό μέταλλευμα είναι ο γαληνίτης (εικόνα 12), ο οποίος περιέχει μικρές ποσότητες αργύρου. Ο γαληνίτης οξειδώνεται σε διάφορα δευτερογενή ορυκτά του μολύβδου, κυρίως κερουσίτη ( $PbCO_3$ ), αγγλεσίτη ( $PbSO_4$ ) και πυρομορφίτη ( $Pb_5(PO_4)_3Cl$ ). Τα μόρια μολύβδου και ψευδαργύρου εμφανίζονται γενικά μαζί. Το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής αντιμονίου, βισμούθιου και αρσενικού είναι ως παραπροϊόν από μόλυβδο και ψευδάργυρο. Επιπλέον, υπάρχει και μια μικρή ποσότητα μολύβδου σε όλα τα είδη ορυχείων ουρανίου και θορίου.



Εικόνα 12: Γαληνίτης-ορυκτό του μολύβδου (PbS) ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr), 7/12/19)

### ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΟΞΕΟΣ

Η παραγωγή μολύβδου απαιτεί περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας που χρειάζεται για να εξαχθεί από τα μεταλλεύματα. Η ανάκτηση δευτερογενούς ψευδαργύρου και μολύβδου είναι οικονομικά ελκυστικότερη λόγω ορισμένων πλεονεκτημάτων. Εκτός από τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, συνεπάγεται επίσης χαμηλό κόστος κεφαλαίου, λιγότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους και υψηλά επίπεδα ανάκτησης. Αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό με το χαμηλότερο κόστος, σημαίνουν ότι η

ανακύκλωση είναι μια πολύ ελκυστική επιλογή για τους χρήστες προϊόντων που περιέχουν μόλυβδο και αποτελεί πολύτιμη συμβολή στη βιωσιμότητα. Η εκτεταμένη δευτερογενής επεξεργασία αποτελεί χαρακτηριστικό της βιομηχανίας μολύβδου.

Οι βασικές δευτερεύουσες πηγές μολύβδου είναι οι απορριπτόμενες μπαταρίες μολύβδου-οξέος, ο σωλήνας μολύβδου, το γυαλί μολύβδου σε οθόνες υγρών κρυστάλλων LCD, τα καλώδια και τα ελάσματα (Zhang et al., 2016). Στην ΕΕ το 2000, η μέγιστη ποσότητα ενώσεων μολύβδου χρησιμοποιήθηκε για τις ηλεκτρικές στήλες (61%). Άλλες πολύ σημαντικές χρήσεις ήταν: ενώσεις μολύβδου σε χρωστικές-σταθεροποιητές (12%), προϊόντα εξώθησης (14%), πυρομαχικά (3%), κράματα (2%) και για άλλους σκοπούς (5%) (Larsen et al., 2014).

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για ανακύκλωση. Γενικά, οι αναλωθείσες/απορριπτόμενες μπαταρίες μολύβδου-οξέος αποτελούν την κυρίαρχη πηγή δευτερογενούς μολύβδου, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 85% της συνολικής ποσότητας δευτερογενούς μολύβδου (Zhang et al., 2016). Μια μπαταρία μολύβδου-οξέος (LAB) είναι επαναφορτιζόμενη, έχει χαμηλή συντήρηση και είναι κατάλληλη για πολλούς σκοπούς (Δηλαδή τροφοδοτικό για ηλεκτροκίνητα ή ηλεκτρικά ποδήλατα και άλλα οχήματα). Επιπλέον, η ζήτησή τους έχει αυξηθεί ταχύτατα λόγω του χαμηλού κόστους και της υψηλής διαθεσιμότητάς τους (Ferracin et al., 2002). Με τα πλεονεκτήματα της χαμηλής τιμής, υψηλής τάσης μονάδας, σταθερής απόδοσης και ευρείας κλίμακας θερμοκρασιών λειτουργίας, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται σε αγροτικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στα συστήματα ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό για την ελαχιστοποίηση της σχετικής περιβαλλοντικής ρύπανσης. Ωστόσο, ο μόλυβδος είναι ένα πολύ τοξικό μέταλλο και όταν η μπαταρία δεν είναι χρήσιμη, είναι εξαιρετικά σημαντικό να πραγματοποιηθεί η σωστή συλλογή και ανακύκλωση. Η ανακύκλωση μειώνει επίσης τη διασπορά του μολύβδου στο περιβάλλον και διατηρεί τους ορυκτούς πόρους για το μέλλον όταν αξιοποιείται κατάλληλα.

Οι πρώτες ύλες (ενώσεις μολύβδου) των υφιστάμενων πυρομεταλλουργικών διαδικασιών Pb λαμβάνονται κυρίως με εκχύλιση από μεταλλεύματα φυσικού οξειδίου του μολύβδου και οξείδωση πριν από τη φρύξη του οξειδίου του μολύβδου (PbO). Δεδομένου ότι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως σε



οχήματα εδώ και δεκαετίες, οι πρώτες ύλες επιτυγχάνονται κυρίως με την ανάκτηση από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος μέσω της διαδικασίας αποθείωσης του θειικού μολύβδου ( $PbSO_4$ ), της οξειδοαναγωγής  $Pb$  και του διοξειδίου του μολύβδου ( $PbO_2$ ). Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες χρησιμοποιούν οπτάνθρακα ή μονοξείδιο του άνθρακα σε υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 1000 βαθμοί Κελσίου) για να αποκτήσουν τον ακατέργαστο  $Pb$  με την απελευθέρωση αερίου διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ). Ο ατμός/σκόνη του μολύβδου παράγεται επίσης λόγω χαμηλού σημείου τήξης του και διαφεύγει μαζί με τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα γνωστά ως ρύπανση από  $Pb$ . Κατόπιν λαμβάνεται  $Pb$  υψηλής καθαρότητας (99,99%) με επαναφορά ακατέργαστου  $Pb$  με ηλεκτρολυτική επαναφορά. Η όλη διαδικασία έχει απόδοση 95-97% (Pan et al., 2013). Γενικά στις LAB, η θετική πλάκα αποτελείται από διοξείδιο του μολύβδου ( $PbO_2$ ) ενώ η αρνητική από μολύβδο ( $Pb$ ). Στην εκφορτισμένη κατάσταση, τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές πλάκες μετατρέπονται σε θειικό μολύβδο ( $PbSO_4$ ). Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα αραιό διάλυμα  $H_2SO_4$ . Έτσι, ο μολύβδος, το διοξείδιο του μολύβδου και ο θειικός μολύβδος είναι τα κύρια συστατικά των αποβλήτων των μπαταριών (Liet al., 2016) (Meshram et al., 2019).

#### *ΚΟΒΑΛΤΙΟ(Co)*

Το κοβάλτιο είναι το 33<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο και χρησιμοποιείται κυρίως στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, σε εργαλεία με διαμάντια, κράματα υψηλής αντοχής που είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και τη φθορά, σε χάλυβες υψηλής ταχύτητας, καταλύτες πετρελαίου αλλά και στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Επίσης χρησιμοποιείται ως ραδιενεργός ιχνηθέτης για την παραγωγή ακτίνων  $\Gamma$  υψηλής έντασης. Το κοβάλτιο, που αποτελεί μέρος της βιταμίνης B12, είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας.



**Εικόνα 13: Κοβαλτίτης-ορουκτό του κοβαλτίου ( $CoAsS$ )([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr), 7/12/19)**

Οι αναγνωρισμένοι πόροι κοβαλτίου της γης υπερβαίνουν τα 10 εκατομμύρια τόνους με πρόσθετο 600 τόνους κοβαλτίου που πιστεύεται ότι περιέχεται στον φλοιό των ωκεανών, ενώ τα αποθέματα υπολογίζονται σε 7,1 εκατομμύρια τόνους ως μέταλλο. Τα κύρια αποθέματα κοβαλτίου βρίσκονται στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και αντιπροσωπεύουν το 47% του συνόλου του κόσμου. Εκτός αυτού μεγάλα κοιτάσματα βρίσκονται στην Αυστραλία, την Κούβα, τη Ζάμπια, τον Καναδά, τη Ρωσία και τη Νέα Καληδονία ως λατερίτες νικελίου και ξεκινούν ως θειούχα άλατα Ni-Cu που φιλοξενούνται σε μαύρα και μαλακά πετρώματα στην Αυστραλία, τον Καναδά και τη Ρωσία (Meshram et al., 2019).

**Πίνακας 4:** Κοινά ορυκτά που περιέχουν κοβάλτιο-Grundwell et al., 2011

Mineral	Formula	%Co content
Erythrite	$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$	29,53
Skutterudite	$(\text{Co},\text{Ni})\text{As}_3$	17,95
Cobaltite	$\text{CoAsS}$	35,52
Linnaeite	$\text{CoCo}_2\text{S}_4$	57,95
Carrolite	$\text{Cu}(\text{Co},\text{Ni})_2\text{S}_4$	28,56
Asbolite(Asbolane)	$(\text{Ni},\text{Co})_2\text{-}$ $\text{xMn}^{4+}(\text{O},\text{OH})_4 \text{ nH}_2\text{O}$	3,30

#### ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΠΟΡΟΙ ΚΟΒΑΛΤΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ

Το κοβάλτιο μπορεί να ανακτηθεί από μια ποικιλία απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των κραμάτων, των εξαντλημένων μπαταριών λιθίου (Li) και νικελίου (Ni), των Scrap, των καταλυτών που χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες παραγωγής πετρελαίου, καθώς και άλλων υλικών που φέρουν κοβάλτιο. Αυτά τα απορρίμματα επεξεργάζονται γενικά με έκπλυση, εκχύλιση διαλύτη, καθίζηση ανθρακικού κοβαλτίου και ξήρανση ανθρακικού άλατος ή φρύξη αυτού προς οξείδιο (Meshram et al., 2019).

Τα απορρίμματα παλαιών μπαταριών τεμαχίζονται, κοσκινίζονται και στη συνέχεια διαχωρίζονται μαγνητικά πριν από την επεξεργασία για να ανακτήσουν τα προϊόντα σε επιθυμητές μορφές. Ένα ευρύ φάσμα αποβλήτων νικελίου, χρωμίου και σιδήρου, συμπεριλαμβανομένων των χρησιμοποιούμενων ηλεκτρικών στηλών/καταλυτών και αποβλήτων από ειδικό χάλυβα, υπερκράματα, επιχρίσματα/επιφανειακές βιομηχανίες (σκόνες, φιάλες, λάσπες, διαλύματα), υποβάλλονται σε επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία από τη Διεθνή Εταιρεία Αποκατάστασης Μετάλλων (INMETCO) στις ΗΠΑ. Οι επεξεργασμένες μπαταρίες με κοβάλτιο περιλαμβάνουν τους τύπους LIB, NiCd και NiMH, τα στερεά απόβλητα με <2% Co (Ξηρό βάρος) και τα υγρά απόβλητα με εξαντλημένες μπαταρίες Ni, Cd < 1800 mg/L Co κατεργάζονται σε κλιβάνους Cd για να το διαχωρίσουν από τα μέταλλα Ni, Fe. Τα στερεά απόβλητα αναμειγνύονται με άνθρακα και σφαιροποιούνται χρησιμοποιώντας είτε υγρά απόβλητα είτε νερό. Το τηγμένο μέταλλο χρησιμοποιείται ως κράμα από τη βιομηχανία ανοξείδωτου χάλυβα. Το κράμα είναι κυρίως σίδηρος με 9-19% Cr, 8-16% Ni, περίπου 0,8% Co με ανάκτηση 97% Co (Meshram et al., 2019).

#### *ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn)*

Το μαγγάνιο είναι το 12<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο του φλοιού της γης. Επειδή το μέταλλο του μαγγανίου είναι εύθραυστο, μόνο ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται ως κράμα με το μαγγάνιο σαν κύριο συστατικό. Αντίθετα χρησιμοποιείται κυρίως σε κράματα όπου πρόκειται για ένα δευτερεύον συστατικό, κυρίως στον χάλυβα και σε μικρότερο βαθμό στο αλουμίνιο. Το μαγγάνιο είναι απαραίτητο για την παραγωγή χάλυβα στις ιδιότητες θείωσης, αποξείδωσης και κραματοποίησης του. Οι μεταλλουργικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν την περισσότερη εγχώρια κατανάλωση μαγγανίου, εκ των οποίων το 85%-90% χρησιμοποιείται στην παραγωγή χάλυβα και το 8% στις μπαταρίες ξηρών κυψελών ως ηλεκτρολυτικό διοξείδιο του μαγγανίου (EMD).



**Εικόνα 14: Πυρολουσίτης-ορυκτό του μαγγανίου (MnO<sub>2</sub>)([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr), 7/12/19)**

Σύμφωνα με τα πρόσφατα στοιχεία(USGS, 2018) τα αποθέματα μαγγανίου ανέρχονται σε περίπου 620 εκατομμύρια τόνους ως μέταλλο. Βρίσκεται σε περισσότερα από 100 μέταλλα, όπως διάφορα σουλφίδια, οξειδία, ανθρακικά, πυριτικά, φωσφορικά και βορικά. Τα κύρια ανόργανα άλατα μαγγανίου στη φύση εμφανίζονται ως πυρολουσίτης (**εικόνα 14**), βορουνίτης, ροδοχρωσίτης (MnCO<sub>3</sub>). Επειδή τα μεταλλεύματα μαγγανίου περιέχουν και σίδηρο, το αποτέλεσμα της τήξης είναι σιδηροκράματα σιδήρου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσθήκη μαγγανίου σε υγρό μέταλλο κατά τη διάρκεια παραγωγής χάλυβα. Οι κύριοι σιδηρογονάνθρακες μαγγανίου και τα τυποποιημένα συστατικά τους είναι φερρομαγγάνιο υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (78%Mn, 7%C) και πυριτομαγγάνιο (66%Mn, 17%Si, 2%C). Χρησιμοποιείται μια ηλεκτρολυτική μέθοδος για να ληφθούν EMD και ηλεκτρολυτικό μέταλλο μαγγανίου EMM, οι δύο άλλες μορφές στις οποίες χρησιμοποιείται μαγγάνιο εμπορικά. Αυτά τα υλικά παράγονται σε παρόμοια στάδια, έκπλυση μεταλλεύματος μαγγανίου με θειικό οξύ και ηλεκτροαπορροφητικό EMD ή EMM από τα καθορισμένα υγρά εκπλύσεως (USGS, 2018) (Meshram et al., 2019).

**Πίνακας 5:Κοινά ορυκτά που περιέχουν μαγγάνιο-Grundwell et al., 2011**

Mineral	Formula	% MnContent
Pyrolusite	MnO <sub>2</sub>	63,2
Ramsdellite	MnO <sub>2</sub>	63
Polianite	MnO <sub>2</sub>	63,19
Manganite	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> xH <sub>2</sub> O	62
Cryptomelane	KMn <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	45-60
Psilomelane	BaMn <sub>9</sub> O <sub>18</sub> x 2H <sub>2</sub> O	46,56
Hausmanite	MnMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	72
Braunite	3Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> MnSiO <sub>3</sub>	50-60

Bixbyite	(Mn,Fe) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30-40
Jacobsite	MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	24
Hollandite	BaMn <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	42,51
Coronadite	PbMn <sub>8</sub> O <sub>16</sub>	45,31
Rhodochrosite	MnCO <sub>3</sub>	48
Rhodonite	MnSiO <sub>3</sub>	42
Alabandite	MnS	63,14
Wad	Manganeseoxideorhydroxidemineral- richrock	23

### ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΕΣ ΠΟΡΟΙ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΜΑΓΓΑΝΙΟ

Απορρίμματα σιδήρου και χάλυβα, χρησιμοποιημένα μεταλλικά δοχεία αλουμινίου και ξηρές μπαταρίες που περιέχουν μαγγάνιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανακύκλωση μαγγανίου.

Μικρή ποσότητα μαγγανίου ανακτάται μέσω της ανακύκλωσης μπαταριών ξηρών κυττάρων ή απορριμμάτων που περιέχουν μαγγάνιο και παράγονται από την κατασκευή μπαταριών. Ένα από τα αρχικά κίνητρα για ανακύκλωση της μπαταρίας, αποτρέποντας την απώλεια υδρογόνου στο περιβάλλον, έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό επειδή δεν πραγματοποιούνται σκόπιμες προσθήκες υδραργύρου στο μείγμα μπαταριών. Αν οι ασφάλειες στην μπαταρία μπορούν να αφαιρεθούν με χαμηλό κόστος, η ανακύκλωση μπορεί να είναι μια κατάλληλη εναλλακτική λύση για τη χρήση μεταλλευμάτων μαγγανίου. Η απομάκρυνση του καλίου είναι απαραίτητη καθώς εμποδίζει την παρασκευή MnO<sub>2</sub> κατάλληλης ποιότητας. Το κάλιο δεν χρησιμοποιείται σε μπαταρίες ψευδαργύρου-άνθρακα, αλλά υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες σε αλκαλικές μπαταρίες μαγγανίου (Meshram et al., 2019).

### 3.4 ΒΟΛΦΡΑΜΙΟ (W)

Το βολφράμιο είναι ένα σκληρό και σπάνιο μέταλλο, καθώς επίσης και παγκοσμίως χαμηλό σε αφθονία. Όσον αφορά τα αποθέματα βολφραμίου η Κίνα κατέχει την πρώτη

θέση στον κόσμο καθώς διαθέτει το 54,3% των παγκόσμιων αποθεμάτων βολφραμίου και είναι ο κύριος παραγωγός πρωτογενούς βολφραμίου (83,6%). Μεταξύ των πολλών εφαρμογών για τις οποίες είναι γνωστό το βολφράμιο, η πλέον σημαντική χρήση του σήμερα είναι στην παραγωγή καρβιδίου του βολφραμίου, που επίσης αναφέρεται ως τεχνητό καρβίδιο ή σκληρόμετρο (Sandvik, 2016, Exner, 1979). Το κύριο συστατικό σε αυτό το σύνθετο υλικό είναι το μονοκαρβίδιο βολφραμίου (WC), το οποίο έχει σκληρότητα κοντά με εκείνη του διαμαντιού (ITIA, 2010). Άλλα καρβίδια μεταβατικών μετάλλων όπως TiC, TaC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> προστίθενται συχνά σε σκληρά μέταλλα για συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτές οι εύθραυστες, πυρίμαχες φάσεις καρβιδίου συνδυάζονται με ένα σκληρό μέταλλο, συνήθως κοβάλτιο, μερικές φορές νικέλιο ή άλλα μέταλλα από την ομάδα σιδήρου για σχηματισμό τσιμεντοειδών καρβιδίων (Trent, 1946, Exner, 1979). Τα τσιμεντοειδή αυτά καρβίδια τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή και σκληρότητα, χρησιμοποιούνται ευρέως στους κλάδους της μεταποίησης, της εξόρυξης του φυσικού αερίου και του πετρελαίου. Το τετηγμένο καρβίδιο, το οποίο περιέχει συνήθως 40-95% βολφράμιο, είναι το πιο μεταλλικό από τα καρβίδια, και η πιο σημαντική σκληρή φάση. Οι στατιστικές δείχνουν ότι τα θραύσματα με βάση το βολφράμιο θα γίνουν μια ολοένα και πιο σημαντική πηγή πρώτης ύλης για την παγκόσμια βιομηχανία βολφραμίου. Έτσι οι μελλοντικές προοπτικές ανακύκλωσής του θα απαιτήσουν βελτιστοποίηση των σημερινών μεθόδων, καθώς και την πιθανή ανάπτυξη νέων με ιδιαίτερη έμφαση στην καθαρότητα του scrap και την ανάκτηση όλων των πολύτιμων συστατικών (Shemi et al., 2018).



**Εικόνα 15: Βολφραμίτης-ορυκτό του βολφραμίου ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr), 7/12/19)**

Τα φυσικώς απαντώμενα ορυκτά βολφραμίου και οι κύριες πηγές του όπως ο βολφραμίτης, ο σεελίτης και ο φερμπερίτης περιέχουν 0,1-5% WO<sub>3</sub> (ITIA, 2012 ;

**Bhosale et al., 1990**). Το βολφράμιο στην καθαρή μεταλλική του μορφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή προϊόντων ή μπορεί να συνδυαστεί με άλλα στοιχεία για να σχηματίσει σύνθετα υλικά όπως μεταλλικά κράματα και διαφόρους τύπους χαλύβων. Τα εργαλεία από σφυρηλατημένο καρβίδιο είναι τα εργαλεία για τη διαμόρφωση μετάλλων, ξύλων, πλαστικών και κεραμικών, καθώς και για τις βιομηχανίες εξόρυξης και κατασκευών. Τα προϊόντα μύλων βολφραμίου είναι προϊόντα από μέταλλο βολφραμίου, όπως φίλτρα φωτισμού, ηλεκτρόδια, σύρματα, ράβδοι ή κράματα βολφραμίου. Αρκετές στατιστικές δείχνουν ότι πάνω από το 60% της κατανάλωσης βολφραμίου εισέρχεται στην παραγωγή σκυροδέματος (**Kimball, 2016 ; Bhosale et al., 1990**). Τέλος, ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η συνολική ζήτηση βολφραμίου προέρχεται τόσο από τους πρωτογενείς πόρους (66%) όσο και από τους δευτερογενείς (34%) (**Bhosale et al., 1990**) (**Shemi et al., 2018**).

**Πίνακας 6:** Τυπική περιεκτικότητα σε βολφράμιο σε υλικά θραύσματος βολφραμίου (**Lassner and Schubert, 1999**).

No.	Τύπος παλαιοσίδηρου	Περιεκτικότητα %	ΟΜΑΔΑ
1.	Υψηλή καθαρότητα	≥99	Σκληρά απορρίμματα
2.	Κράματα W διασκορπισμένα με οξειδία (ThO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	96-98	
3.	3 τεμάχια σκληρού μετάλλου(περιέχουν επίσης Co, Ta)	60-97	
4.	Κράματα βαρέων μετάλλων W	92-94	
5.	W- Cu	60-90	
6.	Καθαρή σκόνη W	98-99	
7.	Λάσπες κοπής W	70-80	
8.	Σκόνη σκληρού μετάλλου	60-95	Μαλακά θραύσματα (σκόνη, ιλύες, κλπ)
9.	Λάσπη λείανσης σκληρών μετάλλων	15-60	
10.	Σκόνη βαρέος	92-97	



	μετάλλου	
11.	Τρύπες από βαρέα μέταλλα	92-97
12.	Σκόνη W-Cu	50-90
13.	Σκουπίδια δαπέδου	40-60

### 3.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΡΒΙΔΙΟΥ ΒΟΛΦΡΑΜΙΟΥ

Η ανακύκλωση θραυσμάτων που περιέχουν βολφράμιο δεν αποτελεί μια σύγχρονη διαδικασία. Η πρακτική αυτή υφίσταται εδώ και πολλές δεκαετίες, επειδή τα δευτερογενή υλικά βολφραμίου έχουν το πλεονέκτημα ότι αποτελούν υψηλής ποιότητας πρώτες ύλες. Σε σύγκριση με τα ορυκτά βολφραμίου σεελίτη και βολφραμίτη, τα λιγότερο πολύτιμα θραύσματα βολφραμίου, όπως η χαμηλής ποιότητας ιλύς, περιέχουν περίπου 15 φορές περισσότερο βολφράμιο από το μέσο μέταλλευμα.

Όσον αφορά τις τεχνικές ανακύκλωσης καρβιδίου βολφραμίου είναι πολλές και ποικίλες και αντιστοιχούν στη φύση των απορριμμάτων. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην ιδέα ότι τα κλάσματα καρβιδίου και συνθετικού υλικού μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αν αφαιρεθεί ο μεταξύ τους δεσμός. Η απομάκρυνση αυτή γίνεται μέσω φυσικών, χημικών, ηλεκτροχημικών, θερμικών, όξινων, αλκαλικών και ηλεκτρολυτικών μεθόδων καθώς και μέσω συνδυασμού αυτών. Γενικά, οι τεχνικές ανακύκλωσης ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες (Lin et al., 1996):

1. Άμεση ανακύκλωση
2. Έμμεση ανακύκλωση
3. Ημι-άμεση ανακύκλωση

#### *ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ*

Η άμεση ανακύκλωση είναι μια ειδική ποιοτική διαδικασία από την άποψη της χημικής σύνθεσης, του μεγέθους των κόκκων του καρβιδίου βολφραμίου και της



μόλυνσης των ξένων ουσιών. Σύμφωνα με αυτή την απαίτηση, κατεργάζονται σε αυτή τη διαδικασία θραύσματα υψηλής καθαρότητας. Κατά την άμεση ανακύκλωση, το υλικό που παρέχεται μετασχηματίζεται σε σκόνη της ίδιας σύνθεσης είτε με φυσική είτε με χημική επεξεργασία ή με συνδυασμό και των δύο. Σύμφωνα με τους Lassner και Schubert (1999), υπάρχουν 4 τυπικά παραδείγματα διαδικασιών άμεσης ανακύκλωσης. Αυτές είναι η μέθοδος ψευδαργύρου και η μέθοδος ψυχρής ροής για την αποκατάσταση των θραυσμάτων μετάλλου από σκυρόδεμα, η διαδικασία οξείδωσης και αναγωγής για την κατεργασία των τσιμεντοκονιαμάτων από βολφράμιο και η μέθοδος θραύσης για την κατεργασία των τεμαχίων σκληρού μετάλλου. Ωστόσο η μέθοδος ψευδαργύρου είναι η ευρέως χρησιμοποιούμενη στην βιομηχανία κατασκευής σκυροδεμάτων. Το κύριο πλεονέκτημα της διαδικασίας είναι η καλή ανάκτηση με απόδοση έως και 95%. Επικεντρώνεται κυρίως στην ανάκτηση σκόνης καρβιδίου βολφραμίου ενώ η ανάκτηση άλλων συστατικών σκληρού μετάλλου (Co, Ta, Ti, Cr, Mo) είναι δευτερεύουσας σημασίας.

#### *ΕΜΜΕΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ*

Ορισμένα απορρίμματα καρβιδίου βολφραμίου δεν πληρούν τα αυστηρά πρότυπα καθαρότητας που απαιτούνται από τις άμεσες διαδικασίες. Η ανάγκη αντιμετώπισης αυτών των υλικών απαιτεί τη διαμόρφωση εναλλακτικής μεθόδου. Η έμμεση ανακύκλωση περιλαμβάνει τη χημική μετατροπή των συστατικών μετάλλων σε ενδιάμεσα προϊόντα τα οποία στη συνέχεια υφίστανται επεξεργασία για να ληφθούν καθαρά μέταλλα (Lin et al., 1995 ; Lin et al., 1996). Τα περισσότερα υλικά που περιέχουν βολφράμιο μπορούν να υποστούν επεξεργασία με αυτή τη μέθοδο, η οποία μετατρέπει το βολφράμιο σε ενδιάμεσο προϊόν όπως το παράγωγο του αμμωνίου (Ammonium Paratungstate - APT). Με τη συγκεκριμένη διαδικασία έχουμε διάλυση του συνδετικού νικελίου και τη μετατροπή του βολφραμίου σε ενδιάμεσο προϊόν αποδίδοντας έτσι APT και θειϊκό νικέλιο ως καθαρά εμπορικά προϊόντα. Άλλες μέθοδοι έμμεσης ανακύκλωσης που έχουν δοκιμαστεί περιλαμβάνουν τη μέθοδο χλωρίωσης (Takahashi and Yuize, 1958, Jonsson, 1971) και τη μέθοδο υποχλωρίωσης νατρίου (Bhosale et al., 1990).

### *HMI-ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ*

Τα διμερή ή τα τριφασικά κράματα καρβιδίου βολφραμίου μπορούν να ανακτηθούν με ημι-άμεση ανακύκλωση, η οποία επίσης μπορεί να αναφέρεται ως επιλεκτική διάσπαση. Σε αυτή τη διαδικασία ένα συστατικό διαλύεται χημικά. Η διάλυση είναι επιλεκτική υπέρ μεταλλικού-ων μέσου-ων του συνδετικού υλικού και αφήνει τη φάση καρβιδίου βολφραμίου να σχηματιστεί. Αυτή η διαδικασία αποδυναμώνει την ακεραιότητα της δομής του κράματος καρβιδίου επιτρέποντας έτσι την εύκολη τριβή.

Συνοψίζοντας και τις 3 αυτές μεθόδους ανακύκλωσης βολφραμίου, η προσέγγιση της παγκόσμιας ανακύκλωσης σήμερα είναι η πλήρης ανάκτηση από τα scrap. Η πραγματοποίηση αυτού του επιπέδου βέλτιστης ανακύκλωσης απαιτεί την εκ νέου ευθυγράμμιση των τρεχουσών διαδικασιών ανακύκλωσης προς την επίτευξη της ανάκτησης όλων των πολύτιμων συστατικών από θραύσματα σκυροδέματος καρβιδίου βολφραμίου (**Shemi et al., 2018**).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΡΙΣΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Τα μέταλλα είναι σημαντικά για όλες τις πτυχές της καθημερινής μας ζωής. Οι νέες τεχνολογικές καινοτομίες καθιστούν τον ηλεκτρικό και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό (electrical and electronic equipment - EEE) πιο λειτουργικό, χρησιμοποιώντας όλο και περισσότερα μέταλλα, ιδιαίτερα τα κρίσιμα (σπάνια γαιές και πολύτιμα μέταλλα) με εξειδικευμένες ιδιότητες. Τα πολύτιμα μέταλλα περιλαμβάνουν τον χρυσό (Au), τον άργυρο ή ασήμι (Ag) καθώς και τα μέταλλα της ομάδας της πλατίνας (Platinum group metals-PMGs) στην οποία ανήκουν το παλάδιο (Pd), η πλατίνα ή λευκόχρυσος (Pt), το ρουθίνιο (Ru), το ρόδιο (Rh), το ιρίδιο (Ir) και το όσμιο (Os). Καθώς εκατομμύρια άνθρωποι στις αναδυόμενες κοινωνίες υιοθετούν έναν σύγχρονο τρόπο ζωής, η ζήτηση για κρίσιμα μέταλλα αυξάνεται. Ωστόσο η αυξανόμενη ζήτηση τους προκαλεί την κρίση της προσφοράς λόγω της ανεπάρκειας στο γήινο φλοιό. Σκοπός αυτού του σημαντικού παγκόσμιου ζητήματος είναι η παροχή κρίσιμων μετάλλων (στοιχεία σπάνιων μετάλλων-rare earth elements REE, ίνδιο, λίθιο, κοβάλτιο, πολύτιμα μέταλλα) μέσω της ανακύκλωσης των αποβλήτων του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (waste electrical and electronic equipment -WEEE). Παρ' όλα αυτά, λόγω της ευρείας χρήσης τους σε χαμηλές συγκεντρώσεις, η ανακύκλωσή τους δεν είναι μόνο τεχνολογικό πρόβλημα αλλά αποτελεί και οικονομική σκοπιμότητα (Zhang et al., 2017).

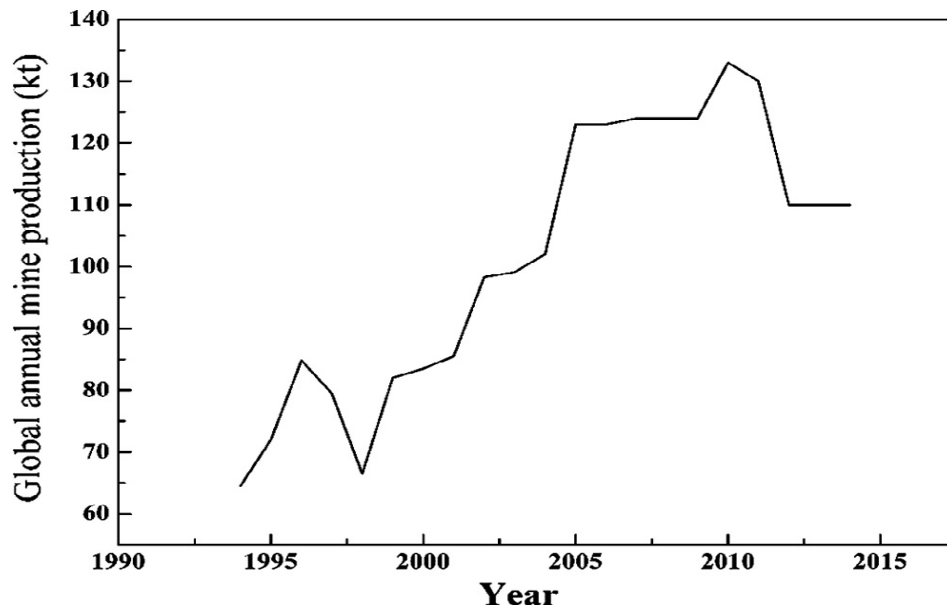
Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η ανεπάρκεια των κρίσιμων μετάλλων στο γήινο φλοιό και η ύπαρξή τους σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα σε όλη αυτή τη διαδικασία. Σύμφωνα με μετρήσεις η Κίνα παρέχει το 85%-95% των REEs παγκοσμίως, το Κονγκό το 72% του παγκόσμιου Co ενώ η Χιλή το 56% του παγκόσμιου Li. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της προσφοράς η καλύτερη λύση είναι να αυξηθεί η αποδοτικότητα των δευτερευόντων πόρων από την

ανακύκλωση. Θα πρέπει όμως να ληφθούν σοβαρά υπόψη δύο βασικά πεδία: απόβλητα της παραγωγικής διαδικασίας ή αλλιώς απορρίμματα και προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ανακύκλωση νέων απορριμμάτων είναι ευκολότερη από αυτή των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του μετάλλου σε νέα απορρίμματα, η γνωστή και καθορισμένη πηγή δημιουργίας αποβλήτων καθώς και ο συνεχής σχηματισμός θραυσμάτων.

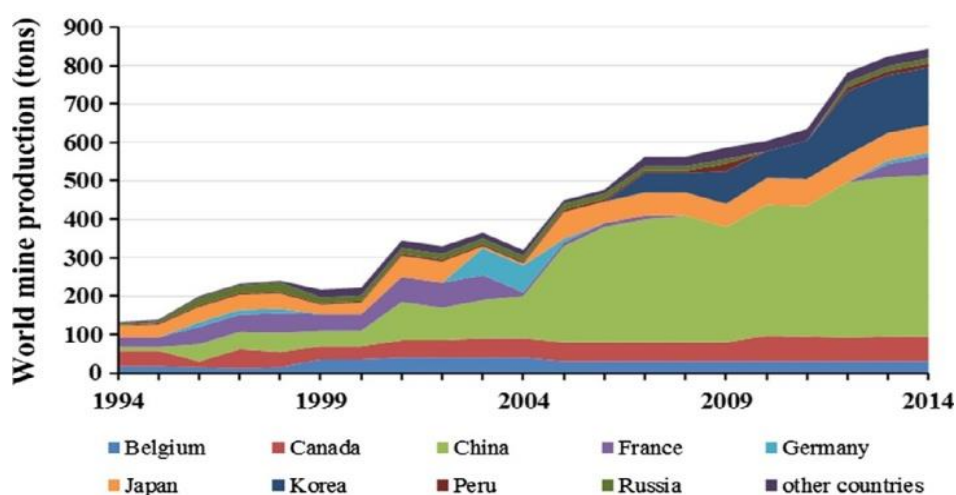
Επί του παρόντος τα νέα απορρίμματα αποτελούν την κύρια πηγή ανακύκλωσης των κρίσιμων μετάλλων. Για παράδειγμα το ίνδιο ανακυκλώνεται κυρίως από απόβλητα οξειδία του ινδίου και κασσίτερου (**Buchert et al., 2009**). Ωστόσο, όσον αφορά την ανακύκλωση αποβλήτων ηλεκτρικών ειδών, η κατάσταση δεν είναι τόσο αισιόδοξη. Σύμφωνα με το εθνικό ινστιτούτο επιστήμης υλικών της Ιαπωνίας, υπάρχουν 6800 τόνοι Au (16% των παγκόσμιων αποθεμάτων), 60000 τόνοι Ag (22% των παγκόσμιων αποθεμάτων) και 1700 τόνοι In ( 15,5 % των παγκόσμιων αποθεμάτων) στα ιαπωνικά αστικά απορρίμματα (**NIMS, 2015**). Το 2015 η συνολική ποσότητα WEEE ήταν 43,9 εκατομμύρια τόνοι (**Balde et al., 2015**). Η ανακύκλωσή τους έχει ενεργό αντίκτυπο στη μείωση των κινδύνων εφοδιασμού μειώνοντας την εξόρυξη παρθένων μεταλλευμάτων (**Prakash et al., 2010**).

Στην ΕΕ, μόνο το 25-40% των αποβλήτων του ηλεκτρικού και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού αντιμετωπίζεται στο επίσημο σύστημα ενώ τα υπόλοιπα απορρίπτονται σε αστικά απόβλητα ή εξάγονται σε αναπτυσσόμενες χώρες (**Reck and Graedel, 2012**). Παρόλο που υπάρχουν προηγμένες τεχνολογίες, σε ορισμένες αναπτυγμένες χώρες, ο χαμηλός ρυθμός συλλογής μειώνει την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης μετάλλων. Όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες χώρες, τα περισσότερα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα αντιμετωπίζονται με ακατέργαστες διεργασίες, όπως ανοικτή καύση ή έκπλυση με οξύ, με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια μετάλλων αλλά και σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων. (**Rocchetti et al., 2013 , Sepulveda et al., 2010**). Εκτιμάται ότι περισσότερο από το 80% του κοβαλτίου και σχεδόν όλων των στοιχείων των σπάνιων γαιών χάθηκαν κατά την ανακύκλωση των μπαταριών (**Sommer et al., 2015**)

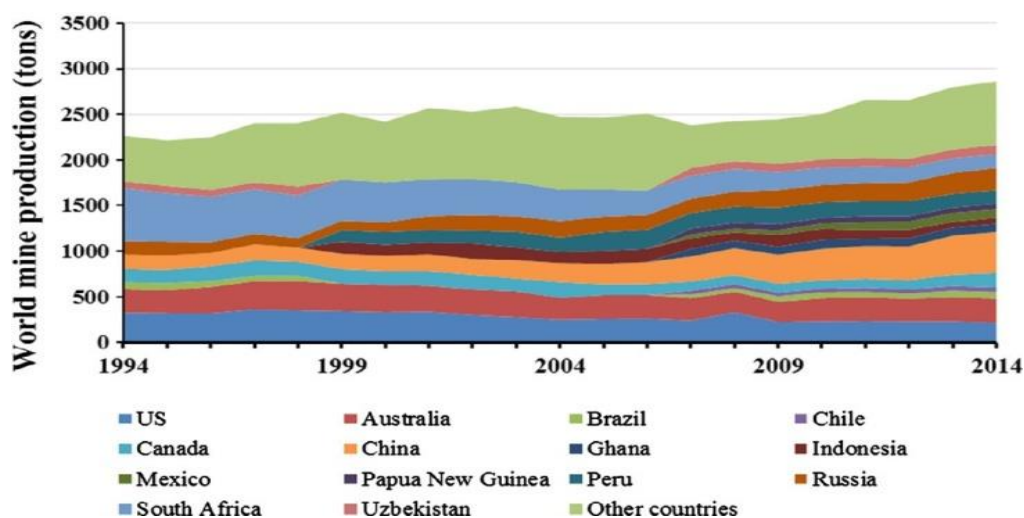
## 4.1.1 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ, ΙΝΔΙΟΥ ΚΑΙ ΧΡΥΣΟΥ



Γράφημα 1: Παγκόσμια ετήσια παραγωγή οξειδίων σπάνιων γαιών από το 1994 έως το 2014([www.USGS.gov.com](http://www.USGS.gov.com), 15/12/2019)



Γράφημα 2: Παγκόσμια παραγωγή ινδίου (σε τόνους) ανά χώρα από το 1994 έως το 2014([www.USGS.gov.com](http://www.USGS.gov.com), 15/12/2019).



**Γράφημα 3:** Παγκόσμια παραγωγή χρυσού (σε τόνους) ανά χώρα από το 1994 έως το 2014 ([www.USGS.gov.com](http://www.USGS.gov.com), 15/12/2019).

## 4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Γενικά η ανακύκλωση κρίσιμων μετάλλων από τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αποτελείται από 4 βήματα (Zhang et al., 2017):

1. Συλλογή, η οποία απαιτεί τη συνεργασία καταναλωτών, κατασκευαστών, εργοστασίων και κυβέρνησης.
2. Αποσυναρμολόγηση, η οποία συλλέγει πολύτιμα στοιχεία από τα WEEE και τα ταξινομεί.
3. Προεπεξεργασία, συμπεριλαμβανομένου του μηχανικού θραύσματος ή του θραυστήρα για την απογύμνωση των μετάλλων από τα ταξινομημένα συστατικά.
4. Ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από θρυμματισμένα υλικά με διαφορετικές μεθόδους ανάλογα με τις ιδιότητές τους (Zhang et al., 2017).

## 4.2.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ

Οι σπάνιες γαίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε ηλεκτρονικές συσκευές και είναι αρκετά διασκορπισμένες. Οι κατάλληλες τεχνολογίες ανακύκλωσης μπορούν να προσδιοριστούν μόνο μετά από ανάλυση. Ωστόσο, λόγω της ευρείας χρήσης σε χαμηλές συγκεντρώσεις, η ανακύκλωση των REEs γίνεται δύσκολη στα προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Όταν τα προϊόντα αυτά που περιέχουν REEs καταλήγουν σε ηλεκτρικούς φούρνους (EAFs) ή σε κάποια άλλα χυτήρια, τα σπάνια μέταλλα καταλήγουν σε φάσεις σκωρίας σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Τα μέταλλα σπάνιων γαιών μπορούν να ανακτηθούν από τη σκωρία χρησιμοποιώντας οικονομικά βιώσιμες μεθόδους, οι οποίες εξαρτώνται από τη συγκέντρωση και το κόστος ανακύκλωσης. Ως αποτέλεσμα το ποσοστό των στοιχείων των σπάνιων μετάλλων είναι μικρότερο του 1%. (Graedel et al., 2011, Reck and Graedel, 2012).

Προκειμένου να αυξηθεί η τρέχουσα κατάσταση ανακύκλωσης, έχουν διεξαχθεί ποικίλες μελέτες για την ανακύκλωση μόνιμων μαγνητών (Rademaker et al., 2013), ενώσεων φωσφόρου (Liu et al., 2014, Tan et al., 2015) και μπαταρίες νικελίου υδριδίου μετάλλου (Larsson and Binnemans, 2014, Yang et al., 2014). Συνολικά συμβάλλουν πάνω από 80% της αγοράς των REE από άποψη αξίας (38% για τους μαγνήτες, 32% για τους φωσφόρους των λαμπτήρων και 13% για τα κράματα μετάλλων) (Binnemans et al., 2013).

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλές διαδικασίες ανακύκλωσης, όπως η ηλεκτροχημική επεξεργασία (Lister et al., 2014) η έκπλυση οξέων (Zhang et al., 2013) καθώς και η ιοντική υγρή εκχύλιση (Dupont and Binnemans, 2015). Ορισμένες διαδικασίες αποσκοπούν στην επαναχρησιμοποίηση των υλικών που περιέχουν στοιχεία σπάνιων γαιών με απλό διαχωρισμό. Για παράδειγμα, οι σκόνες φθορισμού σπάνιων γαιών διαχωρίστηκαν με διάλυση δύο υγρών χρησιμοποιώντας οργανικούς διαλύτες. (Otsuki et al., 2008). Άλλες διαδικασίες έχουν δώσει έμφαση στην ανάκτηση των μετάλλων σπάνιων γαιών μέσω μεταλλουργικών οδών (Michelis et al., 2011). Η ανακύκλωση δεν πρέπει να αποσκοπεί μόνο στην σημαντική ανάκτηση των REEs αλλά να ελαχιστοποιεί και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Zhang et al., 2017).

## 4.2.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΙΝΔΙΟΥ

Το ίνδιο μπορεί να ανακυκλωθεί οικονομικά από τα απόβλητα οξειδίων ίνδιου κασσίτερου (ITO-indiumtin oxides) μέσω μιας απλής μεθόδου έκπλυσης οξέος ή θερμής εμβάπτισης. Οι αποκομμένες οθόνες LCD (liquid crystal displays-οθόνες υγρών κρυστάλλων) είναι σημαντικοί δυνητικοί δευτερεύοντες πόροι ινδίου, στους οποίους η συγκέντρωση του ινδίου ποικίλλει μεταξύ διαφορετικών συσκευών και μοντέλων. Η ποσότητα διαθέσιμου ινδίου σε οθόνες LCD τηλεοράσεων είναι περίπου 102g/t (Wang, 2009) και 1102g/t σε οθόνες LCD κινητών τηλεφώνων (Takahashi et al., 2009). Ωστόσο εάν το φιλμ πολυμερούς που είναι συνδεδεμένο στην οθόνη LCD έχει προηγουμένως αφαιρεθεί, η συγκέντρωση του διαθέσιμου ινδίου μπορεί να αυξηθεί δραματικά. Για παράδειγμα η ποσότητα ινδίου σε τηλεοπτικές οθόνες LCD αυξάνεται στα 1400g/t μετά την αφαίρεση του φιλμ πολυμερούς, το οποίο είναι πολύ υψηλότερο από τη συγκέντρωσή του σε μεταλλεύματα. Η ποσότητα ινδίου που σχετίζεται με το μέταλλευμα μολύβδου-ψευδαργύρου είναι μόνο 10-20g/t (Takahashi et al., 2009) Ως εκ τούτου, είναι ευεργετικό να ανακτήσει το ίνδιο λόγω της συνεχούς αύξησης παραγωγής οθονών LCD.

Εντούτοις, ο ρυθμός ανάκτησης του ινδίου είναι εξαιρετικά χαμηλός στον προτεινόμενο χρόνο. Ο κύριος λόγος είναι ότι ο αριθμός των ανακυκλωμένων αποβλήτων LCD είναι μικρός. Στην πραγματικότητα, οι οθόνες LCD άρχισαν να είναι δημοφιλείς στην Κίνα το 2005, αλλά λίγες από αυτές μπορούν να ανακυκλωθούν. Το ισχύον σύστημα ανακύκλωσης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού δεν έχει τεκμηριωθεί πλήρως και το επίσημο σύστημα διάθεσης δεν είναι τυποποιημένο. Η πιθανή απόδοση ανακυκλωμένου ινδίου από τις οθόνες LCD αξιολογείται κατά την περίοδο 2015-2030 στην Κίνα. (Wang et al., 2015). Σε σύγκριση με τη ζήτηση ινδίου, η ανακύκλωση του από οθόνες υγρών κρυστάλλων είναι πολύ μικρότερη, ανακύκλωση η οποία αντιπροσωπεύει μόνο το 10% της ζήτησης ινδίου σε μια ιδανική κατάσταση το 2015. Η κατάσταση θα ήταν πολύ καλύτερη εάν εφαρμοστούν σχετικές ρυθμίσεις για τα ηλεκτρονικά απόβλητα και την τεχνολογική πρόοδο.



Παρόλο που υπάρχουν μερικές πιθανές μέθοδοι ανακύκλωσης, όπως οι υδρομεταλλουργικές διεργασίες (Kato et al., 2013, Savvilotidou et al., 2015), η πυρομεταλλουργία (Itoh and Maruyama, 2011) και η εξάτμιση που προκαλείται από χλώριο ή άνθρακα (He et al., 2014) οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους εφαρμόστηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα και όχι σε βιομηχανική. Επί τους παρόντος, ο διαχωρισμός των πλαισίων LCD από τις ηλεκτρονικές συσκευές είναι δύσκολος, ειδικά στις μικρές συσκευές. Ως αποτέλεσμα η άμεση τήξη των υλικών LCD σε ολοκληρωμένες μονάδες τήξης έχει υψηλότερο ρυθμό ανάκτησης ινδίου από την μηχανική επεξεργασία και την υδρομεταλλουργία. Ωστόσο, το γυαλί που αντιπροσωπεύει περίπου το 85% της οθόνης LCD θα καταλήξει στη σκωρία κατά της διάρκεια της διαδικασίας τήξης (Zeng et al., 2015). Αυτή η μέθοδος σημαίνει μια δυσανάλογα υψηλή εισροή ενέργειας για την ανάκτηση μιας πολύ μικρής ποσότητας ινδίου, η οποία δεν είναι οικονομική (Gotze and Rotter, 2012). Όμως η Umicore, ως μία από τις πιο γνωστές εταιρείες ανακύκλωσης, έχει ετήσια χωρητικότητα 30 τόνων ινδίου που προέρχεται από ηλεκτρονικά απόβλητα. Οι τελευταίες λειτουργίες της Umicore επιτρέπουν την συν-ανάκτηση ορισμένων βασικών μετάλλων(μολύβδου, νικελίου, κασσιτέρου) και ειδικών μετάλλων(σελήνιο, αρσενικό, αντιμόνιο, βισμούθιο) (Hagelucken and Corti, 2010). Η ανάκτηση του συγκεκριμένου μετάλλου δεν είναι οικονομικά βιώσιμη χωρίς την παρουσία πολύτιμων μετάλλων (Zhang et al., 2017).

### 4.2.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα πολύτιμα μέταλλα και ιδιαίτερα η ομάδα της πλατίνας, έχουν δείξει μια σχεδόν συνεχή αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης στην ηλεκτρονική βιομηχανία από τις αρχές της δεκαετίας του 80. Τα τελευταία χρόνια όμως, παρόλο που οι ηλεκτρονικές συσκευές αυξάνονται, η χρήση πολύτιμων μετάλλων σε κάθε συσκευή μειώθηκε με την τεχνολογική πρόοδο. Σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρείας WorldGoldCouncil, η ανακύκλωση χρυσού αντιπροσώπευε το 42% της συνολικής προσφοράς χρυσού από το 1999, ποσοστό που έπεσε στο 26% το 2014. Όσον αφορά την πλατίνα, η ανάκτηση της από κοσμήματα ήταν 34,3 τόνοι από τους οποίους ανακυκλώθηκαν μόνο 1,48 τόνοι από ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Ο λόγος για την χαμηλή ανακύκλωση πολύτιμων μετάλλων είναι επειδή το 50% των ηλεκτρονικών χάνονται λόγω της

αναποτελεσματικής συλλογής. Όταν συλλέγονται τα ηλεκτρονικά απόβλητα, χάνεται το 22-25% των πολύτιμων μετάλλων λόγω της μηχανικής επεξεργασίας (**Chancerel et al., 2009**). Τα πολύτιμα μέταλλα διασκορπίζονται σε μικρά τεμάχια και χάνονται κατά τη διαδικασία τεμαχισμού. Για να αποφευχθεί αυτή η απώλεια, πολλά εργοστάσια ανακύκλωσης χρησιμοποιούν πυρομεταλλουργική μέθοδο για την απόρριψη ηλεκτρονικών αποβλήτων, επιτυγχάνοντας 95% ανάκτηση των πολύτιμων μετάλλων (**Zhang et al., 2015b**)

### 4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Συνολικά, όλο και περισσότερες χώρες έχουν καταβάλει προσπάθειες για τη διαχείριση και ανακύκλωση κρίσιμων μετάλλων από τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένα προβλήματα. Πρώτον οι σχετικοί νόμοι και νομοθεσίες δεν συνεπάγονται υποχρεωτικά την επιτυχή εφαρμογή τους. Σε πολλές χώρες, το ποσοστό ανακύκλωσης των WEEE είναι πολύ χαμηλότερο από τους νόμιμους στόχους ανακύκλωσης. Δεύτερον, οι περισσότερες εθνικές νομοθεσίες δεν καλύπτουν όλα τα είδη κατηγοριών των WEEE. Για παράδειγμα στην Κίνα, οι επιδοτήσεις του κράτους ισχύουν μόνο για ορισμένους τύπους αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, γεγονός που οδηγεί στην περιορισμένη συλλογή άλλων. Τρίτον, καθώς η ανακύκλωση είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και μερικές φορές ενδέχεται να μην είναι οικονομική, η εκτεταμένη χρήση απαιτεί νέες τεχνολογίες.

Ωστόσο, απουσιάζει ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ως αποτέλεσμα, περίπου 6,5 τόνοι WEEE αναφέρθηκαν ως επίσημα επεξεργασμένα σε παγκόσμια κλίμακα, το οποίο ήταν περίπου το 15,5% της συνολικής παραγωγής το 2014. (**Balde et al., 2015**). Επομένως η ανακύκλωση εξακολουθεί να μην είναι ικανοποιητική σε παγκόσμια κλίμακα. Προτάθηκαν πολλές προτάσεις για την αντιμετώπιση των προβλημάτων στο μέλλον. Το πρωταρχικό καθήκον είναι να καταβληθούν προσπάθειες για τη

διασφάλιση της εφαρμογής των πολιτικών σχετικά με τα WEEE. Στη συνέχεια η δημιουργία μιας καλύτερης βάσης δεδομένων για την παραγωγή, τη σύνθεση και το χειρισμό των WEEE, καθορίζοντας τις κατηγορίες ανακύκλωσης. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να διερευνηθούν οι επιπτώσεις των WEEE στη συλλογή, ανακύκλωση και διάθεση, κατευθύνοντας μια λογική μέθοδο για την ανακύκλωση τους με βάση τις σημερινές τεχνολογίες. Τέλος απαιτούνται προηγμένες τεχνολογίες για την ανακύκλωση των WEEE με οικονομικό και περιβαλλοντικό πρόσημο (Zhang et al., 2017).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η **αειφόρος ανάπτυξη** αποτελεί απαραίτητη προϋποθεση της ανακύκλωσης. Στοχεύει στην διατήρηση του περιβάλλοντος αλλά και γενικότερα σε μια διαφορετική προσέγγιση του ανθρώπου για το πώς θα πρέπει να αντιμετωπίζει τα πάντα γύρω του, ακριβώς όπως και η ιδέα της ανακύκλωσης.
- Το τεράστιο **πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων** αποτελεί μείζον θέμα για την Ελλάδα. Η χώρα μας βρίσκεται αρκετά πίσω στον τομέα αυτό αφού ο μοναδικός τρόπος διαχείρισης των απορριμμάτων είναι η διάθεσή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ).
- Κατά την **πρωτογενή παραγωγή αλουμινίου** από οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνα) προκύπτει ότι απαιτείται πολύ περισσότερη ενέργεια και κατανάλωση νερού σε σχέση με τη δευτερογενή ενώ παράλληλα απελευθερώνονται περισσότερα απόβλητα.
- Κάποιες **νέες τεχνολογίες** όπως περιστροφικοί κλίβανοι μπορούν να ανακυκλώσουν το 80% του αλουμινίου κατά τη δευτερογενή παραγωγή απαιτώντας μικρά ποσά ενέργειας της τάξης του 5%. Για την μείωση των αποβλήτων που προκύπτουν από την παραγωγή αλουμινίου έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνολογίες ανακύκλωσης όπως η «downcycling» κατά την οποία τα υλικά ανακυκλώνονται σε προϊόντα χαμηλότερης αξίας.
- Στην **ανακύκλωση σιδήρου και τιτανίου** τιτανιομαγνητίτης και ο ιλμενίτης αποτελούν τις κυρίως υπάρχουσες μορφές σιδήρου και τιτανίου απορριμμάτων για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση. Η ανάκτηση σιδήρου επιτυγχάνεται μέσω του μαγνητικού διαχωρισμού, ενώ για την ανάκτηση τιτανίου υπάρχει ο συνδυασμός των μεθόδων του μαγνητικού διαχωρισμού, της προσυγκέντρωσης και της επίπλευσης.
- **Ανακύκλωση μετάλλων (νικελίου, λιθίου, μολύβδου, κοβαλτίου, μαγγανίου) που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής συσσωρευτών.** Οι τρέχουσες προσεγγίσεις ανακύκλωσης όσον αφορά την ανάκτηση νικελίου από συσσωρευτές περιλαμβάνουν το διαχωρισμό των στοιχείων της μπαταρίας ακολουθούμενες από πυρομεταλλουργικές ή υδρομεταλλουργικές τεχνολογίες. Για την ανακύκλωση μπαταριών μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται και εδώ πυρομεταλλουργικές

διεργασίες. Το κοβάλτιο μπορεί να ανακτηθεί μέσα από μια ποικιλία απορριμμάτων μέσω έκπλυσης και εκχύλισης. Όσον αφορά το λίθιο το οποίο υπάρχει άφθονο στις μπαταρίες ιόντων λιθίου (LIBs) δεν θεωρείται κατάλληλο για ανακύκλωση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες.

- **Ανακύκλωση βολφραμίου.** Οι τεχνικές ανακύκλωσης καρβιδίου βολφραμίου είναι πολλές και ποικίλες και αντιστοιχούν στη φύση των απορριμμάτων. Γενικά, οι τεχνικές ανακύκλωσης ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες: 1) άμεση ανακύκλωση 2) έμμεση ανακύκλωση 3) ημι-άμεση ανακύκλωση από τις οποίες εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πλήρης ανάκτηση πραγματοποιείται από τα scrap σε συνδυασμό με την ανακύκλωση θραυσμάτων που περιέχουν βολφράμιο.
- **Ανακύκλωση κρίσιμων μετάλλων.** Μέσω των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μπορούν να ανακτηθούν σημαντικά κρίσιμα μέταλλα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ωστόσο η ανεπάρκειά τους στο γήινο φλοιό αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα.
- **Ανακύκλωση σπάνιων γαιών.** Έχουν αναπτυχθεί πολλές διαδικασίες ανακύκλωσης, όπως η ηλεκτροχημική επεξεργασία, η έκπλυση οξέων καθώς και η ιοντική υγρή εκχύλιση. Ορισμένες διαδικασίες αποσκοπούν στην επαναχρησιμοποίηση των υλικών που περιέχουν στοιχεία σπάνιων γαιών με απλό διαχωρισμό. Άλλες διαδικασίες έχουν δώσει έμφαση στην ανάκτηση των μετάλλων σπάνιων γαιών μέσω μεταλλουργικών οδών.
- Οι περισσότερες μέθοδοι που αφορούν την **ανακύκλωση ινδίου** έχουν εφαρμοστεί μόνο σε πειραματικό επίπεδο. Οι διεργασίες αυτές είναι πυρομεταλλουργικές, υδρομεταλλουργικές καθώς και η εξάτμιση που προκαλείται από χλώριο ή άνθρακα.
- **Ανακύκλωση πολύτιμων μετάλλων.** Το κυριότερο πρόβλημα της ανάκυκλωσης πολύτιμων μετάλλων είναι η αναποτελεσματικότητα της συλλογής τους. Όταν συλλέγονται τα ηλεκτρονικά απόβλητα, χάνεται το 25% περίπου των πολύτιμων μετάλλων. Οι σημερινές τεχνικές ανακύκλωσης για να αποτρέψουν αυτή την απώλεια χρησιμοποιούν πυρομεταλλουργική μέθοδο. Σε γενικότερο πλαίσιο οι τεχνολογίες ανακύκλωσης κρίσιμων μετάλλων είναι λίγες και απαιτούνται προηγμένες τεχνολογίες από τις οποίες η κοινωνία μπορεί να αποκομίσει τεράστια οικονομικά οφέλη.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Azom, K.,2002. Aluminum dross recycling—a new technology for recycling aluminium waste products. *A to Z of Materials*346–353.
- Baldé, C., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J., 2015. The global e-waste monitor—2014. United Nations University, IAS–SCYCLE, Bonn, Germany.
- Barton, A.F., 1979. *Resource Recovery and Recycling*. Wiley, New York.
- Beck, F., Rüetschi, P., 2000. Rechargeable batteries with aqueous electrolytes.*Electrochim. Acta* 45, 2467–2482.
- Bernardes, A.M., Espinosa, D.C.R., Tenório, J.A.S., 2004. Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. *J. Power Sources* 130, 291–298.
- Binnemans, K., Jones, P.T., Blanpain, B., Van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., Buchert, M., 2013a. Recycling of rare earths: a critical review. *J. Clean. Prod.* 51, 1–22
- Blaszczak-Boxe Agata. (2017). Facts About Iron. [www.livescience.com](http://www.livescience.com)
- Bruckard, W.J., Woodcock, J.T., 2009. Recovery of valuable materials from aluminium salt cakes. *Int. J. Miner. Process.* 93, 1–5.
- Buchert, M., Schüler, D., Bleher, D., 2009. *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and Their Recycling Potential*. United Nations Environment Programme & United Nations University.
- Chagnes, A., Pospiech, B., 2013. A brief review on hydrometallurgical technologies for recycling spent lithium-ion batteries. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 88, 1191–1199.
- Chang, Y., Mao, X.X., Zhao, Y.F., Feng, S.L., Chen, H.Y., Finlow, D., 2009. Lead-acid battery use in the development of renewable energy systems in China. *J. Power Sources* 191, 176–183.
- Commission, S. D. (2019). History of SD. [www.sd-commission.org.uk](http://www.sd-commission.org.uk)

- Dewulf, J., Van Der Vorst, G., Denturck, K., Van Langenhove, H., Ghyoot, W., Tytgat, J., Vandeputte, K., 2010. Recycling rechargeable lithium ion batteries: critical analysis of natural resource savings. *Resour. Conserv. Recycl.* 54 (4), 229–234.
- Espinosa, D.C.R., Bernardes, A.M., Tenório, J.A.S., 2004 a Recycling of batteries :are view of current processes andt echnologies. *J. Power Sources* 130, 291–298.
- Espinosa, D.C.R., Bernardes, A.M., Tenório, J.A.S., 2004b. An overview on the current processes for the recycling of batteries. *J. Power Sources* 135, 311–319.
- European Commission. (2010). Being wise with waste : the EU ' s approach to waste management. Publications Office of the European Union, <https://doi.org/10.2779/93543>
- European Commission. (2019). Sustainable development. [www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu)
- Ferracin, L.C., Cha'con-Sanhueza, A.E., Davoglio, R.A., Rocha, L.O., Caff eu, D.J., Fontanetti, A.R., Rocha-Filho, R.C., Biaggio, S.R., Bocchi, N., 2002. Lead recovery from a typical Brazilian sludge of exhausted lead-acid batteries using an electro-hy-drometallurgical process. *Hydrometallurgy* 65, 137–144.
- Graedel, T., Allwood, J., Birat, J.P., Buchert, M., Hagelüken, C., Reck, B.K., Sibley, S.F., Sonnemann, G., 2011. What do we know about metal recycling rates? *J. Ind.*
- Graziano, D., Hryn, J.N., Daniels, E.J., 1996. The economics of salt cake recycling. In: *Light Metals, Proceedings of Sessions, TMS Annual Meeting, Warrendale, PA*, pp. 1255–1260.
- Gil, A., 2005. Management of the salt cake from secondary aluminum fusion processes. *Ind. Eng. Chem. Res.* 44 (23), 8852–8857.

- Goonan T.G., 2009. Nickel recycling in the United States in 2004, chap. Z of Sibley, S.F., Ed., Flow studies for recycling metal commodities in the United States: U.S. Geological Survey Circular 1195, pp. Z1–Z30.
- Gottesfeld, P., Pokhrel, A.K., 2011. Review: lead exposure in battery manufacturing and recycling in developing countries and among children in nearby communities. *J. Occup. Environ. Hyg.* 8 (9), 520–532.
- Götze, R., Rotter, V.S., 2012. Challenges for the recovery of critical metals from waste electronic equipment-A case study of indium in LCD panels, *Electronics Goes Green 2012+(EGG)*, 2012. IEEE, pp. 1–8.
- Green, J.A.S., 2007. *Aluminum Recycling and Processing for Energy Conservation and Sustainability*. ASM International, Materials Park, OH.
- He, Y., Ma, E., Xu, Z., 2014. Recycling indium from waste liquid crystal display panel by vacuum carbon-reduction. *J. Hazard. Mater.* 268, 185–190.
- Huang, K., Li, J., Xu, Z., 2009. A novel process for recovering valuable metals from waste nickel-cadmium batteries. *Environ. Sci. Technol.* 43, 8974–8978.
- Itoh, S., Maruyama, K., 2011. Recoveries of metallic indium and tin from ITO by means of pyrometallurgy. *High Temp. Mat. Pr-Isr.* 30, 317–322.
- Karuppuswamy, P., Lokesh, B., Manikandan, B., Prabakarbalaji, V., 2016. Review on extraction of aluminium from dross. *Int. J. Emerg. Trends Eng. Dev.* 6(6), 28–32.
- Kato, T., Igarashi, S., Ishiwatari, Y., Furukawa, M., Yamaguchi, H., 2013. Separation and concentration of indium from a liquid crystal display via homogeneous liquid–liquid extraction. *Hydrometallurgy* 137, 148–155.
- Kesler, S.E., Gruber, P.W., Medina, P.A., Keoleian, G.A., Everson, M.P., Wallington, T.J., 2012. Global lithium resources: relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geol. Rev.* 48, 55–69.
- Kim, J., Biswas, K., Jhon, K.W., Jeong, S.Y., Ahn, W.S., 2009. Synthesis of AlPO<sub>4</sub>-5 and CrAPO-5 using aluminum dross. *J. Hazard Mater.* 169, 919–925.



- Larsen, P.B., Fotel, F.L., Slothuus, T., Hjelm, O., Boyd, H.B., Højlund, L., Tørsløv, J., 2014. Survey of lead and lead compounds. The Danish Environmental Protection Agency. Denmark.
- Larsson, K., Binnemans, K., 2014. Selective extraction of metals using ionic liquids for nickel metal hydride battery recycling. *Green Chem.* 16 (10), 4595–4603.
- Lassner, E., Schubert, W.D., 1999. Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of The Element, Alloys and Chemical Compounds. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Leblanc, R. (2019). An introduction to metal recycling. [www.thebalancesmb.com](http://www.thebalancesmb.com)
- Li, M., Liu, J., Han, W., 2016. Recycling and management of waste lead-acid batteries: a mini-review. *Waste Manag. Res.* 34(4), 298–306.
- Lin, J.C., Lin, J.Y., Jou, S.P., 1996. Selective dissolution of the cobalt binder from scraps of cemented tungsten carbide in acids containing additives. *Hydrometallurgy* 43, 47–61.
- Lister, T.E., Wang, P., Anderko, A., 2014. Recovery of critical and value metals from mobile electronics enabled by electrochemical processing. *Hydrometallurgy* 149, 228–237.
- Lopez-Delgado, A., Tayibi, H., Pérez, C., Alguacil, F.J., Lopez, F.A., 2009. A hazardous waste from secondary aluminium metallurgy as a new raw material for calcium aluminate glasses. *J. Hazard Mater.* 165, 180–186.
- Lottermoser, B.G., 2011. Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes. *Elements* 7 (6), 405–410.
- Mahinroosta, M., and Allahverdi, A. (2018). Hazardous aluminum dross characterization and recycling strategies: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 223(May), 452–468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.068>
- Menzie, W.D., Barry, J.J., Bleiwas, D.I., Bray, E.L., Goonan, T.G., Matos, G., The Global Flow of Aluminum from 2006 Through 2025. Open-File Report 2010–1256. USGS Science for a changing world.

- Meshram, P., Pandey, B. D., & Abhilash. (2019). Perspective of availability and sustainable recycling prospects of metals in rechargeable batteries. *Resources Policy*, 60, 9–22. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.11.015>
- Mohr, S.H., Mudd, G.M., Giurco, D., 2010. Lithium Resources and Production: A Critical Global Assessment. Report Prepared for CSIRO Minerals Down Under Flagship.
- Nicholas, A., Stephen, K., Clément, G., 2015. *Metals and Society – An Introduction to Economic Geology*, 2nd edition. Springer International Publishing, Switzerland.
- NIMS (National Institute for Material Science, Japan), 2015. Available at: [http://www.nims.go.jp/jpn/news/press/pdf/press215\\_2.pdf](http://www.nims.go.jp/jpn/news/press/pdf/press215_2.pdf).
- Novais, R.M., Carvalheiras, J., Tobaldi, D.M., Seabra, M.P., Pullar, R.C., Labrincha, J.A., 2019. Synthesis of porous biomass fly ash-based geopolymer spheres for efficient removal of methylene blue from wastewaters. *J. Clean. Prod.* 207, 350e362.
- Otsuki, A., Dodbiba, G., Shibayama, A., Sadaki, J., Mei, G., Fujita, T., 2008. Separation of rare earth fluorescent powders by two-liquid flotation using organic solvents. *Japanese J. Appl. Phys.* 47, 5093.
- Pan, J., Sun, Y., Li, W., Knight, J., Manthiram, A., 2013. A green lead hydrometallurgical process based on a hydrogen-lead oxide fuel cell. *Nat. Commun.* 4, 3178. <https://doi.org/10.1038/ncomms3178>.
- Pappas Stephanie. (2017). Facts About Titanium. [www.livescience.com](http://www.livescience.com)
- Prakash, S., Manhart, A., Amoyaw-Osei, Y., Agyekum, O.O., 2010. Socio-economic assessment and feasibility study on sustainable e-waste management in Ghana. Öko-Institut eV in cooperation with Ghana Environmental Protection Agency (EPA) & Green Advocacy Ghana, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, VROM-Inspectorate.

- Rademaker, J.H., Kleijn, R., Yang, Y., 2013. Recycling as a strategy against rare earth element criticality: a systemic evaluation of the potential yield of NdFeB magnet recycling. *Environ. Sci. & Technol.* 47, 10129–10136.
- Rocchetti, L., Vegliò, F., Kopacek, B., Beolchini, F., 2013. Environmental impact assessment of hydrometallurgical processes for metal recovery from WEEE residues using a portable prototype plant. *Environ. Sci. & Technol.* 47, 1581–1588.
- Sandvik., 2016. Understanding Cemented Carbide. <http://www2.sandvik.com/>. Retrieved 25 June 2016.
- Scott, K., 2009. Nickel-metal hydride batteries. In: Garche, J., Dyer, C.K. (Eds.), *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. Elsevier, pp. 199–208.
- Seng, Y., Zhu-cheng, W., Guan-qun, Y., 2006. Non Ferrous Met. *Recycl. Util.* 10, 22–24 (In Chinese).
- Sepúlveda, A., Schluep, M., Renaud, F.G., Streicher, M., Kuehr, R., Hagelüken, C.,
- Shah, M. M. (2008). Sustainable Development. *Encyclopedia of Ecology*, 3443–3446. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00633-9>
- Shemi, A., Magumise, A., Ndlovu, S., & Sacks, N. (2018). Recycling of tungsten carbide scrap metal: A review of recycling methods and future prospects. *Minerals Engineering*, 122, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.036>
- Shinzato, M.C., Hypolito, R., 2005. Solid waste from aluminum recycling process: 25, 37–46.
- Shukla, A.K., Venugopalan, S., Hariprakash, B., 2001. Nickel-based rechargeable batteries. *J. Power Sources* 100 (1–2), 125–148.
- Smith, K.S., Huyck, H.L.O., 1999. An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability, and human toxicity of metals. In: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J. (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*,

- Part A: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology 6A. pp. 29–70.
- Sommer, P., Rotter, V.S., Ueberschaar, M., 2015. Battery related cobalt and REE flows in WEEE treatment. Waste Manage. 45, 298–305.
- Teodorescu, R., Bădiliță, V., Roman, M., Enache, L., Neagu, E., Gheorghe, M., Crisan, A., 2013. Optimization of process for total recovery of aluminum from smelting slag (1. removal of soluble salts). Environ. Eng. Manag. J. 12(12), 2455–2463.
- Tsakiridis, P.E., Oustadakis, P., Agatzini-Leonardou, S., 2013. Aluminium recovery during black dross hydrothermal treatment. J. Environ. Chem. Eng. 1, 23–32.
- United Nations. (2019). About the Sustainable Development Goals. [www.un.org.com](http://www.un.org.com)
- United States Environmental Protection Agency. (2019). Recycling Economic Information (REI) Report. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- Wu, F., Xu, S., Li, L., Chen, S., Xu, G., Xu, J., 2009. Recovery of valuable metals from anode material of hydrogen-nickel battery. Trans. Nonferrous Met. Soc. 19, 468–473.
- WWF. (2007). Διαχείριση Απορριμμάτων Στην Ελλάδα
- Xiao, Y., Reuter, M.A., Boin, U., 2005. Aluminium recycling and environmental issues of salts treatment. J. Environ. Sci. Health 40(10), 1861–1875.
- Yaksic, A., Tilton, J.E., 2009. Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: the case of lithium. Resour. Policy 34, 185–194.
- Yang, X., Zhang, J., Fang, X., 2014. Rare earth element recycling from waste nickel-metal hydride batteries. J. Hazard. Mater. 279, 384–388
- Yoshimura, H.N., Abreu, A.P., Molisani, A.L., de Camargo, A.C., Portela, J.C.S., Narita, N.E., 2008. Evaluation of aluminum dross waste as raw material for refractories. Ceram. Int. 34, 581–591.
- Zhai, J., Wang, H., Chen, P., Hu, Y., & Sun, W. (2020). Recycling of iron and titanium resources from early tailings: From fundamental work to industrial application. Chemosphere, 242, 125178. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125178>

- Zhang, W., Yang, J., Wu, X., Hu, Y., Yu, W., Wang, J., Dong, J., Li, M., Liang, S., Hu, J., VasantKumar, R., 2016. A critical review on secondary lead recycling technology and its prospect. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 61, 108–122.
- Zhang, S., Ding, Y., Liu, B., & Chang, C. chi. (2017). Supply and demand of some critical metals and present status of their recycling in WEEE. *Waste Management*, 65, 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.003>
- Zhen, D., Deng, Y.Z., Luo, Y., 2006. Rising of electric bicycle in China. *J. Iron Steel Res.Int.* 13 (1), 378–382.
- Επιτροπή των ευρωπαϊκών κοινοτήτων. (2005). Ένα βήμα μπροστά για την αειφόρο χρήση των πόρων: Θεματική Στρατηγική για την πρόληψη της δημιουργίας και την ανακύκλωση των αποβλήτων *{SEC(2005) 1681} {SEC(2005) 1682}*.
- Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το συμβούλιο της ένωσης. (2008). Οδηγία 2008/98/Εκ Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου Και Του Συμβουλίου. Επίσημη Εφημερίδα Της Ευρωπαϊκής Ένωσης.