

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

“ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΑΞΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ”

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΔΗΜΑΡΑΚΗ ΤΦ2191

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Καλδέρης

ΧΑΝΙΑ 2024

Πίνακας περιεχομένων

1.Εισαγωγή **4**

2.Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) **5**

2.1 Κατηγορίες ΑΣΑ 6
2.1.1. Στρατηγικές Διαχείρισης 9
2.1.2. Παγκόσμιες και Περιφερειακές Προοπτικές 10

2.2. Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ευρώπη 11

2.3 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη (ποιοτική σύσταση και ετήσιες ποσότητες) 13
Ποιοτική Σύνθεση: 13
Ετήσιες ποσότητες: 14
Βασικές τάσεις και προκλήσεις: 15

2.4. Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα (ποιοτική σύσταση και ετήσιες ποσότητες) 15
Ποιοτική Σύνθεση: 15
Ετήσιες ποσότητες: 16
Βασικές τάσεις και προκλήσεις: 17

3. Ανακύκλωση **21**

3.1. Ανακυκλώσιμα υλικά 23
3.1.1 Χαρτί 24
3.1.2 Πλαστικό 26
3.1.3 Γυαλί 30
3.1.4 Μπαταρίες 31
3.1.5 Σιδηρούχα μέταλλα 34
3.1.6 Μη σιδηρούχα μέταλλα 35

4.Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (Α.Η.Η.Ε) **38**

4.1 Ορισμός Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Α.Η.Η.Ε) 38

4.2 Ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ευρώπη και στην Ελλάδα 42
4.2.1 Ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ευρώπη 42
4.2.2 Ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ελλάδα 43
4.2.3 Συγκριτική ανάλυση και τάσεις 43
4.2.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις 44

4.3 Διεθνές και Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΗΗΕ 45
Διεθνές θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση ΑΗΗΕ: 45
Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο & δρώντες για τη διαχείριση ΑΗΗΕ: 46

4.4 Πολύτιμα μέταλλα στα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά είδη 48

4.5 Μεθοδολογίες επεξεργασίας ΑΗΗΕ (WEEE) 50
4.5.1 Μέθοδοι μηχανικής επεξεργασίας 51
4.5.2 Μέθοδοι χημικής επεξεργασίας 52
4.5.3 Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας 58
4.5.4 Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας 62

4.6 Προκλήσεις στην επεξεργασία WEEE 63
4.6.1 Πολυπλοκότητα ηλεκτρονικών συσκευών 63

4.6.2 Επικίνδυνες Ουσίες 63
4.6.3 Έλλειψη τυποποίησης 63
4.6.4 Απόρριψη ηλεκτρονικών αποβλήτων: 63
4.7 Καινοτομίες στην επεξεργασία WEEE 64
4.7.1 Αστική εξόρυξη 64
4.7.2 Προσεγγίσεις Κυκλικής Οικονομίας 64
4.7.3 Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και Ρομποτική 64
4.7.4 Εφαρμογές Πράσινης Χημείας 64
4.8 Περιβαλλοντικά ζητήματα 64
4.8.1 Διατήρηση πόρων 64
4.8.2 Πρόληψη της ρύπανσης 65
4.8.3 Ανάκτηση Ενέργειας 65
4.8.4 Μείωση αποτυπώματος άνθρακα 65
4.9 Μελέτη περίπτωσης: ΑΗΗΕ στην Ελλάδα 66
Βιβλιογραφία 68
Ξενόγλωσση 68
Ελληνική 73

Ευρετήριο εικόνων και πινάκων

Εικόνα 1: Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση ΑΣΑ 9
Εικόνα 2:Προς μια κυκλική οικονομία: πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων για την Ευρώπη Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2014) 18
Εικόνα 3: Ανακυκλώσιμα υλικά 23
Εικόνα 4:Ανακύκλωση χαρτίου 25
Εικόνα 5: Ανακύκλωση πλαστικού 26
Εικόνα 6:Πέλλετς πλαστικού 29
Εικόνα 7:Διαχωρισμός πλαστικών 29
Εικόνα 8: Σχεδιάγραμμα διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών 29
Εικόνα 9:Κάδος ανακύκλωσης γυάλινων συσκευασιών 31
Εικόνα 10:Συμπιεσμένα κουτάκια αλουμινίου 36
Εικόνα 11: Κάμινος ανοικτής εστίας 56
Πίνακας 1: Κατηγοροποιήση στερεών αποβλήτων 6
Πίνακας 2: Συλλογή ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων στις χώρες της ΕΕ 20
Πίνακας 3:Οφέλη της ανακύκλωσης απο το αλουμίνιο, το χάλυβα, το χαρτί και το γυαλί 24

1.Εισαγωγή

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υλικών υψηλής αξίας από Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), συμπεριλαμβανομένων κατηγοριών και ρυθμιστικών πλαισίων στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Λεπτομερείς ενότητες καλύπτουν την τρέχουσα κατάσταση των ΑΣΑ, τονίζοντας ανακυκλώσιμα υλικά όπως χαρτί, πλαστικό, γυαλί, μέταλλα και μπαταρίες. Η μελέτη εμβαθύνει στα ΑΗΗΕ, ένα απο τα πιο περίπλοκα ρεύματα των Στερεών Αποβλήτων, περιγράφοντας ορισμούς, κατηγορίες, ποσότητες καθώς και το Ελληνικό και διεθνές νομοθετικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί για τα συγκεκριμένα απόβλητα. Αναφέρονται επίσης οι προηγμένες μεθοδολογίες επεξεργασίας των ΑΗΗΕ, που αποσκοπούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας της ανακύκλωσης.

2.Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ)

Η διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που περιλαμβάνει μια ποικιλία τύπων αποβλήτων που παράγονται από νοικοκυριά, εμπορικές εγκαταστάσεις, ιδρύματα και ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες. Η αποτελεσματική διαχείριση αυτών των κατηγοριών αποβλήτων είναι απαραίτητη για τη δημόσια υγεία, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την οικονομική απόδοση. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούν οι κύριες κατηγορίες ΑΣΑ και οι στρατηγικές διαχείρισής τους, δίνοντας έμφαση σε πληροφορίες από αξιολογήσεις κύκλου ζωής (LCA) και άλλες επιστημονικές αξιολογήσεις.

Πριν εμβαθύνουμε στα Αστικά Στερεά Απόβλητα είναι σκόπιμο αρχικά να αναφερθούμε στα Στερεά Απόβλητα. Συγκεκριμένα, από το άρθρο 2 της Υ.Α. υπ. αριθ. Η.Π. 50910/2727/2003, ορίζεται ως ΄**στερεό απόβλητο** κάθε ουσία ή αντικείμενο που εμφανίζεται κυρίως σε στερεή φυσική κατάσταση το οποίο ο κάτοχος του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει και δεν περιλαμβάνεται στον κατάλογο επικίνδυνων αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.'

Τα στερεά απόβλητα, περιλαμβάνουν όλα τα στερεά ή και ημιστερεά απόβλητα, τα οποία με το πέρασμα του χρόνου θα πάψουν να έχουν αξία και σκοπό χρησιμότητας με αποτέλεσμα να απορριφθούν από τον κάτοχο τους. Είναι απορρίμματα που παράγονται από το νοικοκυριό(π.χ συσκευασίες, τρόφιμα και τα υπολείμματα αυτών),από αγροτικές εργασίες καθώς και από βιομηχανικές και εξορυκτικές δραστηριότητες. Ομαδοποιούνται στις εξής δυο κατηγορίες:

1. Αστικά απόβλητα ή απορρίμματα (ΑΣΑ)
2. Ειδικά απόβλητα
    - Επικίνδυνα απόβλητα
    - Μη επικίνδυνα απόβλητα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται πιο λεπτομερώς οι κατηγορίες τους και οι πηγές προέλευσης τους.

Πίνακας 1: Κατηγοροποιήση στερεών αποβλήτων

Στερεά Απόβλητα	Κατηγορίες
Αστικά απόβλητα	➔ Οικιακά ➔ Απόβλητα απο βιοτεχνίες ➔ Εμπορικά ➔ Απόβλητα απο τον καθαρισμό δρόμων
Ειδικά	
• Επικίνδυνα	➔ Βιομηχανικά ➔ Χημικά ➔ Πετρελαιοειδή ➔ Πολυχρωροδιφαινύλια και πολυχρωροτριφανύλια (PCB/PCT)
• Μη επικίνδυνα	➔ Αγροτικά και κτηνοτροφικά απόβλητα ➔ Απόβλητα απο εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις(ΑΕΚΚ)
• Ιατρικά	➔ Επικίνδυνα(λοιμογόνα και τοξικά) ➔ Οικιακού τύπου ➔ Αιχμηρά ➔ Ειδικά νοσοκομειακά

2.1 Κατηγορίες ΑΣΑ

Ως **αστικά στερεά απόβλητα** νοούνται τα οικιακά ή και άλλα απόβλητα, που είναι παρόμοια με τα οικιακά λόγω της φύσης ή της σύνθεσης τους. Μέσω αυτού του ορισμού τα ΑΣΑ μπορούν να διαχωριστούν απο τις άλλες τρείς βασικές κατηγορίες αποβλήτων, δηλαδή τα επικίνδυνα, τα αδρανή και τις ιλύες, τα οποία συλλέγονται ξεχωριστά και υπόκεινται σε διαφορετική επεξεργασια και διάθεση.

Τα ΑΣΑ μπορεί να περιλαμβάνουν στη σύσταση τους μια πληθώρα υλικών, γι' αυτό είναι σημαντική η ποιοτική τους ανάλυση για την πιο σωστή επεξεργασίας τους. Βάση

αυτού τα ΑΣΑ κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω ομάδες υλικών:

- **Οργανικά απόβλητα ή ζυμώσιμα**: Περιλαμβάνουν υπολείμματα τροφών και άλλα βιοαποδομήσιμα υλικά. Τα οργανικά απόβλητα αποτελούν σημαντικό μέρος των ΑΣΑ, ιδιαίτερα σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος όπου μπορούν να αποτελούν πάνω από το 50% των συνολικών παραγόμενων αποβλήτων. Η σωστή διαχείριση μέσω της κομποστοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να μειώσει τη χρήση των χωματερών και να παράγει χρήσιμα υποπροϊόντα όπως το κομπόστ και το βιοαέριο (Iqbal et al., 2020).

- **Χαρτί και χαρτόνι:** Τα απορρίμματα χαρτιού είναι διαδεδομένα, ειδικά σε χώρες υψηλού εισοδήματος. Περιλαμβάνει εφημερίδες, χαρτί γραφείου, συσκευασίες από χαρτόνι και άλλα προϊόντα χαρτιού. Η ανακύκλωση χαρτιού και χαρτονιού εξοικονομεί πόρους και ενέργεια. Οι αξιολογήσεις του κύκλου ζωής (LCAs) δείχνουν σταθερά ότι η ανακύκλωση αυτών των υλικών έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από την υγειονομική ταφή ή την αποτέφρωση χωρίς ανάκτηση ενέργειας (Cleary, 2009).

- **Πλαστικά**: Τα πλαστικά είναι ανθεκτικά και ανθεκτικά στην αποσύνθεση, θέτοντας σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις. Μπορούν να ανακυκλωθούν, να αποτεφρωθούν για ανάκτηση ενέργειας ή να απορριφθούν με ακατάλληλο τρόπο, οδηγώντας σε ρύπανση του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με μελέτες, τα πλαστικά αντιπροσωπεύουν περίπου το 12% των παγκόσμιων ΑΣΑ. Οι αποτελεσματικές τεχνολογίες ανακύκλωσης και απόβλητα σε ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων (Jeswani & Azapagic, 2016).

- **Γυαλί:** Τα απορρίμματα γυαλιού περιλαμβάνουν μπουκάλια, βάζα και άλλα δοχεία. Το γυαλί είναι πλήρως ανακυκλώσιμο και μπορεί να υποστεί επανειλημμένη επεξεργασία χωρίς απώλεια ποιότητας. Τα σωστά προγράμματα ανακύκλωσης μπορούν να μειώσουν σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των απορριμμάτων γυαλιού, υπογραμμίζοντας τη σημασία των ισχυρών δημοτικών πρωτοβουλιών ανακύκλωσης (Wang et al., 2021).

- **Μέταλλα:** Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τόσο τα σιδηρούχα (σίδηρος και χάλυβας) όσο και τα μη σιδηρούχα μέταλλα (αλουμίνιο, χαλκός κ.λπ.). Τα

μέταλλα είναι πολύτιμα ανακυκλώσιμα και η ανακύκλωσή τους μειώνει την ανάγκη για εξόρυξη πρώτων υλών και εξοικονομεί ενέργεια. Η ανακύκλωση μετάλλων παρέχεται οικονομικά κίνητρα λόγω της υψηλής αξίας ανάκτησής του (Ikhlayel et al., 2016).

- **Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα**: Τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα αποτελούνται από ρούχα, υφάσματα και άλλα ινώδη υλικά. Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακυκλωθούν σε νέα προϊόντα ή να χρησιμοποιηθούν ως βιομηχανικά κουρέλια. Ωστόσο, ένα σημαντικό μέρος εξακολουθεί να καταλήγει σε χωματερές, απαιτώντας καλύτερα προγράμματα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υφασμάτων (Iqbal et al., 2020).
- **Ηλεκτρονικά (Ηλεκτρονικά απόβλητα)**: Τα ηλεκτρονικά απόβλητα περιλαμβάνουν πεταμένες ηλεκτρονικές συσκευές όπως υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και τηλεοράσεις. Η σωστή διαχείριση είναι ζωτικής σημασίας λόγω των επικίνδυνων υλικών που περιέχονται στα ηλεκτρονικά απόβλητα, όπως ο μόλυβδος και ο υδράργυρος, και τα πολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός και το ασήμι που μπορούν να ανακτηθούν. Οι διαδικασίες ανακύκλωσης και ανάκτησης ηλεκτρονικών αποβλήτων πρέπει να βελτιωθούν για να μετριαστούν οι κίνδυνοι για το περιβάλλον και την υγεία (Jeswani & Azapagic, 2016).
- **Επικίνδυνα απόβλητα**: Αν και αποτελούν ένα μικρό ποσοστό των ΑΣΑ, τα επικίνδυνα απόβλητα περιλαμβάνουν μπαταρίες, χρώματα, χημικά και άλλα υλικά που απαιτούν ειδικό χειρισμό για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος και των κινδύνων για την υγεία. Απαιτούνται εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και πρωτόκολλα για την ασφαλή διάθεση και ανακύκλωση επικίνδυνων υλικών (Cleary, 2009).

2.1.1. Στρατηγικές Διαχείρισης



Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ,2003

Εικόνα 1:Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση ΑΣΑ

Η αποτελεσματική διαχείριση των ΑΣΑ περιλαμβάνει την ενσωμάτωση διαφόρων στρατηγικών για την αντιμετώπιση των διαφόρων κατηγοριών αποβλήτων:

- Μείωση: Η ελαχιστοποίηση της παραγωγής απορριμμάτων μέσω βιώσιμων πρακτικών κατανάλωσης και παραγωγής είναι η πιο αποτελεσματική στρατηγική. Αυτό περιλαμβάνει τη μείωση της συσκευασίας, την παράταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος και την προώθηση της συνειδητής κατανάλωσης (Wang et al., 2021).
- Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση: Η επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων και υλικών ανακύκλωσης όπως χαρτί, γυαλί, μέταλλα και ορισμένα πλαστικά μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάγκη για νέες πρώτες ύλες και την κατανάλωση ενέργειας. Τα ισχυρά προγράμματα ανακύκλωσης που υποστηρίζονται από δημόσιες πολιτικές και υποδομές είναι απαραίτητα για την επιτυχία αυτής της στρατηγικής (Iqbal et al., 2020).
- Κομποστοποίηση: Τα οργανικά απόβλητα μπορούν να κομποστοποιηθούν για να παράγουν πολύτιμες τροποποιήσεις του εδάφους, μειώνοντας τη χρήση των χωματερών και υποστηρίζοντας τη βιώσιμη γεωργία. Η κομποστοποίηση μειώνει επίσης τις εκπομπές μεθανίου από τα οργανικά απόβλητα στις χωματερές (Ikhlayel et al., 2016).

- Ανάκτηση ενέργειας: Οι τεχνολογίες Waste-to-Energy (WtE) μετατρέπουν τα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα σε χρησιμοποιήσιμη θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια ή καύσιμα μέσω αποτέφρωσης, πυρόλυσης και αεριοποίησης. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στη διαχείριση των απορριμμάτων κατά την ανάκτηση ενέργειας. Οι AKZ υποδεικνύουν ότι οι τεχνολογίες WtE μπορούν να είναι πιο περιβαλλοντικά βιώσιμες από την υγειονομική ταφή, ειδικά όταν συνδυάζονται με ανάκτηση ενέργειας (Jeswani & Azapagic, 2016).
- Ταφή: Παρά τις εξελίξεις στη διαχείριση των απορριμμάτων, η υγειονομική ταφή παραμένει κοινή. Οι σύγχρονοι χώροι υγειονομικής ταφής έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω μηχανικών ελέγχων όπως οι επενδύσεις και τα συστήματα συλλογής στραγγισμάτων. Ωστόσο, η πεπερασμένη διαθεσιμότητα χώρου υγειονομικής ταφής απαιτεί τη διερεύνηση εναλλακτικών στρατηγικών διαχείρισης απορριμμάτων (Cleary, 2009).

2.1.2. Παγκόσμιες και Περιφερειακές Προοπτικές

Η σύνθεση και η διαχείριση των ΑΣΑ ποικίλλει σημαντικά μεταξύ περιοχών και επιπέδων εισοδήματος. Οι χώρες υψηλού εισοδήματος τείνουν να παράγουν περισσότερο χαρτί, πλαστικά και μέταλλα, ενώ οι χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος παράγουν περισσότερα οργανικά απόβλητα. Αυτές οι διαφορές απαιτούν προσαρμοσμένες στρατηγικές διαχείρισης απορριμμάτων που αντιμετωπίζουν συγκεκριμένες τοπικές συνθήκες και προκλήσεις (Iqbal et al., 2020).

Συμπερασματικά, τα αστικά στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα υλικών, καθένα από τα οποία απαιτεί συγκεκριμένες προσεγγίσεις διαχείρισης για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την προώθηση της αειφορίας. Η αποτελεσματική διαχείριση των ΑΣΑ περιλαμβάνει έναν συνδυασμό μείωσης, επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης, κομποστοποίησης, ανάκτησης ενέργειας και υπεύθυνης υγειονομικής ταφής. Η παγκόσμια συνεργασία και οι τοπικές πρωτοβουλίες είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης πρόκλησης των ΑΣΑ. Η ενοποίηση διαφόρων τεχνολογιών και πρακτικών διαχείρισης απορριμμάτων, που

υποστηρίζονται από ολοκληρωμένες ΑΚΖ, μπορεί να καθοδηγήσει την ανάπτυξη πιο βιώσιμων και αποτελεσματικών συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων (Cleary, 2009; Jeswani & Azapagic, 2016; Wang et al., 2021).

2.2. Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ευρώπη

Το θεσμικό πλαίσιο της διαχείρισης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) στην Ευρώπη χαρακτηρίζεται από ένα συνδυασμό ρυθμιστικών μέτρων, πλαισίων πολιτικής και θεσμικών διαμορφώσεων σε διάφορα επίπεδα διακυβέρνησης (Rios & Picazo-Tadeo,2021). Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και τον συντονισμό των πολιτικών διαχείρισης αποβλήτων στα κράτη μέλη της. Ακολουθούν βασικές πτυχές του θεσμικού πλαισίου για τη διαχείριση των ΑΣΑ στην Ευρώπη:

- <u>Νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης:</u>

Η ΕΕ έχει θεσπίσει ένα ολοκληρωμένο νομικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση της διαχείρισης των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένου των ΑΣΑ. Η οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/ΕΚ) αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο, παρέχοντας τις πρωταρχικές αρχές για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Άλλες σχετικές οδηγίες περιλαμβάνουν την οδηγία για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασίας, την Οδηγία για τους ΧΥΤΑ (1999/31/ΕΚ) και για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (2018/850) την Οδηγία για τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό (2011/65/ΕΕ) (RoHS).

- <u>Εθνική νομοθεσία σε επίπεδο κράτους-μέλους:</u>

Κάθε κράτος μέλος της ΕΕ είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των οδηγιών της ΕΕ στην εθνική νομοθεσία (Tojo, Neubauer & Brauer,2008). Οι εθνικοί νόμοι περιγράφουν συγκεκριμένα μέτρα, στόχους και ευθύνες για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Η αρμοδιότητα για τη διαχείριση των αποβλήτων μοιράζεται συχνά μεταξύ διαφορετικών επιπέδων διακυβέρνησης, συμπεριλαμβανομένων των εθνικών, περιφερειακών και τοπικών αρχών.

- Περιφερειακές και τοπικές αρχές:

Οι περιφερειακές και τοπικές αρχές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην εφαρμογή των πολιτικών διαχείρισης αποβλήτων. Είναι υπεύθυνες για συστήματα συλλογής, εγκαταστάσεις επεξεργασίας απορριμμάτων και εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού. Πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων όπου οι τοπικοί δήμοι έχουν σημαντικό βαθμό αυτονομίας (Vujić,2015).

- Σχέδια Διαχείρισης Απορριμμάτων:

Τα κράτη μέλη καλούνται να αναπτύξουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων που περιγράφουν στρατηγικές για την πρόληψη, την ανακύκλωση και τη διάθεση των αποβλήτων. Αυτά τα σχέδια θέτουν στόχους και προθεσμίες για τη μείωση και την ανακύκλωση των απορριμμάτων. Τα σχέδια αναθεωρούνται περιοδικά για να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να ευθυγραμμίζονται με τους στόχους της ΕΕ (Kalogirou & Sakalis,2016).

- Διευρυμένη Ευθύνη Παραγωγού (EPR):

Η έννοια της EPR υιοθετείται ευρέως στην ευρωπαϊκή διαχείριση απορριμμάτων. Θεωρεί τους παραγωγούς υπεύθυνους για ολόκληρο τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους, συμπεριλαμβανομένης της σωστής απόρριψης (Tojo, Neubauer & Bräuer, 2008). Τα προγράμματα EPR δίνουν κίνητρα στους παραγωγούς να σχεδιάζουν προϊόντα με γνώμονα την ανακύκλωση και να συνεισφέρουν οικονομικά στα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων.

- Πακέτο κυκλικής οικονομίας:

Η δέσμη μέτρων της ΕΕ για την κυκλική οικονομία δίνει έμφαση στην αποδοτικότητα των πόρων και στη βιώσιμη διαχείριση των αποβλήτων (Malinauskaite et al.,2017). Περιλαμβάνει στόχους για την ανακύκλωση, τη μείωση της υγειονομικής ταφής και την προώθηση της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών (Restuccia et al.,2015).

- Παρακολούθηση και αναφορά:

Τα κράτη μέλη οφείλουν να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις επιδόσεις τους στη διαχείριση αποβλήτων. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ, δ.χ.) διαδραματίζει ρόλο στην αξιολόγηση της προόδου προς τους στόχους της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων.

- Διεθνής συνεργασία:

Οι ευρωπαϊκές χώρες συχνά συνεργάζονται σε θέματα διαχείρισης αποβλήτων μέσω διεθνών πλατφορμών και οργανισμών, ανταλλάσσοντας βέλτιστες πρακτικές και αντιμετωπίζοντας τις διασυνοριακές μετακινήσεις αποβλήτων (Rios & Picazo-Tadeo,2021).

Το θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των ΑΣΑ στην Ευρώπη είναι δυναμικό, εξελίσσεται συνεχώς για να ανταποκριθεί στις νέες περιβαλλοντικές προκλήσεις και να ευθυγραμμιστεί με τις αρχές μιας κυκλικής οικονομίας. Η επιρροή της ΕΕ, σε συνδυασμό με εθνικές και τοπικές πρωτοβουλίες, συμβάλλει σε μια συντονισμένη και συνολική προσέγγιση για τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων.

2.3 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη (ποιοτική σύσταση και ετήσιες ποσότητες)

Ποιοτική Σύνθεση:

- Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ):

Τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν οικιακά απόβλητα, καθώς και παρόμοια απόβλητα από μικρές επιχειρήσεις (Pires, Martinho & Chang,2011). Συνήθως αποτελείται από οργανικά απόβλητα, χαρτί και χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί, μέταλλα, υφάσματα και άλλα υλικά.

- Απορρίμματα συσκευασίας:

Τα απορρίμματα συσκευασίας αποτελούν σημαντικό συστατικό των συνολικών απορριμμάτων και περιλαμβάνουν υλικά όπως χαρτί και χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί και μέταλλα (Christensen,2011).

- Ηλεκτρονικά απόβλητα (E-Waste):

Με την αυξανόμενη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, τα ηλεκτρονικά απόβλητα έχουν γίνει κρίσιμη ανησυχία. Αυτό περιλαμβάνει πεταμένους υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλα ηλεκτρονικά gadget (Selin & VanDeveer,2006).

- Απόβλητα Κατασκευών και Κατεδαφίσεων:

Οι δραστηριότητες κατασκευής και κατεδάφισης παράγουν σημαντικά απόβλητα, όπως σκυρόδεμα, τούβλα, ξύλο και άλλα οικοδομικά υλικά (Christensen,2011).

- Επικίνδυνα απόβλητα:

Τα επικίνδυνα απόβλητα περιλαμβάνουν υλικά που ενέχουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον (Selin & VanDeveer,2006). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει διάφορες ουσίες, όπως χημικές ουσίες, μπαταρίες και ορισμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Ετήσιες ποσότητες:

- Αστικά Στερεά Απόβλητα:

Η συνολική ποσότητα ΑΣΑ που παράγεται στην Ευρώπη είναι σημαντική, με εκατομμύρια τόνους να παράγονται ετησίως (Pires, Martinho & Chang,2011). Τα ποσοστά ανακύκλωσης και κομποστοποίησης ποικίλλουν μεταξύ των χωρών.

- Απορρίμματα συσκευασίας:

Οι ποσότητες απορριμμάτων συσκευασίας επηρεάζονται από τα πρότυπα κατανάλωσης. Οι προσπάθειες για τη μείωση των πλαστικών μιας χρήσης και την προώθηση της ανακύκλωσης συνεχίζονται.

- Ηλεκτρονικά απόβλητα:

Οι ποσότητες ηλεκτρονικών αποβλήτων έχουν αυξηθεί λόγω των τεχνολογικών προόδων και των μικρότερων κύκλων ζωής των προϊόντων(Parajuly et al.,2020). Η ανακύκλωση και η σωστή διάθεση των ηλεκτρονικών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

- Απόβλητα Κατασκευών και Κατεδαφίσεων:

Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων μπορούν να αποτελούν σημαντικό μέρος των συνολικών απορριμμάτων που παράγονται και οι προσπάθειες ανακύκλωσης στοχεύουν στην ανάκτηση πολύτιμων υλικών από αυτό το ρεύμα.

- Επικίνδυνα απόβλητα:

Οι ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων παρακολουθούνται στενά λόγω των πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων και κινδύνων για την υγεία. Οι κατάλληλες εγκαταστάσεις διάθεσης και επεξεργασίας είναι απαραίτητες για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων (Selin & VanDeveer,2006).

Βασικές τάσεις και προκλήσεις:

- Αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης:

Πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν εργαστεί για να αυξήσουν τα ποσοστά ανακύκλωσης και να μειώσουν τις χωματερές. Αυτό συχνά καθοδηγείται από τις οδηγίες της ΕΕ και τα εθνικά σχέδια διαχείρισης αποβλήτων.

- Πρωτοβουλίες Κυκλικής Οικονομίας:

Η προώθηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας έχει αποκτήσει εξέχουσα θέση, ενθαρρύνοντας την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση υλικών και μειώνοντας τη συνολική κατανάλωση πόρων (Parajuly et al.,2020).

- Μείωση πλαστικών απορριμμάτων:

Οι προσπάθειες για τη μείωση των πλαστικών απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών μιας χρήσης, αποτέλεσαν κομβικό σημείο των στρατηγικών διαχείρισης απορριμμάτων στην Ευρώπη (Robaina et al.,2020).

- Απόβλητα σε ενέργεια:

Ορισμένες χώρες επενδύουν σε τεχνολογίες απόβλητα σε ενέργεια για την ανάκτηση ενέργειας από μη ανακυκλώσιμα απόβλητα, με στόχο τη μείωση της εξάρτησης από τους χώρους υγειονομικής ταφής (Malinauskaite et al.,2017).

Τα συστήματα EPR συνεχίζουν να εξελίσσονται, καθιστώντας τους παραγωγούς υπεύθυνους για τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων και των συσκευασιών τους.

2.4. Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα (ποιοτική σύσταση και ετήσιες ποσότητες)

Ποιοτική Σύνθεση:

- Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ):

Αναλογικά με την εικόνα που παρουσιάστηκε ανωτέρω για την ποιοτική και ποσοτική σύνθεση των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ευρώπη, παρουσιάζεται και η εικόνα για την Ελλάδα. Τα ΑΣΑ στην Ελλάδα περιλαμβάνουν οικιακά απόβλητα καθώς και απόβλητα από εμπορικές και θεσμικές

πηγές. Συνήθως αποτελείται από οργανικά απόβλητα, χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί, μέταλλα, υφάσματα και άλλα υλικά.

- Απορρίμματα συσκευασίας:

Τα απόβλητα συσκευασίας είναι ένα σημαντικό συστατικό του συνολικού ρεύματος αποβλήτων και περιλαμβάνει υλικά όπως χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί και μέταλλα.

- Απόβλητα Κατασκευών και Κατεδαφίσεων:

Οι δραστηριότητες κατασκευής και κατεδάφισης δημιουργούν απόβλητα υλικά, όπως σκυρόδεμα, τούβλα, ξύλο και άλλα οικοδομικά υλικά.

- Ηλεκτρονικά απόβλητα (E-Waste):

Τα ηλεκτρονικά απόβλητα περιλαμβάνουν απορριπτόμενες ηλεκτρονικές συσκευές και εξοπλισμό. Καθώς η χρήση της τεχνολογίας αυξάνεται, η παραγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων γίνεται μια αυξανόμενη ανησυχία.

- Επικίνδυνα απόβλητα:

Τα επικίνδυνα απόβλητα περιλαμβάνουν υλικά που ενέχουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει διάφορες ουσίες, όπως χημικές ουσίες, μπαταρίες και ορισμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Ετήσιες ποσότητες:

- Αστικά Στερεά Απόβλητα:

Η Ελλάδα παράγει σημαντική ποσότητα αστικών στερεών αποβλήτων ετησίως (Kalogirou & Sakalis,2016). Οι μέθοδοι ανακύκλωσης και απόρριψης ποικίλλουν και ενδέχεται να γίνουν προσπάθειες για να αυξηθούν τα ποσοστά ανακύκλωσης.

- Απορρίμματα συσκευασίας:

Οι ποσότητες των απορριμμάτων συσκευασίας επηρεάζονται από τη συμπεριφορά των καταναλωτών και τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Οι πρωτοβουλίες ανακύκλωσης στοχεύουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών συσκευασίας. Η Ελλάδα και σε αυτή τη περίπτωση, παράγει μεγάλο όγκο απορριμμάτων (Kalogirou & Sakalis,2016 .

- Απόβλητα Κατασκευών και Κατεδαφίσεων:

Οι ποσότητες των απορριμμάτων κατασκευών και κατεδαφίσεων εξαρτώνται από το επίπεδο της κατασκευαστικής δραστηριότητας. Ενδέχεται να καταβάλλονται προσπάθειες για την ανακύκλωση και τη βιώσιμη διαχείριση αυτών των υλικών.

- Ηλεκτρονικά απόβλητα:

Η παραγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων στην Ελλάδα επηρεάζεται από τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις καταναλωτικές συνήθειες, με τον όγκο σε μπαταρίες να ξεχωρίζει εν προκειμένω (Kalogirou & Sakalis,2016). Η σωστή διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων είναι απαραίτητη για την πρόληψη της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

- Επικίνδυνα απόβλητα:

Οι ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων παρακολουθούνται λόγω των πιθανών κινδύνων που συνδέονται με την ακατάλληλη διάθεση. Υπάρχουν εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και κανονισμοί για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων.

Βασικές τάσεις και προκλήσεις:

- Υποδομή διαχείρισης απορριμμάτων:

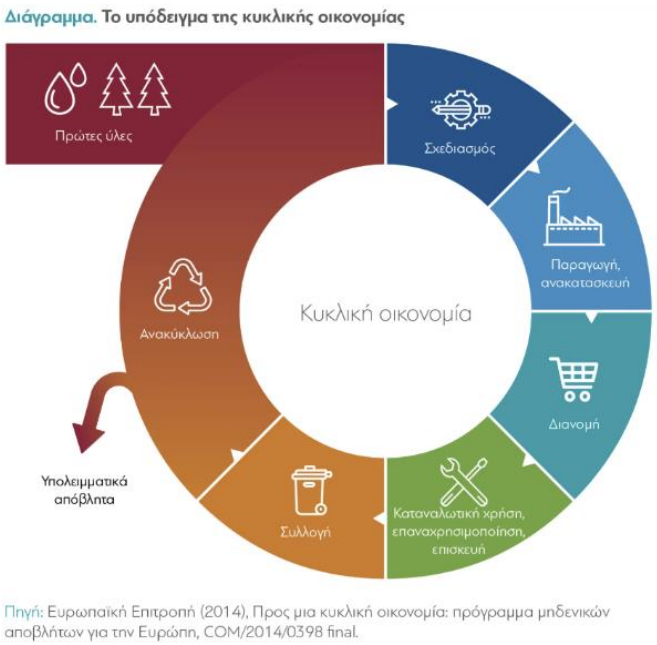
Η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης απορριμμάτων στην Ελλάδα εξαρτάται από την υποδομή που υπάρχει για συλλογή, ανακύκλωση και διάθεση. Παρόλη την πρόοδο και τις ενέργειες, η Ελλάδα εξακολουθεί σε ένα ποσοστό της τάξεως του 80% να χρησιμοποιεί τη μέθοδο της ταφής, με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να κρούει τον κώδωνα του κινδύνου (Έθνος, 2023).

- Πρωτοβουλίες για την ανακύκλωση:

Έχουν τεθεί σε εξέλιξη προσπάθειες για την αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης και την προώθηση των πρακτικών διαχείρισης βιώσιμων αποβλήτων, ευθυγραμμίζοντας με τους ευρωπαϊκούς και εθνικούς στόχους διαχείρισης αποβλήτων (Kalogirou & Sakalis,2016).

- Αρχές Κυκλικής Οικονομίας:

Η προώθηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας, με έμφαση στην αποδοτικότητα των πόρων και την ανακύκλωση των υλικών, επηρεάζει τις πολιτικές διαχείρισης των αποβλήτων στην Ελλάδα οι οποίες εναρμονίζονται με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες σε μεγάλο βαθμό (Kalogirou & Sakalis,2016).



Εικόνα 2:Προς μια κυκλική οικονομία: πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων για την Ευρώπη Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2014).

- <u>Νομοθετικό Πλαίσιο:</u>

Η συμμόρφωση με τις οδηγίες διαχείρισης αποβλήτων της ΕΕ και η εφαρμογή των εθνικών σχεδίων διαχείρισης αποβλήτων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των πρακτικών αποβλήτων στην Ελλάδα.

- <u>Ευαισθητοποίηση του κοινού:</u>

Οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού και οι εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες μπορούν να επηρεάσουν τη μείωση των αποβλήτων, την ανακύκλωση και τις κατάλληλες πρακτικές διάθεσης αποβλήτων μεταξύ του πληθυσμού.

Συμπερασματικά, σε ένα ευρύτερο ευρωπαϊκό πλαίσιο, το 2020, τα συνολικά απόβλητα που παράγονται στην ΕΕ από όλες τις οικονομικές δραστηριότητες και τα νοικοκυριά ανήλθαν σε περίπου 2.135 εκατομμύρια τόνους, που μεταφράζεται σε περίπου 4.815

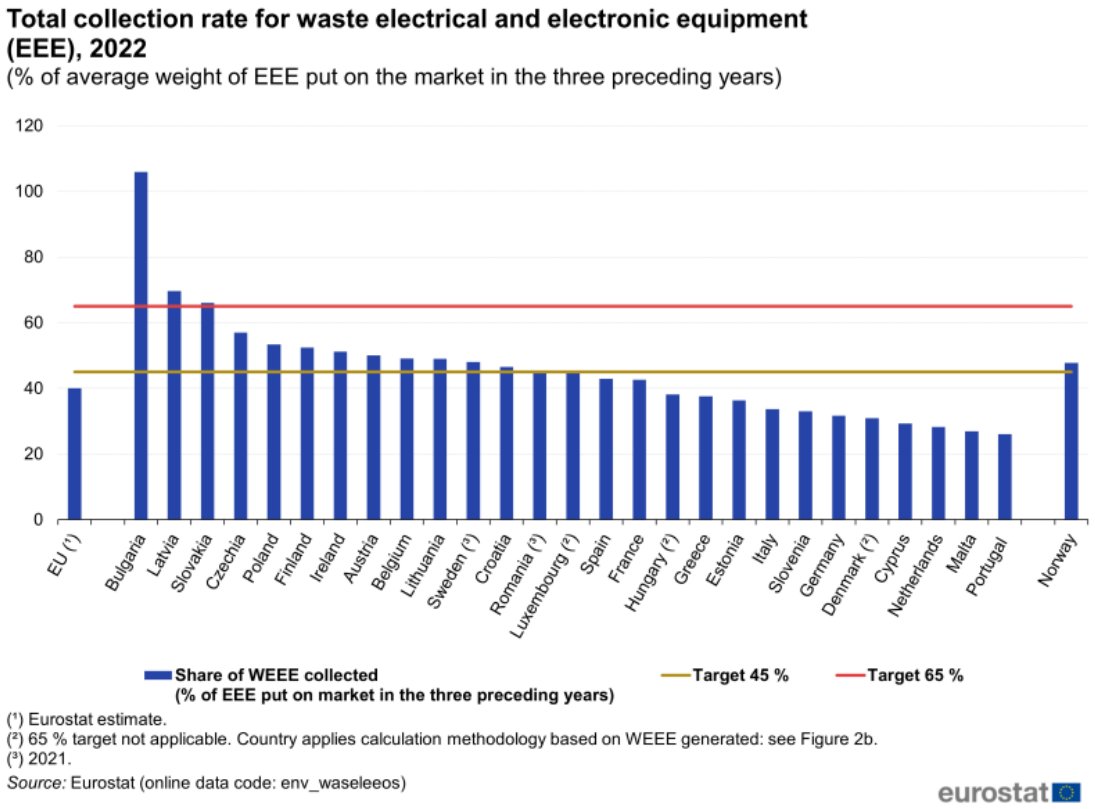
κιλά κατά κεφαλήν. Σημαντική συμβολή στη δημιουργία απορριμμάτων προήλθε από τομείς όπως οι κατασκευές και τα ορυχεία και τα λατομεία.

Η συνολική τάση στην ΕΕ δείχνει προσπάθειες για αυξημένη ανακύκλωση και ανάκτηση, με αξιοσημείωτη μείωση της διάθεσης αποβλήτων μέσω της υγειονομικής ταφής από το 2004 έως το 2020, υποδηλώνοντας μια στροφή προς πιο βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων (European Comission,2020).

Την τελευταία δεκαετία, η ποσότητα των ηλεκτρονικών αποβλήτων (e-waste) που παράγεται στην Ελλάδα έχει δείξει μια τάση που γενικά αντανακλά τα παγκόσμια πρότυπα, με σταθερή αύξηση με την πάροδο των ετών. Αυτή η αύξηση ευθυγραμμίζεται με την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρονικών αποβλήτων που αναφέρεται παγκοσμίως, λόγω των υψηλότερων ρυθμών κατανάλωσης, των μικρότερων κύκλων ζωής των προϊόντων και των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων (UNITAR,2024).

Στην Ευρώπη, η διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων καθοδηγείται από συγκεκριμένους στόχους που τίθενται βάσει της Οδηγίας ΑΗΗΕ της ΕΕ, η οποία επιβάλλει την αύξηση των ποσοστών συλλογής και ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων. Από το 2021, τα κράτη μέλη της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, γνώρισαν ποικίλες επιτυχίες στην επίτευξη αυτών των στόχων, με ορισμένα να επιτυγχάνουν, ακόμη και να ξεπερνούν τους ελάχιστους στόχους συλλογής που ορίστηκαν στο 45% και στο 65%. Η οδηγία στοχεύει στην ενίσχυση της διαχείρισης των ηλεκτρονικών αποβλήτων για την προώθηση μιας κυκλικής οικονομίας και τη βελτίωση των περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή,2021).

Κατά τη σύγκριση της Ελλάδας με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη το ευρύτερο πλαίσιο που παρέχεται από τις απαιτήσεις της οδηγίας. Ορισμένες χώρες έχουν διακριθεί, φτάνοντας σε ποσοστά συλλογής έως και 65% ή περισσότερο, ενώ άλλες υστερούν, αντανακλώντας διαφορές στην υποδομή, τη συμπεριφορά των καταναλωτών και την επιβολή των κανονισμών. Αυτή η απόκλιση υπογραμμίζει τις προκλήσεις και τα επιτεύγματα στην περιοχή όσον αφορά τη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή,2021).



Πίνακας 2: Συλλογή ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων στις χώρες της ΕΕ

Στο ανωτέρω διάγραμμα η θέση της Ελλάδας είναι στα 5,98 κιλογραμμάρια αποβλήτων ανά κάτοικο. Συνολικά, ενώ η Ελλάδα, όπως και πολλές άλλες χώρες, αντιμετωπίζει προκλήσεις στη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων, έχει γίνει σαφής προσπάθεια εντός της ΕΕ για βελτίωση των αποτελεσμάτων μέσω ρυθμιστικών μέτρων και στόχων που στοχεύουν στην αύξηση του ποσοστού συλλογής και ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων.

Το 2022, η Ελλάδα παρήγαγε σημαντική ποσότητα ηλεκτρονικών αποβλήτων (e-waste), συνεισφέροντας στο παγκόσμιο σύνολο των 62 εκατομμυρίων τόνων. Αυτός ο παγκόσμιος αριθμός ισοδυναμεί με το βάρος 107.000 από τα μεγαλύτερα επιβατικά αεροσκάφη του κόσμου, απεικονίζοντας τη μαζική κλίμακα ηλεκτρονικών αποβλήτων που παράγονται ετησίως. Παρόλα αυτά, λιγότερο από το ένα τέταρτο (22,3%) της παγκόσμιας μάζας ηλεκτρονικών αποβλήτων τεκμηριώθηκε ότι συλλέγεται και ανακυκλώνεται σωστά, υπογραμμίζοντας ένα σημαντικό κενό στη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων και τις προσπάθειες ανακύκλωσης.

Σημειώνεται ότι εάν τα ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης φτάσουν το 60% έως το 2030, τα οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία, θα ξεπερνούσαν το κόστος κατά πάνω από 38 δισεκατομμύρια δολάρια. Το Global E-waste Monitor 2024 αναφέρει επίσης μια κρίσιμη εξάρτηση από μερικές χώρες για στοιχεία σπάνιων γαιών, απαραίτητα για τις μελλοντικές τεχνολογίες, υπογραμμίζοντας τη σημασία της βελτίωσης της ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων για την κάλυψη της ζήτησης υλικών βιώσιμα (UNITAR,2024).

3. Ανακύκλωση

Η αύξηση του πληθυσμού, η αστικοποίηση και η τεχνολογική ανάπτυξη είναι παράγοντες που οδήγησαν σταδιακά στην μεγάλη παραγωγή προϊόντων. Αποτελεί ένα φαινόμενο παγκόσμιας κλίμακας το οποίο επιφέρει σημαντικές περιβαλλοντικές, οικονομικές αλλά και κοινωνικές επιπτώσεις. Για την προστασία του περιβάλλοντος και κατ΄ επέκταση της ανθρώπινης υγείας, είναι σημαντικό να ενταχθεί περισσότερο στη ζωή μας η έννοια της ανακύκλωσης, που θεωρείται μια από τις καλύτερες λύσεις για τη διαχείρισή των απορριμμάτων καθώς αποσκοπεί στην παραγωγή νέων αγαθών μέσω της επεξεργασίας υλικών που θεωρούνται απόβλητα.

Αναλυτικότερα, στο άρθρο 3 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ ορίζεται ως ανακύκλωση 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.

Η ανακύκλωση για να έχει αποτέλεσμα σε μια χώρα χρειάζεται τη συμβολή όλων των πολίτων της, των παραγωγών, των επιχειρήσεων και των αρμοδίων αρχών. Πρωταρχικό ρόλο παίζει η σωστή ενημέρωση των κάτοικων για να μπορούν να διαχωρίζουν ορθά τα ανακυκλώσιμα τους προϊόντα και να τα μεταφέρουν στους αντίστοιχους κάδους ανακύκλωσης, όπου θα ακολουθήσει η μετέπειτα τους επεξεργασία. Τους θεσμοθετημένους κανονισμούς πρέπει να τηρούν επίσης οι παραγωγοί και οι έμποροι.

Η ανακύκλωση όμως αποτελεί ένα μελανό σημείο για την Ελλάδα καθώς βρίσκεται μακριά από το φτάσει τους στόχους που έχει θεσπίσει η Ε.Ε σύμφωνα με το νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία. Συγκεκριμένα η Ελλάδα αγγίζει το 16% στην ανακύκλωση αστικών αποβλήτων και το 52,9% στην ανακύκλωση συσκευασιών ,ενώ ο στόχος για το 2025 είναι 55% και 65% αντίστοιχα.

Τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης είναι τα εξής:

- ➔ Μείωση της ποσότητας των αστικών στερεών αποβλήτων που πρέπει να αποτεθεί σε Χώρους υγειονομικής Ταφής Απορριμάτων (Χ.Υ.Τ.Α)
- ➔ Μείωση εδαφικής και αέριας ρύπανσης που προκαλείται απο άλλες μεθόδους όπως η υγειονομική ταφή και η αποτέφρωση. Με την υγειονομική ταφή μολύνονται οι υπόγειοι υδροφορείς λόγω της δημιουργίας στραγγισμάτων δηλαδή υγρών αποβλήτων, ενώ με την αποτέφρωση απελευθερώνονται διάφοροι αέριοι ρύποι και τοξικές ενώσεις όπως διοξίνες και φουράνια
- ➔ Μείωση κατανάλωσης ενέργειας, καθώς απαιτείται λιγότερη επεξεργασία για τη δημιουργία νέων προϊόντων από ανακυκλώσιμα υλικά απ΄ ότι από παρθένα υλικά.
- ➔ Εξοικονόμηση πολύτιμων πρώτων υλών
- ➔ Νέες θέσεις εργασίας

3.1. Ανακυκλώσιμα υλικά



Εικόνα 3: Ανακυκλώσιμα υλικά

Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθούμε στα προϊόντα που μπορούν να ανακυκλωθούν καθώς και στην επεξεργασία ανακύκλωση τους. Τα υλικά αυτά είναι το γυαλί, το χαρτί, οι μπαταρίες, τα ηλεκτρονικά απόβλητα, τα φωτιστικά είδη, διάφορα μέταλλα όπως ο σίδηρος, το αλουμίνιο και ο χάλυβας και τέλος τα πλαστικά.

Η ανακύκλωση των συγκεκριμένων υλικών προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη καθώς μειώνεται σε μεγάλο ποσοστό η κατανάλωση νερού και ενέργειας. Είναι σημαντική για την διασφάλιση των αποθεμάτων των πρώτων υλών και περιορίζει την περιβαλλοντική ρύπανση. Τα σημαντικότερα οφέλη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3:Οφέλη της ανακύκλωσης απο το αλουμίνιο, το χάλυβα, το χαρτί και το γυαλί

ΟΦΕΛΗ	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	ΧΑΛΥΒΑΣ	ΧΑΡΤΙ	ΓΥΑΛΙ
ΜΕΙΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	-	40%	58%	50%
ΜΕΙΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	90-97%	47-74%	23-77%	32%
ΜΕΙΩΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	97%	76%	35%	-
ΜΕΙΩΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΕΡΑ	95%	85%	75%	20%

3.1.1 Χαρτί

Το χαρτί μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί σχεδόν σε όλες του τις μορφές(έντυπα, σακούλες χάρτινες, εφημερίδες, χαρτιά περιτυλίγματος κ.α). Το χαρτί που δεν ανακυκλώνεται είναι:

- ➔ Χαρτί που έχει υπολείμματα τροφών και λίπη(π.χ κουτιά πίτσας)
- ➔ Σκισμένο χαρτί, δηλαδή να μην είναι σε μέγεθος τουλάχιστον Α4
- ➔ Βρεγμένα χαρτιά ή και κολλημένα μεταξύ τους
- ➔ Χαρτί που καλύπτεται από πλαστικό ή αλουμίνιο
- ➔ Χαρτί συσκευασίας, λόγω της ήδη κακής του κατάστασης



Εικόνα 4:Ανακύκλωση χαρτιού

Η ανακύκλωση του χαρτιού ακολουθεί την εξής διαδικασία.

- ➔ Γίνεται συλλογή από διάφορες πηγές όπως τις βιομηχανίες, τις εμπορικές επιχειρήσεις, τα νοικοκυριά κ.α. Είναι απαραίτητο να συλλέγεται χωριστά από τα υπόλοιπα απόβλητα για να παραμείνει καθαρό.
- ➔ Αφού ταξινομηθεί καταλλήλως μεταφέρεται σε κέντρα ανακύκλωσης σε σφιχτές μπάλες.
- ➔ Τοποθετείται στις μηχανές πολτοποίησης όπου τεμαχίζεται μαζί με νερό και άλλες χημικές ουσίες έτσι ώστε να διαχωριστεί σε κομμάτια κυτταρίνης, δηλαδή στις ίνες.
- ➔ Στη συνέχεια οι ίνες καθαρίζονται και ο πολτός φιλτράρεται μέχρι να απομακρυνθούν τυχόν μικρά αντικείμενα όπως πλαστικό.
- ➔ Ακολουθεί η απομελάνωση ,δηλαδή η απομάκρυνση του μελανιού, κάτι που αποσκοπεί στη λεύκανση του υλικού. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισχώρηση αέρα στο διάλυμα χαρτιού -νερού με αποτέλεσμα να προσκολληθεί το μελάνι στις φυσαλίδες αέρα, να ανέβει στην επιφάνεια και να απομακρυνθεί.
- ➔ Ο πολτός είναι έτοιμος για να παραχθούν νέα αγαθά, όπως χαρτόνια, χαρτί εκτύπωσης και γραφής, χαμηλότερης όμως όμως ποιότητας αφού με τη συγκεκριμένη διαδικασία οι δεσμοί που συγκρατούν τις ίνες σταδιακά σπάνε και το υλικό αχρηστεύεται. Το χαρτί μπορεί να ανακυκλωθεί έως και 6 φορές. Για την παραγωγή καινούριου χαρτιού προστίθεται εκ νέου πρώτη ύλη.

3.1.2 Πλαστικό



Εικόνα 5: Ανακύκλωση πλαστικού

Το πλαστικό αποτελεί ένα ζήτημα μείζονος σημασίας καθώς επιφέρει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, στα θαλάσσια οικοσυστήματα και στην ανθρώπινη υγεία. Είναι ένα υλικό που παράγεται σε μεγάλο βαθμό παγκοσμίως και βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα αγαθά που χρησιμοποιούμε καθημερινά, δημιουργώντας έτσι μια τεράστια ποσότητα αποβλήτων. Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 700.000 τόνοι πλαστικά απορρίμματα το χρόνο. Από αυτά ανακυκλώνεται μόνο το 8% ενώ το υπόλοιπο ποσοστό καταλήγει στις χωματερές. Ως επι το πλείστων το συγκεκριμένο υλικό δημιουργείται από πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακα και το μεγαλύτερο ποσοστό του δεν είναι βιοδιασπώμενο. Το πλαστικό δεν εξαφανίζεται και κυρίως εκείνο που προορίζεται για μια χρήση. Περνάνε πολλά χρόνια για να αρχίσει να διασπάται και πιο συγκεκριμένα απλά κατακερματίζεται σε μικρότερα κομμάτια που ονομάζονται μικροπλαστικά, κάποια από τα οποία δεν είναι καν ορατά με γυμνό μάτι και δεν μπορούν να ανακτηθούν καταλήγοντας έτσι στα οικοσυστήματα και κατ’΄ επέκταση στη τροφική αλυσίδα.

Τα πλαστικά αποτελούνται κυρίως από τα έξι πολυμερή που παρουσιάζονται παρακάτω:

- **PP (πολυπροπυλένιο)**, βρίσκεται κυρίως σε σωλήνες, συσκευασίες τροφίμων, καπάκια και σε μέρη αυτοκινήτων
- **LDPE (πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας)**, βρίσκεται κυρίως σε επαναχρησιμοποιούμενες σακούλες, δίσκους, δοχεία και σε αγροτικές μεμβράνες
- **HDPE (πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας)**, βρίσκεται κυρίως σε μπουκάλια, οικιακά είδη και παιχνίδια
- **PS/EPS (πολυστυρένιο/διογκωμένο πολυστυρένιο)**, βρίσκεται κυρίως σε συσκευασίες γαλακτοκομικών προϊόντων, σκελετούς γυαλιών και ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό
- **PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο)**, βρίσκεται κυρίως σε κουφώματα, επενδύσεις τοίχου, δάπεδα και μόνωση καλωδίων
- **PET (πολυτερεφθαλικός αιθυλενεστέρας)**, βρίσκεται κυρίως σε μπουκάλια νερού, αναψυκτικών και καθαριστικών

Τα σημαντικότερα προβλήματα στην ανακύκλωση πλαστικών είναι η αμέτρητη ποσότητα τους σαν απορρίμματα, η διάσπαση τους σε μικροπλαστικά, και το γεγονός πως πολλά προϊόντα αποτελούνται από διαφορετικά είδη πλαστικού, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο διαχωρισμός. Υπάρχουν δυο κατηγορίες ανακύκλωσης:

1. Μηχανική ανακύκλωση, όπου εκτελούνται μόνο φυσικές διεργασίες με ή χωρίς τη χρήση διαλυτών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανακυκλωμένων πλαστικών
2. Χημική ανακύκλωση, όπου δημιουργούνται διάφορα μονομερή και ενώσεις προστιθέμενης αξίας

Η διαδικασία της ανακύκλωσης των πλαστικών είναι η παρακάτω:

➔ Συλλογή από των πλαστικών αποβλήτων από διάφορους φορείς (π. σπίτια, επιχειρήσεις κ.α.) και μεταφορά στα κέντρα ανακύκλωσης

- ➔ Ταξινόμηση ανάλογα του είδους του πολυμερούς από το οποίο αποτελούνται τα πλαστικά. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

1.χειρωνακτικά, όπου τα πλαστικά τοποθετούνται σε μια μεταφορική ταινία και με ανθρώπινο χέρι ταξινομούνται και μεταφέρονται σε ξεχωριστά δοχεία

2.με βάση τη διαφορά πυκνότητας(μέθοδος επίπλευσης-καταβύθισης), όπου τα πλαστικά βυθίζονται σε ένα μέσο, συνήθως νερό, και αν η πυκνότητα τους είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη του μέσου, τότε εκείνα καταβυθίζονται ή επιπλέουν αντίστοιχα

3. οπτικά, ανάλογα με το αν είναι χρωματισμένα ή διαφανή

4. με φασματοσκοπικές μεθόδους, με συνηθέστερη την φασματοσκοπία υπέρυθρου IR, 'όπου γίνεται διαχωρισμός των πολυμερών ανάλογα με το φάσμα απορρόφησης των ομάδων της πολυμερικής αλυσίδας. Η μέθοδος αυτή επιφέρει λανθασμένα αποτελέσματα αν το πολυμερές είναι αναμεμιγμένο με άλλα υλικά όπως κόλλα ή αν είναι ακάθαρτη η επιφάνεια του

5.φθορισμομετρία ακτινών Χ

6. με ηλεκτροστατικές μεθόδους, όπου ο διαχωρισμός γίνεται βάση της πολικότητας των υλικών όταν εκείνα φορτιστούν ηλεκτροστατικά και βρεθούν σε ένα πεδίο υψηλού δυναμισμού

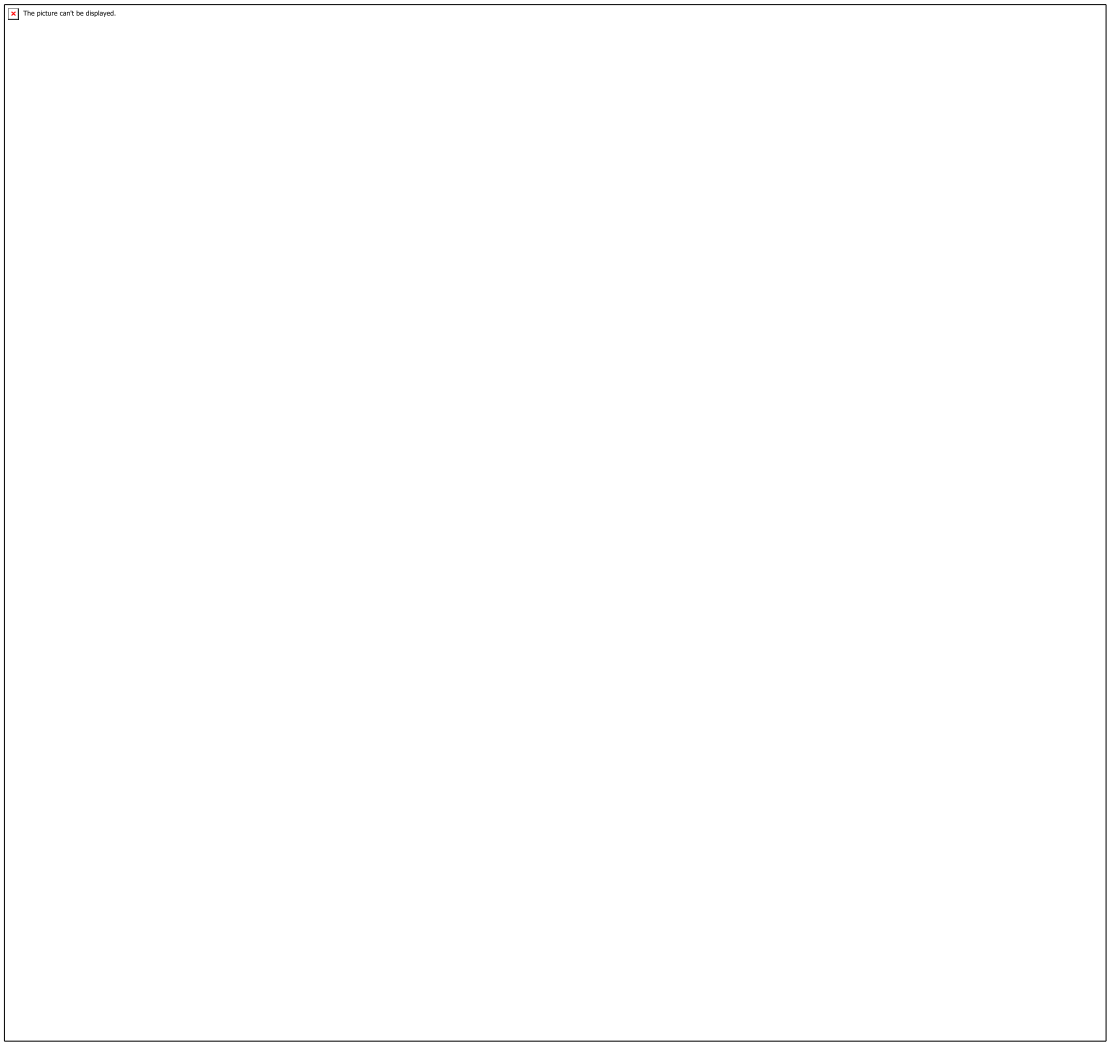
- ➔ Καθαρισμός, γίνεται πλύση των πλαστικών έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν ρυπαντές
- ➔ Τεμαχισμός/ μείωση μεγέθους του καθαρισμένου υλικού
- ➔ Τήξη η οποία πραγματοποιείται με μια συσκευή που ονομάζεται εκβολέας, όπου μέσω ενός περιστρεφόμενου κοχλία και με τη χρήση εξωτερικής θερμότητας, λιώνει το πλαστικό δημιουργώντας ένα ενιαίο προϊόν, τα πέλλετς.



Εικόνα 6:Πέλλετς πλαστικού



Εικόνα 7:Διαχωρισμός πλαστικών



Εικόνα 8: Σχεδιάγραμμα διαδικασίας ανακύκλωσης πλαστικών

3.1.3 Γυαλί

Το γυαλί είναι ένα εύθραυστο, μη πορώδες και άκαμπτο υλικό το οποίο δεν απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να μην αλλοιώνεται η ποιότητα του προϊόντος που βρίσκεται στο εσωτερικό του. Κατασκευάζεται από μη τοξικές ύλες, όπως άμμος, πυρίτιο, ανθρακικό νάτριο και ασβεστόλιθο, ενώ παρουσιάζει και σχεδόν μηδενικούς ρυθμούς χημικής αλληλεπίδρασης, επομένως δεν μεταφέρει επικίνδυνες ουσίες στα τρόφιμα. Αυτές του οι ιδιότητες το καθιστούν ένα από τα καλύτερα υλικά για συσκευασίες τροφίμων. Μπορεί να ανακυκλώνεται συνέχεια χωρίς να μεταβάλλεται η ποιότητα του, καθιστώντας το έτσι την καλύτερη βιώσιμη λύση για αντικατάσταση του πλαστικού.

Η διαδικασία ανακύκλωσης του γυαλιού ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- ➔ Συλλογή του γυαλιού από τους ειδικούς κάδους που έχει απορριφθεί
- ➔ Διαλογή, ανάλογα με το χρώμα του (λευκό, καφέ, πράσινο) καθώς τείνει να το διατηρεί και μετά τη διαδικασία της ανακύκλωσης
- ➔ Καθάρισμα και απομάκρυνση διαφόρων ρυπαντών όπως πέτρες, χαρτί, πλαστικό και μέταλλα, με τη χρήση εξειδικευμένων μηχανημάτων που αποτελούνται από ιμάντες και μαγνητικό διαχωριστή
- ➔ Τεμαχισμός, δηλαδή δημιουργία υαλοθραυσμάτων
- ➔ Τήξη σε ειδικούς κλίβανους
- ➔ Δημιουργία νέων προϊόντων



Εικόνα 9:Κάδος ανακύκλωσης γυάλινων συσκευασιών

3.1.4 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

1. **<u>Πρωτογενείς</u>**: Οι συγκεκριμένες δεν μπορούν να επαναφορτιστούν, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, υψηλή χωρητικότητα και η πλειοψηφία τους είναι κυλινδρικές, επίπεδες και κομβιόσχημες (κουμπιά).Είναι απλές στη χρήση και χρησιμοποιούνται σε πληθώρα αντικειμένων όπως ρολόγια, φορητούς υπολογιστές, παιχνίδια, φωτογραφικές μηχανές, φακοί, στρατιωτικοί ασύρματοι, βηματοδότες κ.α. Με βάση τα συστατικά τους διακρίνονται σε:

1)<u>Ψευδάργυρου/Άνθρακα</u>, είναι οι πιο κοινές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε μικροαντικείμενα με χαμηλή όμως διάρκεια

2)<u>Αργύρου</u>, αποτελούνται από οξείδια του αργύρου, έχουν μεγάλη χωρητικότητα, σχήμα συνήθως κομβιόσχημο και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρολόγια

3)Ψευδάργυρου/Χλωριδίου, είναι οι απλές κοινές μπαταρίες αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια από τις ψευδαργύρου/άνθρακα

4)Ψευδάργυρου/Αέρα, έχουν μικρή διάρκεια και επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες(π.χ θερμοκρασία). Στις συγκεκριμένες αντικαθίσταται ο θετικός πόλος με ατμοσφαιρικό αέρα. Είναι συνήθως κομβιόσχημες και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ηλεκτρονικές εφαρμογές.

5) Αλκαλικές Μαγγανίου , οι πιο συνηθισμένες από αυτή την κατηγορία, με καλή διάρκεια που χρησιμοποιούνται κυρίως σε φορητές συσκευές και είναι φιλικές προς το περιβάλλον

6) Υδραργύρου, κατασκευάζονται από οξείδια του υδραργύρου, έχουν μεγάλη χωρητικότητα και συναντώνται σε αριθμομηχανές, ιατρικές συσκευές π.χ βηματοδότης κ.α. Η χρήση τους έχει περιοριστεί λόγω της τοξικότητας του υδραργύρου

2. **Δευτερογενείς**: Είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, για αυτό και αποτελούν μια πιο οικονομική λύση, έχουν υψηλή απόδοση και δεν επηρεάζονται από τη θερμοκρασία αφού λειτουργούν κανονικά τόσο σε χαμηλές και σε υψηλές τιμές. Οι βασικοί τύποι είναι οι παρακάτω:

1)Μόλυβδου, η παραγωγή τους είναι εύκολη, το κόστος τους οικονομικό και είναι διαθέσιμες σε διάφορες χωρητικότητες. Είναι όμως βαριές, ογκώδεις και επικίνδυνες αφού ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Η πλειοψηφία τους χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία και σε φωτοβολταικα. Υπάρχουν τρείς κατηγορίες,

α) **Συσσωρευτές εκκίνησης(ή SLI)**, χρήσιμες στα οχήματα για την εκκίνηση των κινητήρων όπου απαιτείται υψηλό ρεύμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα

β) **Συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης**, το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι πως εκφορτίζονται έως και 80% και παρουσιάζουν υψηλή απόδοση

γ)**Συσσωρευτές θαλάσσης**, αποτελούν ένα συνδυασμό των προηγούμενων, δηλαδή η εκφόρτιση τους φτάνει έως και 50% και έχουν ισχυρή δομή για να αντέχουν σε κραδασμούς από κύματα

2) Νικελίου-Καδμίου(Ni-Cd),οι πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε αφθονία μέχρι και σήμερα λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους που κυμαίνεται από 4 έως 5 έτη. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως εφεδρικές μπαταρίες.

Το κάδμιο όμως είναι τοξικό στοιχείο για αυτό όπου επιτρέπεται, γίνεται αντικατάσταση των μπαταριών αυτών με ένα άλλο τύπο

3) Νικελίου- Μετάλλου υδριδίου(NiMH), αποτελούν μια καλή λύση για την αντικατάσταση των Ni-Cd μπαταριών αφού είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής

4) Λιθίου, είναι γνωστές για τη χρήση τους κυρίως σε ηλεκτρονικά είδη (π.χ κινητά τηλέφωνα κ.α) αφού παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα. Έχουν μικρό βάρος, μεγάλη χωρητικότητα και δυνατότητα επαναφόρτισης ανά πάσα στιγμή

Οι μπαταρίες ανακυκλώνονται διαφορετικά ανάλογα με τα υλικά από τα οποία αποτελούνται καθώς χρειάζονται άλλη αντιμετώπιση.

Η ανακύκλωση τους ακολουθεί την εξής διαδικασία:

- ➔ Συλλογή και μεταφορά τους στις ειδικές εγκαταστάσεις
- ➔ Ταξινόμηση ανάλογα με το τύπο τους
- ➔ Τεμαχισμός σε μικρότερα μεγέθη και απομάκρυνση ηλεκτρολύτη
- ➔ Τήξη των τεμαχισμένων στοιχείων σε κλίβανο για να γίνει ο διαχωρισμός διάφορων μετάλλων όπως , ο μόλυβδος, το κάδμιο κ.α. από τα πλαστικά
- ➔ Καθαρισμός των μετάλλων που προέρχονται απο το προηγούμενο βήμα
- ➔ Απόρριψη των επικίνδυνων ουσιών που παραμένουν μετά τον καθαρισμό
- ➔ Επαναχρησιμοποίηση των πολύτιμων υλικών σε νέα προϊόντα

Η ανακύκλωση των μπαταριών είναι ένα σημαντικό βήμα για ένα πιο καθαρό περιβάλλον κρατώντας μακριά από τις χωματερές επικίνδυνα υλικά, αποτρέποντας έτσι την εδαφική και ατμοσφαιρική ρύπανση. Άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα είναι, η ανάκτηση διαφόρων μη ανανεώσιμων πόρων που περιέχονται σε αυτές όπως το λίθιο, το νικέλιο και το κοβάλτιο, μείωση των αποβλήτων που μεταφέρονται στους χώρους υγειονομικής ταφής και εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της εξαγωγής πολύτιμων υλών, των οποίων η εξόρυξη τους θα απαιτούσε περισσότερη κατανάλωση ενέργειας και κόστους.

3.1.5 Σιδηρούχα μέταλλα

Τα σιδηρούχα μέταλλα είναι εκείνα που στο μεγαλύτερο ποσοστό της σύνθεσης τους αποτελούνται απο σίδηρο. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν ο σίδηρος και τα κράματα του, τα βασικά εκ των οποίων είναι ο χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας και ο χυτοσίδηρος. Οι ιδιότητες τους καθορίζονται από τα στοιχεία κραματοποίησης τα οποία αλλάζουν αρκετά τα χαρακτηριστικά τους, γενικότερα όμως τα περισσότερα είναι μαγνητικά, σκληρά, ευάλωτα στη σκουριά και έχουν μεγάλη αντοχή. Τα σιδηρούχα μέταλλα μπορούν να ανακυκλώνονται συνεχώς χωρίς να αλλοιώνεται η ποιότητα τους παράγοντας έτσι ένα καινούριο προϊόν ίδιας αξίας αλλά με κατανάλωση λιγότερης ενέργειας απο ότι θα χρειαζόταν η εξαγωγή παρθένων μετάλλων

Η ανακύκλωση των σιδηρούχων μετάλλων είναι η εξής:

- ➔ Συλλογή των μετάλλων και μεταφορά τους στους σταθμούς ανακύκλωσης
- ➔ Ταξινόμηση όπου γίνεται διαχωρισμός των σιδηρούχων απο τα μη σιδηρούχα μέταλλα είτε με τη χρήση μαγνητών είτε με οπτικό έλεγχο που στηρίζεται στο χρώμα του κράματος, κάτι που συχνά οδηγεί σε λανθασμένο αποτέλεσμα
- ➔ Τεμαχισμός, με υδραυλικά μηχανήματα που συνθλίβουν το υλικό και το κόβουν σε μικρότερα κομμάτια. Είναι μια διαδικασία που μειώνει την ενέργεια που απαιτείται κατά την τήξη
- ➔ Τήξη, τα μικρά κομμάτια μετάλλων εισέρχονται σε φούρνο τήξης μέχρι να λιώσουν. Οι συγκεκριμένοι φούρνοι φτάνουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες για το διαφορετικό σημείο τήξης του κάθε μετάλλου(π.χ ο σίδηρος λιώνει σε θερμοκρασία 1538°C)
- ➔ Καθαρισμός, προκειμένου να απομακρυνθούν τυχόν ακαθαρσίες και σωματίδια από τα λιωμένα μέταλλα. Αυτό το στάδιο μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους όπως ηλεκτρόλυση, χρωματογραφία και απόσταξη
- ➔ Στερεοποίηση. Το τηγμένο μέταλλο ψύχεται, αναδιαμορφώνεται σε ράβδους, συσκευάζεται και είναι έτοιμο για επαναχρησιμοποίηση

Η ανακύκλωση των σιδηρούχων μετάλλων προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη. Ένα απο τα βασικότερα είναι η μείωση της εξόρυξη παρθένων φυσικών πόρων, κάτι που με την σειρά του συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος απο

την εκπομπή βλαβερών για την ατμόσφαιρα αερίων του θερμοκηπίου, όπως διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίου του αζώτου, που προκύπτουν απο την διαδικασία παραγωγής νέων μετάλλων. Με την ανακύκλωση δεν υπερφορτώνονται οι χώροι υγειονομικής ταφής και εξοικονομείται ενέργεια, αφού απαιτείται περισσότερη για την επεξεργασία νέων μετάλλων.

3.1.6 Μη σιδηρούχα μέταλλα

Τα μη σιδηρούχα μέταλλα ή αλλιώς έγχρωμα μέταλλα, είναι εκείνα που δεν περιέχουν σίδηρο στη σύνθεση τους. Τα πιο γνωστά είναι το αλουμίνιο, το νικέλιο, ο χαλκός και το τιτάνιο. Μοιράζονται αρκετά κοινά χαρακτηριστικά που τα καθιστούν χρήσιμα σε διάφορους τομείς. Αναλυτικότερα τα συγκεκριμένα μέταλλα είναι ελατά, έχουν την ικανότητα δηλαδή να παραμορφώνονται σε μεγάλο βαθμό χωρίς να σπάνε, αποτελούν πολύ καλούς αγωγούς της θερμότητας και του ηλεκτρισμού, βρίσκοντας χρήση σε ηλεκτρονικά μηχανήματα και συστήματα ψύξης (Bashai,2017). Είναι ελαφρά, καθώς έχουν χαμηλή πυκνότητα, για αυτό είναι σημαντικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλές αναλογίες αντοχής προς βάρος όπως στην αεροδιαστημική βιομηχανία. Επίσης, σε αντίθεση με τα σιδηρούχα μέταλλα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη διάβρωση και στη σκουριά, έτσι είναι ιδανικά για χρήσεις σε σωληνώσεις, υδρορροές και στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Όλα τα μη σιδηρούχα μέταλλα μπορούν να ανακυκλωθούν χωρίς να χάσουν κάποια από τις αρχικές τους ιδιότητες (Bashai,2017).



Εικόνα 10:Συμπιεσμένα κουτάκια αλουμινίου

Η διαδικασία της ανακύκλωση τους είναι σχεδόν ίδια με εκείνης των σιδηρούχων μετάλλων, ακολουθώντας αναλυτικότερα τα παρακάτω βήματα:

- ➔ Συλλογή των απορριπτόμενων προϊόντων που περιέχουν μη σιδηρούχα μέταλλα (π.χ κονσέρβες, κουτάκια αναψυκτικών, καλώδια, ανταλλακτικά αυτοκινήτων κ.α)
- ➔ Μεταφορά τους στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης όπου υπόκεινται σε διαλογή για να απομακρυνθούν τυχόν προσμίξεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

1. Ηλεκτροεξαγωγή/ Ηλεκτροφόρηση, η μέθοδος αυτή απομακρύνει τα μέταλλα που βρίσκονται σε διαλυτή μορφή με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο στάδιο είναι η έκπλυση του απορρίμματος, δηλαδή η διάλυση του σε ένα υγρό που είναι συνήθως διαλύτης, έτσι ώστε να γίνει εξαγωγή του μετάλλου, έχοντας σαν τελικό αποτέλεσμα το λεγόμενο διάλυμα έκπλυσης. Τοποθετούνται στο τελικό διάλυμα ηλεκτρόδια για να πραγματοποιηθεί η χημική μείωση του μετάλλου, σχηματίζοντας έτσι ένα ομοιόμορφο στρώμα στην επιφάνεια της βυθισμένης καθόδου(Bashai,2017).

2. Καθίζηση/Καταβύθιση, είναι η βασική μέθοδος για την ανάκτηση των μετάλλων απο υδατικά διαλύματα και συνδυάζεται συνήθως με δυο άλλες μεθόδους, την συνκαθίζηση και την προσρόφηση. Σκοπός της καθίζησης είναι η δημιουργία ενός στερεού υλικού που ήταν προηγουμένως διάλυμα, και περιλαμβάνει την ρύθμιση του pH ή την προσθήκη άλλης χημικής ουσίας. Το τελικό σχηματιζόμενο στερεό ονομάζεται ίζημα και η ουσία που προστέθηκε ονομάζεται ιζηματοποιητής (Bashai,2017).

3. Αισθητήρες, είναι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την απομάκρυνση των μη σιδηρούχων μετάλλων απο τα σκραπ. Μια συχνή τεχνική είναι η τεχνολογία μετάδοσης ακτινών Χ, που είναι μια απο τις πιο αξιόπιστες, αφού η εξαγωγή των υλικών στηρίζεται στην ατομική τους πυκνότητα

- ➔ Επεξεργασία του μετάλλου προκειμένου να αφαιρεθούν ακαθαρσίες έτσι ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα
- ➔ Τεμαχισμός, αυτή η διαδικασία δεν πραγματοποιείται πάντα αλλά είναι χρήσιμη για να πραγματοποιηθούν πιο εύκολα τα επόμενα βήματα
- ➔ Τήξη, σε φούρνους υψηλής θερμοκρασίας
- ➔ Στερεοποίηση του τηγμένου υλικού και διαμόρφωση του σε ράβδους ή πληθώματα για είναι έτοιμο προς διανομή

Η ανακύκλωση των μη σιδηρούχων μετάλλων αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την κυκλική οικονομία και ένα πιο βιώσιμο περιβάλλον. Το πιο ανακυκλωμένο μη σιδηρούχο μέταλλο σε όλο τον κόσμο είναι το αλουμίνιο, το οποίο ονομάζεται και ΄πράσινο΄ μέταλλο, μια ονομασία που στηρίζεται στο γεγονός ότι διατηρεί την αξία και την ποιότητα του μετά την ανακύκλωση, βοηθώντας παράλληλα στην προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της μείωσης χρήσης πολύτιμων φυσικών πόρων και ενέργειας. Συγκεκριμένα, για κάθε τόνο αλουμινίου απαιτούνται 4 τόνοι βωξίτη ενώ η κατανάλωση ενέργειας για παραγωγή νέου αλουμινίου απο καθαρή πρώτη ύλη είναι 95% υψηλότερη από ότι θα χρειαζόταν η δημιουργία του μέσω ανακύκλωσης παλιών υλικών. Επίσης, συμβάλλει στην μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης , καθώς υπάρχουν λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που προκύπτουν απο την συνεχόμενη εξόρυξη μεταλλευμάτων(Bashai,2017).

4.Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (Α.Η.Η.Ε)

4.1 Ορισμός Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Α.Η.Η.Ε)

Τα απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη ροή αποβλήτων, που απαιτεί αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η παρούσα υποενότητα εξετάζει τις κατηγορίες ΑΗΗΕ και τις ποσότητες τους στην Ελλάδα και την Ευρώπη.

Από την οδηγία 2012/19/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012, προκύπτουν οι παρακάτω ορισμοί:

- Ως Ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός (Η.Η.Ε.) ορίζεται ο εξοπλισμός, η ορθή λειτουργία του οποίου εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών, ο οποίος έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση έως 1.000 V εναλλασσόμενου ρεύματος ή έως 1.500 V συνεχούς ρεύματος.
- Ως Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Α.Η.Η.Ε.) ορίζονται ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θεωρείται απόβλητο κατά την έννοια του άρθρου 3 παράγραφος 1 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ, συμπεριλαμβανομένων όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, των συναρμολογημένων μερών και των αναλωσίμων, που συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά τον χρόνο απόρριψής του

Τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα διαχωρίζονται σε 10 κατηγορίες όπως αναφέρονται και αναλύονται στα παραρτήματα Ι και ΙΙ της οδηγίας 2012/19/ΕΕ.

1. **Μεγάλες οικιακές συσκευές**, όπου περιλαμβάνονται:

1) μεγάλες συσκευές ψύξης, 2) ψυγεία, 3) καταψύκτες ,4) άλλες μεγάλες συσκευές που χρησιμοποιούνται για ψύξη, διατήρηση και αποθήκευση τροφίμων,5) πλυντήρια, 6) στεγνωτήρια ρούχων, 7) πλυντήρια πιάτων, 8) συσκευές

μαγειρικής, 9) ηλεκτρικές κουζίνες, 10) ηλεκτρικά μάτια, 11) φούρνοι μικροκυμάτων, 12) άλλες μεγάλες συσκευές χρησιμοποιούμενες για μαγείρεμα και άλλες επεξεργασίες τροφίμων, 13) ηλεκτρικές θερμάστρες,14) ηλεκτρικά καλοριφέρ, 15) άλλες μεγάλες συσκευές που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων,κρεβατιών,καθισμάτων,16) ηλεκτρικοί ανεμιστήρες,17) συσκευές κλιματισμού, 18) άλλα είδη εξοπλισμού αερισμού, απαγωγής αερίων και κλιματισμού

3. **<u>Μικρές οικιακές συσκευές</u>** όπου περιλαμβάνονται:

1)ηλεκτρικές σκούπες, 2)σκούπες χαλιών,3)άλλες συσκευές καθαριότητας, 4) συσκευές χρησιμοποιούμενες για ράψιμο, πλέξιμο, ύφανση και άλλες κλωστοϋφαντουργικές εργασίες, 5) ηλεκτρικά σίδερα και άλλες συσκευές για σιδέρωμα, καλάνδρισμα και, γενικά, για τη φροντίδα του ιματισμού, 6) φρυγανίερες, 7) συσκευές τηγανίσματος(φριτέζες), 8) μύλοι, καφετιέρες και συσκευές ανοίγματος ή σφραγίσματος περιεκτών ή συσκευασιών, 9) ηλεκτρικά μαχαίρια, 10)συσκευές για κόψιμο και στέγνωμα μαλλιών, βούρτσισμα δοντιών, ξύρισμα, μασάζ και άλλες συσκευές περιποίησης του σώματος, 11) Ρολόγια κάθε είδους και εξοπλισμός μέτρησης, ένδειξης ή καταγραφής του χρόνου, 12) ζυγοί

4. **<u>Εξοπλισμός τεχνολογίας πληροφοριών και τηλεπικοινωνιών</u>** όπου χωρίζονται στις εξής υποκατηγορίες:

1) **<u>Συστήματα κεντρικής επεξεργασίας δεδομένων</u>**

- Μεγάλοι υπολογιστές (mainframes)
- Μεσαίοι υπολογιστές (mini computer)
- Μονάδες εκτύπωσης

2) **<u>Συστήματα προσωπικών υπολογιστών</u>**

- Προσωπικοί υπολογιστές (συμπεριλαμβανομένων των κεντρικών μονάδων επεξεργασίας (CPU), των ποντικιών, των οθονών και των πληκτρολογίων)
- Φορητοί υπολογιστές (lap-top) (συμπεριλαμβανομένων των CPU, των ποντικιών, των οθονών και των πληκτρολογίων)
- Υπολογιστές τσέπης(notebook)

- Υπολογιστές χειρός(notepad)
- Εκτυπωτές
- Φωτοαντιγραφικά μηχανήματα
- Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές γραφομηχανές
- Αριθμομηχανές τσέπης και επιτραπέζιες

γ)Άλλα προϊόντα και είδη εξοπλισμού για τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία, παρουσίαση ή διαβίβαση πληροφοριών με ηλεκτρονικά μέσα

- Τερματικά και συστήματα χρηστών
- Συσκευές τηλεομοιοτυπίας (φαξ)
- Τηλέτυπα
- Τηλέφωνα
- Τηλεφωνικές συσκευές επί πληρωμή
- Ασύρματα τηλέφωνα
- Κινητά τηλέφωνα
- Συστήματα τηλεφωνητών
- και άλλα προϊόντα και είδη εξοπλισμού για τη μετάδοση ήχου, εικόνων ή άλλων πληροφοριών με τηλεπικοινωνιακά μέσα

5. Καταναλωτικά είδη και φωτοβολταικά πλαίσια

1)Ραδιόφωνα, 2) Τηλεοράσεις, 3)Κάμερες μαγνητοσκόπησης(βιντεοκάμερες), 4)Μγνητοσκόπια(συσκευές αναπαραγωγής εικόνας), 5)Συσκευές ηχογράφησης υψηλής ποιότητας, 6)Ενισχυτές ήχου, 7)Μουσικά όργανα, 8)και άλλα προϊόντα και είδη εξοπλισμού για την εγγραφή ή αναπαραγωγή ήχου ή εικόνων, συμπεριλαμβανομένων των σημάτων ή άλλων τεχνολογιών διανομής ήχου και εικόνας με άλλα πλην των τηλεπικοινωνιακών μέσα, 9) Φωτοβολταϊκά πλαίσια

6. Είδη φωτισμού

1) Φωτιστικά για λαμπτήρες φθορισμού πλην των οικιακών φωτιστικών σωμάτων, 2) Ευθείς λαμπτήρες φθορισμού, 3)Λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων, 4)

Λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης και των λαμπτήρων αλογονούχων μετάλλων, 5) Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, 6) Άλλος φωτιστικός εξοπλισμός και εξοπλισμός προβολής ή ελέγχου του φωτός πλην των λαμπτήρων πυράκτωσης

7. **Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία εξαιρουμένων των σταθερών βιομηχανικών εργαλείων μεγάλης κλίμακας**

1) Τρυπάνι, 2)Πριόνια, 3)Ραπτομηχανές, 4) Εξοπλισμός για την τόρνευση, τη λείανση, την επίστρωση, το τρόχισμα, το πριόνισμα, το κόψιμο, τον τεμαχισμό, τη διάτμηση, τη διάτρηση, τη διάνοιξη οπών, τη μορφοποίηση, την κύρτωση και άλλες παρόμοιες επεξεργασίες ξύλου, μετάλλου και άλλων υλικών, 5) Εργαλεία για τη στερέωση με βίδες, καρφιά ή κοινωμάτια και την αφαίρεσή τους και για παρόμοιες χρήσεις, 6)Εργαλεία για συγκολλήσεις εν γένει και παρόμοιες χρήσεις, 7)Εξοπλισμός ψεκασμού, επάλειψης, διασποράς ή άλλης επεξεργασίας υγρών ή αέριων ουσιών με άλλα μέσα, 8) Εργαλεία κοπής χόρτου ή άλλων εργασιών κηπουρικής

8. **Παιχνίδια και εξοπλισμός αναψυχής και αθλητισμού**

1)Τα ηλεκτρικά τραίνα ή αυτοκινητοδρόμια, 2) οι φορητές κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών, 3) τα βιντεοπαιχνίδια, 4) οι υπολογιστές για ποδηλασία, καταδύσεις, τρέξιμο, κωπηλασία, κλπ, 5) ο αθλητικός εξοπλισμός με ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά κατασκευαστικά στοιχεία, 6) οι κερματοδέκτες τυχερών παιχνιδιών

9. **Ιατρικά βοηθήματα εξαιρουμένων όλων των εμφυτευμάτων και μολυσμένων προιοντων**

1) ο ακτινοθεραπευτικός εξοπλισμός, 2) ο καρδιολογικός εξοπλισμός, 3) οι συσκευές πνευμονικής οξυγόνωσης, 4) οι συσκευές πνευμονικής οξυγόνωσης, 5)ο εξοπλισμός πυθρηνικής φυσικής, 6) ο ιατρικός εξοπλισμός για in-vitro διάγνωση, 7) οι συσκευές ανάλυσης, 8) οι καταψύκτες, 9) τα τέστ γονιμοποίησης, 10) άλλες συσκευές για την ανίχνευση , την πρόληψη, την παρακολούθηση, την αντιμετώπιση ή την ανακούφιση ασθενειών, σωματικών βλαβών και αναπηριών

10. **Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου**

1) Ανιχνευτές καπνού, 2) Συσκευές θερμορύθμισης, 3) Θερμοστάτες, 4) Συσκευές μέτρησης, ζύγισης ή προσαρμογής για οικιακή ή εργαστηριακή χρήση και 5)

άλλα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου χρησιμοποιούμενα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις (σε ταμπλό ελέγχου)

11. <u>Αυτόματοι διανομείς</u>

1)Συσκευές αυτόματης διανομής θερμών ποτών, 2) Συσκευές αυτόματης διανομής θερμών ή ψυχρών φιαλών ή μεταλλικών δοχείων, 3)Συσκευές αυτόνομης διανομής στερεών προϊόντων, 4) Συσκευές αυτόματης διανομής χρημάτων (ΑΤΜ), 5)Κάθε είδους συσκευές αυτόματης διανομής οποιουδήποτε προϊόντος

4.2 Ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

4.2.1 Ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ευρώπη

Στην Ευρώπη, η παραγωγή ΑΗΗΕ αυξάνεται σταθερά. Από το 2019, η Ευρώπη παρήγαγε περίπου 12 εκατομμύρια τόνους ΑΗΗΕ, που αντιστοιχεί σε περίπου 22,1 κιλά κατά κεφαλήν. Αυτό καθιστά τα ΑΗΗΕ μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες ροές αποβλήτων στην περιοχή. Η άνοδος οφείλεται κυρίως στις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις και στην αυξανόμενη κατανάλωση ηλεκτρονικών συσκευών (WEEE Forum, 2020).

Για να αντιμετωπιστεί αυτό, η ΕΕ έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για τη συλλογή και την ανακύκλωση ΑΗΗΕ. Έως το 2019, τα κράτη μέλη έπρεπε να συλλέγουν το 65% του μέσου βάρους του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) που διατέθηκε στην αγορά τα τρία προηγούμενα χρόνια ή το 85% των ΑΗΗΕ που παρήχθησαν. Ωστόσο, η επίτευξη αυτών των στόχων παραμένει πρόκληση λόγω των διαφορών στην υποδομή και τη συμπεριφορά των καταναλωτών μεταξύ των κρατών μελών (WEEE Forum, 2020).

4.2.2 Ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η διαχείριση των ΑΗΗΕ εξελίσσεται αλλά αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις. Η χώρα παράγει περίπου 160.000 τόνους ΑΗΗΕ ετησίως, που μεταφράζεται σε περίπου 15 κιλά κατά κεφαλήν. Οι προσπάθειες για τη βελτίωση των ποσοστών συλλογής και ανακύκλωσης περιλαμβάνουν πρωτοβουλίες όπως το έργο LIFE RE-WEEE, το οποίο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και λειτουργία κέντρων διαλογής ΑΗΗΕ. Αυτά τα κέντρα στοχεύουν στη βελτίωση των διαδικασιών συλλογής, διαλογής και ανακύκλωσης, διασφαλίζοντας την ανάκτηση πολύτιμων υλικών και την ασφαλή διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών (Papaoikonomou et al., 2009).

Παρά τις πρωτοβουλίες αυτές, η Ελλάδα αντιμετωπίζει πολλά εμπόδια, όπως η περιορισμένη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και η ανεπαρκής υποδομή. Οι άτυπες πρακτικές ανακύκλωσης αποτελούν επίσης πρόκληση, καθώς συχνά αποτυγχάνουν να συμμορφωθούν με τα περιβαλλοντικά πρότυπα, οδηγώντας σε πιθανούς κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον (Papaoikonomou et al., 2009).

4.2.3 Συγκριτική ανάλυση και τάσεις

Σε σύγκριση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, η κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΗΗΕ στην Ελλάδα είναι χαμηλότερη. Αυτή η απόκλιση μπορεί να αποδοθεί σε διαφορές στη συμπεριφορά των καταναλωτών, σε οικονομικούς παράγοντες και στη διείσδυση ηλεκτρονικών συσκευών. Οι χώρες υψηλού εισοδήματος στην Ευρώπη παράγουν συνήθως περισσότερα ΑΗΗΕ κατά κεφαλήν λόγω των υψηλότερων ποσοστών κατανάλωσης ηλεκτρονικών συσκευών.

Οι χώρες της Βόρειας και Δυτικής Ευρώπης επιτυγχάνουν γενικά καλύτερα ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης από τις χώρες της Νότιας και της Ανατολικής Ευρώπης. Για παράδειγμα, η Γερμανία και η Σουηδία έχουν προηγμένα συστήματα διαχείρισης WEEE που έχουν ως αποτέλεσμα υψηλά ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης, που υποστηρίζονται από ισχυρές υποδομές ανακύκλωσης, ολοκληρωμένα ρυθμιστικά πλαίσια και υψηλή ευαισθητοποίηση του κοινού (WEEE Forum, 2020). Αντίθετα, η Ελλάδα και άλλες χώρες της Νότιας Ευρώπης εξακολουθούν να αναπτύσσουν τις ικανότητές τους διαχείρισης ΑΗΗΕ, βασιζόμενες συχνά στη χρηματοδότηση της ΕΕ

και τη διεθνή συνεργασία για τη βελτίωση των υποδομών ανακύκλωσης και την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών.

4.2.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Για τη βελτίωση της διαχείρισης ΑΗΗΕ στην Ελλάδα και την Ευρώπη, μπορούν να υιοθετηθούν διάφορες στρατηγικές:

1. Ενίσχυση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών: Η εκπαίδευση των καταναλωτών σχετικά με τη σημασία της σωστής απόρριψης και ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα ποσοστά συλλογής. Οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης και η εύκολη πρόσβαση στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης είναι απαραίτητες.
2. Ενίσχυση των κανονιστικών πλαισίων: Η διασφάλιση περιεκτικών και αυστηρά εφαρμοσμένων κανονισμών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της συμμόρφωσης μεταξύ των παραγωγών και των ανακυκλωτών. Αυτό περιλαμβάνει την επιβολή κυρώσεων για μη συμμόρφωση και κίνητρα για σωστές πρακτικές ανακύκλωσης.
3. Βελτίωση των υποδομών: Η επένδυση σε υπερσύγχρονες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης και δίκτυα συλλογής είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη κέντρων διαλογής, την ενίσχυση της εφοδιαστικής για τη συλλογή ΑΗΗΕ και την αναβάθμιση τεχνολογιών ανακύκλωσης.
4. Προώθηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας: Η ενθάρρυνση του σχεδιασμού ηλεκτρονικών προϊόντων που είναι πιο εύκολο να επισκευαστούν, να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν μπορεί να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΑΗΗΕ. Αυτό περιλαμβάνει τη συνεργασία μεταξύ κατασκευαστών, υπευθύνων χάραξης πολιτικής και ανακυκλωτών.
5. Υποστήριξη της Έρευνας και της Καινοτομίας: Η συνεχής έρευνα για αποτελεσματικές τεχνολογίες και πρακτικές ανακύκλωσης μπορεί να οδηγήσει σε βελτιώσεις στη διαχείριση των ΑΗΗΕ. Η καινοτομία μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικούς τρόπους ανάκτησης πολύτιμων υλικών και ασφαλούς απόρριψης επικίνδυνων ουσιών.

Συμπερασματικά, η αποτελεσματική διαχείριση των ΑΗΗΕ απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες σε όλη την Ευρώπη. Με τη βελτίωση των κανονιστικών πλαισίων, την ενίσχυση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών και τις επενδύσεις σε υποδομές, χώρες όπως η Ελλάδα μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα τα ΑΗΗΕ και να συμβάλουν σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

4.3 Διεθνές και Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΗΗΕ

Διεθνές θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση ΑΗΗΕ:

1. Σύμβαση της Βασιλείας (Basel) για τον έλεγχο της διασυνοριακής διακίνησης επικίνδυνων αποβλήτων και τη διάθεσή τους:

Αυτή η διεθνής συνθήκη στοχεύει στον έλεγχο της διασυνοριακής διακίνησης επικίνδυνων αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Η σύμβαση θεσπίζει διαδικασίες για τη διασυνοριακή διακίνηση τέτοιων αποβλήτων και προωθεί την περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση (Ghosh et al.,2016).

2. Σύμβαση της Στοκχόλμης για τους έμμονους οργανικούς ρύπους (POPs):

Αν και δεν αφορά άμεσα τα ΑΗΗΕ, η Σύμβαση της Στοκχόλμης εστιάζει στην εξάλειψη ή τον περιορισμό της παραγωγής και χρήσης έμμονων οργανικών ρύπων, ορισμένοι από τους οποίους βρίσκονται σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό (Nigam, Jha & Singh,2021). Η σύμβαση συμβάλλει έμμεσα στη διαχείριση επικίνδυνων ουσιών στα ΑΗΗΕ.

3. Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP):

Το UNEP παρέχει καθοδήγηση και υποστήριξη για την περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση των ηλεκτρονικών απορριμμάτων. Εργάζεται για την ανάπτυξη παγκόσμιων πολιτικών και πρωτοβουλιών για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την αυξανόμενη παραγωγή ΑΗΗΕ (Forti, Baldé & Kuehr, 2018).

4. Πρωτοβουλία StEP (Επίλυση του προβλήματος των ηλεκτρονικών αποβλήτων):

Το StEP είναι μια πρωτοβουλία πολλών ενδιαφερομένων που αντιμετωπίζει το πρόβλημα των ηλεκτρονικών αποβλήτων παγκοσμίως. Προωθεί πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της συλλογής, της ανακύκλωσης και της σωστής διάθεσης ηλεκτρονικών αποβλήτων (Pahari & Dubey,2019).

Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο & δρώντες για τη διαχείριση ΑΗΗΕ:

1. Εθνική Νομοθεσία:

Η Ελλάδα έχει ειδική νομοθεσία για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ σε συμμόρφωση των Οδηγιών που περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το νομικό πλαίσιο περιγράφει τις ευθύνες για τους παραγωγούς, τους εισαγωγείς, τους διανομείς και τους καταναλωτές σχετικά με τον σωστό χειρισμό και τη διάθεση των ηλεκτρονικών απορριμμάτων. Στην Ελλάδα, η νομοθεσία περί περιβαλλοντικής προστασίας έχει διαμορφωθεί με τον νόμο 2939/2001, ο οποίος τέθηκε σε ισχύ στις 6 Αυγούστου 2001. Ο εν λόγω νόμος εστιάζει στην προώθηση της αρχής "ο ρυπαίνων πληρώνει" μέσω της προώθησης της ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και ανάκτησης ενέργειας.

Η εφαρμογή του εν λόγω νόμου στην ελληνική επικράτεια αφορά διάφορους φορείς, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανιών και βιοτεχνιών που εμπλέκονται στην παραγωγή ή διακίνηση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξοπλισμών (ΗΗΕ), των παραγωγών και διακινητών των ΗΗΕ, των καταναλωτών, των δημόσιων αρχών, των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) και γενικότερα των διαχειριστών των αποβλήτων.

Επιπλέον, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πρόκληση της διαχείρισης των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), ψηφίστηκε το Προεδρικό Διάταγμα 117/04 με τίτλο "Μέτρα και όροι για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών στα είδη αυτά - Πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείρισή τους". Το εν λόγω Προεδρικό Διάταγμα ενσωματώνει επίσης τις Οδηγίες 2002/96/ΕΚ και 2002/95/ΕΚ στο εθνικό δίκαιο, προσδίδοντας νομικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση των ζητημάτων διαχείρισης των ΑΗΗΕ.

2. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ):

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας στην Ελλάδα διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση πολιτικών και στρατηγικών που σχετίζονται με τη διαχείριση απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των ΑΗΗΕ. Επιβλέπει την εφαρμογή των εθνικών κανονισμών και συντονίζεται με τα σχετικά ενδιαφερόμενα μέρη και επιβλέπει το Εθνικό Πρόγραμμα Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων 2021 – 2030 το οποίο συμπεριλαμβάνει τα ΑΗΗΕ (ΥΠΕΝ,2021).

3. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (Hellenic Recovery Recycling Corporation):

Ο Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης είναι υπεύθυνος για το συντονισμό και την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης στην Ελλάδα και συμμετέχει σε πρωτοβουλίες που σχετίζονται με την ανακύκλωση ΑΗΗΕ και την ανάπτυξη υποδομών ανακύκλωσης. Η HE.R.R.Co (ΕΟΑ) είναι ένας οργανισμός υπεύθυνος για την οργάνωση και τη διαχείριση συστημάτων για την ανακύκλωση διαφόρων τύπων απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των απορριμμάτων συσκευασίας και των ΑΗΗΕ. Διαδραματίζει ρόλο στην εφαρμογή προγραμμάτων εκτεταμένης ευθύνης παραγωγού (ΕΟΑ,δ.χ.).

4. Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.:

Η εταιρεία με την επωνυμία «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» αποτελεί αποκλειστικό και πιστοποιημένο φορέα στην Ελληνική Δημοκρατία που είναι υπεύθυνος για την οργάνωση και τη λειτουργία ενός Συλλογικού Συστήματος Εναλλακτικής Διαχείρισης Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Η αποστολή της εν λόγω εταιρείας επικεντρώνεται στην εναλλακτική διαχείριση των ΑΗΗΕ, η οποία περιλαμβάνει διάφορες φάσεις όπως η συλλογή, η μεταφορά, η προσωρινή αποθήκευση, ο διαχωρισμός, η επεξεργασία, η ανάκτηση ενέργειας, και η αξιοποίηση των ΑΗΗΕ και των σχετικών κατασκευαστικών στοιχείων τους (Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.,δ.χ.).

6. ΟΤΑ:

Οι τοπικοί δήμοι και οι περιφερειακές αρχές στην Ελλάδα συμμετέχουν στη συλλογή και διαχείριση των ΑΗΗΕ. Εργάζονται για τη δημιουργία σημείων συλλογής και συστημάτων για τη σωστή διάθεση των ηλεκτρονικών απορριμμάτων σε τοπικό επίπεδο (ΥΠΕΝ,2021).

4.4 Πολύτιμα μέταλλα στα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά είδη

Πριν αναφερθούμε στην επεξεργασία των ΑΗΗΕ είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως σε όλα τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά είδη περιέχουν πολύτιμα μέταλλα σε διάφορες ποσότητες. Η ανακύκλωση των προϊόντων αυτών είναι σημαντική καθώς μπορούμε να ανακτήσουμε και να αξιοποιήσουμε ξανά αυτά τα σημαντικά στοιχεία, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό την ανάγκη για την εκ νέου εξόρυξη τους, επιβαρύνοντας λιγότερο το περιβάλλον.

Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται παρακάτω:

- Χρυσός, ίσως το σημαντικότερο μέταλλο λόγω της οικονομικής του αξίας και της σπανιότητας του. Είναι εύπλαστος, ανθεκτικός στη θερμότητά, δεν διαβρώνεται και έχει υψηλή αγωγιμότητα. Οι ιδιότητες αυτές το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε καλώδια, πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, πυκνωτές, ηχητικά συστήματα, υποδοχείς και επεξεργαστές υπολογιστών (CPU)

- Ασήμι (άργυρος), ένα επίσης σημαντικό υλικό απαραίτητο για τις συσκευές. Έχει μεγαλύτερη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα από τα υπόλοιπα μέταλλα για αυτό και θεωρείται ο καταλληλότερος αγωγός στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα εφαρμογών, όπως σε μικροτσίπ κινητών, σε πυκνωτές, σε μεμβράνες πληκτρολογίου και σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων. Λόγω της θερμικής του αγωγιμότητας βοηθά στη διάχυση της θερμότητας που παράγεται από τη λειτουργία των συσκευών ισχύος, αποτρέποντας έτσι την υπερθέρμανση και εξασφαλίζοντας τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους.

- Πλατίνα(ή λευκόχρυσος), είναι ένα σπάνιο ευγενές μέταλλο, ελατό, όλκιμο, ανθεκτικό στη διάβρωση το οποίο δεν επηρεάζεται από το νερό και τον αέρα. Έχει την ικανότητα να μορφοποιείται σε πολύ λεπτά φύλλα χωρίς να σπάει για αυτό και βρίσκεται σε μικροσκοπικά εξαρτήματα ηλεκτρικών ειδών. Είναι αρκετά καλός αγωγός της θερμότητας και χρησιμοποιείται σε όλους τους υπολογιστές στους σκληρούς δίσκους.

- Παλλάδιο, είναι ευγενές μέταλλο όπως και τα προηγούμενα, περισσότερο ελατό απο ότι η πλατίνα και με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το 15% του

παλλαδίου χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά είδη, από υπολογιστές μέχρι εξελιγμένες στρατιωτικές συσκευές. Κυρίως βρίσκεται σε σκληρούς δίσκους, πλακέτες κυκλωμάτων και πυκνωτές.

- Χαλκός, είναι ένα πολύτιμο στοιχείο για τη τεχνολογία καθώς με τις ιδιότητες του χρησιμοποιείται σε όλους τους τομείς, όπως ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά είδη, τηλεπικοινωνίες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οχήματα. Είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού, αρκετά ελατός και όλκιμος με ιδιαίτερη αντοχή στη διάβρωση. Πιο συγκεκριμένα βρίσκει χρήση σε καλώδια, τσιπ υπολογιστών, πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ηλεκτροκινητήρες πλυντηρίων και εναλλάκτες θερμότητας

- Νικέλιο, ένα βαρύ αλλά πολύ ελατό και εύπλαστο στοιχείο, καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Είναι ανθεκτικό και δεν διαβρώνεται. Αποτελεί ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο σχεδόν σε όλα τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά είδη και βρίσκεται σε καλώδια, ηλεκτρόδια, εναλλάκτες θερμότητας, μπαταρίες και πλακέτες κυκλωμάτων.

- Ταντάλιο, είναι ένα ανθεκτικό μέταλλο με υψηλή σκληρότητα και ελαστικότητα που δεν διαβρώνεται, για αυτό και κατασκευάζονται από αυτό πολύ λεπτά σύρματα. Κυρίως χρησιμοποιείται σε πυκνωτές και ημιαγωγούς.

- Κοβάλτιο, είναι ένα μαγνητικό, ανθεκτικό στη διάβρωση μέταλλο με υψηλή αγωγιμότητα. Συναντάται κυρίως σε ηλεκτρόδια, σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και σε σκληρούς δίσκους υπολογιστών.

- Αλουμίνιο(ή αργίλιο), είναι ένα μέταλλο πολύ ανθεκτικό στη διάβρωση, ελαφρύ και με αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις. Χρησιμοποιείται σε καλώδια, λαμπτήρες LED, σε συστήματα ισχύος, σκληρούς δίσκους και ψήκτρες επεξεργαστών

- Κασσίτερος, ένα πολύ ελαφρύ, ελατό μέταλλο , με αντοχή στη διάβρωση για αυτό και χρησιμοποιείται συνήθως για επικασσιτέρωση, δηλαδή επικαλύπτει άλλα μέταλλα για να ενισχύει τη δράση κατά της οξείδωσης. Βρίσκεται επίσης σε καλώδια, ημιαγωγούς και πλακέτες τυπωμένων συστημάτων

- Ψευδάργυρος, είναι ένα στοιχείο αρκετά σκληρό που γίνεται ελατό μόνο μεταξύ των θερμοκρασιών 100 εώς 100^{o} C, ανθεκτικό στη διάβρωση για αυτό χρησιμοποιείται κυρίως ως επικαλυπτικό σε άλλα μέταλλα. Βρίσκεται σε μπαταρίες, σε οθόνες τηλεοράσεων και σε πλακέτες τυπωμένων συστημάτων
- Νεοδύμιο, είναι μια σπάνια γαία, που επηρεάζεται αρκετά όταν έρθει σε επαφή με τον αέρα αλλά κατασκευάζονται από αυτό ισχυροί μαγνήτες. Συνήθως βρίσκεται σε ακουστικά, ηχεία και σκληρούς δίσκους

4.5 Μεθοδολογίες επεξεργασίας ΑΗΗΕ (WEEE)

Η ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία καθώς και οι μικρότεροι κύκλοι ζωής των προϊόντων που δημιουργούν στις μέρες μας οι εταιρείες, οδηγούν στην αύξηση της ζήτησης των αγαθών αυτών από τους καταναλωτές, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αμέτρητων Απορριμμάτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).Αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά ρεύματα αποβλήτων που απασχολούν και θα συνεχίσουν να απασχολούν όλο τον κόσμο, καθώς με τη πάροδο του χρόνου η ποσότητα τους τείνει να μεγαλώνει. Ανησυχητική είναι η έρευνα που παρουσίασε ο ΟΗΕ (Οργανισμός Ενωμένων Εθνών), όπου καταγράφεται άνοδος των αποβλήτων κατά 82% από την προηγούμενη δεκαετία, ένα ποσοστό που θα υποστεί επιπλέον αύξηση έως 32% μέχρι το 2030. Τα συγκεκριμένα απόβλητα περιέχουν πολλές τοξικές ουσίες όπως βαρέα μέταλλα(υδράργυρο, κάδμιο, μόλυβδο κ.α) και επιβραδυντικά φλόγας, που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στην υγεία μας. Η σωστή επεξεργασία των ΑΗΗΕ είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ανάκτηση πολύτιμων πόρων. Αυτή η ενότητα θα εμβαθύνει σε διάφορες μεθοδολογίες επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για τα ΑΗΗΕ, αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις, τις καινοτομίες και τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις.

Η επεξεργασία των ΑΗΗΕ περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών που έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται υπεύθυνα διαφορετικά υλικά που υπάρχουν σε ηλεκτρονικές συσκευές.

Συλλογή και μεταφορά:

Ένα από τα αρχικά βήματα στην επεξεργασία των ΑΗΗΕ περιλαμβάνει τη συλλογή και τη μεταφορά ηλεκτρονικών απορριμμάτων από διάφορες πηγές (Nowakowski & Mrówczyńska,2018). Τα σημεία συλλογής, που συχνά ιδρύονται από δήμους ή καθορισμένους οργανισμούς, χρησιμεύουν ως τοποθεσίες απόρριψης των καταναλωτών για την απόρριψη των ανεπιθύμητων ηλεκτρονικών τους. Τα αποτελεσματικά συστήματα μεταφοράς διασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά των ΑΗΗΕ σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

Ταξινόμηση και διαχωρισμός:

Μόλις φτάσουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, τα ΑΗΗΕ υποβάλλονται σε διαδικασίες διαλογής και διαχωρισμού. Αυτό το βήμα είναι ζωτικής σημασίας καθώς οι ηλεκτρονικές συσκευές περιέχουν ένα μείγμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, πλαστικών, γυαλιού και επικίνδυνων ουσιών (Toffolet,2016). Χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες και χειροκίνητες τεχνικές ταξινόμησης για τον διαχωρισμό διαφορετικών εξαρτημάτων, διευκολύνοντας τις επόμενες διαδικασίες επεξεργασίας.

4.5.1 Μέθοδοι μηχανικής επεξεργασίας

4.5.1.1 Τεμαχισμός και μείωση μεγέθους:

Η μηχανική επεξεργασία περιλαμβάνει τη χρήση τεμαχιστών και εξοπλισμού μείωσης μεγέθους για τη διάσπαση των ηλεκτρονικών συσκευών σε μικρότερα εξαρτήματα. Ο τεμαχισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στη μείωση του όγκου των ΑΗΗΕ και στη διευκόλυνση του διαχωρισμού πολύτιμων υλικών (Cesaro et al.,2018). Ωστόσο, απαιτεί προσεκτικό χειρισμό για να αποτραπεί η απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

4.5.1.2 Μαγνητικός διαχωρισμός:

Ο μαγνητικός διαχωρισμός είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος στην επεξεργασία WEEE, ειδικά για την ανάκτηση σιδηρούχων μετάλλων (Cui & Forssberg,2003). Οι ισχυροί μαγνήτες προσελκύουν και διαχωρίζουν τα σιδηρούχα

υλικά από το υπόλοιπο ρεύμα αποβλήτων (ΠΑΕ,δ.χ.). Αυτό όχι μόνο ανακτά πολύτιμα μέταλλα αλλά επίσης αποτρέπει τη μόλυνση τους στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

4.5.1.3 Διαχωρισμός δινορευμάτων:

Ο διαχωρισμός δινορευμάτων χρησιμοποιείται για την ανάκτηση μη σιδηρούχων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα (ΠΑΕ,δ.χ.). Βασίζεται στην επαγωγή ρευμάτων σε αγώγιμα υλικά, με αποτέλεσμα να απωθούνται από ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτή η διαδικασία διαχωρίζει αποτελεσματικά τα μη σιδηρούχα μέταλλα όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός από το ρεύμα αποβλήτων (Gramatyka, Nowosielski & Sakiewicz,2007).

4.5.2 Μέθοδοι χημικής επεξεργασίας

4.5.2.1 Έκπλυση:

Μέθοδοι χημικής επεξεργασίας, όπως η έκπλυση, εφαρμόζονται για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα. Η έκπλυση περιλαμβάνει τη χρήση χημικών ουσιών για τη διάλυση μετάλλων από ηλεκτρονικά εξαρτήματα, δημιουργώντας ένα διάλυμα που μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία για την εξαγωγή των επιθυμητών μετάλλων (Rieger et al.,2021). Ωστόσο, η προσεκτική διαχείριση των στραγγισμάτων είναι απαραίτητη για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος.Αναλυτικά η διαδικασία:

Παράγοντες και μέθοδοι έκπλυσης

Διαφορετικές χημικές ουσίες, όπως κυάνιο, θειικό οξύ, θειουρία και θειοθειικό, χρησιμοποιούνται για την έκπλυση διαφόρων μετάλλων από ηλεκτρονικά απορρίμματα. Η επιλογή του παράγοντα έκπλυσης εξαρτάται από τα συγκεκριμένα μέταλλα που στοχεύουν στην ανάκτηση και τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, τα διαλύματα με βάση την αμμωνία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά

για την ανάκτηση χαλκού, επιτυγχάνοντας υψηλή εκλεκτικότητα και απόδοση εκχύλισης (Sun et al., 2015).

Στάδια έκπλυσης

Η διαδικασία έκπλυσης συχνά περιλαμβάνει πολλαπλά στάδια για τη βελτιστοποίηση της ανάκτησης διαφορετικών μετάλλων. Σε μια διαδικασία έκπλυσης δύο σταδίων, ο χαλκός και άλλα βασικά μέταλλα μπορούν να εξαχθούν στο πρώτο στάδιο, ενώ πολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός και το ασήμι συγκεντρώνονται στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιώντας διαφορετικούς παράγοντες έκπλυσης (Sun et al., 2015).

Περιβαλλοντικά ζητήματα

Η διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εργασιών έκπλυσης είναι κρίσιμης σημασίας. Αυτό περιλαμβάνει προσεκτικό χειρισμό και απόρριψη στραγγισμάτων και υπολειμμάτων για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Τεχνικές όπως η ανακύκλωση κλειστού βρόχου και η χρήση λιγότερο τοξικών παραγόντων έκπλυσης διερευνώνται για τον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων (Cui & Zhang, 2008).

Ανάκτηση και καθαρισμός

Μετά την έκπλυση, το φορτωμένο με μέταλλο διάλυμα υφίσταται διάφορες διεργασίες καθαρισμού, όπως ηλεκτρολύτρωση, προσρόφηση ή ανταλλαγή ιόντων για την απομόνωση και τον καθαρισμό των μετάλλων. Αυτά τα βήματα έχουν σχεδιαστεί για να μεγιστοποιήσουν την απόδοση και την ποιότητα των ανακτημένων μετάλλων (Vegliò et al., 2003).

Η έκπλυση είναι ένα βασικό βήμα για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα, με τη χρήση διαφόρων χημικών παραγόντων για την επιλεκτική διάλυση μετάλλων για περαιτέρω επεξεργασία και καθαρισμό. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου ενισχύεται από διαδικασίες πολλαπλών σταδίων και στρατηγικές περιβαλλοντικής διαχείρισης.

4.5.2.2 Εκχύλιση με διαλύτη:

Η εκχύλιση με διαλύτη είναι μια άλλη χημική μέθοδος που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία ΑΗΗΕ. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί οργανικούς διαλύτες για την επιλεκτική εξαγωγή μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα (Rieger et al.,2021). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων όπως ο χρυσός και

το ασήμι, τα οποία συχνά υπάρχουν σε μικρές ποσότητες στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Αναλυτικά η διαδικασία:

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί οργανικούς διαλύτες για την επιλεκτική εξαγωγή μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα, ιδιαίτερα αποτελεσματικά για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων όπως ο χρυσός και το ασήμι, τα οποία συχνά υπάρχουν σε μικρές ποσότητες στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Περιγραφή διαδικασίας

Επιλογή διαλύτη: Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται για την εκχύλιση μετάλλων είναι συνήθως οργανικές ενώσεις που μπορούν να συνδεθούν επιλεκτικά με συγκεκριμένα μέταλλα. Οι συνήθως χρησιμοποιούμενοι διαλύτες περιλαμβάνουν εκείνους με χηλικές ιδιότητες ή εκείνους που σχηματίζουν σύμπλοκα συντονισμού με μέταλλα, επιτρέποντας τον διαχωρισμό τους από άλλα μη μεταλλικά υλικά (Černá, 1995).

Αποδοτικότητα εκχύλισης: Η αποτελεσματικότητα της εκχύλισης με διαλύτη επηρεάζεται από παράγοντες όπως η συγκέντρωση του διαλύτη, το pH του διαλύματος και η παρουσία άλλων ιόντων που μπορούν να ανταγωνιστούν ή να παρεμβαίνουν στη δέσμευση των μετάλλων-στόχων. Για παράδειγμα, η χρήση εκχυλιστικών οργανοφωσφορικών οξέων έχει αποδειχθεί ότι απομακρύνει αποτελεσματικά βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο και ο μόλυβδος από διαλύματα, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα για παρόμοιες εφαρμογές στην εξόρυξη πολύτιμων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα (Černá, 1995).

Περιβαλλοντικά ζητήματα

Αν και η εκχύλιση με διαλύτη είναι αποτελεσματική, απαιτεί προσεκτική διαχείριση των διαλυτών που χρησιμοποιούνται, πολλοί από τους οποίους μπορεί να είναι τοξικοί ή επικίνδυνοι. Η διαδικασία πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τις διαρροές και τις διαρροές και να διασφαλίζει την ασφαλή απόρριψη ή την ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων διαλυτών. Επιπλέον, νεότεροι, πιο φιλικοί προς το περιβάλλον διαλύτες και διαδικασίες αναπτύσσονται για τη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος της ανάκτησης μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα.

Ανάκτηση και εξευγενισμός

Μετά την εκχύλιση, ο πλούσιος σε μέταλλα διαλύτης υποβάλλεται σε επεξεργασία για την ανάκτηση των εκχυλισμένων μετάλλων. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων, συμπεριλαμβανομένης της αφαίρεσης του μετάλλου από τον διαλύτη, της καθίζησης και του καθαρισμού για την παραγωγή μεταλλικών προϊόντων υψηλής καθαρότητας έτοιμα για αγορά ή περαιτέρω βιομηχανική χρήση.

Η εκχύλιση με διαλύτη προσφέρει μια βιώσιμη μέθοδο για την επιλεκτική ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα, με τη χρήση διαφόρων οργανικών διαλυτών για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό πολύτιμων μετάλλων όπως ο χρυσός και το ασήμι από σύνθετα ρεύματα αποβλήτων.

4.5.2.3 Πυρομεταλλουργικές διεργασίες:

Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες περιλαμβάνουν τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών για τον διαχωρισμό και την ανάκτηση μετάλλων από ΑΗΗΕ. Η τήξη και η αποτέφρωση είναι κοινές πυρομεταλλουργικές μέθοδοι (Rieger et al.,2021). Αν και είναι αποτελεσματικές στην ανάκτηση μετάλλων, αυτές οι διεργασίες μπορεί να θέτουν περιβαλλοντικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της εκπομπής ρύπων και της παραγωγής επικίνδυνων παραπροϊόντων.Οι κοινές πυρομεταλλουργικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την τήξη και την αποτέφρωση. Αν και είναι αποτελεσματικές στην ανάκτηση μετάλλων, αυτές οι διεργασίες μπορούν να δημιουργήσουν περιβαλλοντικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών ρύπων και της παραγωγής επικίνδυνων υποπροϊόντων.



Εικόνα 11: Κάμινος ανοικτής εστίας

Περιγραφή διαδικασίας

Επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες: Η πυρομεταλλουργία χρησιμοποιεί θερμοκρασίες που συνήθως υπερβαίνουν τους 1000°C για την ανάκτηση μετάλλων μέσω τήξης, αποτέφρωσης και άλλων θερμικών μεθόδων. Αυτή η διαδικασία αποσυνθέτει οργανικά συστατικά και επιτρέπει την εξαγωγή μεταλλικών στοιχείων σε λιωμένη κατάσταση.

Τήξη: Η τήξη ενοποιεί τα απόβλητα σε μια ομοιογενή μάζα, διαχωρίζοντας τα μέταλλα με βάση τα σημεία τήξης τους. Η τήξη εξευγενίζει περαιτέρω αυτά τα μέταλλα χρησιμοποιώντας αναγωγικούς παράγοντες για τη μείωση της κατάστασης οξείδωσης των μετάλλων, διαχωρίζοντάς τα από τα μη μεταλλικά συστατικά (Ebin & Işık, 2016).

Αποτέφρωση: Αυτή η μέθοδος καίει οργανικές ουσίες σε υψηλές θερμοκρασίες, μειώνοντας τον όγκο των απορριμμάτων και αφήνοντας πίσω οξείδια μετάλλων και άλλα υπολείμματα. Η αποτέφρωση πρέπει να ελέγχεται για τη διαχείριση της απελευθέρωσης επιβλαβών εκπομπών και την ανάκτηση ενέργειας από τη διαδικασία.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το περιβάλλον λόγω της απελευθέρωσης τοξικών αερίων και βαρέων μετάλλων. Τα αποτελεσματικά συστήματα ελέγχου των εκπομπών είναι απαραίτητα για τον μετριασμό αυτών των

επιπτώσεων και τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς (Li et al., 2019).

Οι πυρομεταλλουργικές διεργασίες είναι ζωτικής σημασίας για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα, προσφέροντας υψηλή απόδοση και δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλων όγκων απορριμμάτων. Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που δημιουργούνται από αυτές τις μεθόδους απαιτούν αυστηρές τεχνολογίες ελέγχου για την πρόληψη της ρύπανσης και τη διασφάλιση βιώσιμων λειτουργιών.

4.5.2.3 Χημική κατακρήμνιση:

Η χημική καθίζηση χρησιμοποιείται για την επιλεκτική καταβύθιση μετάλλων από το διάλυμα, σχηματίζοντας στερεές μεταλλικές ενώσεις που μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία (Wang & Xu,2014). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά για την ανάκτηση μετάλλων από στραγγίσματα που παράγονται κατά τη διάρκεια άλλων διεργασιών χημικής επεξεργασίας.

Περιγραφή διαδικασίας

Χημικά αντιδραστήρια: Καθιζήματα όπως υδροξείδια, σουλφίδια ή οργανικές ενώσεις προστίθενται στο διάλυμα που περιέχει μέταλλο για να προκληθεί ο σχηματισμός αδιάλυτων ενώσεων. Η επιλογή του ιζήματος εξαρτάται από τη χημεία του μετάλλου και την επιθυμητή καθαρότητα του ιζήματος.

Επιλεκτική κατακρήμνιση: Αυτή η διαδικασία μπορεί να ελεγχθεί λεπτομερώς με προσαρμογή παραγόντων όπως το pH, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση των παραγόντων καθίζησης, επιτρέποντας την επιλεκτική ανάκτηση συγκεκριμένων μετάλλων από σύνθετα διαλύματα. Για παράδειγμα, η χρήση θειοακεταμίδης μπορεί να κατακρημνίσει επιλεκτικά μέταλλα όπως ο χαλκός, το κάδμιο, ο ψευδάργυρος και το νικέλιο σε διαφορετικά επίπεδα pH, διασφαλίζοντας υψηλή καθαρότητα των ανακτημένων μετάλλων (Gharabaghi, Irannajad, & Azadmehr, 2012).

Περιβαλλοντικά ζητήματα

Ενώ η χημική καθίζηση είναι αποτελεσματική για την ανάκτηση μετάλλων, μπορεί να παράγει σημαντικές ποσότητες λάσπης. Η σωστή διαχείριση αυτών των αποβλήτων είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αναπτύσσονται προηγμένες μέθοδοι για την ενίσχυση της φιλικότητας προς το

περιβάλλον αυτής της διαδικασίας, όπως η χρήση λιγότερο τοξικών ιζημάτων ή η ανακύκλωση των χημικών που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία.

Εφαρμογές

Η χημική κατακρήμνιση χρησιμοποιείται εκτενώς σε βιομηχανίες όπως η εξόρυξη, η μεταλλουργία και η ανακύκλωση ηλεκτρονικών απορριμμάτων, όπου είναι κρίσιμης σημασίας η αποτελεσματική και βιώσιμη ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από τα ρεύματα αποβλήτων.

Είναι μια ευέλικτη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επιλεκτική ανάκτηση μετάλλων, προσφέροντας το πλεονέκτημα της ανάκτησης μετάλλων υψηλής καθαρότητας από πολύπλοκα υδατικά διαλύματα. Η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από την προσεκτική επιλογή και διαχείριση των συνθηκών βροχόπτωσης.

4.5.3 Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας

4.5.3.1 Βιοαπόπλυση:

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για μεθόδους βιολογικής επεξεργασίας ΑΗΗΕ. Η βιοαπόπλυση περιλαμβάνει τη χρήση μικροοργανισμών για την επιλεκτική εξαγωγή μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα (Marra et al.,2018). Αυτή η φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση προσφέρει μια πιθανή εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές χημικές μεθόδους, με τα μικρόβια να παίζουν βασικό ρόλο στην κινητοποίηση μετάλλων.

Περιγραφή διαδικασίας

Μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται: Η βιοαπόπλυση χρησιμοποιεί μια ποικιλία μικροοργανισμών, ιδίως τους Acidithiobacillus ferrooxidans, οι οποίοι καταλύουν τη διάσπαση μεταλλικών συστατικών στα ηλεκτρονικά απόβλητα σε πιο διαλυτές μορφές που μπορούν εύκολα να εξαχθούν. Αυτά τα βακτήρια οξειδώνουν μέταλλα παράγοντας θειικό οξύ, ενισχύοντας τη διαλυτότητα των μετάλλων (Boxall et al., 2018).

Μηχανισμοί Βιοαπόπλυσης: Η διαδικασία περιλαμβάνει διάφορους μηχανισμούς βιοέκπλυσης όπως οξεόλυση, σύμπλοκολυση και οξειδολύση, που διευκολύνονται από

τη μικροβιακή παραγωγή οργανικών οξέων, κυανιδίων και άλλων ενώσεων που συνδέονται με μέταλλα και ενισχύουν τη διάλυσή τους (Srichandan et al., 2019).

Περιβαλλοντικά Οφέλη

Η βιοαπόπλυση ή βιοέκπλυση, αναγνωρίζεται για τις χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της. Δεν περιλαμβάνει υψηλές θερμοκρασίες ή τοξικές χημικές ουσίες, καθιστώντας το μια ασφαλέστερη εναλλακτική λύση για την ανάκτηση μετάλλων. Επιπλέον, μειώνει τον όγκο των αποβλήτων μετατρέποντας στερεά μέταλλα σε ανακτήσιμες μορφές χωρίς να δημιουργεί επιβλαβείς εκπομπές.

Προκλήσεις και καινοτομίες

Αν και είναι αποτελεσματική, η αποτελεσματικότητα της βιοαπόπλυσης μπορεί να επηρεαστεί από τη συγκέντρωση μετάλλων, την παρουσία άλλων χημικών ουσιών και τα φυσιολογικά όρια των μικροοργανισμών που χρησιμοποιούνται. Η έρευνα συνεχίζεται για τη βελτιστοποίηση συνθηκών όπως το pH, η θερμοκρασία και οι μικροβιακές κοινοπραξίες για τη βελτίωση των ρυθμών ανάκτησης και την αντιμετώπιση των ανασταλτικών επιπτώσεων από τη σύνθετη σύνθεση των ηλεκτρονικών απορριμμάτων.

Αποτελεί μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο για την εξαγωγή πολύτιμων μετάλλων από ηλεκτρονικά απόβλητα, χρησιμοποιώντας τις φυσικές ικανότητες των μικροοργανισμών να κινητοποιούν μέταλλα από στερεά απόβλητα. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο των αυξανόμενων προκλήσεων για τα ηλεκτρονικά απόβλητα και της ώθησης προς πιο οικολογικές τεχνολογίες ανακύκλωσης.

4.5.3.2 Φυτοεξόρυξη:

Η φυτοεξόρυξη, ή η χρήση φυτών υπερσυσσωρευτών, είναι μια άλλη αναδυόμενη μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας. Ορισμένα φυτά έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν μέταλλα στους ιστούς τους. Όταν συλλέγονται αυτά τα φυτά, τα συσσωρευμένα μέταλλα μπορούν να εξαχθούν, παρέχοντας μια βιώσιμη προσέγγιση για την ανάκτηση μετάλλων από ΑΗΗΕ (Corzo Remigio et al.,2020).

Περιγραφή διαδικασίας

Φυτά υπερσυσσωρευτών: Οι υπερσυσσωρευτές είναι φυτά που μπορούν να απορροφήσουν συγκεντρώσεις μετάλλων που υπερβαίνουν κατά πολύ αυτές που συνήθως βρίσκονται στην κοινή χλωρίδα χωρίς να υποστούν φυτοτοξικές επιδράσεις. Το κάνουν αυτό με διάφορους μηχανισμούς, συμπεριλαμβανομένης της ενισχυμένης πρόσληψης και μεταφοράς μετάλλων μέσα στους ιστούς τους (Sheoran, Sheoran, & Poonia, 2010).

Μηχανισμοί πρόσληψης μετάλλων: Αυτά τα φυτά τροποποιούν το pH της ριζόσφαιρας και εκκρίνουν χηλικούς παράγοντες που αυξάνουν τη διαλυτότητα και την κινητικότητα των μετάλλων, διευκολύνοντας την πρόσληψή τους μέσω των ριζών και τη συσσώρευση στα εναέρια μέρη του φυτού. Αυτή η ικανότητα είναι κρίσιμη για την επιτυχία της φυτοεξαγωγής, ειδικά σε εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα βιοδιαθέσιμων μετάλλων (McGrath & Zhao, 2003).

Συγκομιδή και Ανάκτηση: Τα φυτά συλλέγονται όταν μεγιστοποιείται η περιεκτικότητα σε μέταλλο στους ιστούς τους, συνήθως στο τέλος του κύκλου ανάπτυξής τους. Η συλλεγόμενη βιομάζα στη συνέχεια υποβάλλεται σε επεξεργασία, συχνά με αποτέφρωση, για να μειωθεί ο όγκος και να συγκεντρωθούν τα μέταλλα στην τέφρα. Στη συνέχεια, τα μέταλλα εξάγονται από την τέφρα για ανακύκλωση ή ασφαλή διάθεση (Chaney et al., 2007).

Πλεονεκτήματα και εφαρμογές

Η φυτοεξαγωγή είναι οικονομικά αποδοτική, φιλική προς το περιβάλλον και αισθητικά ευχάριστη, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για χώρες χαμηλού εισοδήματος. Μπορεί να ενσωματωθεί στην οικολογική αποκατάσταση μολυσμένων περιοχών, παρέχοντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη με την ανάκτηση της υποβαθμισμένης γης ενώ παράλληλα ανακτά πολύτιμα μέταλλα (Sheoran, Sheoran, & Poonia, 2010).

Η φυτοεξαγωγή αξιοποιεί τις φυσικές δυνατότητες των φυτών υπερσυσσωρευτών να αφαιρούν και να ανακτούν μέταλλα από τα ηλεκτρονικά απόβλητα, προσφέροντας μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στις συμβατικές μεθόδους ανάκτησης μετάλλων. Αυτή η τεχνική όχι μόνο καθαρίζει τα μολυσμένα εδάφη αλλά και ανακυκλώνει πολύτιμα μέταλλα, υποστηρίζοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την ανάκτηση των πόρων.

4.5.3.3 Μικροβιακές κυψέλες καυσίμου:

Οι μικροβιακές κυψέλες καυσίμου (MFCs) έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα τόσο για την επεξεργασία όσο και για την ανάκτηση ενέργειας από ΑΗΗΕ. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν τη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ παράλληλα διευκολύνουν τη διάσπαση των οργανικών συστατικών στα ηλεκτρονικά απόβλητα (Işıldar et al.,2019). Τα MFC αντιπροσωπεύουν μια συνεργιστική προσέγγιση για την επεξεργασία ΑΗΗΕ και την παραγωγή ενέργειας.Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν τις μεταβολικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ ταυτόχρονα διευκολύνουν τη διάσπαση των οργανικών συστατικών στα ηλεκτρονικά απόβλητα.

Περιγραφή διαδικασίας

Τα MFC λειτουργούν μετατρέποντας τη χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στα οργανικά απόβλητα σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της δράσης των βακτηρίων. Αυτά τα βακτήρια οξειδώνουν την οργανική ύλη, απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται σε ένα ηλεκτρόδιο, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα MFC βοηθούν στην αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων αλλά και στην ανάκτηση πολύτιμης ενέργειας στη διαδικασία. Αυτή η διπλή λειτουργία καθιστά τα MFC μια συνεργιστική προσέγγιση για τη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων, συνδυάζοντας την επεξεργασία των απορριμμάτων με την παραγωγή ενέργειας (Koroglu, Özkaya, & Çetinkaya, 2014).

Πλεονεκτήματα και εφαρμογές

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης MFC για την επεξεργασία ηλεκτρονικών αποβλήτων έγκειται στην ικανότητά τους να λειτουργούν υπό συνθήκες περιβάλλοντος, γεγονός που μειώνει το ενεργειακό κόστος που σχετίζεται με την επεξεργασία των απορριμμάτων. Επιπλέον, τα MFC μπορούν να σχεδιαστούν για να στοχεύουν συγκεκριμένα συστατικά απορριμμάτων, ενισχύοντας τόσο την αποδοτικότητα όσο και την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας (Zamri, Makhtar, Sobri, & Makhtar, 2023).

Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις

Τα MFC αντιπροσωπεύουν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τη βιώσιμη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων, παρέχοντας μια οικονομικά αποδοτική λύση που ενσωματώνει την επεξεργασία των απορριμμάτων με την ανάκτηση ενέργειας. Αυτά τα συστήματα αποτελούν παράδειγμα μιας προσέγγισης κυκλικής οικονομίας, μετατρέποντας τα απόβλητα σε πολύτιμη ενέργεια, μειώνοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Παρά τις δυνατότητές τους, η πρακτική εφαρμογή των MFC στην επεξεργασία ηλεκτρονικών αποβλήτων εξακολουθεί να περιορίζεται από παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα της σύνθεσης των αποβλήτων και η επεκτασιμότητα της τεχνολογίας MFC. Η συνεχιζόμενη έρευνα στοχεύει στη βελτιστοποίηση αυτών των συστημάτων για υψηλότερες εκροές ενέργειας και καλύτερες δυνατότητες υποβάθμισης των αποβλήτων.

4.5.4 Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας

4.5.4.1 Αποτέφρωση:

Η θερμική επεξεργασία, ιδιαίτερα η αποτέφρωση, χρησιμοποιείται για την καταστροφή οργανικών συστατικών στα ΑΗΗΕ. Η αποτέφρωση περιλαμβάνει την καύση ηλεκτρονικών απορριμμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες, τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων και την εξάλειψη ορισμένων επικίνδυνων ουσιών. Ωστόσο, ο προσεκτικός έλεγχος των συνθηκών αποτέφρωσης είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών και τη διασφάλιση της σωστής περιβαλλοντικής διαχείρισης (Buekens & Yang,2014).

4.5.4.2 Πυρόλυση:

Η πυρόλυση είναι μια μέθοδος θερμικής επεξεργασίας που περιλαμβάνει θέρμανση ΑΗΗΕ απουσία οξυγόνου. Αυτή η διαδικασία διασπά τα οργανικά υλικά σε αέρια, υγρά και κάρβουνο (Hense et al.,2015). Η πυρόλυση μπορεί να είναι μια βιώσιμη μέθοδος για την ανάκτηση ενέργειας από ηλεκτρονικά απόβλητα, ενώ παράγονται πολύτιμα υποπροϊόντα όπως το βιοέλαιο και το αέριο σύνθεσης.

4.6 Προκλήσεις στην επεξεργασία WEEE

4.6.1 Πολυπλοκότητα ηλεκτρονικών συσκευών

Μία από τις κύριες προκλήσεις στην επεξεργασία ΑΗΗΕ είναι η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των ηλεκτρονικών συσκευών (Ismail & Hanafiah,2019). Τα σύγχρονα gadget περιέχουν συχνά ένα μείγμα υλικών και περίπλοκων σχεδίων, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση και διαχωρισμό εξαρτημάτων.

4.6.2 Επικίνδυνες Ουσίες

Η παρουσία επικίνδυνων ουσιών, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων και των επιβραδυντικών φλόγας, εγκυμονεί κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία κατά την επεξεργασία των ΑΗΗΕ. Ο σωστός χειρισμός και η απόρριψη αυτών των ουσιών είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη της μόλυνσης.

4.6.3 Έλλειψη τυποποίησης

Η απουσία τυποποιημένων διαδικασιών για την επεξεργασία ΑΗΗΕ μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματικότητα και διαφοροποιήσεις στις πρακτικές στις διάφορες εγκαταστάσεις. Η τυποποίηση είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των μεθοδολογιών επεξεργασίας.

4.6.4 Απόρριψη ηλεκτρονικών αποβλήτων

Η ακατάλληλη διάθεση και η παράνομη εξαγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων στις αναπτυσσόμενες χώρες παραμένουν σημαντικές προκλήσεις. Αυτό όχι μόνο συμβάλλει στη ρύπανση του περιβάλλοντος, αλλά ενέχει επίσης κινδύνους για την υγεία των κοινοτήτων στις χώρες υποδοχής.

4.7 Καινοτομίες στην επεξεργασία WEEE

4.7.1 Αστική εξόρυξη

Η αστική εξόρυξη είναι μια έννοια που εστιάζει στην εξόρυξη πολύτιμων υλικών από ηλεκτρονικά απόβλητα. Μέσω προηγμένων τεχνολογιών, η αστική εξόρυξη στοχεύει στην ανάκτηση μετάλλων όπως ο χρυσός, το ασήμι και τα στοιχεία σπάνιων γαιών από τα ΑΗΗΕ, μειώνοντας την εξάρτηση από την παραδοσιακή εξόρυξη (Cossu & Williams,2015).

4.7.2 Προσεγγίσεις Κυκλικής Οικονομίας

Η έννοια της κυκλικής οικονομίας, που δίνει έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των υλικών, κερδίζει έδαφος στην επεξεργασία των ΑΗΗΕ. Οι κατασκευαστές διερευνούν τρόπους για να σχεδιάσουν προϊόντα με γνώμονα την ανακυκλωσιμότητα, δημιουργώντας ένα σύστημα κλειστού βρόχου που ελαχιστοποιεί τη δημιουργία απορριμμάτων (Parajuly et al.,2020).

4.7.3 Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και Ρομποτική

Η τεχνητή νοημοσύνη και η ρομποτική διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αυτοματοποίηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών επεξεργασίας ΑΗΗΕ. Η ρομποτική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποσυναρμολόγηση, τη διαλογή και τον αποτελεσματικό χειρισμό ηλεκτρονικών απορριμμάτων, βελτιώνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας (Chen et al.,2021).

4.7.4 Εφαρμογές Πράσινης Χημείας

Ο τομέας της πράσινης χημείας προσφέρει βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις για μεθόδους χημικής επεξεργασίας στην ανακύκλωση ΑΗΗΕ. Οι ερευνητές διερευνούν φιλικούς προς το περιβάλλον διαλύτες και διαδικασίες που ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χημικής επεξεργασίας.

4.8 Περιβαλλοντικά ζητήματα

4.8.1 Διατήρηση πόρων

Η αποτελεσματική επεξεργασία WEEE συμβάλλει στη διατήρηση των πόρων με την ανάκτηση πολύτιμων υλικών από ηλεκτρονικά απόβλητα. Τα μέταλλα, τα πλαστικά και άλλα εξαρτήματα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στην κατασκευή νέων προϊόντων, μειώνοντας την ανάγκη για παρθένους πόρους.

4.8.2 Πρόληψη της ρύπανσης

Οι κατάλληλες μέθοδοι επεξεργασίας συμβάλλουν στην πρόληψη της ρύπανσης ελαχιστοποιώντας την απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον (Ismail & Hanafiah,2019). Τα αυστηρά μέτρα ελέγχου κατά τις διαδικασίες επεξεργασίας και η κατάλληλη απόρριψη των υποπροϊόντων είναι απαραίτητα για την πρόληψη της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

4.8.3 Ανάκτηση Ενέργειας

Ορισμένες μέθοδοι επεξεργασίας, όπως οι θερμικές διεργασίες, προσφέρουν ευκαιρίες για ανάκτηση ενέργειας από ΑΗΗΕ. Αξιοποιώντας ενέργεια από ηλεκτρονικά απόβλητα, οι εγκαταστάσεις μπορούν να αντισταθμίσουν την κατανάλωση ενέργειας και να συμβάλουν σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό τοπίο.

4.8.4 Μείωση αποτυπώματος άνθρακα

Η εφαρμογή περιβαλλοντικά ορθών πρακτικών επεξεργασίας ΑΗΗΕ συμβάλλει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα που σχετίζεται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα (Ismail & Haniaf,2019). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς οι ηλεκτρονικές συσκευές γίνονται πιο διαδεδομένες στην κοινωνία.

Συμπερασματικά, η επεξεργασία των Απορριμμάτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού περιλαμβάνει μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει μηχανικές, χημικές, βιολογικές και θερμικές μεθόδους. Ενώ εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όπως η πολυπλοκότητα των ηλεκτρονικών συσκευών και των επικίνδυνων ουσιών, οι συνεχείς καινοτομίες και η στροφή προς τις αρχές της κυκλικής οικονομίας υπόσχονται ένα πιο βιώσιμο μέλλον για την επεξεργασία των ΑΗΗΕ. Καθώς συνεχίζουμε να εξερευνούμε προηγμένες τεχνολογίες και φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές, στόχος είναι να ελαχιστοποιήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των

ηλεκτρονικών απορριμμάτων και να μεγιστοποιήσουμε την ανάκτηση πολύτιμων πόρων.

4.9 Μελέτη περίπτωσης: ΑΗΗΕ στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η διαχείριση των ΑΗΗΕ διέπεται από την εθνική νομοθεσία. Το νομικό πλαίσιο περιγράφει τις ευθύνες των παραγωγών, των εισαγωγέων και των καταναλωτών σχετικά με τον σωστό χειρισμό και τη διάθεση των ηλεκτρονικών απορριμμάτων. Το Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων στην Ελλάδα ενσωματώνει στρατηγικές για την επεξεργασία των ΑΗΗΕ σε ευθυγράμμιση με τις οδηγίες της ΕΕ.

Η συλλογή και μεταφορά των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα περιλαμβάνει τη δημιουργία σημείων συλλογής και καθορισμένων εγκαταστάσεων. Οι δήμοι συχνά συνεργάζονται με οργανισμούς ανακύκλωσης για να εξασφαλίσουν βολικά και προσβάσιμα σημεία συλλογής για τους καταναλωτές.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας στην Ελλάδα χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό μηχανικών, χημικών και άλλων μεθόδων επεξεργασίας. Η χώρα τονίζει τη σημασία της περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης και οι εγκαταστάσεις πρέπει να συμμορφώνονται με τα πρότυπα και τους κανονισμούς για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η Ελλάδα αντιμετωπίζει τυπικές προκλήσεις της επεξεργασίας ΑΗΗΕ, συμπεριλαμβανομένης της περίπλοκης φύσης των ηλεκτρονικών συσκευών και της ανάγκης για σωστό χειρισμό επικίνδυνων ουσιών. Ωστόσο, οι συνεχιζόμενες καινοτομίες, όπως η υιοθέτηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας και οι εξελίξεις στις τεχνολογίες διαλογής, συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη και βιώσιμη επεξεργασία των ΑΗΗΕ.

Η επεξεργασία των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού αντιπροσωπεύει μια κρίσιμη πτυχή των σύγχρονων πρακτικών διαχείρισης απορριμμάτων. Με την αυξανόμενη πανταχού παρουσία ηλεκτρονικών συσκευών, η αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει τα ηλεκτρονικά απόβλητα είναι επιτακτική. Οι μέθοδοι μηχανικής, χημικής, βιολογικής και θερμικής επεξεργασίας συμβάλλουν συλλογικά στον υπεύθυνο χειρισμό των ΑΗΗΕ, διασφαλίζοντας την ανάκτηση πολύτιμων πόρων και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στην περίπτωση της Ελλάδας, η τήρηση της εθνικής νομοθεσίας και των οδηγιών της ΕΕ υπογραμμίζει τη δέσμευση για σωστή επεξεργασία των ΑΗΗΕ. Η χώρα αντιμετωπίζει τις προκλήσεις μέσω ενός συνδυασμού μέτρων πολιτικής, εκστρατειών ευαισθητοποίησης του κοινού και συνεχιζόμενης καινοτομίας στις τεχνολογίες θεραπείας.

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει και οι ηλεκτρονικές συσκευές γίνονται ακόμη πιο αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής, η εξέλιξη των μεθοδολογιών επεξεργασίας ΑΗΗΕ θα παραμείνει καθοριστική. Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της ανάκτησης πόρων, της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της συμμόρφωσης με τα ρυθμιστικά πλαίσια θα καθοδηγήσει τις μελλοντικές εξελίξεις στην επεξεργασία των ηλεκτρονικών αποβλήτων.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Bashai, A. (2017). 3 Methods of Nonferrous Metal Recycling. Ανάκτηση στις 16 Ιουλίου 2024 από τον ιστότοπο: https://blog.emew.com/3-methods-of-nonferrous-metal-recycling

Boxall, N., Cheng, K., Bruckard, W., & Kaksonen, A. (2018). Application of indirect non-contact bioleaching for extracting metals from waste lithium-ion batteries.. *Journal of hazardous materials*, 360, 504-511. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.024

Buekens, A., & Yang, J. (2014). Recycling of WEEE plastics: a review. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *16*, 415-434.

Cesaro, A., Marra, A., Kuchta, K., Belgıorno, V., & Van Hullebusch, E. D. (2018). WEEE management in a circular economy perspective: An overview. *Glob. Nest J*, *20*, 743-750.

Chen, J., Huang, S., BalaMurugan, S., & Tamizharasi, G. S. (2021). Artificial intelligence based e-waste management for environmental planning. *Environmental Impact Assessment Review*, *87*, 106498.

Christensen, T. (Ed.). (2011). *Solid waste technology and management*. John Wiley & Sons.

Corzo Remigio, A., Chaney, R. L., Baker, A. J., Edraki, M., Erskine, P. D., Echevarria, G., & van der Ent, A. (2020). Phytoextraction of high value elements and contaminants from mining and mineral wastes: opportunities and limitations. *Plant and Soil*, *449*, 11-37.

Cossu, R., & Williams I., (2015). Urban mining: Concepts, terminology, challenges. *Waste Management*, *45*, 1-3.

Cui, J., & Forssberg, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of hazardous materials*, *99*(3), 243-263.

Forti, V., Baldé, K., & Kuehr, R. (2018). E-waste statistics: guidelines on classifications, reporting and indicators.

Ghosh, S. K., Debnath, B., Baidya, R., De, D., Li, J., Ghosh, S. K., ... & Tavares, A. N. (2016). Waste electrical and electronic equipment management and Basel Convention compliance in Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) nations. *Waste Management & Research*, *34*(8), 693-707.

Gramatyka, P., Nowosielski, R., & Sakiewicz, P. (2007). Recycling of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, *20*(1-2), 535-538.

Hense, P., Reh, K., Franke, M., Aigner, J., Hornung, A., & Contin, A. (2015). PYROLYSIS OF WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (WEEE) FOR RECOVERING METALS AND ENERGY: PREVIOUS ACHIEVEMENTS AND CURRENT APPROACHES. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, *14*(7).

Işıldar, A., van Hullebusch, E. D., Lenz, M., Du Laing, G., Marra, A., Cesaro, A., ... & Kuchta, K. (2019). Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE)–A review. *Journal of hazardous materials*, *362*, 467-481.

Ismail, H., & Hanafiah, M. M. (2019). An overview of LCA application in WEEE management: Current practices, progress and challenges. *Journal of Cleaner Production*, *232*, 79-93.

Kalogirou, E., & Sakalis, A. (2016). Overview of the waste management situation and planning in Greece. Waste Management, 6, 107-116.

Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., & Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*, *141*, 2013- 2044

Marra, A., Cesaro, A., Rene, E. R., Belgiorno, V., & Lens, P. N. (2018). Bioleaching of metals from WEEE shredding dust. *Journal of environmental management*, *210*, 180-190.Nigam, S., Jha, R., & Singh, R. P. (2021). A different approach to the electronic waste handling–a review. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 1519-1525.

Nowakowski, P., & Mrówczyńska, B. (2018). Towards sustainable WEEE collection and transportation methods in circular economy-Comparative study for rural and urban settlements. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*, 93-107.

Pahari, A. K., & Dubey, B. K. (2019). Waste from electrical and electronics equipment. In *Plastics to Energy* (pp. 443-468). William Andrew Publishing.

Parajuly, K., Fitzpatrick, C., Muldoon, O., & Kuehr, R. (2020). Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU. *Resources, Conservation & Recycling: X*, *6*, 100035.

Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of environmental management*, *92*(4), 1033-1050

Restuccia, M., de Brentani, U., Legoux, R., & Ouellet, J.-F. (2015). *Product Life-Cycle Management and Distributor Contribution to New Product Development. Journal of Product Innovation Management, 33(1), 69–89.* doi:10.1111/jpim.12261

Rieger, T., Oey, J. C., Palchyk, V., Hofmann, A., Franke, M., & Hornung, A. (2021). Chemical recycling of weee plastics—Production of high purity monocyclic aromatic chemicals. *Processes*, *9*(3), 530.

Rios, A. M., & Picazo-Tadeo, A. J. (2021). Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union-28. *Ecological Indicators*, *123*, 107328

Robaina, M., Murillo, K., Rocha, E., & Villar, J. (2020). Circular economy in plastic waste-Efficiency analysis of European countries. *Science of the total environment*, *730*, 139038

Selin, H., & VanDeveer, S. D. (2006). Raising global standards: hazardous substances and e-waste management in the European Union. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 48(10), 6-18.

Toffolet, R. (2016). WEEE management. WEEE Recycling, 1-30.

Tojo, N., Neubauer, A., & Bräuer, I. (2008). Waste management policies and policy instruments in Europe. *IIIEE Reports; Lund University: Lund, Sweden*, 1-108.

Vujić, G., Gonzalez-Roof, A., Stanisavljević, N., & Ragossnig, A. M. (2015). Municipal solid waste development phases: Evidence from EU27. *Waste Management & Research*, *33*(12), 1112-1120.

Wang, R., & Xu, Z. (2014). Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review. *Waste Management*, *34*(8), 1455-1469.

Černá, M. (1995). Use of solvent extraction for the removal of heavy metals from liquid wastes. *Environmental Monitoring and Assessment, 34*, 151-162. https://doi.org/10.1007/BF00546029

Chaney, R., Angle, J., Broadhurst, C., Peters, C., Tappero, R., & Sparks, D. (2007). Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies.. *Journal of environmental quality*, 36 5, 1429-43 . https://doi.org/10.2134/JEQ2006.0514.

Cui, J., & Zhang, L. (2008). Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review. *Journal of hazardous materials*, 158 2-3, 228-56. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.001.

Ebin, B., & Işık, M. (2016). Pyrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from WEEE. , 107-137. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803363-0.00005-5.

European Comission. (2020). Waste Statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics

European Comission. (2021). Waste statistics - electrical and electronic equipment. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment

Gharabaghi, M., Irannajad, M., & Azadmehr, A. (2012). Selective Sulphide Precipitation of Heavy Metals from Acidic Polymetallic Aqueous Solution by Thioacetamide. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, 954-963. https://doi.org/10.1021/IE201832X.

Koroglu, E., Özkaya, B., & Çetinkaya, A. (2014). Microbial Fuel Cells for Energy Recovery from Waste. *International journal of energy science*, 4, 28. https://doi.org/10.14355/IJES.2014.0401.07.

Li, Z., Diaz, L., Yang, Z., Jin, H., Lister, T., Vahidi, E., & Zhao, F. (2019). Comparative life cycle analysis for value recovery of precious metals and rare earth elements from electronic waste. *Resources, Conservation and Recycling*. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.05.025.

McGrath, S., & Zhao, F. (2003). Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils.. *Current opinion in biotechnology*, 14 3, 277-82 . https://doi.org/10.1016/S0958-1669(03)00060-0.

Sheoran, V., Sheoran, A., & Poonia, P. (2010). Role of Hyperaccumulators in Phytoextraction of Metals From Contaminated Mining Sites: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41, 168 - 214. https://doi.org/10.1080/10643380902718418.

Srichandan, H., Mohapatra, R., Parhi, P., & Mishra, S. (2019). Bioleaching approach for extraction of metal values from secondary solid wastes: A critical review. *Hydrometallurgy*. https://doi.org/10.1016/J.HYDROMET.2019.105122.

Sun, Z., Xiao, Y., Sietsma, J., Agterhuis, H., & Yang, Y. (2015). A Cleaner Process for Selective Recovery of Valuable Metals from Electronic Waste of Complex Mixtures of End-of-Life Electronic Products.. *Environmental science & technology*, 49 13, 7981-8 . https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01023.

UNITAR. (2024). Global e-Waste Monitor 2024: Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling. https://www.unitar.org/

Vegliò, F., Quaresima, R., Fornari, P., & Ubaldini, S. (2003). Recovery of valuable metals from electronic and galvanic industrial wastes by leaching and electrowinning. *Waste Management, 23*(3), 245-252. https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00157-5

Zamri, M., Makhtar, S., Sobri, M., & Makhtar, M. (2023). Microbial Fuel Cell as New Renewable Energy for Simultaneous Waste Bioremediation and Energy Recovery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1135. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1135/1/012035.

Cleary, J. (2009). Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: a comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environment International*, 35(8), 1256-1266. DOI: 10.1016/j.envint.2009.07.009.

European Commission. (2023). Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). *European Commission*. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en

Ikhlayel, M., Higano, Y., Yabar, H., & Mizunoya, T. (2016). Introducing an Integrated Municipal Solid Waste Management System: Assessment in Jordan. *Journal of Sustainable Development*, 9, 43. https://doi.org/10.5539/JSD.V9N2P43.

Iqbal, A., Liu, X., & Chen, G., 2020. Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques.. *The Science of the total environment*, 729, pp. 138622 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138622.

Jeswani, H., & Azapagic, A. (2016). Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK.. *Waste management*, 50, 346-63 . https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.010.

Papaoikonomou, E., Tilikidou, I., & Krystallis, A. (2009). Environmental awareness and recycling behavior in Greece. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 2577-2587. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.02.002.

Ελληνική

Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.(δ.χ.). Η εταιρία με μια ματιά. Ανάκτηση από

https://www.electrocycle.gr/i-etaireia-anakiklosi-syskevon-ae/

Έθνος. (2023). Ουραγός η Ελλάδα σε διαχείριση αποβλήτων και ανακύκλωση - Προειδοποίηση από Κομισιόν για «αντιφατικά στοιχεία». Ανάκτηση από https://www.ethnos.gr/greece/article/265156/oyragoshelladasediaxeirishapoblhtonkaianakykloshproeidopoihshapokomisiongiaantifatikastoixeia

Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (δ.χ.). Σχετικά με εμάς. Ανάκτηση από https://www.herrco.gr/

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2014). Προς μια κυκλική οικονομία: πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων για την Ευρώπη. Ανάκτηση από: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0398R%2801%29

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. (δ.χ.). Αποδοτική Χρήση των Πόρων και Απόβλητα. Ανάκτηση από https://www.eea.europa.eu/el/themes/waste

Ν. 2939/2001 ΦΕΚ Α' 179/6.8.2001. Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων - Ιδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Αλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις.

Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. Ανάκτηση από https://eur-lex.europa.eu/EL/legal-content/summary/landfill-of-waste.html

Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Νοεμβρίου 2008 , για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών. Ανάκτηση από https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32008L0098

Οδηγία 2011/65/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 8ης Ιουνίου 2011 , για τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό (αναδιατύπωση) Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ. Ανάκτηση από https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065

Οδηγία (ΕΕ) 2018/850 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. Ανάκτηση από https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex:32018L0850

ΠΑΕ (δ.χ.). Μαγνητικός διαχωρισμός υλικών. Ανάκτηση από https://www.ere-recycling.gr/eksoplismos-anakyklosis/sorting/magnetic-sorting/

Π.δ. 117/04 "Μέτρα και όροι για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών στα είδη αυτά - Πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείρισή τους"

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2021). Ολοκληρώθηκε η διαβούλευση για το Εθνικό Πρόγραμμα Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων 2021 – 2030. Ανάκτηση από https://ypen.gov.gr/oloklirothike-i-diavoulefsi-gia-to-ethniko-programma-prolipsis-dimiourgias-apovliton-2021-2030/

ΥΠΕΧΩΔΕ (2003). Ολοκληρωμένη Διαχείριση Απορριμμάτων. Ενημερωτικό Έντυπο.