



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού  
Σχεδιασμός φωτισμού

Διπλωματική Εργασία  
Ανακύκλωση λαμπτήρων - Κατάσταση και προοπτικές για το  
μέλλον

Μιχαήλ - Κωνσταντίνος Σαραφάκης

Επιβλέπων καθηγητής: «Χρήστος Γρηγορόπουλος»

Πάτρα, Σεπτέμβριος, 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή(«συγγραφέας/ δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη

συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



## **Ανακύκλωση λαμπτήρων - κατάσταση και προοπτικές για το μέλλον**

Μιχαήλ-Κωνσταντίνος Σαραφάκης

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

**Επιβλέπων Καθηγητής**

Χρήστος Γρηγορόπουλος

Μέλος ΣΕΠ, Ε.Α.Π

**Συν-Επιβλέπων Καθηγητής**

Μαδιάς Ευάγγελος Νικόλαος

Μέλος ΣΕΠ, Ε.Α.Π

Πάτρα, Σεπτέμβριος, 2026

*«Ευχαριστίες ή Αφιέρωση»*

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στον άνθρωπο μου, την γυναίκα μου την Γωγώ, η οποία στάθηκε δίπλα μου και με ώθησε με κάθε τρόπο να ολοκληρώσω αυτή τη προσπάθεια παρά τις αντιξοότητες και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουμε τα τελευταία χρόνια.

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια βιβλιογραφική έρευνα σε τοπικό αλλά και διεθνές επίπεδο για τις μεθοδολογίες που υπάρχουν σήμερα στον τομέα της ανακύκλωσης των λαμπτήρων. Αναλύονται, οι μέθοδοι αλλά και τα υλικά ανάκτησης από διάφορους τύπους λαμπτήρων καθώς και οι τομείς στους οποίους μπορούν αυτά να επαναχρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, γίνεται ιστορική αναδρομή καθώς και ανάλυση του υφιστάμενου καθεστώτος ανακύκλωσης των λαμπτήρων στην Ελλάδα, με ιδιαίτερη αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο, τις διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και ανακύκλωσης αλλά και τα είδη των υλικών που ανακτώνται, τις μεθόδους ανάκτησης αυτών καθώς και τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησής τους.

Επίσης, γίνεται αναφορά στις αντίστοιχες πρακτικές που εφαρμόζονται σε χώρες του εξωτερικού με έμφαση σε αυτές των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση των δεδομένων από τις χώρες του εξωτερικού σε σχέση με την Ελλάδα, με στόχο την διερεύνηση ανάπτυξης νέων μεθοδολογιών, τόσο στην ανακύκλωση όσο και στην επαναχρησιμοποίηση, την εξέλιξη και αναβάθμιση του υφιστάμενου νομοθετικού πλαισίου αλλά και το άνοιγμα νέων αγορών. Βάσει των στατιστικών δεδομένων της έρευνας πραγματοποιείται ανάλυση στα οφέλη της ανακύκλωσης των λαμπτήρων, τόσο σε περιβαλλοντικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο οικονομίας. Πιο συγκεκριμένα, και βάσει των δεδομένων, γίνεται εκτίμηση του ποσοστού που ανακυκλώνεται σε σχέση με αυτό που χρησιμοποιείται στην εγχώρια αγορά, στην εξέλιξη των εν λόγω ποσοστών τα προηγούμενα χρόνια καθώς και στις τάσεις και προοπτικές βελτίωσης αυτών στο μέλλον.

Βάσει των συμπερασμάτων της μελέτης που διεξήχθη, η ανακύκλωση των λαμπτήρων παρουσιάζει βελτίωση τα τελευταία χρόνια και διαφαίνονται περιθώρια εξέλιξης που σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να επικεντρωθεί στις ποσότητες συλλογής και κατ' επέκταση στις ποσότητες των ανακτώμενων υλικών. Για να συμβούν αυτά θα πρέπει να δοθεί περισσότερη έμφαση στην ενίσχυση του συστήματος-δικτύου συλλογής, στην ευαισθητοποίηση του κοινού και προφανώς στην αυστηροποίηση αλλά και αποδοτικότερη εφαρμογή της νομοθεσίας.

**Λέξεις – Κλειδιά** - Κυκλική οικονομία, Ανακύκλωση, Ανακύκλωση λαμπτήρων, Ανάκτηση υλικών, Επαναχρησιμοποίηση

## Recycling light bulbs, present situation and future prospects

### Michail-Konstantinos Sarafakis

## Abstract

In this thesis, a bibliographic research at both local and international level for the current methodologies available in the field of light bulb recycling is carried out. Moreover, the methods and materials recovered from various types of lamps, as well as the areas in which these materials can be reused, are presented in detail. There is also a historical overview and analysis of the current lamp recycling regime in Greece, focusing on the legislative framework, the collection, transportation and recycling procedures, as well as on the types of materials recovered, their recovery methods, and their reuse possibilities.

Furthermore, the dissertation references the corresponding practices implemented in foreign countries, with an emphasis on those of the European Union's. A comparative evaluation of data from foreign countries in relation to Greece is conducted, aiming to explore the development of new methodologies, both in recycling and reuse the evolution and enhancement of the existing legislative framework, and the opening of new markets. Based on the statistical data from the research, an analysis on the benefits of lamp recycling both on environmental and economic level is carried out.

An assessment of the percentage recycled in relation to that used in the domestic market, based on the most available data, is made. Moreover, the evolution of these percentages in previous years, as well as all the trends and prospects for their improvement in the future is examined. For Greece, based on data for the period 2019 -2021, where the categorization of EEE has changed and affected the comparison with previous periods (up to 2018), the PoM quantities of lamps are approximately 3100 tn annually, the collection quantities around 500 tn,, the processing quantities around 440-490 tn, while the recovered quantities around 420-440 tn.

The main recovered materials are glass and aluminum, while plastic shows increasing trends which lately ranks second after glass in recovered materials. This is largely related to the change in the types of lamps widely used in recent years compared to the past. Based on the conclusions drawn from this thesis, lamp recycling has shown improvement in recent years but there is enough space for further development, the basis of which should initially focus on both the collection quantities and those of the recovered materials. In order to implement all these, more emphasis should be placed on strengthening the collection system-network, on public awareness as well as on the tightening and the efficient application of the legislation.

**Keywords** - *Circular Economy, Recycling, Lamp Recycling, Material Recovery, Reuse*

## Περιεχόμενα

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).....                                  | 14 |
| 1.1. Εισαγωγή.....                                                                           | 14 |
| 1.2. Ορισμός Αποβλήτων και Ειδικότερα των Ηλεκτρονικών Αποβλήτων.....                        | 14 |
| 1.3. Κατηγορίες Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΗΗΕ).....                            | 15 |
| 1.4. Διεθνή πρότυπα διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)..... | 21 |
| 1.5. Ιστορική αναδρομή.....                                                                  | 27 |
| 1.6. Νομοθετικό πλαίσιο.....                                                                 | 28 |
| 1.6.1. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων.....                                         | 30 |
| 1.6.2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΗΗΕ.....                                              | 32 |
| 1.7. Μέθοδοι διαχείρισης ΑΗΗΕ.....                                                           | 34 |
| 1.7.1. Μέθοδοι διαχείρισης λαμπτήρων.....                                                    | 36 |
| 1.8. Διαχείριση στερεών αποβλήτων.....                                                       | 37 |
| 1.9. Κυκλική οικονομία.....                                                                  | 39 |
| 1.9.1. Ορισμός και Χαρακτηριστικά της Κυκλικής Οικονομίας.....                               | 39 |
| 1.9.2. Λόγοι Εφαρμογής της Κυκλικής Οικονομίας.....                                          | 45 |
| 1.9.3. Βιομημητισμός.....                                                                    | 46 |
| 1.9.4. Απόδοση και Οικονομία Διαμοιρασμού.....                                               | 46 |
| 1.9.5. Cradle to Cradle.....                                                                 | 47 |
| 1.9.6. Κυκλική οικονομία στους λαμπτήρες, εφαρμοζόμενες στρατηγικές και προοπτικές.....      | 49 |
| 2. Λαμπτήρες φωτισμού.....                                                                   | 51 |
| 2.1. Λαμπτήρες Φθορισμού.....                                                                | 51 |
| 2.2. Λαμπτήρες πυρακτώσεως.....                                                              | 52 |
| 2.3. Λαμπτήρες αλογόνου.....                                                                 | 54 |
| 2.4. Λαμπτήρες LED.....                                                                      | 55 |
| 2.5. Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης.....                                                 | 56 |
| 2.6. Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης.....                                              | 58 |
| 2.7. Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης.....                                             | 60 |
| 2.8. Οπτικές Ίνες.....                                                                       | 61 |
| 3. Ανακύκλωση λαμπτήρων.....                                                                 | 65 |
| 3.1.1. Ανακτώμενα Υλικά ανά τύπο λαμπτήρα.....                                               | 69 |

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1.1.1. Λαμπτήρες Φθορισμού.....                                  | 69  |
| 3.1.1.2. Λαμπτήρες Πυρακτώσεως.....                                | 70  |
| 3.1.1.3. Λαμπτήρες Αλογόνου.....                                   | 71  |
| 3.1.1.4. Λαμπτήρες LED.....                                        | 71  |
| 3.1.1.5. Λαμπτήρες Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης.....                   | 72  |
| 3.1.1.6. Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής και Χαμηλής Πίεσης.....          | 73  |
| 3.1.1.7. Οπτικές Ίνες.....                                         | 74  |
| 4. Μονάδες ανακύκλωσης λαμπτήρων (Εθνικό επίπεδο).....             | 75  |
| 4.1. Λειτουργία μονάδων ανακύκλωσης.....                           | 76  |
| 4.2. Μοντέλο ανακύκλωσης στην Ελλάδα.....                          | 82  |
| 4.3. Ποσοτικά στοιχεία.....                                        | 83  |
| 4.3.1. Ποσοτικά στοιχεία και ανακτώμενα υλικά.....                 | 84  |
| 4.3.2. Στοιχεία Ελλάδας και χωρών της Ε.Ε.....                     | 101 |
| 4.3.3. Ποσότητες συλλογής ΑΗΗΕ.....                                | 104 |
| 4.3.4. Ποσότητες επεξεργασίας ΑΗΗΕ.....                            | 105 |
| 4.3.5. Επαναχρησιμοποίηση.....                                     | 108 |
| 5. Αξιολόγηση ανακύκλωσης.....                                     | 110 |
| 5.1. Αξιολόγηση σε εθνικό επίπεδο.....                             | 111 |
| 5.2. Τάσεις και προοπτικές εξέλιξης στην ανακύκλωση λαμπτήρων..... | 112 |
| 6. Συμπεράσματα.....                                               | 114 |

## Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

|                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: Ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων.....                                                                                                                                                                                                            | 29 |
| Εικόνα 2: Στην εικόνα2 από το EPA (2017) απεικονίζεται η ιεραρχία των απορριμμάτων με τον πιο ιεραρχημένο τρόπο διαχείρισης απορριμμάτων που παρουσιάζεται στην κορυφή (πρόληψη) και τον τρόπο με τη λιγότερη προτεραιότητα στο κάτω μέρος (χωματερή).... | 41 |
| Εικόνα 3: Το σχήμα παρουσιάζει τον ορισμό της κυκλικής οικονομίας των Zhijun και Nailing (2007).....                                                                                                                                                      | 43 |
| Εικόνα 4: Το σχήμα παρουσιάζει τον ορισμό της κυκλικής οικονομίας του TU Delft που παρουσιάζεται στο Circular Economy, An Introduction (2017).....                                                                                                        | 44 |
| Εικόνα 5: Ορισμός της κυκλικής οικονομίας σύμφωνα με το Ίδρυμα Ellen MacArthur (2015).....                                                                                                                                                                | 45 |
| Εικόνα 6: Δομή λαμπτήρα φθορισμού (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017).....                                                                                                                                                                                            | 52 |
| Εικόνα 7: Δομή λαμπτήρα πυρακτώσεως (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017).....                                                                                                                                                                                          | 54 |
| Εικόνα 8: Δομή LED και ψηφίδας LED (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017).....                                                                                                                                                                                           | 56 |
| Εικόνα 9: Δομή λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017).                                                                                                                                                                                 | 58 |
| Εικόνα 10: Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)<br>.....                                                                                                                                                                     | 59 |
| Εικόνα 11: Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)<br>.....                                                                                                                                                                    | 60 |
| Εικόνα 12: Λειτουργικό σύστημα οπτικών ινών.....                                                                                                                                                                                                          | 61 |
| Εικόνα 13: Δομή φωτιστικού οπτικής ίνας.....                                                                                                                                                                                                              | 62 |
| Εικόνα 14: Είσοδος αγωγού οπτικής ίνας σε φωτιστικό.....                                                                                                                                                                                                  | 62 |
| Εικόνα 15: Αγωγοί οπτικών ινών (Βολέλης, Φώκος, 2017).....                                                                                                                                                                                                | 63 |
| Εικόνα 16: Τομή αγωγού οπτικής ίνας.....                                                                                                                                                                                                                  | 63 |
| Εικόνα 17: Συνδεσμολογίες οπτικών ινών.....                                                                                                                                                                                                               | 64 |
| Εικόνα 18: Διάφορα τερματικά εξόδου οπτικών ινών (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)....                                                                                                                                                                              | 64 |
| Εικόνα 19: Διαδικασία επεξεργασίας ΑΗΗΕ (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)<br>.....                                                                                                                                                                         | 77 |
| Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής μονάδας ανακύκλωσης λαμπτήρων (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024).....                                                                                                                                                                     | 78 |
| Εικόνα 21: Μηχάνημα διαχωρισμού γυαλιού και αλουμινίου (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)<br>.....                                                                                                                                                                  | 79 |
| Εικόνα 22: Σύστημα φιλτραρίσματος εκπομπών υδραργύρου (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024).....                                                                                                                                                                       | 79 |
| Εικόνα 23: Συλλογή γυαλιού λαμπτήρων(τελικό προϊόν) (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)                                                                                                                                                                              | 80 |
| Εικόνα 24: Συλλογή μεταλλικών τμημάτων λαμπτήρων (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024).....                                                                                                                                                                            | 80 |

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Εικόνα 25: Ποσότητες PoM εξοπλισμού φωτισμού για τα έτη 2009 έως 2018 στις χώρες της Ε.Ε.....                                                      | 102 |
| Εικόνα 26: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την επεξεργασία εξοπλισμού φωτισμού για τα έτη 2009 έως 2018 στις χώρες της Ε.Ε. (Eurostat, 2024)..... | 106 |
| Εικόνα 27: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την επεξεργασία λαμπτήρων για τα έτη 2019 έως 2021 στις χώρες της Ε.Ε. (Eurostat, 2024).....           | 107 |

## Κατάλογος Πινάκων

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 1: Κατηγορίες ΗΗΕ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ κατά την μεταβατική περίοδο 2012 έως 2018.....                                                        | 15 |
| Πίνακας 2: Κατηγορίες ΗΗΕ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ μετά την 14.08.2018.....                                                                              | 16 |
| Πίνακας 3: Κατάλογος ΗΗΕ των Κατηγοριών ΗΗΕ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ.....                                                                                | 17 |
| Πίνακας 4: Κωδικοί αποβλήτων σύμφωνα με τον κατάλογο ΕΚΑ της Οδηγίας 2002/532/ΕΚ .....                                                                 | 19 |
| Πίνακας 5: Είδη Λαμπτήρων και Μέθοδοι Διαχείρισης ΑΗΗΕ.....                                                                                            | 37 |
| Πίνακας 6: Συγκέντρωση Υλικών που Περιγράφονται στο Παραπάνω Κείμενο.....                                                                              | 65 |
| Πίνακας 7: Βασικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι ανακύκλωσης των κύριων τύπων λαμπτήρων.....                                                               | 66 |
| Πίνακας 8: Συστήματα Συλλογής και Νομοθεσία ΑΗΗΕ στην Ευρώπη.....                                                                                      | 68 |
| Πίνακας 9: Ενδεικτικός πίνακας παραγόμενων υλικών από την ανακύκλωση λαμπτήρων (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).....                                   | 81 |
| Πίνακας 10: Ποσότητες RoM για την περίοδο 2006-2018 (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024) .....                                                                     | 85 |
| Πίνακας 11: Ποσότητες RoM υφιστάμενες και μελλοντικές εκτιμήσεις (2019-2024) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                             | 86 |
| Πίνακας 12: Ποσότητες κατηγοριών ΑΗΗΕ προς ανακύκλωση (2013-2016) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                                        | 87 |
| Πίνακας 13: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από ανακύκλωση λαμπτήρων 2014-2016 (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                              | 88 |
| Πίνακας 14: Ποσότητες παραλαβών και επεξεργασίας λαμπτήρων(2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                                    | 90 |
| Πίνακας 15: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση ΑΗΗΕ (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                                   | 91 |
| Πίνακας 16: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                              | 92 |
| Πίνακας 17: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση λαμπτήρων σε ποσοστά κλάσματος (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                         | 92 |
| Πίνακας 18: Υλικά που προέκυψαν από την ανακύκλωση φωτιστικών και μικροσυσκευών (2017-2021) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                              | 93 |
| Πίνακας 19: Ποσότητες ΗΗΕ που ανακυκλώθηκαν από το 2015 έως το 2022(ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε.).....                                                     | 95 |
| Πίνακας 20: Ποσότητες RoM εκπεφρασμένες σε τεμάχια και αντίστοιχο βάρος για τα έτη από το 2013 έως το 2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).....       | 96 |
| Πίνακας 21: Ποσότητες Ανακτώμενων Υλικών από την επεξεργασία λαμπτήρων για το χρονικό διάστημα από 2017 έως 2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)..... | 97 |

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Πίνακας 22: Ανακτώμενα υλικά (tn) από την ανακύκλωση φωτιστικών για τα έτη 2017-2018 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)..... | 99  |
| Πίνακας 23: Ανακτώμενα υλικά (tn) από την ανακύκλωση φωτιστικών για τα έτη 2019-2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)..... | 99  |
| Πίνακας 24: Εξέλιξη της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα και βασικοί στόχοι έως το 2030.....                              | 112 |

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Διάγραμμα 1: Ποσότητες PoM για την περίοδο 2006-2018 και τάσεις (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                               | 85  |
| Διάγραμμα 2: Ποσότητες PoM υφιστάμενες και μελλοντικές εκτιμήσεις (2019-2024) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                 | 86  |
| Διάγραμμα 3: Ποσότητες κατηγοριών ΑΗΗΕ προς ανακύκλωση (2013-2016) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                            | 88  |
| Διάγραμμα 4: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από ανακύκλωση λαμπτήρων 2014-2016 (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                  | 89  |
| Διάγραμμα 5: Συνολικές ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την ανακύκλωση λαμπτήρων (2014-2016) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....  | 90  |
| Διάγραμμα 6: Ποσότητες παραλαβών λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                        | 90  |
| Διάγραμμα 7: Ποσότητες επεξεργασίας λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                                     | 91  |
| Διάγραμμα 8: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....                  | 92  |
| Διάγραμμα 9: Υλικά που προέκυψαν από την ανακύκλωση φωτιστικών και μικροσυσκευών (2017-2021) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).....  | 94  |
| Διάγραμμα 10: Ποσότητες ΑΗΗΕ ΚΑΤ. 5 που ανακυκλώθηκαν (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).....                                 | 95  |
| Διάγραμμα 11: Ποσότητες ΑΗΗΕ ΚΑΤ. 3 που ανακυκλώθηκαν (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).....                                 | 96  |
| Διάγραμμα 12: Αριθμός τεμαχίων που σχετίζονται με το PoM για τα έτη από 2012 έως 2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)..... | 97  |
| Διάγραμμα 13: Ποσότητες PoM εξοπλισμού φωτισμού για τα έτη 2009 έως 2018 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024).....                  | 102 |
| Διάγραμμα 14: Ποσότητες PoM λαμπτήρων για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024).....                            | 103 |
| Διάγραμμα 15: Ποσότητες εξοπλισμού φωτισμού που συλλέχθηκαν για τα έτη 2009 έως 2018 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024).....      | 104 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Διάγραμμα 16: Ποσότητες λαμπτήρων που συλλέχθηκαν για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024).....                                                       | 104 |
| Διάγραμμα 17: Ποσότητες εξοπλισμού φωτισμού που υπέστησαν επεξεργασία για τα έτη 2009 έως 2018 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024).....                                   | 105 |
| Διάγραμμα 18: Ποσότητες λαμπτήρων που υπέστησαν επεξεργασία για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024).....                                             | 105 |
| Διάγραμμα 19: Ανακτώμενες ποσότητες από επεξεργασία εξοπλισμού φωτισμού (2009–2018).....                                                                           | 107 |
| Διάγραμμα 20: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών (κυρίως από γυαλί και μέταλλα) από την επεξεργασία λαμπτήρων για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)..... | 108 |

## Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

|           |                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------|
| ΑΗΗΕ      | Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού               |
| Ε.Ε.      | Ευρωπαϊκή Ένωση                                               |
| ΕΚ        | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο                                         |
| ΕΚΑ       | Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων                                |
| ΗΗΕ       | Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός                        |
| LED       | Light Emitting Diode                                          |
| PoM       | Put in the Market                                             |
| WEEELABEX | Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence |
| C2C       | Cradle to Cradle                                              |
| CE        | Circular Economy / Κυκλική Οικονομία                          |
| EMAF      | Ellen MacArthur Foundation                                    |
| LCA       | Life Cycle Assessment / Ανάλυση Κύκλου Ζωής                   |
| RoHS      | Restriction of Hazardous Substances                           |
| ΕΣΔΑ      | Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων                           |

## Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)

### 1.1. Εισαγωγή

Τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) αποτελούν μία από τις ταχύτερα αυξανόμενες κατηγορίες αποβλήτων σε παγκόσμιο επίπεδο, εξαιτίας της συνεχούς τεχνολογικής προόδου, της αυξανόμενης κατανάλωσης ηλεκτρονικών συσκευών και του μειωμένου κύκλου ζωής πολλών προϊόντων. Η αυξημένη διείσδυση συσκευών πληροφορικής, επικοινωνιών, ψυχαγωγίας αλλά και φωτισμού έχει οδηγήσει σε πρωτοφανή αύξηση της ποσότητας των απορριπτόμενων συσκευών. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σοβαρές προκλήσεις για τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων, καθώς τα ΑΗΗΕ δεν αποτελούν απλώς αστικά στερεά απόβλητα, αλλά περιλαμβάνουν πολύπλοκα υλικά και συχνά επικίνδυνες ουσίες που απαιτούν ειδική επεξεργασία.

Παράλληλα, τα ΑΗΗΕ ενσωματώνουν σημαντικές ποσότητες πολύτιμων και σπάνιων πρώτων υλών, όπως μέταλλα (χρυσό, άργυρο, χαλκό, παλλάδιο), πλαστικά υψηλής ποιότητας και γυαλί. Η ανάκτηση αυτών των υλικών μέσω διαδικασιών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας και τη μείωση της εξάρτησης από την εξόρυξη φυσικών πόρων. Ωστόσο, η αξιοποίηση αυτού του δυναμικού προϋποθέτει κατάλληλες πολιτικές, επαρκείς υποδομές, τεχνολογικά εξελιγμένες μεθόδους επεξεργασίας και υψηλά ποσοστά συλλογής, ώστε να μειωθούν οι απώλειες υλικών και οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, η διαχείριση των ΑΗΗΕ έχει εξελιχθεί σε στρατηγική προτεραιότητα τόσο για την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και για την Ελλάδα, με την υιοθέτηση ειδικών οδηγιών, όπως η 2002/96/ΕΚ και η μεταγενέστερη 2012/19/ΕΕ, που θέτουν το θεσμικό πλαίσιο για τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση. Η εφαρμογή των οδηγιών αυτών, σε συνδυασμό με τα εθνικά σχέδια διαχείρισης αποβλήτων, επιχειρεί να ενσωματώσει τις αρχές της πρόληψης, της υπευθυνότητας του παραγωγού και της ιεράρχησης στη διαχείριση των αποβλήτων, επιδιώκοντας την προστασία του περιβάλλοντος, τη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

### 1.2. Ορισμός Αποβλήτων και Ειδικότερα των Ηλεκτρονικών Αποβλήτων

Ο όρος «απόβλητα» ορίζεται θεσμικά από την Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, σύμφωνα με την οποία απόβλητο θεωρείται κάθε ουσία ή αντικείμενο που ο κάτοχός του το απορρίπτει, προτίθεται να το απορρίψει ή υποχρεούται να το απορρίψει (Οδηγία 2008/98/ΕΚ, άρθρο 3). Ο ορισμός αυτός είναι κρίσιμος, καθώς προσδιορίζει τις υποχρεώσεις των κρατών μελών και καθορίζει το πλαίσιο για τη διαχείριση όλων των ρευμάτων αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών. Παράλληλα, θεμελιώνει βασικές αρχές όπως η ιεράρχηση της διαχείρισης, η πρόληψη και η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού, που επηρεάζουν άμεσα τη στρατηγική διαχείρισης σε εθνικό επίπεδο (Ν. 4042/2012).

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τα Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία, η οποία ορίζεται στην Οδηγία 2012/19/ΕΕ ως

κάθε συσκευή που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και έχει φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής της. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τόσο οι μεγάλες και μικρές οικιακές συσκευές, όσο και ο εξοπλισμός πληροφορικής, τηλεπικοινωνιών, φωτιστικά είδη και ιατρικά βοηθήματα. Η ταχεία τεχνολογική εξέλιξη και η σκόπιμη μείωση του κύκλου ζωής πολλών προϊόντων εντείνουν το φαινόμενο, οδηγώντας σε συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ.

Η ιδιαιτερότητα των ΑΗΗΕ έγκειται στον διττό τους χαρακτήρα: περιέχουν πολύτιμες πρώτες ύλες, όπως μέταλλα (χαλκό, αλουμίνιο, χρυσό) και γυαλί, αλλά και επικίνδυνες ουσίες, όπως μόλυβδο, υδράργυρο και κάδμιο. Αυτή η διπλή φύση τους, τα καθιστά τόσο περιβαλλοντική απειλή, εάν δεν διαχειριστούν σωστά, όσο και σημαντική ευκαιρία για ανάκτηση υλικών υψηλής αξίας. Η Οδηγία 2011/65/ΕΕ (RoHS) έρχεται να συμπληρώσει το πλαίσιο περιορίζοντας τη χρήση των επικίνδυνων ουσιών, ώστε να διευκολυνθεί η ασφαλής ανακύκλωση και ανάκτηση υλών.

Τέλος, η θεσμική αναγνώριση των ΑΗΗΕ και η ταξινόμησή τους στον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ) δίνει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη στοχευμένων πολιτικών και υποδομών διαχείρισης. Έτσι, ο ορισμός των ηλεκτρονικών αποβλήτων δεν αποτελεί απλώς μια θεωρητική κατηγοριοποίηση, αλλά την αφετηρία για την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου πλαισίου πρόληψης, ανακύκλωσης και αξιοποίησης, που συμβάλλει τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος όσο και στην κυκλική οικονομία.

### 1.3. Κατηγορίες Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΗΗΕ)

Οι κατηγορίες Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΗΗΕ) σύμφωνα με την Οδηγία 2012/19/ΕΚ διαμορφώθηκαν για την μεταβατική περίοδο από 13 Αυγούστου 2012 έως 14 Αυγούστου 2018 σε δέκα (10), όπως αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 1: Κατηγορίες ΗΗΕ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ κατά την μεταβατική περίοδο 2012 έως 2018**

| Κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού | Περιγραφή                                                                                            |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>                                          | Μεγάλες οικιακές συσκευές                                                                            |
| <b>2</b>                                          | Μικρές οικιακές συσκευές                                                                             |
| <b>3</b>                                          | Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών                                                          |
| <b>4</b>                                          | Καταναλωτικά είδη και φωτοβολταϊκά πλαίσια                                                           |
| <b>5</b>                                          | Είδη φωτισμού                                                                                        |
| <b>6</b>                                          | Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία εξαιρουμένων των σταθερών βιομηχανικών εργαλείων μεγάλης κλίμακας |
| <b>7</b>                                          | Παιχνίδια και εξοπλισμός αναψυχής και αθλητισμού                                                     |
| <b>8</b>                                          | Ιατρικά βοηθήματα εξαιρουμένων όλων των                                                              |

|           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
|           | εμφυτευμένων και μολυσμένων προϊόντων |
| <b>9</b>  | Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου     |
| <b>10</b> | Αυτόματοι διανομείς                   |

Μετά τη λήξη της μεταβατικής περιόδου οι κατηγορίες ΗΗΕ αναδιαμορφώθηκαν σε έξι (6) κατηγορίες, οι οποίες εντοπίζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 2: Κατηγορίες ΗΗΕ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ μετά την 14.08.2018**

| Κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού | Περιγραφή                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>                                          | Εξοπλισμός ανταλλαγής θερμότητας                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>2</b>                                          | Οθόνες και εξοπλισμός που περιέχει οθόνες με επιφάνεια μεγαλύτερη των 100 cm <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>3</b>                                          | Λαμπτήρες                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>4</b>                                          | Μεγάλου μεγέθους εξοπλισμός (οποιαδήποτε εξωτερική διάσταση μεγαλύτερη από 50 cm) συμπεριλαμβανομένων (όχι αποκλειστικά) των εξής: Οικιακές συσκευές, εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, καταναλωτικά είδη, φωτιστικά είδη, εξοπλισμός αναπαραγωγής ήχου και εικόνων, μουσικός εξοπλισμός, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, παιχνίδια και εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού, ιατρικά βοηθήματα, όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, συσκευές αυτόματης διανομής, εξοπλισμός παραγωγής ηλεκτρικών ρευμάτων. Η κατηγορία αυτή δεν περιλαμβάνει τον εξοπλισμό που περιλαμβάνεται στις κατηγορίες 1 έως 3. |
| <b>5</b>                                          | Μικρού μεγέθους εξοπλισμός (καμιά εξωτερική διάσταση μεγαλύτερη από 50 cm) συμπεριλαμβανομένων (όχι αποκλειστικά) των εξής: Οικιακές συσκευές, καταναλωτικά είδη, φωτιστικά είδη, εξοπλισμός αναπαραγωγής ήχου και εικόνων, μουσικός εξοπλισμός, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, παιχνίδια και εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού, ιατρικά βοηθήματα, όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, συσκευές αυτόματης διανομής, εξοπλισμός παραγωγής ηλεκτρικών ρευμάτων. Η κατηγορία αυτή δεν περιλαμβάνει τον εξοπλισμό που περιλαμβάνεται στις κατηγορίες 1 έως 3 και 6.                                               |
| <b>6</b>                                          | Μικρού μεγέθους εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (καμιά εξωτερική διάσταση μεγαλύτερη από 50 cm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Σχετικός κατάλογος προϊόντων που υπάγονται στις παραπάνω έξι (6) κατηγορίες ΗΗΕ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3: Κατάλογος ΗΗΕ των Κατηγοριών ΗΗΕ της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ.**

| Κατηγορία ΗΗΕ | Κατάλογος                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>      | Ψυγεία, καταψύκτες, μηχανήματα που διανέμουν αυτόματα προϊόντα σε ψύξη, συσκευές κλιματισμού, συσκευές αφύγρανσης, αντλίες θέρμανσης, θερμάστρες που περιέχουν πετρέλαιο και άλλες συσκευές ανταλλαγής θερμότητας που χρησιμοποιούν υγρά πλην του νερού για την ανταλλαγή θερμότητας.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>2</b>      | Οθόνες, τηλεοράσεις, κορνίζες LCD, φορητοί υπολογιστές (laptops), υπολογιστές τσέπης (notebooks).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>3</b>      | Ευθείς λαμπτήρες φθορισμού, λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων, λαμπτήρες φθορισμού, λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης και των λαμπτήρων αλογονούχων μετάλλων, λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, λαμπτήρες LED.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>4</b>      | Πλυντήρια ρούχων, στεγνωτήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, συσκευές μαγειρικής, ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικά μάτια, καταναλωτικά είδη, φωτιστικά είδη, εξοπλισμός αναπαραγωγής ήχου και εικόνων, μουσικός εξοπλισμός (εξαιρουμένων των εκκλησιαστικών οργάνων), συσκευές χρησιμοποιούμενες για πλέξιμο και ύφανση, μεγάλοι υπολογιστές (mainframes), μεγάλες μηχανές εκτύπωσης, φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, κερματοδέκτες τυχερών παιχνιδιών, μεγάλα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά βιομηχανικά εργαλεία, μεγάλα ιατρικά βοηθήματα, μεγάλα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, μεγάλα μηχανήματα αυτόματης διανομής προϊόντων και χρημάτων, φωτοβολταϊκά πλαίσια.                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>5</b>      | Ηλεκτρικές σκούπες, σκούπες χαλιών, συσκευές ραπτικής, φωτιστικά είδη, φούρνοι μικροκυμάτων, ανεμιστήρες, ηλεκτρικά σίδερα, φρυγανιέρες, ηλεκτρικά μαχαίρια, ηλεκτρικοί βραστήρες, ρολόγια, ηλεκτρικές ξυριστικές μηχανές, ζυγαριές, συσκευές περιποίησης μαλλιών και σώματος, αριθμομηχανές, ραδιόφωνα, κάμερες μαγνητοσκοπήσης (βιντεοκάμερες), μαγνητοσκόπια (συσκευές αναπαραγωγής εικόνας), συσκευές ηχογράφησης υψηλής πιστότητας, μουσικά όργανα, εξοπλισμός αναπαραγωγής ήχου και εικόνων, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά παιχνίδια, αθλητικός εξοπλισμός, υπολογιστές για ποδηλασία, καταδύσεις, τρέξιμο, κωπηλασία κλπ., ανιχνευτές καπνού, συσκευές θερμορύθμισης, θερμοστάτες, μικρά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, μικρά ιατρικά βοηθήματα, μικρά όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, μικρά μηχανήματα αυτόματης διανομής προϊόντων, μικρές συσκευές με ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια. |
| <b>6</b>      | Κινητά τηλέφωνα, GPS, αριθμομηχανές τσέπης, διακλαωτήρες, προσωπικοί υπολογιστές, εκτυπωτές,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|  |           |
|--|-----------|
|  | τηλέφωνα. |
|--|-----------|

Οι αλλαγές όπως αυτές εντοπίζονται στους καταλόγους ΗΗΕ κατά τη μεταβατική περίοδο και έπειτα αυτής, βασίζονται κατά κύριο λόγο στην ομαδοποίηση του καταλόγου ειδών βάσει μεγέθους. Επίσης, γίνεται ένας διαχωρισμός στον εξοπλισμό μικρού μεγέθους, με τον εξοπλισμό πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών να διαχωρίζεται και να αποτελεί μια ξεχωριστή κατηγορία (Κατηγορία 6) (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2002).

Οι λαμπτήρες εντοπίζονται στην Κατηγορία 3 και περιέχουν τις κατηγορίες προϊόντων που φαίνονται στον αντίστοιχο πίνακα. Σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων, αυτή αποτελείται από ένα σύνολο δραστηριοτήτων που μεταξύ άλλων, συμπεριλαμβάνει τη συλλογή και μεταφορά, τη μεταφόρτωση, την προσωρινή αποθήκευση, την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση συγκεκριμένων κατηγοριών αποβλήτων, με στόχο αυτά να αξιοποιούνται και να εκτρέπονται από το ρεύμα των αποβλήτων που οδηγείται σε χώρους τελικής διάθεσης.

Εν γένει από σύνολο σχεδόν των ροών αποβλήτων δύναται με διάφορους τρόπους να ανακτηθούν πολύτιμες πρώτες ύλες (Οδηγία 2002/532/ΕΚ). Τα ΑΗΗΕ αποτελούν μια ειδική ροή αποβλήτων και η ιδιαιτερότητά τους έγκειται στο γεγονός ότι στα κατασκευαστικά τους μέρη περιλαμβάνονται αρκετές επικίνδυνες ουσίες (Οδηγία 2002/532/ΕΚ). Οι εν λόγω επικίνδυνες ουσίες που εντοπίζονται στα κατασκευαστικά μέρη των ΑΗΗΕ, καθώς και οι κυριότερες εφαρμογές αυτών παρουσιάζονται στη παρακάτω (Οδηγία 2002/532/ΕΚ):

- Υδράργυρος: χρησιμοποιείται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% σε μπαταρίες και αισθητήρες. Υπολογίζεται ότι το 22% του υδραργύρου που καταναλώνεται ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιείται σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.
- Μόλυβδος: ποσοστό πάνω από 90% χρησιμοποιείται σε μπαταρίες και μικρότερο σε λάμπες φωτισμού και φθορισμού. Χρησιμοποιείται επίσης σε κολλήσεις, κράματα μετάλλων, πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.
- Κάδμιο: ποσοστό πάνω από 90% χρησιμοποιείται στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή για την επικάλυψη σιδήρου, χάλυβα, αλουμινίου, κράματα τιτανίου και άλλα μη σιδηρούχα κράματα.
- Εξασθενές χρώμιο: χρησιμοποιείται ως αντιδιαβρωτικό κυρίως στα ψυκτικά συστήματα.
- PCB: το 90% αυτών χρησιμοποιείται στους πυκνωτές.
- Βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης: το 80% αυτών χρησιμοποιείται στις πλακέτες, τα καλώδια και τα πλαστικά καλύμματα των υπολογιστών, ενώ ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται στις τηλεοράσεις και στις οικιακές συσκευές της κουζίνας.
- Χλωροπαραφίνες: το 90% χρησιμοποιείται στα καλώδια PVC.
- Αμίαντος: Ο αμίαντος χρησιμοποιούνταν σε μεγάλο ποσοστό σε παλαιές συσκευές.
- Υγροί κρύσταλλοι: Χρησιμοποιούνται στις οθόνες LCD.
- Πυρίμαχες κεραμικές ίνες: Τεχνητές υαλώδεις (πυριτικές) ίνες με περιεκτικότητα σε οξείδια αλκαλίων και οξείδια αλκαλικών γαιών μικρότερη ή ίση με 18% κατά βάρος.

Λαμβάνοντας υπόψη την επικινδυνότητα των ΑΗΗΕ, αλλά και την ύπαρξη πολλών πολύτιμων και μη επικίνδυνων υλικών προς ανάκτηση στις συσκευές, γίνεται εύκολα

αντιληπτό η αναγκαιότητα για την ορθή περιβαλλοντικά διαχείρισή τους. Έτσι η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ έχει ως στόχο (Οδηγία 2002/532/ΕΚ):

- Την ανάκτηση των πολύτιμων υλικών που περιέχονται στις συσκευές,
- Την ορθή περιβαλλοντικά διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται στις συσκευές,
- Την διασφάλιση της δημόσιας υγείας με τη αποφυγή της διαρροής των επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον,
- Την εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας, που συνήθως είναι μη ανανεώσιμες (πετρέλαιο, μεταλλεύματα κλπ) παρέχοντας και οικονομικά οφέλη.

Σύμφωνα με την απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (2002/532/ΕΚ) καταρτίστηκε ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας με την πρόληψη ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Οι κωδικοί αποβλήτων που αφορούν στις περιπτώσεις που εξετάζονται στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 4: Κωδικοί αποβλήτων σύμφωνα με τον κατάλογο ΕΚΑ της Οδηγίας 2002/532/ΕΚ**

| Κωδικοί ΕΚΑ | Περιγραφή                                                                                                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 01 02    | πλαστική συσκευασία                                                                                                                                              |
| 16 02 14    | απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία άλλος από τον αναφερόμενο στους κωδικούς 16 02 09 έως 16 02 13                              |
| 17 04 11    | καλώδια εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στον κωδικό 17 04 10                                                                                                   |
| 19 12 01    | χαρτί και χαρτόνι                                                                                                                                                |
| 19 12 03    | μη σιδηρούχα μέταλλα                                                                                                                                             |
| 19 12 04    | πλαστικά και καουτσούκ                                                                                                                                           |
| 19 12 05    | γυαλί                                                                                                                                                            |
| 19 12 07    | ξύλο εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στο σημείο 19 12 06                                                                                                       |
| 19 12 11*   | άλλα απόβλητα (περιλαμβανομένων μειγμάτων υλικών) από τη μηχανική κατεργασία αποβλήτων που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες                                          |
| 20 01 01    | χαρτιά και χαρτόνια                                                                                                                                              |
| 20 01 02    | γυαλιά                                                                                                                                                           |
| 20 01 21*   | σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο                                                                                                         |
| 20 01 33*   | μπαταρίες και συσσωρευτές που περιλαμβάνονται στα σημεία 16 06 01, 16 06 02 ή 16 06 03 και μεικτές μπαταρίες και συσσωρευτές που περιέχουν τις εν λόγω μπαταρίες |
| 20 01 36    | απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21, 20 01 23                                                    |

|                 |                                                                                                                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | και 20 01 35                                                                                                                                                |
| <b>20 03 01</b> | ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα                                                                                                                                 |
| <b>16 02 09</b> | μετασχηματιστές και πυκνωτές που περιέχουν PCB ή PCT                                                                                                        |
| <b>16 02 10</b> | απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει PCB ή PCT ή έχει μολυνθεί από παρόμοιες ουσίες άλλος από τον αναφερόμενο στο 16 02 09                                |
| <b>16 02 11</b> | απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες                                                                                                    |
| <b>16 02 12</b> | απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει ελεύθερο αμίαντο                                                                                                     |
| <b>16 02 13</b> | απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία άλλος από τους αναφερόμενους στο 16 02 09 έως 16 02 12                                 |
| <b>17 04 10</b> | καλώδια που περιέχουν πετρέλαιο, λιθανθρακόπισσα και άλλες επικίνδυνες ουσίες                                                                               |
| <b>191206</b>   | ξύλο που περιέχει επικίνδυνες ουσίες                                                                                                                        |
| <b>200123</b>   | απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες                                                                                                    |
| <b>201035</b>   | απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21 και 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία |

#### 1.4. Διεθνή πρότυπα διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)

Η ανάπτυξη προτύπων διαχείρισης για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) αποτελεί θεμελιώδη στρατηγική επιλογή σε διεθνές επίπεδο, καθώς τα συγκεκριμένα απόβλητα χαρακτηρίζονται από υψηλή περιβαλλοντική επικινδυνότητα αλλά και σημαντική οικονομική αξία, λόγω των υλικών που περιέχουν. Τα πρότυπα αυτά στοχεύουν στη θέσπιση κοινών κανόνων και τεχνικών προδιαγραφών για τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανακύκλωση και την ασφαλή διάθεση, με στόχο τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας (Οδηγία 2008/98/ΕΚ). Η ύπαρξή τους, δημιουργεί ένα συνεκτικό πλαίσιο, που ευνοεί την εναρμόνιση πρακτικών ανάμεσα σε διαφορετικές χώρες και φορείς διαχείρισης.

Παράλληλα με το γενικό νομοθετικό πλαίσιο, σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένα τεχνικά πρότυπα για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, με σημαντικότερα τα πρότυπα της σειράς **EN 50625**. Τα πρότυπα αυτά καθορίζουν τις απαιτήσεις για τη συλλογή, τη μεταφορά και την επεξεργασία των ΑΗΗΕ, με στόχο τη διασφάλιση υψηλού επιπέδου περιβαλλοντικής προστασίας και ανάκτησης υλικών.

Ειδικότερα, το πρότυπο **EN 50625-2-1** αφορά τη διαχείριση και επεξεργασία των **λαμπτήρων**, περιγράφοντας τις τεχνικές απαιτήσεις για την απορρύπανση, την ασφαλή απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών (όπως ο υδράργυρος) και τη μεγιστοποίηση της ανάκτησης υλικών. Η εφαρμογή του προτύπου αυτού, συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας της ανακύκλωσης και στη συμμόρφωση των μονάδων επεξεργασίας με τις ευρωπαϊκές περιβαλλοντικές απαιτήσεις (EN 50625-2-1, CENELEC).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει συγκεκριμένα κανονιστικά εργαλεία για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, με σημαντικότερη την Οδηγία 2012/19/ΕΕ, η οποία καθορίζει τους στόχους συλλογής και επεξεργασίας αλλά και επιβάλλει την ευθύνη στους παραγωγούς για τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους. Παράλληλα, η Οδηγία 2011/65/ΕΕ (RoHS) περιορίζει τη χρήση επικίνδυνων ουσιών στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, διευκολύνοντας την ασφαλή ανακύκλωση. Συμπληρωματικά, πρότυπα όπως το WEEE LABEX (Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence) αναπτύχθηκαν σε επίπεδο κλάδου, ώστε να πιστοποιούν και να διασφαλίζουν την ποιότητα των διαδικασιών συλλογής και ανακύκλωσης (WEEE LABEX, n.d.). Τα πρότυπα αυτά προσδίδουν διαφάνεια και ενισχύουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, των επιχειρήσεων και των κρατικών φορέων.

Η δημιουργία και εφαρμογή των προτύπων διαχείρισης ΑΗΗΕ δεν είναι απλώς τεχνικό ζήτημα, αλλά συνδέεται με την υλοποίηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσα από την επιβολή ποιοτικών απαιτήσεων, τη διαμόρφωση συστημάτων πιστοποίησης και την ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας, τα πρότυπα συμβάλλουν στην αποτροπή της ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων και στην ανάδειξη νέων ευκαιριών στην αγορά ανακυκλωμένων υλικών (Ν. 4042/2012). Έτσι, τα διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα αποτελούν τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στη νομοθεσία, τις επιχειρήσεις και την κοινωνία, προωθώντας μια συνεκτική προσέγγιση στη διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων.

Η ανάγκη για τη δημιουργία προτύπων διαχείρισης ΑΗΗΕ προέκυψε από διάφορους λόγους, που συνδέονται με την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική διάσταση του

ζητήματος. Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παρατίθενται οι παράγοντες, που οδήγησαν στη δημιουργία αυτών των προτύπων (Οδηγία 2002/532/ΕΚ).

- **Περιβαλλοντική Προστασία:** Τα ηλεκτρονικά απόβλητα περιέχουν επικίνδυνες ουσίες, όπως μόλυβδο, υδράργυρο και κάδμιο, που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ρύπανση του εδάφους και των υδάτων, αν δεν διαχειριστούν σωστά.
- **Υγεία και Ασφάλεια:** Οι τοξικές ουσίες που περιέχονται στα ΑΗΗΕ μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που εργάζονται στη διαχείριση των αποβλήτων ή ζουν κοντά σε περιοχές διάθεσης αποβλήτων.
- **Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση Πόρων:** Τα ΑΗΗΕ περιέχουν πολύτιμα υλικά, όπως χρυσό, ασήμι και πλατίνα, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Η ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων μπορεί να συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της ανάγκης για εξόρυξη νέων πρώτων υλών και κατά συνέπεια στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων.
- **Νομικές και Κανονιστικές Υποχρεώσεις:** Πολλές χώρες έχουν υιοθετήσει νομοθεσίες που επιβάλλουν τη σωστή διαχείριση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων. Αυτές οι νομοθεσίες θέτουν πρότυπα και απαιτήσεις για την ανακύκλωση, την επεξεργασία και τη διάθεση των ΑΗΗΕ, ώστε να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις.
- **Κοινωνική Ευθύνη των Επιχειρήσεων:** Οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν την ευθύνη τους να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων τους και να συμβάλουν στην αειφόρο ανάπτυξη. Η εφαρμογή προτύπων διαχείρισης ΑΗΗΕ αποτελεί μέρος των στρατηγικών εταιρικής κοινωνικής ευθύνης και αειφορίας.
- **Διεθνείς Πρωτοβουλίες και Συμφωνίες:** Διεθνείς οργανισμοί, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν αναπτύξει οδηγίες και κανονισμούς (π.χ. η Οδηγία WEEE - Waste Electrical and Electronic Equipment Directive), που καθορίζουν πρότυπα για τη διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων, προωθώντας την ομοιομορφία και τη συνεργασία μεταξύ των χωρών.

Η συνδυασμένη πίεση των παραγόντων που παρουσιάστηκαν παραπάνω οδήγησε στη δημιουργία και εφαρμογή προτύπων διαχείρισης ΑΗΗΕ, τα οποία έχουν ως στόχο τη βιώσιμη διαχείριση των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών αποβλήτων και τη μείωση των αρνητικών τους επιπτώσεων στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία. Τα πρότυπα διαχείρισης ΑΗΗΕ χρησιμοποιούνται από διάφορους φορείς, συμπεριλαμβανομένων κυβερνήσεων, επιχειρήσεων, οργανισμών και ιδιωτών. Η χρήση των προτύπων ξεκίνησε με την αυξημένη αναγνώριση της ανάγκης για βιώσιμη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων και έχει εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες.

---

**Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence (WEEELABEX) – Σήμα Αριστείας για τη Διαχείριση Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού**

Η βιομηχανική ανάπτυξη του 20ού αιώνα συνοδεύτηκε από αλματώδη αύξηση της κατανάλωσης των φυσικών πόρων, γεγονός που οδήγησε σε πρωτοφανή περιβαλλοντική πίεση. Η εντατική εξόρυξη πρώτων υλών, η μαζική παραγωγή καταναλωτικών αγαθών και η ταχεία απόρριψη προϊόντων, δημιούργησαν σοβαρά ζητήματα σπατάλης και ρύπανσης. Σταδιακά, έγινε αντιληπτό ότι το υφιστάμενο μοντέλο «παραγωγή – κατανάλωση – απόρριψη» δεν ήταν βιώσιμο, καθώς οδηγούσε στην εξάντληση μη ανανεώσιμων πόρων και στη συσσώρευση αποβλήτων με επικίνδυνες επιπτώσεις για το περιβάλλον και την υγεία (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Από τη δεκαετία του 1970 και έπειτα, οι διεθνείς συζητήσεις για την αειφορία, όπως αποτυπώθηκαν στη Διάσκεψη της Στοκχόλμης (1972) και αργότερα στη Διάσκεψη του Ρίο (1992), έθεσαν τις βάσεις για μια πιο συστηματική αντιμετώπιση της σχέσης ανάπτυξης και περιβάλλοντος. Η ανάγκη μετάβασης σε μια οικονομία που θα αξιοποιεί τους πόρους με πιο αποδοτικό τρόπο και θα περιορίζει την παραγωγή αποβλήτων, άρχισε να διαμορφώνει την έννοια της «κυκλικής οικονομίας». Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η ανακύκλωση και η ανάκτηση υλικών αναδείχθηκαν ως βασικές στρατηγικές για την επίτευξη βιωσιμότητας, ενώ έγινε σαφές ότι απαιτούνται κοινά κριτήρια και προδιαγραφές για να εξασφαλιστεί η ποιότητα και η αποτελεσματικότητα των διαδικασιών (Ν. 4042/2012).

Η σταδιακή υιοθέτηση ευρωπαϊκών οδηγιών, όπως η 2002/96/ΕΚ και μεταγενέστερα η 2012/19/ΕΕ, που αφορούσαν ειδικά τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα, αποτέλεσε απάντηση στις προκλήσεις αυτές. Η δημιουργία προτύπων διαχείρισης, όπως το WEEELABEX, δεν ήταν απλώς μια τεχνική πρωτοβουλία, αλλά η φυσική εξέλιξη μιας πορείας που ξεκίνησε με την ανάγκη προστασίας των φυσικών πόρων και την εξασφάλιση της βιωσιμότητας των κοινωνιών. Με αυτόν τον τρόπο, τα πρότυπα συνδέθηκαν άμεσα με την προσπάθεια για ισορροπία ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη, την κοινωνική ευημερία και την περιβαλλοντική προστασία (Οδηγία 2012/19/ΕΕ· WEEELABEX, n.d.).

Το (WEEELABEX) Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence είναι ένα πρότυπο ποιότητας και ένα σύστημα πιστοποίησης που αναπτύχθηκε για τη διαχείριση των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) στην Ευρώπη. Το WEEELABEX θέτει κριτήρια και κατευθυντήριες γραμμές για την ορθή συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία, ανακύκλωση και διάθεση των ΑΗΗΕ, με στόχο τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης και της διαχείρισης των αποβλήτων. (WEEELABEX, n.d.)

Στο πλαίσιο του προτύπου WEEELABEX, ιδιαίτερη σημασία έχει η έννοια του **WEEE Stream**, η οποία αφορά στη διαχείριση των διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού ανά κατηγορία προϊόντων. Κάθε WEEE Stream περιλαμβάνει συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις και διαδικασίες επεξεργασίας, προσαρμοσμένες στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, όπως για παράδειγμα οι λαμπτήρες, οι οθόνες ή ο εξοπλισμός πληροφορικής. Η προσέγγιση αυτή, επιτρέπει την αποτελεσματικότερη απορρύπανση, την ασφαλή απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών και τη βελτιστοποίηση της ανάκτησης υλικών, ενισχύοντας τη συνολική περιβαλλοντική απόδοση των μονάδων επεξεργασίας (WEEELABEX, n.d.).

### Στόχοι του WEEELABEX

- **Ενίσχυση της Περιβαλλοντικής Απόδοσης:** Προώθηση της υιοθέτησης βέλτιστων πρακτικών στη διαχείριση των ΑΗΗΕ για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- **Εξασφάλιση της Ποιότητας:** Θέσπιση κριτηρίων ποιότητας για τη συλλογή, τη μεταφορά και την επεξεργασία των ΑΗΗΕ, διασφαλίζοντας ότι οι διαδικασίες είναι σύμφωνες με τα υψηλότερα πρότυπα.
- **Συμβολή στη Συμμόρφωση με τη Νομοθεσία:** Υποστήριξη των κρατών μελών και των φορέων διαχείρισης ΑΗΗΕ στη συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές και εθνικές νομοθετικές απαιτήσεις.

### **Βασικά στοιχεία του προτύπου WEEELABEX**

- **Κριτήρια Συλλογής και Μεταφοράς:** Καθορίζονται οι διαδικασίες και τα κριτήρια για τη σωστή συλλογή και τη μεταφορά των ΑΗΗΕ από τα σημεία συλλογής προς τις μονάδες επεξεργασίας.
- **Κριτήρια Επεξεργασίας:** Θέσπιση συγκεκριμένων τεχνικών προδιαγραφών για την επεξεργασία των ΑΗΗΕ, που περιλαμβάνουν την αποσυναρμολόγηση, την αφαίρεση επικίνδυνων υλικών και την ανακύκλωση.
- **Πιστοποίηση:** Διεξαγωγή ελέγχων και επιθεωρήσεων από ανεξάρτητους φορείς για την πιστοποίηση των μονάδων επεξεργασίας σύμφωνα με τα πρότυπα WEEELABEX.

### **Διαδικασία Πιστοποίησης WEEELABEX**

- **Εκπαίδευση και Κατάρτιση:** Εκπαίδευση του προσωπικού των μονάδων επεξεργασίας και των οργανισμών διαχείρισης ΑΗΗΕ στις απαιτήσεις και τις διαδικασίες του WEEELABEX.
- **Αξιολόγηση και Επιθεώρηση:** Ανεξάρτητοι επιθεωρητές διενεργούν λεπτομερείς αξιολογήσεις των μονάδων επεξεργασίας για να διαπιστώσουν την συμμόρφωση με τα πρότυπα WEEELABEX.
- **Πιστοποίηση:** Μονάδες επεξεργασίας που πληρούν τα πρότυπα λαμβάνουν πιστοποίηση WEEELABEX, η οποία επικυρώνει την ποιότητα και την περιβαλλοντική απόδοση των διαδικασιών τους.

### **Οφέλη της Πιστοποίησης WEEELABEX**

- **Περιβαλλοντική Προστασία:** Η πιστοποίηση διασφαλίζει ότι τα ΑΗΗΕ διαχειρίζονται με τρόπο που ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- **Νομική Συμμόρφωση:** Οι πιστοποιημένες μονάδες επεξεργασίας εξασφαλίζουν ότι συμμορφώνονται με τις ευρωπαϊκές και εθνικές νομοθετικές απαιτήσεις.
- **Διαφάνεια και Εμπιστοσύνη:** Η πιστοποίηση ενισχύει τη διαφάνεια στη διαχείριση των ΑΗΗΕ και οικοδομεί εμπιστοσύνη μεταξύ των καταναλωτών, των αρχών και των επιχειρήσεων.
- **Αύξηση της Αποδοτικότητας:** Η υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών σύμφωνα με τα πρότυπα WEEELABEX βελτιώνει την αποδοτικότητα των διαδικασιών συλλογής και επεξεργασίας.

Το WEEELABEX αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την προώθηση της ορθής διαχείρισης των ΑΗΗΕ στην Ευρώπη. Με τη θέσπιση αυστηρών προτύπων ποιότητας και την παροχή πιστοποίησης, το WEEELABEX συμβάλλει στην περιβαλλοντική προστασία, τη νομική συμμόρφωση και την αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών

ανακύκλωσης και επεξεργασίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων (WEEELABEX, n.d.). Τα πρότυπα διαχείρισης ΑΗΗΕ WEEELABEX (Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence) χρησιμοποιούνται κυρίως από επιχειρήσεις και οργανισμούς που ασχολούνται με τη συλλογή, ανακύκλωση και επεξεργασία ηλεκτρονικών αποβλήτων.

Το WEEELABEX (Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence) είναι ένα ευρωπαϊκό πρότυπο ποιότητας, που αναπτύχθηκε από τον οργανισμό WEEE Forum, με σκοπό να καθορίσει κοινές τεχνικές προδιαγραφές για τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Δεν πρόκειται για νομικά υποχρεωτικό πλαίσιο, καθώς η τήρησή του δεν επιβάλλεται άμεσα από την ευρωπαϊκή νομοθεσία, όπως συμβαίνει με τις Οδηγίες 2012/19/ΕΕ και 2011/65/ΕΕ. Ωστόσο, λειτουργεί συμπληρωματικά στη νομοθεσία και προσφέρει ένα εργαλείο πιστοποίησης που χρησιμοποιείται από εταιρείες και οργανισμούς οι οποίοι επιθυμούν να αποδείξουν ότι οι διαδικασίες τους πληρούν τα υψηλότερα περιβαλλοντικά και ποιοτικά πρότυπα (WEEELABEX, 2020).

Η πιστοποίηση WEEELABEX απευθύνεται κυρίως σε επιχειρήσεις ανακύκλωσης και επεξεργασίας ΑΗΗΕ, αλλά και σε συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης που δραστηριοποιούνται σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Μέσα από μια διαδικασία αξιολόγησης, οι εγκαταστάσεις που επιθυμούν να πιστοποιηθούν υποβάλλονται σε ελέγχους από ανεξάρτητους φορείς, οι οποίοι εξετάζουν παραμέτρους, όπως η ορθή αποσυναρμολόγηση συσκευών, η απομάκρυνση επικίνδυνων υλικών, η αποτελεσματικότητα ανάκτησης πρώτων υλών και η τήρηση κανόνων υγείας και ασφάλειας. Η επιτυχής ολοκλήρωση της διαδικασίας οδηγεί στη χορήγηση του πιστοποιητικού WEEELABEX, το οποίο αναγνωρίζεται διεθνώς στον κλάδο της ανακύκλωσης (WEEELABEX, 2020).

Για τον οργανισμό ή την εταιρεία που λαμβάνει την πιστοποίηση, η σημασία είναι πολλαπλή. Σε πρώτο επίπεδο, η πιστοποίηση λειτουργεί ως απόδειξη συμμόρφωσης με βέλτιστες πρακτικές και ενισχύει τη διαφάνεια προς το κράτος, τους πελάτες και την κοινωνία. Σε δεύτερο επίπεδο, προσφέρει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, καθώς οι συνεργασίες με πιστοποιημένους φορείς θεωρούνται πιο αξιόπιστες και ασφαλείς, ιδιαίτερα για κατασκευαστές ηλεκτρονικών συσκευών που θέλουν να διασφαλίσουν, ότι τα προϊόντα τους, θα ανακυκλωθούν υπεύθυνα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Τέλος, η πιστοποίηση συμβάλλει στη βελτίωση της ίδιας της λειτουργίας των εταιρειών, αφού η συμμόρφωση με το πρότυπο συνεπάγεται καλύτερη οργάνωση, μείωση περιβαλλοντικών κινδύνων και αύξηση αποδοτικότητας (Οδηγία 2012/19/ΕΕ).

Αν και το WEEELABEX δεν είναι υποχρεωτικό, η υιοθέτησή του αποτελεί ένδειξη υπευθυνότητας και επαγγελματισμού στον κλάδο της διαχείρισης ΑΗΗΕ. Όπως συμβαίνει με πολλά πρότυπα ποιότητας (π.χ. ISO 14001 για την περιβαλλοντική διαχείριση), η αξία του βρίσκεται στο γεγονός ότι δημιουργεί έναν κοινό «κώδικα» για τους εμπλεκόμενους φορείς, μειώνοντας ανισότητες και αυθαιρεσίες μεταξύ χωρών και επιχειρήσεων. Έτσι, η πιστοποίηση WEEELABEX συμβάλλει στην εδραίωση εμπιστοσύνης, ενισχύει τη συνεργασία σε ευρωπαϊκό επίπεδο και προάγει τον στόχο της κυκλικής οικονομίας, συνδέοντας την περιβαλλοντική προστασία με την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων (WEEELABEX, 2020). Χρήστες των Προτύπων WEEELABEX είναι οι ακόλουθοι:

### **Επιχειρήσεις Ανακύκλωσης και Επεξεργασίας ΑΗΗΕ:**

Επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν τα πρότυπα WEEELABEX για να διασφαλίσουν ότι οι διαδικασίες ανακύκλωσης και επεξεργασίας τους πληρούν τα αυστηρά κριτήρια περιβαλλοντικής προστασίας και ασφάλειας. Το WEEELABEX παρέχει πιστοποίηση σε εγκαταστάσεις που συμμορφώνονται με αυτά τα πρότυπα.

### **Συλλογικά Συστήματα Διαχείρισης ΑΗΗΕ:**

Οργανισμοί που διαχειρίζονται τη συλλογή και ανακύκλωση ηλεκτρονικών αποβλήτων σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο χρησιμοποιούν τα πρότυπα WEEELABEX για να καθοδηγήσουν τις πρακτικές τους και να εξασφαλίσουν ότι, οι συνεργαζόμενες εταιρείες επεξεργασίας τηρούν τα πρότυπα.

### **Κατασκευαστές Ηλεκτρονικών Συσκευών:**

Οι κατασκευαστές ενδέχεται να επιλέξουν να συνεργαστούν με εγκαταστάσεις ανακύκλωσης που είναι πιστοποιημένες κατά WEEELABEX για να εξασφαλίσουν ότι, τα προϊόντα τους θα διαχειρίζονται με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

### **Κυβερνήσεις και Ρυθμιστικές Αρχές:**

Οι αρχές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα πρότυπα WEEELABEX ως αναφορά για τη δημιουργία και την επιβολή κανονισμών σχετικά με τη διαχείριση ΑΗΗΕ, ενθαρρύνοντας τη συμμόρφωση με τα πρότυπα αυτά.

Εν γένει, η εφαρμογή των προτύπων WEEELABEX βοηθά στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου συστήματος διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενισχύοντας την ασφάλεια και την αποδοτικότητα των διαδικασιών ανακύκλωσης.

#### **1.5. Ιστορική αναδρομή**

Η διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) ξεκίνησε να αποτελεί διεθνή προτεραιότητα από τα τέλη του 20ού αιώνα, όταν η αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών οδήγησε σε πρωτόγνωρες ποσότητες απορριπτόμενου εξοπλισμού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, διεθνείς οργανισμοί όπως ο ΟΗΕ και

το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) ανέδειξαν την ανάγκη για κοινές πολιτικές, καθώς τα ΑΗΗΕ περιλαμβάνουν πολύτιμα υλικά αλλά και επικίνδυνες ουσίες. Η Παγκόσμια Σύμβαση της Βασιλείας (1989) αποτέλεσε σημείο καμπής, καθώς έθεσε κανόνες για τη διασυνοριακή μεταφορά επικίνδυνων αποβλήτων, περιορίζοντας την ανεξέλεγκτη εξαγωγή ηλεκτρονικών απορριμμάτων προς αναπτυσσόμενες χώρες.

Στην Ευρώπη, οι εξελίξεις οδήγησαν στη θεσμοθέτηση συγκεκριμένων οδηγιών για τα ΑΗΗΕ, με στόχο να δημιουργηθεί ένα ενιαίο νομικό πλαίσιο για τα κράτη μέλη. Η πρώτη Οδηγία WEEE (2002/96/ΕΚ) εισήγαγε τον όρο της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού», υποχρεώνοντας τους κατασκευαστές να μεριμνούν για τη συλλογή και την επεξεργασία των προϊόντων τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η αναθεώρηση της οδηγίας με την Οδηγία 2012/19/ΕΕ έθεσε αυστηρότερους στόχους συλλογής και επεξεργασίας, ενώ η Οδηγία 2011/65/ΕΕ (RoHS) περιόρισε τη χρήση επικίνδυνων ουσιών, ώστε να καταστεί ασφαλέστερη η ανακύκλωση. Παράλληλα, αναπτύχθηκαν πρότυπα ποιότητας όπως το WEEELABEX, που ενισχύουν τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα στη διαχείριση.

Στην Ελλάδα, η υιοθέτηση των ευρωπαϊκών οδηγιών πραγματοποιήθηκε μέσω της εθνικής νομοθεσίας, με σημαντικό ορόσημο τον Ν. 2939/2001 για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και ΑΗΗΕ και τον Ν. 4042/2012, που ενσωμάτωσε την Οδηγία 2008/98/ΕΚ. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα πρώτα εγκεκριμένα συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης, όπως η «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» και η «Φωτοκύκλωση Α.Ε.», που ανέλαβαν τον συντονισμό της συλλογής και της ανακύκλωσης. Σήμερα, η Ελλάδα εφαρμόζει το ευρωπαϊκό πλαίσιο μέσω εθνικών σχεδίων διαχείρισης αποβλήτων και συνεργασιών με επιχειρήσεις, ενώ τα διεθνή πρότυπα, αν και όχι πάντα υποχρεωτικά, λειτουργούν ως κατευθυντήριες γραμμές για την ποιοτική και αποτελεσματική εφαρμογή των διαδικασιών (Οδηγία 2012/19/ΕΕ· Ν. 4042/2012).

Η ιστορική αναδρομή της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα αντικατοπτρίζει τη σταδιακή εξέλιξη των πολιτικών και των πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων, ιδιαίτερα μετά την υιοθέτηση ευρωπαϊκών οδηγιών και την αύξηση της περιβαλλοντικής συνείδησης. Σύντομη αναδρομή όπως αυτή συνοπτικά παρουσιάζεται ακολουθεί παρακάτω. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από τις εταιρείες ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε. καθώς και το Υπουργείο Περιβάλλοντος (ΥΠΕΝ, 2014)

Πριν το 2000, η ανακύκλωση λαμπτήρων και γενικά η διαχείριση αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) στην Ελλάδα ήταν ελάχιστα ανεπτυγμένη. Οι περισσότεροι λαμπτήρες κατέληγαν σε χωματερές, καθώς δεν υπήρχε νομοθετικό πλαίσιο ή υποδομές για την ανακύκλωσή τους (ΥΠΕΝ, 2014). Με την υιοθέτηση της Οδηγίας 2002/96/ΕΚ για τα ΑΗΗΕ από την Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ελλάδα άρχισε να αναπτύσσει υποδομές και πολιτικές για την ανακύκλωση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων. Η ενσωμάτωση της Οδηγίας στην ελληνική νομοθεσία το 2004 σηματοδότησε το πρώτο σημαντικό βήμα προς τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ΑΗΗΕ (ΥΠΕΝ, 2014).

### **Ίδρυση Συστημάτων Εναλλακτικής Διαχείρισης**

Η ίδρυση του πρώτου εγκεκριμένου συστήματος εναλλακτικής διαχείρισης για τα ΑΗΗΕ, όπως η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., το 2004, και η συμμετοχή εταιρειών στη συλλογή και ανακύκλωση λαμπτήρων, έθεσαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη των διαδικασιών ανακύκλωσης. Η δημιουργία κατάλληλων σημείων συλλογής σε δημόσιους και ιδιωτικούς χώρους, όπως καταστήματα ηλεκτρονικών και δημοτικά σημεία ανακύκλωσης, διευκόλυνε τη συλλογή χρησιμοποιημένων λαμπτήρων.

Νομοθετικές βελτιώσεις και εκστρατείες ευαισθητοποίησης ακολούθησαν την περίοδο 2010-2020. Εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού από τους δημόσιους φορείς και τις οργανώσεις ανακύκλωσης, καθώς και η παροχή πληροφοριών σχετικά με τη σημασία της ανακύκλωσης και τα σημεία συλλογής, συνέβαλαν στην αύξηση της συμμετοχής των πολιτών. Από το 2020 έως και σήμερα η ανακύκλωση λαμπτήρων στην Ελλάδα συνεχίζει να εξελίσσεται, με την ενίσχυση των υποδομών και την ενσωμάτωση των τεχνολογικών καινοτομιών στις διαδικασίες ανακύκλωσης. Ο αυξανόμενος αριθμός των σημείων συλλογής και η βελτίωση της συνεργασίας μεταξύ δημοσίου και ιδιωτικού τομέα έχουν αυξήσει τα ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης. Εταιρείες, όπως η ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε. και η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην προώθηση και υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης.

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν, η ιστορία της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα καταδεικνύει την πρόοδο που έχει σημειωθεί από την απουσία ουσιαστικής διαχείρισης αποβλήτων προς την υιοθέτηση οργανωμένων και αποδοτικών συστημάτων ανακύκλωσης. Η συνεχής βελτίωση των υποδομών, η ενίσχυση της ενημέρωσης και η συμμόρφωση σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα αποτελούν τα κλειδιά για τη διατήρηση και την περαιτέρω ανάπτυξη της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα.

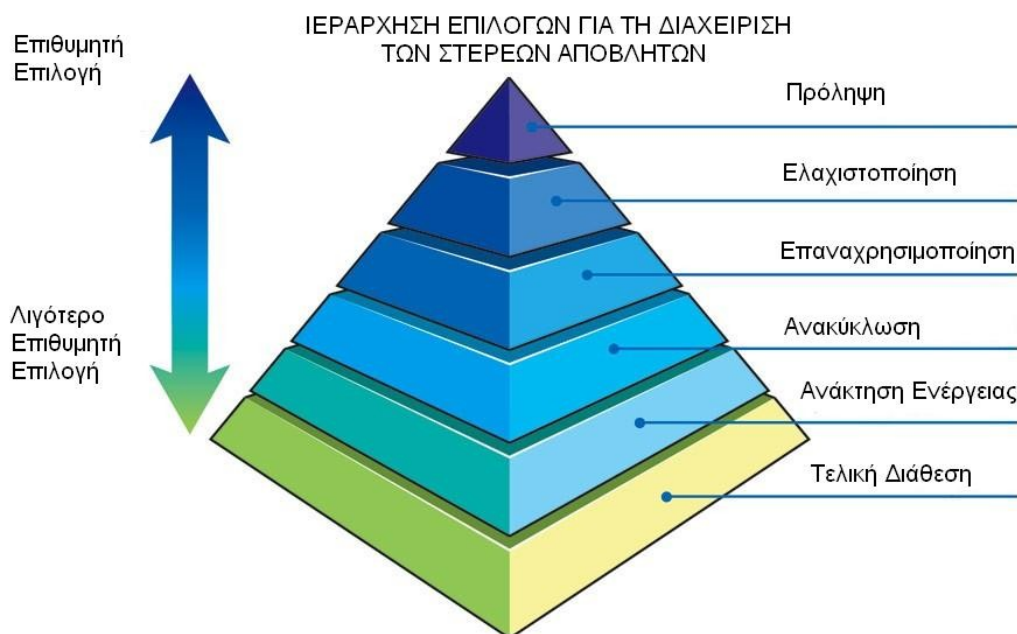
#### 1.6. Νομοθετικό πλαίσιο

Η διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί βασικό πυλώνα της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τον λόγο αυτό, τα κράτη μέλη έχουν αναπτύξει εθνικά συστήματα και στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων, τα οποία βασίζονται στο ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο. Όσον αφορά τα Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), οι βασικές κατευθύνσεις προκύπτουν από την Οδηγία 2008/98/ΕΚ σχετικά με τα απόβλητα, καθώς και από το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ). Κεντρικός στόχος της ευρωπαϊκής πολιτικής είναι η προστασία του περιβάλλοντος, η διαφύλαξη της δημόσιας υγείας και η ορθολογική αξιοποίηση των φυσικών πόρων μέσω βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Η πολιτική αυτή στηρίζεται σε ένα σύνολο θεμελιωδών αρχών, οι οποίες καθοδηγούν τον σχεδιασμό και την εφαρμογή των μέτρων διαχείρισης αποβλήτων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται η ιεράρχηση των αποβλήτων, η αρχή της πρόληψης και της προφύλαξης, η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού, καθώς και οι αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας.

Η ιεράρχηση της διαχείρισης των αποβλήτων γίνεται σύμφωνα με το άρθρο 4 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ. Ειδικότερα, προτεραιότητα δίνεται κατά σειρά στην πρόληψη (βέλτιστη επιλογή), στην προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, στην ανακύκλωση, σε άλλου είδους ανάκτηση (π.χ. ανάκτηση ενέργειας) και τέλος στη διάθεση (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Η ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών διαχείρισης αποβλήτων αποτυπώνεται σχηματικά στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων

Σύμφωνα με το άρθρο 4 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ, η διαχείριση των αποβλήτων ακολουθεί συγκεκριμένη ιεράρχηση προτεραιοτήτων. Πρώτη επιλογή αποτελεί η πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων, ακολουθεί η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, οι λοιπές μορφές ανάκτησης – όπως η ενεργειακή αξιοποίηση – και τέλος η διάθεση, η οποία θεωρείται η λιγότερο επιθυμητή επιλογή (Οδηγία 2008/98/ΕΚ). Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποσκοπεί στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πόρων.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενθαρρύνει τα κράτη μέλη να επιλέγουν τις πρακτικές που προσφέρουν το καλύτερο περιβαλλοντικό αποτέλεσμα, λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων και των αποβλήτων. Για τον λόγο αυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να υιοθετούνται διαφορετικές προσεγγίσεις από την

τυπική ιεράρχηση, εφόσον τεκμηριώνεται ότι οδηγούν σε συνολικά ευνοϊκότερα περιβαλλοντικά αποτελέσματα (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Οι αρχές της πρόληψης και της προφύλαξης αποσκοπούν στην έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η πρόληψη εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου ο κίνδυνος είναι γνωστός και προβλέψιμος, ενώ η προφύλαξη επιτρέπει τη λήψη μέτρων ακόμη και όταν δεν υπάρχουν πλήρη επιστημονικά δεδομένα, αλλά υπάρχουν ενδείξεις πιθανής περιβαλλοντικής βλάβης (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», σύμφωνα με την οποία το οικονομικό βάρος της διαχείρισης των αποβλήτων αναλαμβάνει εκείνος που τα παράγει ή τα κατέχει. Η εφαρμογή της αρχής αυτής λειτουργεί τόσο ως μηχανισμός κάλυψης του κόστους διαχείρισης όσο και ως κίνητρο για τη μείωση της ρύπανσης μέσω της υιοθέτησης περιβαλλοντικά υπεύθυνων πρακτικών.

Εξίσου σημαντική είναι η αρχή της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού, η οποία προβλέπεται στο άρθρο 8 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ. Μέσω της αρχής αυτής, οι παραγωγοί καλούνται να αναλάβουν ευθύνη για ολόκληρο τον κύκλο ζωής των προϊόντων τους, από τον σχεδιασμό και την παραγωγή έως τη συλλογή, ανακύκλωση και τελική διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν από αυτά.

Τέλος, οι αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας υπογραμμίζουν την ανάγκη διαχείρισης των αποβλήτων όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής τους. Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στη μείωση των μεταφορών, του σχετικού κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ενώ παράλληλα ενισχύει τη δημιουργία επαρκών υποδομών διαχείρισης σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Στο ίδιο πλαίσιο εντάσσεται και η υποχρέωση αποκατάστασης της περιβαλλοντικής ζημίας από τον υπεύθυνο της ρύπανσης, ο οποίος αναλαμβάνει και το σχετικό οικονομικό κόστος, σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει».

#### 1.6.1. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων

Το νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα είναι βασισμένο στις ευρωπαϊκές οδηγίες και τις εθνικές νομοθεσίες που καθορίζουν τις αρχές και τις διαδικασίες για τη διαχείριση των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Η εφαρμογή αυτού του πλαισίου έχει ως στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, την προώθηση της ανακύκλωσης και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Παρακάτω γίνεται μία σύντομη παρουσίαση της ευρωπαϊκής και ακολούθως εθνικής νομοθεσίας.

### Ευρωπαϊκό Πλαίσιο

#### 1. Οδηγία 2008/98/ΕΚ για τα Απόβλητα (Waste Framework Directive)

- Θέτει τη γενική δομή για τη διαχείριση των αποβλήτων στην ΕΕ.
- Προσδιορίζει τις αρχές της ιεραρχίας των αποβλήτων: πρόληψη, προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, άλλες μορφές ανάκτησης και τελική διάθεση.
- Καθορίζει τις έννοιες και τις βασικές αρχές, όπως η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού.

**2. Οδηγία 2012/19/ΕΕ για τα Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (WEEE Directive)**

- Ρυθμίζει τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανακύκλωση και την περιβαλλοντική διαχείριση των ΑΗΗΕ.
- Εισάγει στόχους συλλογής και ανακύκλωσης για τα κράτη μέλη.
- Απαιτεί τη δημιουργία συστημάτων συλλογής για καταναλωτές και τη συνεργασία με τους κατασκευαστές και τους διανομείς.

**3. Οδηγία 2011/65/ΕΕ για τον Περιορισμό των Επικίνδυνων Ουσιών (RoHS Directive)**

- Περιορίζει τη χρήση επικίνδυνων ουσιών (όπως μόλυβδος, υδράργυρος, κάδμιο) στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- Συμπληρώνει την Οδηγία WEEE, στοχεύοντας στη μείωση των επικίνδυνων ουσιών που πρέπει να διαχειριστούν κατά την ανακύκλωση.

**Εθνικό Πλαίσιο (Ελλάδα)**

**1. Νόμος 4042/2012 για τη Διαχείριση των Αποβλήτων**

- Ενσωματώνει την Οδηγία 2008/98/ΕΚ στην εθνική νομοθεσία.
- Καθορίζει τις γενικές αρχές διαχείρισης των αποβλήτων στην Ελλάδα.
- Θεσπίζει μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

**2. Προεδρικό Διάταγμα 117/2004**

- Ενσωματώνει την αρχική Οδηγία 2002/96/ΕΚ για τα ΑΗΗΕ στην ελληνική νομοθεσία.
- Καθορίζει τα μέτρα για τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση των ΑΗΗΕ.

**3. Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 23615/651/Ε.103/2014**

- Ενσωματώνει την αναθεωρημένη Οδηγία 2012/19/ΕΕ για τα ΑΗΗΕ.
- Καθορίζει συγκεκριμένες απαιτήσεις για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, όπως η δημιουργία συστημάτων συλλογής και ανακύκλωσης.

**4. Νόμος 2939/2001 για τις Συσκευασίες και τα Απόβλητα Συσκευασιών**

- Ρυθμίζει την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και των αποβλήτων συσκευασιών.
- Καθορίζει τις υποχρεώσεις των παραγωγών και των διαχειριστών αποβλήτων συσκευασιών.

**1.6.2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΗΗΕ**

Η διαχείριση των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) στην Ελλάδα διέπεται από ένα εκτενές νομοθετικό πλαίσιο που βασίζεται κυρίως στις ευρωπαϊκές οδηγίες και έχει προσαρμοστεί στην εθνική νομοθεσία. Αυτό το πλαίσιο στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος, τη μείωση των επικίνδυνων ουσιών και την προώθηση της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων. Ακολουθεί μια αναλυτική παρουσίαση του νομοθετικού πλαισίου διαχείρισης ΑΗΗΕ σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

### **Ευρωπαϊκές Οδηγίες**

#### **1. Οδηγία 2002/96/ΕΚ για τα ΑΗΗΕ (WEEE Directive)**

- Θέσπισε τα πρώτα ευρωπαϊκά πρότυπα για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ.
- Εισήγαγε υποχρεώσεις για τα κράτη μέλη να δημιουργήσουν συστήματα συλλογής, επεξεργασίας και ανάκτησης των ΑΗΗΕ.

#### **2. Αναθεωρημένη Οδηγία 2012/19/ΕΕ για τα ΑΗΗΕ (WEEE Directive)**

- Επικαιροποίησε και ενίσχυσε τις απαιτήσεις της αρχικής Οδηγίας.
- Εισήγαγε αυστηρότερους στόχους συλλογής και ανακύκλωσης.
- Καθόρισε λεπτομερέστερα τις υποχρεώσεις των παραγωγών, των διανομέων και των άλλων εμπλεκόμενων μερών.

#### **3. Οδηγία 2011/65/ΕΕ για τον Περιορισμό των Επικίνδυνων Ουσιών (RoHS Directive)**

- Περιορίζει τη χρήση συγκεκριμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- Συμπληρώνει την Οδηγία WEEE μειώνοντας τις επιβλαβείς ουσίες που πρέπει να διαχειριστούν κατά την ανακύκλωση.

### **Εθνικό Πλαίσιο (Ελλάδα)**

#### **1. Νόμος 2939/2001**

- Εισήγαγε το πλαίσιο για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των ΑΗΗΕ.
- Καθιέρωσε την ευθύνη των παραγωγών για τη διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν από τα προϊόντα τους.

#### **2. Προεδρικό Διάταγμα 117/2004**

- Ενσωμάτωσε την Οδηγία 2002/96/ΕΚ για τα ΑΗΗΕ στην ελληνική νομοθεσία.
- Καθόρισε τις διαδικασίες για τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση των ΑΗΗΕ.

#### **3. Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 23615/651/Ε.103/2014**

- Ενσωμάτωσε την αναθεωρημένη Οδηγία 2012/19/ΕΕ για τα ΑΗΗΕ.

- Επικαιροποίησε τις απαιτήσεις για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ και καθόρισε νέες υποχρεώσεις για τους παραγωγούς και τους διανομείς.

#### 4. Νόμος 4042/2012 για τη Διαχείριση των Αποβλήτων

- Ενσωμάτωσε την Οδηγία 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα στην ελληνική νομοθεσία.
- Καθιέρωσε την ιεραρχία των αποβλήτων, προωθώντας την πρόληψη, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση.

### Συστήματα και Οργανισμοί

#### 1. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.)

- Υπεύθυνος για την εποπτεία και τον έλεγχο των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης.
- Προωθεί την ανακύκλωση και την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση.

#### 2. Συλλογικά Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΣΕΔ)

- Εταιρείες και οργανισμοί που διαχειρίζονται τη συλλογή και ανακύκλωση των ΑΗΗΕ.
- Παραδείγματα: ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε. για τα ΑΗΗΕ, ΕΕΑΑ (Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης) για τις συσκευασίες

### Υποχρεώσεις των Παραγωγών

- **Εγγραφή και Δήλωση:** Οι παραγωγοί πρέπει να εγγράφονται στο μητρώο του Ε.Ο.ΑΝ. και να δηλώνουν τις ποσότητες ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξοπλισμών που διακινούν.
- **Χρηματοδότηση:** Οι παραγωγοί υποχρεούνται να χρηματοδοτούν τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση των ΑΗΗΕ μέσω των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης.
- **Σήμανση:** Τα προϊόντα πρέπει να φέρουν κατάλληλη σήμανση που να ενημερώνει τους καταναλωτές για την ανακύκλωση των αποβλήτων.

### Υποχρεώσεις των Διανομέων

- **Συλλογή:** Οι διανομείς πρέπει να παρέχουν σημεία συλλογής για την επιστροφή των ΑΗΗΕ από τους καταναλωτές.
- **Ενημέρωση:** Οι διανομείς πρέπει να ενημερώνουν τους καταναλωτές για τα σημεία συλλογής και τις διαδικασίες ανακύκλωσης.

Το νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα είναι καλά εδραιωμένο και βασίζεται σε ευρωπαϊκά πρότυπα, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και τη

βελτίωση της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων. Η επιτυχία της εφαρμογής αυτού του πλαισίου εξαρτάται από τη συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων μερών – παραγωγών, διανομέων, καταναλωτών και δημόσιων φορέων – καθώς και από τη συνεχή βελτίωση των υποδομών και των διαδικασιών διαχείρισης των αποβλήτων.

### 1.7. Μέθοδοι διαχείρισης ΑΗΗΕ

Οι λαμπτήρες φωτισμού αποτελούν μία από τις βασικές κατηγορίες του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, με ιδιαίτερη σημασία για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ λόγω της μεγάλης κατανάλωσης τους και της ποικιλίας στα υλικά κατασκευής τους. Η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει στη συνύπαρξη διαφορετικών τύπων λαμπτήρων στην αγορά, οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς την ενεργειακή τους απόδοση, τη διάρκεια ζωής, αλλά και τις απαιτήσεις διαχείρισης στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Βολέλης & Φώκος, 2017). Η διαφοροποίηση αυτή καθιστά αναγκαία την εφαρμογή εξειδικευμένων μεθόδων συλλογής και ανακύκλωσης, προκειμένου να ανακτηθούν πολύτιμα υλικά και να αποφευχθεί η έκλυση επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον.

Οι λαμπτήρες φθορισμού, που υπήρξαν ευρέως διαδεδομένοι τις προηγούμενες δεκαετίες, περιέχουν υδράργυρο και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στη διαχείρισή τους. Η παρουσία του υδραργύρου, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, γι' αυτό και η ανακύκλωσή τους βασίζεται σε συστήματα κλειστού κυκλώματος, ώστε να διασφαλίζεται η αποφυγή εκπομπών στο περιβάλλον. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL), που αποτέλεσαν ενεργειακά αποδοτικότερη εναλλακτική των παραδοσιακών λαμπτήρων πυρακτώσεως, εμφανίζουν παρόμοιες απαιτήσεις, καθώς επίσης περιέχουν υδράργυρο σε μικρές ποσότητες (Eurostat, 2024).

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι αλογόνου, αν και σταδιακά αποσύρονται από την αγορά λόγω χαμηλής ενεργειακής απόδοσης, εξακολουθούν να εντοπίζονται σε μεγάλες ποσότητες στα απορρίμματα. Τα βασικά υλικά τους είναι το γυαλί και τα μέταλλα (αλουμίνιο, χάλυβας), τα οποία μπορούν να ανακτηθούν σχετικά εύκολα, ωστόσο η χαμηλή ανακύκλωσή τους σε συνδυασμό με την περιορισμένη διάρκεια ζωής τους τους κατατάσσει σε μη φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές. Σημαντική εξέλιξη στη βιομηχανία φωτισμού αποτέλεσε η ανάπτυξη των λαμπτήρων LED, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλή περιεκτικότητα σε επικίνδυνες ουσίες. Παρ' όλα αυτά, περιλαμβάνουν σύνθετα ηλεκτρονικά κυκλώματα και σπάνιες γαίες, γεγονός που καθιστά την ανακύκλωσή τους τεχνικά πιο περίπλοκη και απαιτητική (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024).

Τέλος, λαμπτήρες παλαιότερων τεχνολογιών, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και αλογόνου, καθώς και οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής και χαμηλής πίεσης, έχουν σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από νεότερες και ενεργειακά αποδοτικότερες τεχνολογίες, κυρίως τους λαμπτήρες LED. Παρ' όλα αυτά, εξακολουθούν να απαντώνται σε σημαντικές ποσότητες στα ρεύματα ΑΗΗΕ, ιδίως κατά την απόσυρση παλαιού εξοπλισμού. Οι λαμπτήρες αυτοί περιέχουν επικίνδυνες ουσίες, όπως υδράργυρο και βαρέα μέταλλα, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη διαχείρισή τους μέσω εξειδικευμένων κέντρων επεξεργασίας και αυστηρών πρωτοκόλλων ασφάλειας, με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος. Συνολικά, η ποικιλία στα είδη των λαμπτήρων υπογραμμίζει την ανάγκη για διαφοροποιημένες μεθόδους συλλογής, ταξινόμησης και ανακύκλωσης, στο πλαίσιο μιας στρατηγικής που εντάσσει την ανακύκλωσή τους στη λογική της κυκλικής οικονομίας (Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024).

Τα ΑΗΗΕ χρήζουν διαχείρισης διότι περιέχουν πολλά επικίνδυνα υλικά, όπως βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, υδράργυρος, κάδμιο) και επιβλαβείς χημικές ενώσεις, που μπορούν να ρυπάνουν το έδαφος και τους υδάτινους πόρους. Επίσης, περιέχουν πολύτιμα υλικά όπως χρυσό, ασήμι, χαλκό και πλατίνα, τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Η διαδικασία διαχείρισης των ΑΗΗΕ εν γένει, περιλαμβάνει τα εξής:

Συλλογή: Αφορά τη συγκέντρωση των ΑΗΗΕ από διάφορα σημεία συλλογής, όπως καταστήματα λιανικής, ειδικά σημεία στους δήμους ή μέσω ειδικών εκστρατειών συλλογής.

Μεταφορά: Μεταφορά των συλλεγμένων αποβλήτων σε κέντρα επεξεργασίας και ανακύκλωσης.

Διαλογή και Αποσυναρμολόγηση: Τα ΑΗΗΕ διαχωρίζονται ανά τύπο και υλικό. Αφαιρούνται επικίνδυνα υλικά και τα υπόλοιπα υλικά αποσυναρμολογούνται.

Ανακύκλωση: Τα υλικά ανακυκλώνονται ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν στην παραγωγή νέων προϊόντων. Για παράδειγμα, τα μέταλλα λιώνονται και επαναχρησιμοποιούνται, ενώ τα πλαστικά μπορούν να μετατραπούν σε νέες πλαστικές πρώτες ύλες.

Διάθεση: Ό,τι δεν μπορεί να ανακυκλωθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί, απορρίπτεται με ασφαλή τρόπο, συχνά σε χώρους υγειονομικής ταφής ειδικά σχεδιασμένους για επικίνδυνα απόβλητα.

Το μοντέλο ανακύκλωσης Απορριμμάτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), στην Ελλάδα, λαμβάνει χώρα μέσω διαφόρων πρωτοβουλιών και οργανισμών. Ανάμεσα στα μοντέλα ανακύκλωσης ΑΗΗΕ που λειτουργούν στην Ελλάδα συγκαταλέγονται:

### **Συστήματα Συλλογής και Ανακύκλωσης από Δήμους**

Πολλοί δήμοι σε όλη την Ελλάδα έχουν εγκαταστήσει συστήματα συλλογής ΑΗΗΕ, είτε μέσω κεντρικών σημείων συλλογής είτε μέσω κινητών μονάδων που περιφέρονται σε διάφορες περιοχές για τη συγκέντρωση των αποβλήτων.

### **Κέντρα Ανακύκλωσης**

Υπάρχουν ειδικά κέντρα ανακύκλωσης ΑΗΗΕ που λειτουργούν από εταιρείες ανακύκλωσης σε συνεργασία με τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα. Σε αυτά τα κέντρα, τα ΑΗΗΕ συλλέγονται, ταξινομούνται και ανακυκλώνονται σύμφωνα με τα πρότυπα και τις οδηγίες της ΕΕ.

### **Πρωτοβουλίες από Ιδιωτικούς Φορείς**

Ορισμένες εταιρείες ανακύκλωσης και κατασκευαστές ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών προσφέρουν δικά τους προγράμματα ανακύκλωσης για τα προϊόντα τους ή συμμετέχουν σε πρωτοβουλίες ανακύκλωσης σε συνεργασία με άλλους φορείς.

### **Προγράμματα Επιστροφής Προϊόντων (Take-back Programs)**

Ορισμένες εταιρείες λιανικής πώλησης ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων προσφέρουν προγράμματα επιστροφής παλαιών προϊόντων κατά την αγορά νέων, με σκοπό τη συλλογή και ανακύκλωση των παλαιών συσκευών.

#### **1.7.1. Μέθοδοι διαχείρισης λαμπτήρων**

Η διαχείριση των λαμπτήρων, ειδικά αυτών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά όπως ο υδράργυρος, απαιτεί εξειδικευμένες μεθόδους για να εξασφαλιστεί η ασφαλής επεξεργασία και ανακύκλωση. Οι βασικές μέθοδοι διαχείρισης λαμπτήρων περιλαμβάνουν τα εξής:

### **Συλλογή και Διαχωρισμό**

Η αρχική φάση στη διαχείριση των λαμπτήρων είναι η συλλογή και ο διαχωρισμός τους από τα υπόλοιπα απόβλητα. Οι λαμπτήρες συλλέγονται σε ειδικά σχεδιασμένους κάδους και σημεία συλλογής, όπως:

- Κάδοι σε καταστήματα που πωλούν λαμπτήρες.
- Κάδοι σε δημοτικές υπηρεσίες και κέντρα ανακύκλωσης.
- Ειδικά προγράμματα συλλογής από μεγάλες επιχειρήσεις και βιομηχανικές μονάδες.

### **Αποσυναρμολόγηση**

Η αποσυναρμολόγηση περιλαμβάνει το διαχωρισμό των λαμπτήρων σε επιμέρους υλικά για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και περιλαμβάνει:

- Αφαίρεση του γυαλιού από τα μέταλλα και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.
- Συλλογή του υδραργύρου και άλλων επικίνδυνων υλικών για ειδική επεξεργασία.

### **Ανακύκλωση Υλικών**

Τα ανακυκλώσιμα υλικά που προκύπτουν από την αποσυναρμολόγηση περιλαμβάνουν:

- Γυαλί: Το γυαλί από τους λαμπτήρες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων λαμπτήρων ή άλλων γυάλινων προϊόντων.
- Μέταλλα: Τα μεταλλικά μέρη των λαμπτήρων (όπως αλουμίνιο και χαλκός) μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία.
- Πλαστικά: Τα πλαστικά μέρη ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέων πλαστικών προϊόντων.

### **Επεξεργασία Επικίνδυνων Υλικών**

Οι λαμπτήρες που περιέχουν επικίνδυνα υλικά όπως υδράργυρο, χρειάζονται ειδική επεξεργασία για να εξασφαλιστεί η ασφαλής διάθεση ή ανακύκλωσή τους:

- Απόσταξη Υδραργύρου: Ο υδράργυρος απομακρύνεται μέσω διαδικασιών απόσταξης και μπορεί να ανακυκλωθεί για χρήση σε νέες εφαρμογές.
- Θερμική Επεξεργασία: Ορισμένα επικίνδυνα υλικά μπορεί να απαιτούν θερμική επεξεργασία για να διασπαστούν σε ασφαλέστερες μορφές.

### **Τελική Διάθεση**

Τα υπολείμματα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν αποτελούν απόβλητα τα οποία διατίθενται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους ταφής επικίνδυνων αποβλήτων ή μέσω άλλων μεθόδων που εξασφαλίζουν την ασφάλεια της δημόσιας υγείας και την προστασία του περιβάλλοντος.

Η σωστή διαχείριση των λαμπτήρων είναι κρίσιμης σημασίας και οι παραπάνω μέθοδοι εξασφαλίζουν την αποτελεσματική και ασφαλή επεξεργασία των λαμπτήρων,

συμβάλλοντας στη μείωση των επικίνδυνων αποβλήτων και στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα βασικά είδη λαμπτήρων, τα κύρια υλικά κατασκευής τους και τις απαιτήσεις διαχείρισης/ανακύκλωσης που σχετίζονται με τα Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).

**Πίνακας 5: Είδη Λαμπτήρων και Μέθοδοι Διαχείρισης ΑΗΗΕ**

| Είδος Λαμπτήρα                              | Κύρια Υλικά                        | Απαιτήσεις Διαχείρισης                                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Λαμπτήρες Φθορισμού                         | Γυαλί, μέταλλο, υδράργυρος         | Απαιτείται ειδική συλλογή και ανακύκλωση λόγω υδραργύρου. |
| Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού (CFL)         | Γυαλί, πλαστικό, υδράργυρος        | Ειδικά συστήματα συλλογής· αποφυγή θραύσης.               |
| Λαμπτήρες Πυρακτώσεως                       | Γυαλί, μέταλλο (αλουμίνιο/χάλυβας) | Χαμηλή ανακύκλωση· κυρίως ανάκτηση γυαλιού και μετάλλων.  |
| Λαμπτήρες Αλογόνου                          | Γυαλί, μέταλλο, αέριο αλογόνου     | Ανακύκλωση γυαλιού και μετάλλων, χωρίς επικίνδυνα υλικά.  |
| Λαμπτήρες LED                               | Ημιαγωγοί, πλακέτες, σπάνιες γαίες | Πολύπλοκη ανακύκλωση λόγω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.        |
| Λαμπτήρες Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης          | Γυαλί, μέταλλο, ατμοί υδραργύρου   | Απαιτείται ειδική διαχείριση λόγω υδραργύρου.             |
| Λαμπτήρες Νατρίου (Υψηλής & Χαμηλής Πίεσης) | Γυαλί, μέταλλο, νατρίου            | Εξειδικευμένη ανακύκλωση· προσοχή σε επικίνδυνα αέρια.    |

### 1.8. Διαχείριση στερεών αποβλήτων

Η διαχείριση στερεών αποβλήτων αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις για τις σύγχρονες κοινωνίες, καθώς ο όγκος των παραγόμενων απορριμμάτων αυξάνεται διαρκώς λόγω της αστικοποίησης, της κατανάλωσης και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Στερεά απόβλητα ορίζονται όλα τα υλικά που απορρίπτονται ως μη λειτουργικά από οικιακές, βιομηχανικές, εμπορικές και γεωργικές δραστηριότητες, καθώς και από τις υπηρεσίες. Η κακή ή ανεπαρκής διαχείρισή τους μπορεί να προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις, όπως ρύπανση εδαφών και υδάτων, αύξηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και επιβάρυνση της δημόσιας υγείας (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει πλαίσιο για τη βιώσιμη διαχείριση στερεών αποβλήτων, με κεντρικό άξονα την Οδηγία 2008/98/ΕΚ, γνωστή και ως «Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα». Η οδηγία αυτή εισάγει την ιεράρχηση των επιλογών διαχείρισης, δίνοντας προτεραιότητα στην πρόληψη, έπειτα στην επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, άλλες μορφές ανάκτησης και τέλος στη διάθεση. Η στρατηγική αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της

αποφυγής δημιουργίας αποβλήτων στην πηγή και της αξιοποίησης των υλικών ως πόρων, στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2008).

Η Ελλάδα εναρμόνισε το εθνικό της πλαίσιο με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ μέσω του Ν. 4042/2012, ο οποίος καθορίζει τις γενικές αρχές και διαδικασίες για την παραγωγή και διαχείριση αποβλήτων. Ο νόμος αυτός έθεσε σε εφαρμογή το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων και ενίσχυσε τον ρόλο της πρόληψης, καθώς και της δημιουργίας συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης. Μέσα από αυτό το θεσμικό πλαίσιο προωθείται η ανακύκλωση και η χωριστή συλλογή ροών όπως το χαρτί, το πλαστικό, το γυαλί και τα μέταλλα (Ν. 4042/2012).

Σε επίπεδο εφαρμογής, η διαχείριση στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων που ποικίλλουν ανάλογα με το είδος και τη σύσταση των απορριμμάτων. Η μηχανική και βιολογική επεξεργασία, η κομποστοποίηση, η θερμική επεξεργασία (π.χ. αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας) και η υγειονομική ταφή παραμένουν οι κύριες μέθοδοι. Ωστόσο, δίνεται αυξανόμενη έμφαση στην ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση, καθώς συνδυάζουν περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, μειώνοντας την κατανάλωση φυσικών πόρων και την εξάρτηση από εισαγωγές πρώτων υλών (Eurostat, 2024).

Η ορθή διαχείριση στερεών αποβλήτων συνδέεται επίσης με την ανάγκη για περιβαλλοντική εκπαίδευση και αλλαγή καταναλωτικών προτύπων. Η ευαισθητοποίηση των πολιτών για τη σημασία του διαχωρισμού στην πηγή και της συμμετοχής σε προγράμματα ανακύκλωσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας. Η δημιουργία «πράσινων σημείων» και η ανάπτυξη τοπικών δικτύων διαχείρισης ενισχύουν την κοινωνική συμμετοχή και βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων συλλογής (Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024).

Τέλος, η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η επιτυχής διαχείριση στερεών αποβλήτων απαιτεί συνδυασμό θεσμικών εργαλείων, τεχνολογικών λύσεων και κοινωνικής συνεργασίας. Οι χώρες που εφαρμόζουν ολοκληρωμένα σχέδια, όπως η Γερμανία και οι Σκανδιναβικές χώρες, έχουν επιτύχει υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης και ελαχιστοποίηση των αποβλήτων που οδηγούνται για ταφή. Η υιοθέτηση αυτών των πρακτικών και στην Ελλάδα μπορεί να συμβάλει στη μετάβαση προς μια πραγματικά κυκλική οικονομία, μειώνοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας στον τομέα της πράσινης ανάπτυξης (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2022).

Η διαχείριση στερεών αποβλήτων και η εφαρμογή των στρατηγικών της κυκλικής οικονομίας αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την προώθηση της βιωσιμότητας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και πρακτικές. Εν γένει η διαχείριση στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει τις διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης των αποβλήτων. Οι κύριες μέθοδοι διαχείρισης είναι οι εξής (Οδηγία 2008/98/ΕΚ):

**Μείωση αποβλήτων στην πηγή:** Εφαρμογή πρακτικών που μειώνουν την παραγωγή αποβλήτων από την αρχή, όπως η χρήση επαναχρησιμοποιούμενων υλικών και η βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής.

**Επαναχρησιμοποίηση:** Προώθηση της επαναχρησιμοποίησης προϊόντων και υλικών, ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους και να μειωθεί η ανάγκη για νέα προϊόντα.

**Ανακύκλωση:** Διαχωρισμός και επεξεργασία ανακυκλώσιμων υλικών (πλαστικά, γυαλί, μέταλλα, χαρτί) για την παραγωγή νέων προϊόντων.

**Κομποστοποίηση:** Επεξεργασία οργανικών αποβλήτων (τροφίμων, φυτικών υπολειμμάτων) για την παραγωγή κομπόστ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα.

**Ενεργειακή αξιοποίηση:** Καύση αποβλήτων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας από τα απορρίμματα.

**Υγειονομική ταφή:** Χρήση χώρων υγειονομικής ταφής για την τελική διάθεση αποβλήτων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν ή να αξιοποιηθούν ενεργειακά.

### 1.9. Κυκλική οικονομία

Η κυκλική οικονομία είναι ένα μοντέλο οικονομίας που επιδιώκει τη μείωση των αποβλήτων και τη βελτιστοποίηση της χρήσης των φυσικών πόρων μέσω της δημιουργίας κλειστών κύκλων παραγωγής και κατανάλωσης. Οι βασικές αρχές της κυκλικής οικονομίας παρουσιάζονται κάτωθι:

**Σχεδιασμός για την ανθεκτικότητα και τη διαρκή αξία:** Ανάπτυξη προϊόντων με γνώμονα τη μακροχρόνια χρήση, την ευκολία επισκευής και αναβάθμισης και την ανακυκλωσιμότητα.

**Ανάκτηση υλικών:** Διασφάλιση ότι τα υλικά επαναχρησιμοποιούνται ή ανακυκλώνονται στο τέλος της ζωής των προϊόντων, ώστε να μην καταλήγουν σε χωματερές.

**Αποδοτικότητα πόρων:** Βελτιστοποίηση της χρήσης των υλικών και της ενέργειας σε το κύκλο ζωής, από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως το τέλος ζωής τους.

**Συστήματα επαναχρησιμοποίησης:** Δημιουργία συστημάτων για την επιστροφή και επαναχρησιμοποίηση προϊόντων ή λειτουργικών μερών αυτών, όπως η χρήση επιστρεφόμενων συσκευασιών και η δημιουργία δευτερογενών αγορών.

**Καινοτομία και τεχνολογία:** Εφαρμογή νέων τεχνολογιών και καινοτόμων λύσεων για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας των διαδικασιών σχεδιασμού παραγωγής και κατανάλωσης.

#### 1.9.1. Ορισμός και Χαρακτηριστικά της Κυκλικής Οικονομίας

Ως λύση στα σχετικά κρίσιμα ζητήματα των ημερών μας και τα οποία αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις, έχει προκύψει ένας νέος τρόπος διεξαγωγής των εργασιών, που ονομάζεται κυκλική οικονομία. Αυτό το νέο πλαίσιο βιωσιμότητας, θεωρείται ότι *διαταράσσει* το τρέχον γραμμικό μοντέλο, σύμφωνα με τους Stuchtey et al. (2016). Οι Pollard et al. (2016) συμφωνούν ότι ιστορικά, οι προσπάθειες βιωσιμότητας του ανοιχτού γραμμικού μοντέλου, ήταν να αποτρέψει την όποια ζημιά στις επιχειρήσεις, όταν το κλειστό σύστημα της κυκλικής οικονομίας προτρέπει να το ξανασκεφτούμε δημιουργικά, ως προς την λειτουργία του. Η εικόνα Νο.1 παρουσιάζει πώς το κυκλικό μοντέλο εμπερικλείει τη λειτουργία στον βρόχο σε σύγκριση με το γραμμικό μοντέλο.

Ο *ακρογωνιαίος λίθος* μιας κυκλικής οικονομίας είναι η παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων μέσω της εφαρμογής της κυκλικής οικονομίας (Circular Economy). Το βιβλίο *An Introduction (2017), Delft University of Technology*, (εφεξής TU Delft (2017)), εξηγεί πώς επιτυγχάνεται η παράταση της διάρκειας ζωής σε ένα κυκλικό σενάριο. Δηλώνουν ότι μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε μέσω της χρήσης του προϊόντος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα είτε μέσω της παροχής νέας ζωής στο προϊόν. Εξηγούν την κυκλική

οικονομία ως χρήση πόρων αλλά και διατήρηση τους σε συνεχείς βρόχους ανάδρασης. Ως εκ τούτου, σημαίνουν ότι η διάρκεια ζωής των προϊόντων μπορεί να παραταθεί μέσω του φαινομένου *looping* των προϊόντων όσο το δυνατόν περισσότερες φορές με την εύρεση νέων ροών αξίας για τα προϊόντα ή/και τα συστατικά τους.

Αυτό εξηγείται περαιτέρω από το Ίδρυμα Ellen MacArthur (2015a) ότι διατηρεί συνεχώς τα υλικά και τα προϊόντα στην υψηλότερη χρησιμότητα και αξία τους. Το Ίδρυμα Ellen MacArthur (2015a) περιγράφει ότι αυτό γίνεται μέσω του βρόχου των προϊόντων, τόσο σε τεχνικούς όσο και σε βιολογικούς κύκλους ζωής. Ο βιολογικός κύκλος είναι η ροή των ανανεώσιμων πόρων και ο τεχνικός κύκλος είναι η ροή των πεπερασμένων πόρων.

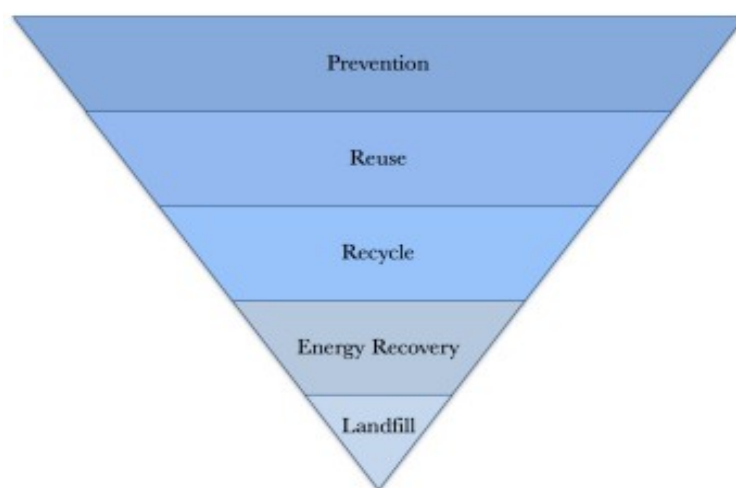
Ο τεχνικός κύκλος περιλαμβάνει την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, είτε μέσω των στρατηγικών της κυκλικής οικονομίας όπως της συντήρησης, αναβάθμισης, ανάκτησης, αποκατάστασης, ανακατασκευής ή ανακύκλωσης, ενώ ο βιολογικός κύκλος αναγεννά και καταναλώνει ανανεώσιμους πόρους, όπως η υποβάθμιση του φυσικού συστήματος (*ibid*). Αυτό γίνεται μέσω αναερόβιας χώνευσης, βιοχημικής πρώτης ύλης ή φυσικής αποκατάστασης (*ibid*).

Το πώς να διατηρεί κανείς συνεχώς προϊόντα, υλικά και εξαρτήματα στην υψηλότερη χρησιμότητα και αξία τους, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής, συζητείται περαιτέρω από την TU Delft (2017). Σύμφωνα με τους συγγραφείς, όσο συντομότερος είναι ο κύκλος επαναχρησιμοποίησης ενός προϊόντος, τόσο μεγαλύτερη είναι η οικονομική και περιβαλλοντική του αξία.. Ο Stahel (2016) επεξεργάζεται αυτό το γεγονός όταν λέει ότι είναι απαραίτητο να «...αντικαταστήσετε την παραγωγή με επάρκεια. επαναχρησιμοποιήστε ό,τι μπορείτε, ανακυκλώστε ό,τι δεν μπορείτε να ξαναχρησιμοποιήσετε, επισκευάστε ό,τι είναι χαλασμένο, ανακατασκευάστε ό,τι δεν επισκευάζεται. (Stahel, 2016).

Ο Stahel (2016), στις έρευνες *The Ellen MacArthur Foundation (2015a)* και *TU Delft (2017)* αναφέρει ότι η διάρκεια ζωής του προϊόντος χρειάζεται παράταση και ότι μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικότερα και πιο οικονομικά μέσω της επανεισαγωγής του προϊόντος στον βρόχο που απαιτεί τη λιγότερη αλλαγή στο υπάρχον προϊόν. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, υποδηλώνεται η επιμήκυνση της ζωής του προϊόντος και η παραμονή του στην οικονομία (παράταση του κύκλου ζωής του προϊόντος- *Life Extension*). Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο γρήγορα επιστραφεί σε επαναχρησιμοποίηση, τόσο περισσότερη εξοικονόμηση υλικού, εργασίας, ενέργειας και οικονομικού κεφαλαίου μπορεί να επιτευχθεί, καθώς και τόσο περισσότερες αρνητικές εξωτερικές επιδράσεις μπορούν να εξοικονομηθούν. Το Ίδρυμα Ellen MacArthur (2015a, 8) αναφέρεται σε αυτό ως, «...όσο πιο στενός είναι ο κύκλος, τόσο πιο πολύτιμη είναι η στρατηγική».

Ο Stahel (2016) εξηγεί αυτό το φαινόμενο περαιτέρω χρησιμοποιώντας την αναλογία ενός γυάλινου μπουκαλιού, όπου σημαίνει ότι ο καθαρισμός του μπουκαλιού και η επαναχρησιμοποίησή του είναι ταχύτερη και φθηνότερη επιλογή από την ανακύκλωση ή την παραγωγή ενός νέου μπουκαλιού. Ο Stahel το ονομάζει ως *Αρχή της Αδράνειας*. Η *Αρχή της Αδράνειας* σημαίνει ότι τα επιχειρηματικά μοντέλα της κυκλικής οικονομίας χωρίζονται σε δύο τομείς, είτε επικεντρώνονται στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων με την επαναχρησιμοποίησή τους μέσω επισκευών, αναβάθμισης ή ανακατασκευής, είτε επικεντρώνονται στη μετατροπή των χρησιμοποιημένων προϊόντων σε νέους πόρους μέσω της ανακύκλωσης (Stahel, 2016).

Αυτός ο τρόπος σκέψης είναι επίσης σύμφωνος με την ιεραρχία των απορριμμάτων (IVL Swedish Environmental Institute, 2017). Η ιεραρχία των αποβλήτων είναι ένα πλαίσιο που στοχεύει να καθοδηγήσει τη διαχείριση των αποβλήτων στον τρόπο λειτουργίας με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο (ibid). Η ιεραρχία των απορριμμάτων απεικονίζεται στο σχήμα Νο.3. Η ιεραρχία δηλώνει ότι η αποφυγή της δημιουργίας απορριμμάτων είναι η πρώτη προτεραιότητα, ακολουθούμενη από την επαναχρησιμοποίηση και στη συνέχεια την ανακύκλωση με ανάκτηση ενέργειας και τέλος τους ΧΥΤΑ (ibid). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε μια κυκλική οικονομία η εστίαση είναι στην πρόληψη και ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων μέσω κυκλικών σχεδίων και επαναχρησιμοποίησης, πριν από την ανακύκλωση, την ανάκτηση ενέργειας και την υγειονομική ταφή (IVL Swedish Environmental Institute, 2017, Stahel, 2016, TU Delft, 2017, Ellen MacArthur Foundation (2015a Zhijun & Nailing, 2007).



**Εικόνα 2: Στην εικόνα2 από το EPA (2017) απεικονίζεται η ιεραρχία των απορριμμάτων με τον πιο ιεραρχημένο τρόπο διαχείρισης απορριμμάτων που παρουσιάζεται στην κορυφή (πρόληψη) και τον τρόπο με τη λιγότερη προτεραιότητα στο κάτω μέρος (χωματερή)**

Για να εξηγηθεί η έννοια της κυκλικής οικονομίας, είναι απαραίτητο να εξηγηθεί η προέλευσή της. Η έννοια της κυκλικής οικονομίας έχει προκύψει από προηγούμενες ιδέες και ακαδημαϊκούς κλάδους στο πλαίσιο της βιωσιμότητας, όπως η βιομηχανική οικολογία, το λίκνο με το λίκνο και η βιομimικότητα (TU Delft, 2017). Το Σχήμα Νο.4 περιγράφει τις έννοιες εν συντομία.

Για να εξηγήσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες, η βιομηχανική οικολογία αναφέρεται στις ροές υλικών και ενέργειας μέσω βιομηχανικών συστημάτων (TU Delft, 2017). Οι Allenby και Richards (1994) ορίζουν τη βιομηχανική οικολογία ως την οικολογία που εμπνέεται από βιολογικά οικοσυστήματα τα οποία είναι αποτελεσματικά στην ανακύκλωση και βασίζουν τη βιομηχανική δραστηριότητα σε μη ανθρώπινα βιολογικά οικοσυστήματα (Πανεπιστήμιο Yale, 2017). Με αυτόν τον τρόπο, όπως τα απόβλητα στη φύση μετενσαρκώνονται και ανακυκλώνονται σε νέα προϊόντα, η έννοια των βιομηχανικών οικοσυστημάτων περιγράφει ότι τα απόβλητα από τη μια παραγωγή θα πρέπει να γίνονται εισροή στην άλλη (Lowe & Evans, 1995). Ένα παράδειγμα στο φωτισμό είναι η χρησιμοποίηση του glass cullet από τους λαμπτήρες φθορισμού σαν υλικό πρόσμιξης στην ασφαλτοβιομηχανία. Πολλοί βιομηχανικοί οικολόγοι αναφέρονται στην ιδέα που ξεκίνησε

ήδη από το 1969 (Πανεπιστήμιο Yale, 2017). Σύμφωνα με τον TU Delft (2017), η διαφορά μεταξύ της βιομηχανικής οικολογίας και της κυκλικής οικονομίας είναι ότι η πρώτη είναι περισσότερο ακαδημαϊκό πεδίο και η δεύτερη αφορά σε μεγαλύτερο βαθμό τις επιχειρήσεις και την οικονομία.

Επιπλέον, η κυκλική οικονομία έχει τις ρίζες της στην έννοια του cradle-to-cradle. Το *Cradle-to-Cradle* εφευρέθηκε από τον Stahel το 1970 (TU Delft, 2017). Για να εξηγηθεί η έννοια αυτή, είναι απαραίτητο να εξηγηθεί η διάρκεια ζωής και ο κύκλος ζωής του προϊόντος. Η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος με τους γραμμικούς τρόπους διεξαγωγής της επιχείρησης συνήθως υποδηλώνεται με τη γέννηση μέχρι το τέλος της ζωής (απόρριψη) ενός προϊόντος, περιγράφοντας τον κύκλο από το λίκνο μέχρι τον τάφο (Korpinina, 2017).

Σύμφωνα με τον Korpinina (2017), η έννοια του cradle-to-grave χρησιμοποιείται στο επιχειρηματικό περιβάλλον περιγράφοντας πώς οι εταιρείες φροντίζουν τα απόβλητά τους, δηλαδή πώς αντιμετωπίζουν τα επικίνδυνα απόβλητα και την απόδοση του προϊόντος. Ωστόσο, σε ένα σενάριο κυκλικής οικονομίας, ο κύκλος ζωής στο στάδιο της χρήσης επεκτείνεται για να περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση, την ανακαίνιση ή την ανακύκλωση που υποδηλώνει τον κύκλο από την δημιουργία στο τέλος ζωής (TU Delft, 2017). Από λίκνο σε λίκνο περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής χωρίς απόβλητα που σημαίνει ότι η εισροή μπορεί είτε να ανακυκλωθεί είτε να επαναχρησιμοποιηθεί, χωρίς να παρεμποδιστεί η ποιότητα (TU Delft, 2017).

Η κυκλική οικονομία πηγάζει επίσης από την έννοια της βιομίμησης (Circle Economy, 2017a). Βιομίμηση σημαίνει μίμηση του τρόπου της φύσης, δηλαδή ακολουθώντας τη λογική των φυσικών Κύκλων Ζωής και της ποικιλομορφίας της φύσης (Benyus, 1997). Η βιομίμηση βλέπει τα οικοσυστήματα της φύσης ως σύνθετες κοινωνίες ζωντανών όντων, μέρος του κύκλου της ζωής και προσαρμοσμένες στο περιβάλλον (Benyus, 1997, TU Delft, 2017). Βιομιμητικότητα σημαίνει μίμηση αυτών των οικοσυστημάτων στις ανθρώπινες βιομηχανίες και, επομένως, διδαχή από τον τρόπο που κάνει τα πράγματα η φύση (ibid).

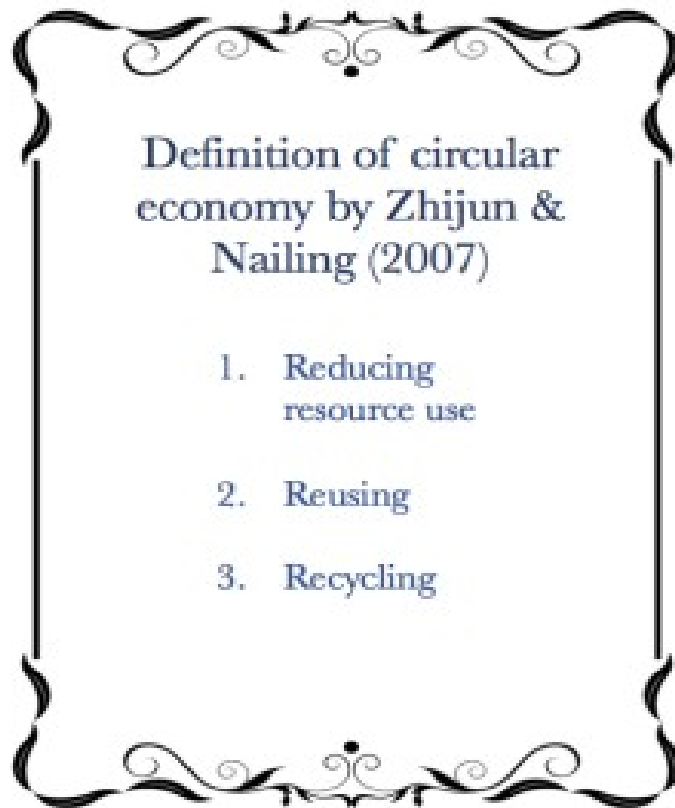
Το Ινστιτούτο Biomimicry (2017) ορίζει την έννοια ως: «Μια προσέγγιση στην καινοτομία που αναζητά βιώσιμες λύσεις στις ανθρώπινες προκλήσεις, μιμούμενος τα δοκιμασμένα στο χρόνο πρότυπα και στρατηγικές της φύσης». Παρόλο που η κυκλική οικονομία πηγάζει από άλλους κλάδους, η έννοια από μόνη της είναι σύμφωνα με αρκετούς ερευνητές πολύπλοκη για να επικοινωνήσει με σωστό και κατανοητό τρόπο (Allenby & Richards 1994).

Διαφορετικοί ερευνητές εξηγούν έτσι την κυκλική οικονομία με ελαφρώς διαφορετικούς τρόπους. Ως εκ τούτου, παρουσιάζονται εδώ διάφορες εξηγήσεις ερευνητών για την έννοια. Αρχικά, οι Zhijun και Nailong χρησιμοποιούν έναν ορισμό της κυκλικής οικονομίας στο Sustainable Science (2007). Γράφουν ότι η κυκλική οικονομία μπορεί να οικοδομηθεί σε τρεις αρχές.

(1) μείωση της χρήσης πόρων - ελαχιστοποίηση της χρήσης πρώτων υλών και ενέργειας καθώς και μείωση της ρύπανσης,

(2) επαναχρησιμοποίηση - χρήση του προϊόντος για άλλες εφαρμογές μετά την προέλευσή του στην εθνική κατανάλωση και με αυτόν τον τρόπο αποφυγή σπατάλης και

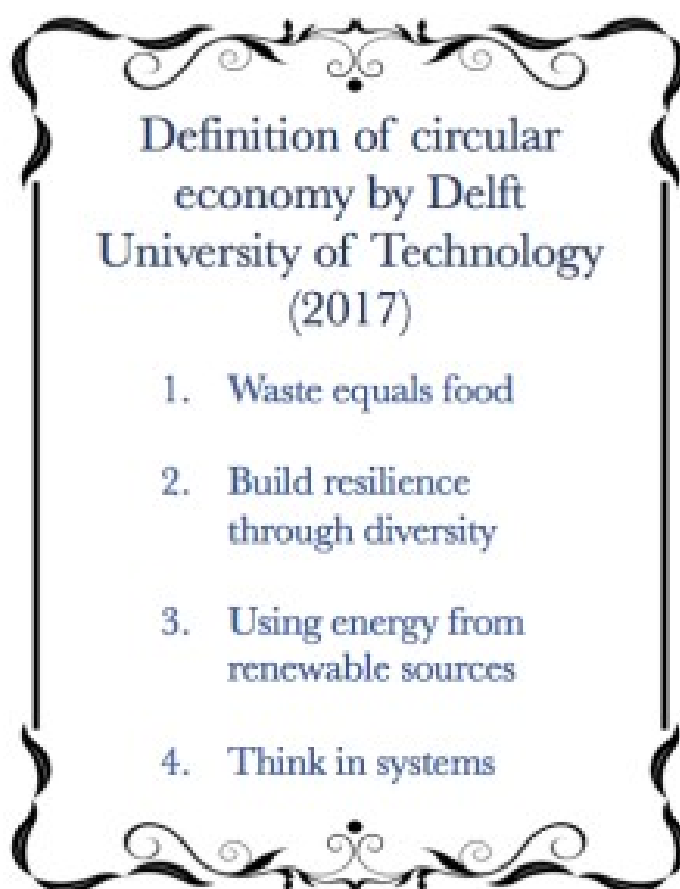
(3) ανακύκλωση - χρήση του προϊόντος πολλές φορές.



**Εικόνα 3:** Το σχήμα παρουσιάζει τον ορισμό της κυκλικής οικονομίας των Zhijun και Nailing (2007).

Ένας άλλος ορισμός του TU Delft (2017), αντίθετα, βασίζει την έννοια σε τέσσερις αρχές, ως εξής

- (1) Τα απόβλητα ισοδυναμούν με τρόφιμα - τα απόβλητα μπορούν και πρέπει να μετατραπούν σε αξία,
- (2) Δημιουργία ανθεκτικότητας μέσω της διαφορετικότητας - μια μεγαλύτερη βιοποικιλότητα υποστηρίζει ένα σύστημα και επιτρέπει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα,
- (3) Χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές,
- (4) Σκέψη σε συστήματα - δείτε όλες τις πιθανές συνδέσεις, όπως αυτές μεταξύ επιχειρήσεων, ανθρώπων και φυτών και έτσι δημιουργήστε ευκαιρίες.



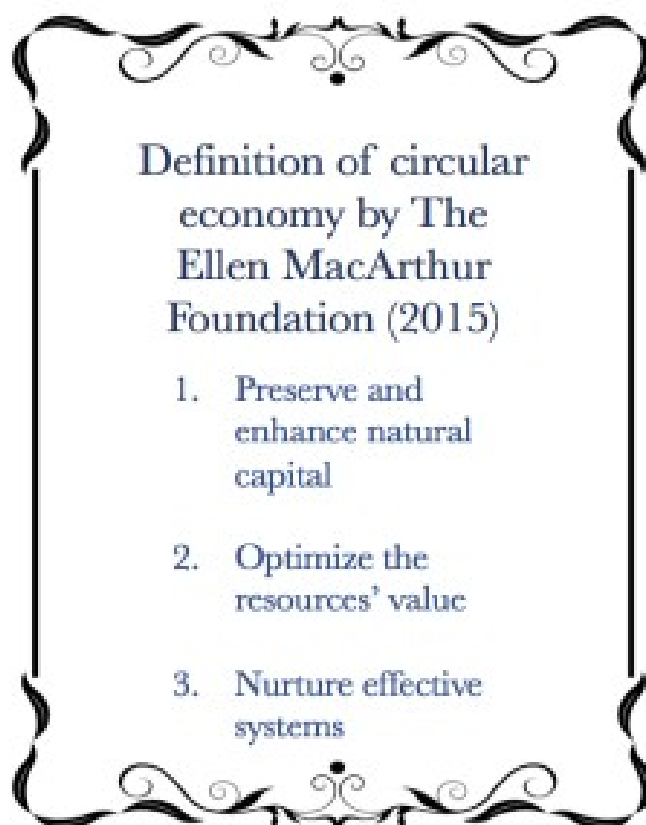
**Εικόνα 4:** Το σχήμα παρουσιάζει τον ορισμό της κυκλικής οικονομίας του TU Delft που παρουσιάζεται στο *Circular Economy, An Introduction* (2017).

Επιπλέον, το Ίδρυμα Ellen MacArthur (2015a) που είναι ο παγκόσμιος ηγέτης της σκέψης για την επιτάχυνση της μετάβασης προς μια κυκλική οικονομία, εξηγεί την κυκλική οικονομία με έναν άλλο τρόπο, μέσω τριών αρχών.

(1) Διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου - ελαχιστοποίηση της χρήσης πεπερασμένων πόρων και αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πόρων,

(2) Βελτιστοποίηση της αξίας των πόρων - βρόχος προϊόντων, εξαρτημάτων και υλικών και διατήρησή τους στην «...τη διατήρηση της υψηλότερης δυνατής χρησιμότητας και αξίας των προϊόντων, των εξαρτημάτων και των υλικών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους...». (Ίδρυμα Ellen MacArthur, 2015a),

(3) Nurture Effective Systems - εξάλειψη των αρνητικών εξωτερικών παραγόντων όπως το νερό, ο αέρας, το έδαφος, οι τοξίνες, η κλιματική αλλαγή και οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με τη χρήση πόρων.



**Εικόνα 5: Ορισμός της κυκλικής οικονομίας σύμφωνα με το Ίδρυμα Ellen MacArthur (2015)**

#### 1.9.2. Λόγοι Εφαρμογής της Κυκλικής Οικονομίας

Στη δεκαετία του 1960, ο Kenneth Boulding (1966) άρχισε να συζητά την ανάγκη σύνδεσης της οικονομίας με το κυκλικό οικολογικό σύστημα. Στη συνέχεια, τη δεκαετία του 1970, ο Walter Stahel, αρχιτέκτονας και οικονομολόγος, συζήτησε την ανάγκη δημιουργίας μιας οικονομίας βασισμένης σε ένα σύστημα σπειροειδούς βρόχου, μια οικονομία που αναπληρώνεται μόνος του (Stahel 1982). Οι σκέψεις του συλλήφθηκαν αργότερα από τον χημικό Braungart και τον αρχιτέκτονα McDonough που λανσάρισαν με επιτυχία την έννοια του Cradle to Cradle (C2C) το 2002 (Braungart and McDonough 2008).

Ο Stahel επινόησε αργότερα τον όρο οικονομία της απόδοσης, διακρίνοντας «μεταξύ παραγωγής απόδοσης, απόδοσης πώλησης (αντί αγαθών) και διατήρησης της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου (η κυκλική οικονομία)». Ήταν ωστόσο δύο περιβαλλοντικοί οικονομολόγοι, ο Pearce και Turner, οι οποίοι ήταν οι πρώτοι που επινόησαν τον όρο κυκλική οικονομία στα γραπτά τους «Οικονομικά των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος» στις αρχές της δεκαετίας του 1990. (Li 2010) «Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας χρησιμοποιεί τη λειτουργία των οικοσυστημάτων ως παράδειγμα για βιομηχανικές διαδικασίες, δίνοντας έμφαση στη στροφή προς οικολογικά υγιή προϊόντα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας». (Kopnina & Blewitt 2015, σελ. 21).

Η κυκλική οικονομία επομένως, όπως και πολλές άλλες καινοτόμες ιδέες, στην πραγματικότητα δεν είναι νέες, αλλά μάλλον επανεισαγόμενες ιδέες που παρουσιάζονται ως

προοδευτική παρέμβαση, ως στρατηγική, προκειμένου να είναι προσοδοφόρα και να αποκτήσουν δημοτικότητα. (Korpinina & Blewitt 2015).

Όπως χρησιμοποιείται σήμερα, το CE είναι μια σύνθεση των προαναφερθέντων και πολλών υποκείμενων ιδεών που συγκεντρώνονται σε μια έννοια ομπρέλα. Περιλαμβάνει για παράδειγμα έννοιες όπως Cradle-to-Cradle, biomimicry, απόδοση/οικονομία κοινής χρήσης και γνώσεις από τη βιομηχανική οικολογία. (EMAF 2013) Ο Stahel υποστηρίζει ότι η κυκλική οικονομία πρέπει να θεωρείται πλαίσιο: ως γενική έννοια, η κυκλική οικονομία βασίζεται σε πολλές πιο συγκεκριμένες προσεγγίσεις που έλκονται γύρω από ένα σύνολο βασικών αρχών. (EMAF 2015b)

### 1.9.3. Βιομιμητισμός

Η βιομίμηση είναι μια μεθοδολογία αντιγραφής ή μίμησης της φύσης σε κλίμακα. Ορίζεται ως «μια προσέγγιση στην καινοτομία που αναζητά βιώσιμες λύσεις στις ανθρώπινες προκλήσεις μιμούμενη τα δοκιμασμένα πρότυπα και στρατηγικές της φύσης» (Benyus, 2002). Θα μπορούσε να είναι για παράδειγμα η κατασκευή κτιρίων με φυσικό αερισμό και ηλιακή θέρμανση εμπνευσμένη από αποικίες τερμιτών ή μικρότερες προκλήσεις ως προς το πώς να σχεδιάσετε και να κατασκευάσετε ένα υδατοαπωθητικό υλικό με φύλλα ή ζώδια ως μοντέλα. (Benyus, 2002) Η βιομιμητική (Biomimicry) βασίζεται σε τρεις βασικές αρχές (EMFA 2015b):

- ✓ Η φύση ως μέτρο: χρήση οικολογικών προτύπων για τη μέτρηση και την κρίση της βιωσιμότητας καινοτομιών και σχεδίων.
- ✓ Η φύση ως μέντορας: αρκεί κοιτάξουμε τη φύση με την έννοια του τι μπορούμε να μάθουμε από αυτήν και όχι τι μπορούμε να αντλήσουμε και να κερδίσουμε από τους πόρους.
- ✓ Η φύση ως μοντέλο: μελέτη φυσικών συστημάτων για να έχουμε ως μοντέλο για μορφές, διαδικασίες, συστήματα και στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων. (Ortu 2014-12-17)

Για παράδειγμα, η δημιουργία νέου σχεδιασμού με τη μίμηση της φύσης θα μπορούσε να σημαίνει επιστροφή σε τεχνικές που χρησιμοποιούσαμε και γνωρίζουμε πολύ πίσω στο χρόνο, αλλά τις οποίες εγκαταλείψαμε για πιο σύγχρονες και φαινομενικά αποτελεσματικές μεθόδους και υλικά. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να (ξανα)ξεκινήσει να χρησιμοποιεί το έδαφος και τα φυτά ως οικοσύστημα ψύξης και θέρμανσης σε κάθε σπίτι. (Braungart & McDonough, 2008, σελ. 83)

### 1.9.4. Απόδοση και Οικονομία Διαμοιρασμού

Η μετάβαση προς την Κυκλική Οικονομία προϋποθέτει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο παράγονται, διατίθενται και χρησιμοποιούνται τα προϊόντα. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μετατόπιση από τα παραδοσιακά μοντέλα ιδιοκτησίας σε μοντέλα παροχής υπηρεσιών και πρόσβασης. Σύμφωνα με το Ίδρυμα Ellen MacArthur (EMAF, 2013), οι καταναλωτές μπορούν να καλύπτουν τις ανάγκες τους μέσω υπηρεσιών που παρέχουν πρόσβαση στη χρήση ενός προϊόντος χωρίς να απαιτείται η κατοχή του.

Παραδείγματα τέτοιων προσεγγίσεων αποτελούν τα συστήματα ενοικίασης, χρηματοδοτικής μίσθωσης, επιστροφής και επαναχρησιμοποίησης προϊόντων.

Η υιοθέτηση μοντέλων προϊόντος-υπηρεσίας (Product-Service Systems) συμβάλλει στη διατήρηση των υλικών εντός του παραγωγικού κύκλου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Όταν ο κατασκευαστής διατηρεί την ευθύνη του προϊόντος και μετά τη χρήση του, αποκτά κίνητρο να σχεδιάζει προϊόντα μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, τα οποία μπορούν να επισκευαστούν, να ανακατασκευαστούν ή να ανακυκλωθούν αποτελεσματικά. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η ανάκτηση πολύτιμων υλικών και μειώνεται η κατανάλωση νέων πόρων (Braungart & McDonough, 2008· Stahel, 2010).

Παράλληλα, η συνεργατική κατανάλωση και η οικονομία διαμοιρασμού αποτελούν πρακτικές που ενισχύουν την αποδοτικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Οι πρακτικές αυτές βασίζονται στην κοινή χρήση, την ανταλλαγή, τον δανεισμό ή την ενοικίαση αγαθών μεταξύ χρηστών, μειώνοντας την ανάγκη για αγορά νέων προϊόντων (Botsman & Rogers, 2010). Επιπλέον, η ανάπτυξη τέτοιων μορφών κατανάλωσης ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ των μελών της κοινωνίας και συμβάλλει στη δημιουργία ισχυρότερων κοινοτικών δεσμών, προσδίδοντας κοινωνική διάσταση στις αρχές της Κυκλικής Οικονομίας (Axelsson, 2014).

#### 1.9.5. Cradle to Cradle

Η προσέγγιση **Cradle to Cradle (C2C)** αποτελεί μία από τις σημαντικότερες θεωρητικές βάσεις της Κυκλικής Οικονομίας. Αναπτύχθηκε από τους Braungart και McDonough και βασίζεται στην ιδέα ότι τα προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε, μετά το τέλος της χρήσης τους, να μπορούν να επανεντάσσονται σε νέους κύκλους αξιοποίησης χωρίς να παράγονται απόβλητα. Η φιλοσοφία αυτή διαφοροποιείται από το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης («παίρνω-παράγω-απορρίπτω») και προωθεί τη διατήρηση της αξίας των υλικών για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Braungart & McDonough, 2008· EMAF, 2013).

Σύμφωνα με την προσέγγιση Cradle to Cradle, τα φυσικά οικοσυστήματα λειτουργούν μέσω συνεχών κύκλων μετασχηματισμού, όπου τα υπολείμματα μίας διαδικασίας αποτελούν πρώτη ύλη για μία άλλη. Αντίθετα, τα σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα βασίζονται κυρίως σε γραμμικές ροές υλικών, οι οποίες οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση φυσικών πόρων και παραγωγή αποβλήτων. Για τον λόγο αυτό, το μοντέλο C2C επιδιώκει την υιοθέτηση παραγωγικών συστημάτων που μιμούνται τη λειτουργία της φύσης και διατηρούν τα υλικά σε διαρκή κυκλοφορία (Braungart & McDonough, 2008).

Κεντρική έννοια της προσέγγισης αποτελεί η **οικολογική αποτελεσματικότητα (eco-effectiveness)**. Η έννοια αυτή διαφοροποιείται από την οικολογική αποδοτικότητα (eco-efficiency), η οποία επικεντρώνεται κυρίως στη μείωση της κατανάλωσης πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η οικολογική αποτελεσματικότητα δίνει έμφαση στον σχεδιασμό προϊόντων και διαδικασιών που δημιουργούν θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση των υλικών χωρίς απώλεια της ποιότητάς τους. Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται η δημιουργία συστημάτων που δεν περιορίζουν απλώς τη ζημία προς το περιβάλλον αλλά συμβάλλουν ενεργά στη διατήρηση και αναγέννηση των φυσικών πόρων (Braungart et al., 2006· Braungart & McDonough, 2008).

Βασική αρχή του μοντέλου είναι ο διαχωρισμός των υλικών σε δύο κύριες κατηγορίες: τα **βιολογικά θρεπτικά συστατικά (biological nutrients)** και τα **τεχνικά θρεπτικά συστατικά (technical nutrients)**. Τα βιολογικά θρεπτικά συστατικά περιλαμβάνουν υλικά που μπορούν να επιστρέψουν με ασφάλεια στο φυσικό περιβάλλον μετά τη χρήση τους και να ενταχθούν στους φυσικούς βιολογικούς κύκλους. Αντίθετα, τα τεχνικά θρεπτικά συστατικά αφορούν υλικά που έχουν σχεδιαστεί ώστε να επαναχρησιμοποιούνται, να ανακατασκευάζονται ή να ανακυκλώνονται επανειλημμένα χωρίς σημαντική υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους. Η διάκριση αυτή θεωρείται θεμελιώδης για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας, καθώς συμβάλλει στη μείωση της παραγωγής αποβλήτων και στη διατήρηση των πόρων εντός του παραγωγικού συστήματος (Braungart & McDonough, 2008).

Η επιτυχία του μοντέλου Cradle to Cradle εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο σχεδιασμού των προϊόντων. Τα προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται εξ αρχής με γνώμονα την αποσυναρμολόγηση, την επισκευή, την αναβάθμιση και την ανάκτηση των επιμέρους υλικών τους. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη διατήρηση της αξίας των πρώτων υλών και μειώνει την ανάγκη εξόρυξης νέων φυσικών πόρων. Παράλληλα, περιορίζει τις απώλειες υλικών που παρατηρούνται συχνά κατά τις συμβατικές διαδικασίες ανακύκλωσης (Braungart et al., 2006).

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο της θεωρίας είναι η έμφαση στη διαφορετικότητα και στην προσαρμογή των συστημάτων στις τοπικές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Braungart και McDonough (2008), δεν υπάρχει μία ενιαία λύση που να μπορεί να εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο σε κάθε περιοχή. Αντίθετα, τα προϊόντα, οι τεχνολογίες και οι διαδικασίες θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες κάθε τόπου. Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στην προστασία της βιοποικιλότητας και στη δημιουργία πιο ανθεκτικών συστημάτων παραγωγής και κατανάλωσης.

Παράλληλα, ο Webster (2013) υποστηρίζει ότι η διαφορετικότητα αποτελεί βασικό παράγοντα ανθεκτικότητας των οικονομικών και παραγωγικών συστημάτων. Η υπερβολική έμφαση στην τυποποίηση και στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας μπορεί να οδηγήσει σε ευάλωτες δομές που δυσκολεύονται να προσαρμοστούν σε μεταβολές ή κρίσεις. Αντίθετα, η ύπαρξη εναλλακτικών ροών υλικών, τεχνολογιών και διαδικασιών ενισχύει την προσαρμοστικότητα και τη μακροχρόνια βιωσιμότητα των συστημάτων.

Συνολικά, το μοντέλο Cradle to Cradle αποτελεί μία ολοκληρωμένη προσέγγιση σχεδιασμού προϊόντων και διαχείρισης πόρων, η οποία επιδιώκει τη διατήρηση της αξίας των υλικών μέσω συνεχών κύκλων χρήσης. Οι αρχές του έχουν επηρεάσει σημαντικά τη διαμόρφωση της σύγχρονης θεωρίας της Κυκλικής Οικονομίας και χρησιμοποιούνται ευρέως ως βάση για την ανάπτυξη βιώσιμων παραγωγικών συστημάτων που συνδυάζουν περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη (EMAF, 2013· Webster, 2013).

#### 1.9.6. Κυκλική οικονομία στους λαμπτήρες, εφαρμοζόμενες στρατηγικές και προοπτικές

Η μετάβαση στον φωτισμό με χρήση λαμπτήρων τύπου Light Emitting Diode (LED) αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, αλλά η τεχνολογία αυτή από μόνη της δεν εξασφαλίζει την πλήρη εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στον τομέα του φωτισμού. Σύμφωνα με την έννοια της κυκλικής οικονομίας, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης πόρων, η μακροχρόνια χρήση των προϊόντων, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση («slowing, closing, narrowing» των ροών υλικών) (Beu, Ciugudeanu & Buzdugan, 2018). Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των LED λαμπτήρων – σε σχέση με τους παλαιότερους τύπους – είναι αναμφισβήτητη, όμως η σημασία της σχεδίασης με βάση την κυκλική οικονομία παραμένει υποτονική (Beu et al., 2018).

Η σχεδίαση των λαμπτήρων LED χρειάζεται να ενσωματώνει από την αρχή την ευκολία αποσυναρμολόγησης, επισκευής, αναβάθμισης και ανακύκλωσης. Η έρευνα δείχνει πως πολλές λύσεις retrofit σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις δεν προέβλεψαν δυνατότητες μελλοντικής αναβάθμισης ή αποσυναρμολόγησης, γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητες ανακυκλωσιμότητας των υλικών (Beu et al., 2018). Επιπλέον, η μακρά διάρκεια ζωής των LED λαμπτήρων μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένη εισροή αποβλήτων, γεγονός που δημιουργεί προκλήσεις στην αποδοτική συλλογή και επεξεργασία τους (Gassmann et al., 2016).

Η έννοια της κυκλικής οικονομίας στον φωτισμό δεν αφορά αποκλειστικά την τεχνολογία των λαμπτήρων, αλλά ολόκληρο τον κύκλο ζωής: από την εξαγωγή πρώτων υλών, τη παραγωγή, τη χρήση, τη συντήρηση έως τη φάση του τέλους ζωής (LCA – Life Cycle Assessment). Μια συστηματική ανασκόπηση της έρευνας αναδεικνύει πως η έμφαση έχει επικεντρωθεί στην αποδοτικότητα και λιγότερο στην επαναχρησιμοποίηση και το κλείσιμο των κύκλων των υλικών (Chen et al., 2025). Ειδικότερα, η συλλογή δεδομένων και η θεώρηση της αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης λαμπτήρων φωτισμού ως κρίσιμο στοιχείο της κυκλικής οικονομίας εμφανίζεται ως ερευνητικό κενό (Chen et al., 2025).

Η χρήση υλικών κρίσιμης σημασίας όπως σπάνιες γαίες, ημιαγωγοί και πολύτιμα μέταλλα σε λαμπτήρες LED επισημαίνει την αναγκαιότητα σχεδιασμού για ανάκτηση και ανακύκλωση. Σύμφωνα με στοιχεία, ενώ τα εξαρτήματα αυτά αποτελούν μικρό ποσοστό της μάζας του λαμπτήρα, η παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα οδηγεί σε σημαντικές συνολικές ποσότητες και απαιτείται στρατηγική αντιμετώπισης (Gassmann et al., 2016). Η έλλειψη κατάλληλων μεθόδων αποσύνθεσης και ανάκτησης ειδικών υλικών από λαμπτήρες LED υπογραμμίζει την ανάγκη για «σχεδίαση με τέλος ζωής στο μυαλό» (Gassmann et al., 2016).

Η ανακατασκευή (remanufacturing) και η αναβάθμιση (upgrading) λαμπτήρων στον τομέα του φωτισμού μπορούν να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μείωση αποβλήτων. Σε περιπτώσεις όπου οι λαμπτήρες σχεδιάζονται ώστε να επιδέχονται μετατροπές ή αύξηση λειτουργιών, η κυκλική οικονομία ενισχύεται. Είναι ωστόσο σύνηθες να βλέπουμε ότι οι λαμπτήρες LED ενσωματώνουν συστήματα που δεν είναι σχεδιασμένα για επισκευή ή αναβάθμιση, γεγονός που περιορίζει την αποδοτική εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας (Beu et al., 2018).

Η μετάβαση από το κλασικό μοντέλο «παίρνω-κατασκευάζω-χρησιμοποιώ-απορρίπτω» στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας στον φωτισμό απαιτεί τη συνεργασία μεταξύ κατασκευαστών, διανομέων, χρηστών και φορέων ανακύκλωσης. Η υιοθέτηση στρατηγικών όπως η υπεύθυνη παραγωγή, η επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, η επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων, και η ανακύκλωση, μπορεί να ενισχυθεί μέσα από

πολιτικές, κανονισμούς και οικονομικά κίνητρα (Beu et al., 2018; Chen et al., 2025). Η υιοθέτηση μοντέλων «Lighting as a Service» (LaaS) αποτελεί επίσης μια πρακτική προσέγγιση για την κυκλική οικονομία στο φωτισμό, καθώς μεταμορφώνει το προϊόν σε υπηρεσία και ενθαρρύνει τη μακροχρόνια χρήση (Chen et al., 2025).

Η οικονομική διάσταση της κυκλικής παραγωγής λαμπτήρων είναι εξίσου κρίσιμη: έρευνα σε εταιρείες παραγωγής λαμπτήρων LED υποδεικνύει ότι ο δείκτης κυκλικότητας (circularity index) επηρεάζει το κόστος, τη ζήτηση και την τιμολόγηση των προϊόντων LED (John & Mishra, 2023). Συγκεκριμένα, η ένταξη τεχνολογιών πράσινης παραγωγής και πολιτικών άνθρακα είναι παράγοντες που ενισχύουν την οικονομική βιωσιμότητα ενός κυκλικού παραγωγικού συστήματος (John & Mishra, 2023). Ο σχεδιασμός που σκέφτεται εξ' αρχής τον κύκλο ζωής και την ανάκτηση υλικών, μπορεί να προσφέρει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, να ενισχύσει τη φήμη της εταιρείας και να μειώσει περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής (LCA) λαμπτήρων LED και συστημάτων φωτισμού είναι απαραίτητη για την κατανόηση των περιβαλλοντικών ωφελειών και εμποδίων της κυκλικής οικονομίας. Μελέτες LCA επισημαίνουν ότι η κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρήση αποτελεί το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό φορτίο, αλλά και η φάση της τελικής απόρριψης/ανακύκλωσης έχει σημαντικές επιπτώσεις (Beu et al., 2018). Η υπόθεση ότι απλώς η τεχνολογία LED αφ' εαυτής λύνει όλα τα περιβαλλοντικά προβλήματα δεν είναι επαρκής: απαιτείται ολιστική προσέγγιση που περιλαμβάνει σχεδίαση, χρήση, συντήρηση και τέλος ζωής.

Η καλή συλλογή και διαλογή στο τέλος ζωής είναι κρίσιμης σημασίας προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα πολύτιμα υλικά των LED δεν χάνονται. Η έλλειψη υποδομών ή οι μη κατάλληλες διαδικασίες ανακύκλωσης μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια σημαντικών πόρων και αύξηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Για παράδειγμα, όταν λαμπτήρες LED απορρίπτονται ως κοινά απορρίμματα ή δεν διαχωρίζονται σωστά, τα πολύτιμα μέταλλα και οι σπάνιες γαίες μπορεί να καταλήξουν σε κόκκινη μοίρα (Gassmann et al., 2016).

Η ευκαιρία για καινοτομία στον τομέα του φωτισμού με βάση την κυκλική οικονομία είναι σημαντική: σχεδιαστικά πρότυπα που ενσωματώνουν επισκευασιμότητα, δυνατότητα αναβάθμισης, ανακατασκευή και εύκολη ανακύκλωση μπορούν να αποτελέσουν μέσο μετάβασης σε βιώσιμα συστήματα φωτισμού. Η υιοθέτηση ψηφιακών εργαλείων, έξυπνων συστημάτων και υπηρεσιών συντήρησης (predictive maintenance) ενισχύει επιπλέον την αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής των συστημάτων φωτισμού (Chen et al., 2025).

Καταλήγοντας, η μετάβαση σε φωτισμό με λαμπτήρες LED προσφέρει σαφή ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά η πλήρης αξιοποίηση της κυκλικής οικονομίας στον πρακτικό τομέα απαιτεί αλλαγές στη σχεδίαση, στη λειτουργία και στη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων. Μια στρατηγική που περιλαμβάνει μακροχρόνια χρήση, επαναχρησιμοποίηση, ανακατασκευή, ανακύκλωση και υπηρεσίες «φωτισμού ως υπηρεσία» μπορεί να ενισχύσει τη βιωσιμότητα, να μειώσει την κατανάλωση πόρων και να περιορίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## 2. Λαμπτήρες φωτισμού

### 2.1. Λαμπτήρες Φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης χαμηλής πίεσης, στους οποίους χρησιμοποιείται υδράργυρος. Η παραγωγή φωτός βασίζεται στην εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας από ηλεκτρική εκκένωση μέσα στο αέριο, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ορατό φως μέσω φθορίζουσών επιστρώσεων που καλύπτουν το εσωτερικό του σωλήνα.

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα φθορισμού περιλαμβάνουν τα ηλεκτρόδια, το αέριο πλήρωσης, τις φθορίζουσες επιστρώσεις (φωσφόρους) και τους κάλυκες.

Τα ηλεκτρόδια αποτελούν πηγές εκπομπής ηλεκτρονίων και κατασκευάζονται συνήθως από βολφράμιο. Για τη βελτίωση της απόδοσής τους επικαλύπτονται με ειδικά μίγματα οξειδίων αλκαλικών γαιών, τα οποία ενισχύουν την εκπομπή ηλεκτρονίων και διευκολύνουν τη δημιουργία της εκκένωσης.

Η λειτουργία του λαμπτήρα εξαρτάται από την ηλεκτρική εκκένωση που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, αποτέλεσμα του ιονισμού των ατμών υδραργύρου. Παράλληλα, χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα αερίου πλήρωσης σε χαμηλή πίεση, όπως αργό ή μίγματα αργού-νέον ή κρυπτό, με σκοπό τη σταθεροποίηση και τη διευκόλυνση της εκκίνησης της εκκένωσης.

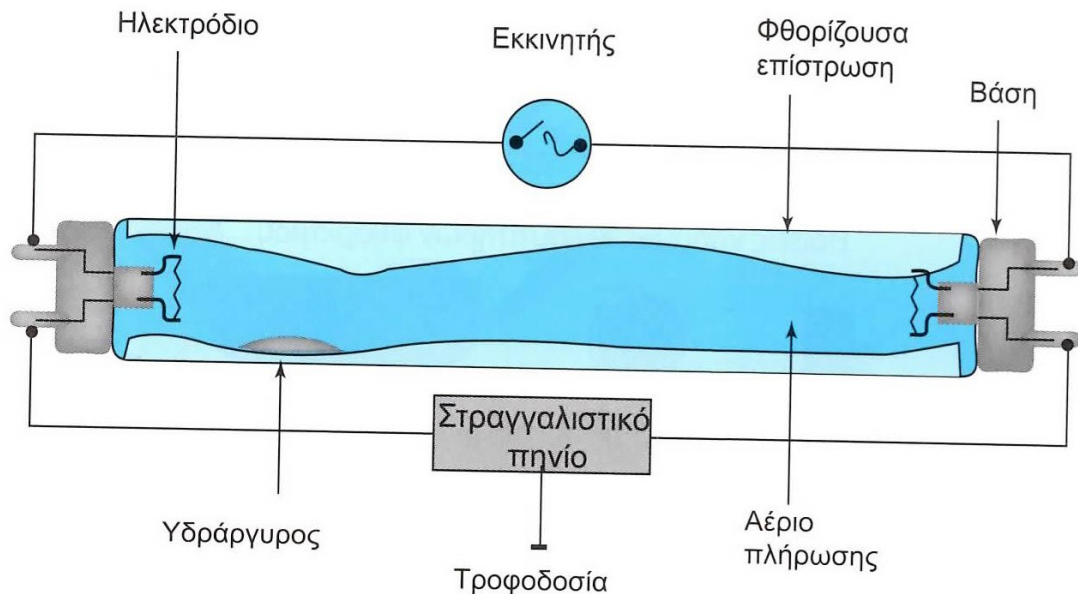
Οι φθορίζουσες επιστρώσεις αποτελούν βασικό λειτουργικό στοιχείο, καθώς είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή της υπεριώδους ακτινοβολίας σε ορατό φως. Οι φωσφόροι εφαρμόζονται στο εσωτερικό τοίχωμα του γυάλινου σωλήνα και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου φωτός.

Οι κάλυκες, πέρα από τη μηχανική στήριξη του λαμπτήρα, εξασφαλίζουν και την ηλεκτρική σύνδεση με το κύκλωμα λειτουργίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις ενσωματώνουν βοηθητικά κυκλώματα για την έναυση, ενώ σε άλλες απαιτείται εξωτερικός εξοπλισμός.

Σημαντική παράμετρος για τη σωστή λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού είναι ο προσανατολισμός τους. Η λειτουργία σε οριζόντια θέση θεωρείται καταλληλότερη, καθώς η κατακόρυφη τοποθέτηση μπορεί να προκαλέσει ανομοιόμορφη κατανομή των αερίων και συγκέντρωση του υδραργύρου στο κάτω μέρος, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τη φωτεινή απόδοση και τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

Οι κυριότεροι τύποι λαμπτήρων φθορισμού περιλαμβάνουν:

- Λαμπτήρες τύπου T12, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στη Βόρεια Αμερική μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, πριν σταδιακά αποσυρθούν.
- Λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας, που αναπτύχθηκαν ως απάντηση στην ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970 και χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες απαιτήσεις εκκίνησης.
- Λαμπτήρες τύπου T8, οι οποίοι προσφέρουν βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση και έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τους T12.
- Λαμπτήρες τύπου T5, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλότερη φωτεινότητα και καλύτερο έλεγχο της φωτεινής δέσμης, ενώ λειτουργούν με ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία.



Εικόνα 6: Δομή λαμπτήρα φθορισμού (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

## 2.2. Λαμπτήρες πυράκτωσης

Η λειτουργία των λαμπτήρων πυράκτωσης, είτε πρόκειται για συμβατικούς είτε για αλογόνου, βασίζεται στη θέρμανση ενός μεταλλικού νήματος μέχρι την εκπομπή ακτινοβολίας, μέρος της οποίας βρίσκεται στο ορατό φάσμα. Το νήμα κατασκευάζεται από βολφράμιο, υλικό με ιδιαίτερα υψηλό σημείο τήξης (περίπου 3.400 °C), το οποίο παρουσιάζει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νήματος οδηγεί σε ενίσχυση της εκπεμπόμενης φωτεινής ακτινοβολίας.

Οι νεότεροι λαμπτήρες πυράκτωσης, και ειδικότερα οι λαμπτήρες ιωδίνης, εμφανίζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά, όπως σταθερότερη φωτεινή ροή, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και κατάλληλη θερμοκρασία χρώματος για εφαρμογές εσωτερικού φωτισμού. Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η χρήση των λαμπτήρων πυράκτωσης έχει περιοριστεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, λόγω της απαγόρευσης διάθεσής τους στην αγορά.

Για περισσότερο από έναν αιώνα, οι λαμπτήρες πυράκτωσης αποτέλεσαν την κυρίαρχη τεχνολογία φωτισμού τόσο σε οικιακές όσο και σε επαγγελματικές εφαρμογές. Ωστόσο, η ιδιαίτερα χαμηλή ενεργειακή τους απόδοση –καθώς μόνο ένα μικρό ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας μετατρέπεται σε φως και το μεγαλύτερο μέρος σε θερμότητα– οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στη σταδιακή κατάργησή τους. Μέσω κανονισμών που τέθηκαν σε ισχύ από το 2009, η διάθεσή τους περιορίστηκε και τελικά καταργήθηκε έως το 2012, στο πλαίσιο της ευρύτερης πολιτικής για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009· Eurostat, 2024).

Η αντικατάστασή τους πραγματοποιήθηκε κυρίως από τεχνολογίες υψηλότερης απόδοσης, όπως οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL) και οι λαμπτήρες LED, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και αυξημένη διάρκεια ζωής. Παρά τη διακοπή της παραγωγής τους, σημαντικός αριθμός λαμπτήρων πυράκτωσης παραμένει σε χρήση, γεγονός που οδηγεί στη συνεχιζόμενη παραγωγή αποβλήτων αυτής της κατηγορίας και καθιστά αναγκαία τη σωστή διαχείρισή τους (Οδηγία 2008/98/ΕΚ).

Κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης, το κυριότερο υλικό που ανακτάται είναι το γυαλί, το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές εφαρμογές. Επιπλέον, τα μεταλλικά

μέρη, όπως το σπείρωμα από αλουμίνιο ή χάλυβα, ανακυκλώνονται και επανεντάσσονται στον κύκλο παραγωγής. Αντίθετα, το νήμα βολφραμίου παρουσιάζει περιορισμένες δυνατότητες αξιοποίησης, λόγω της μικρής ποσότητάς του και της δυσκολίας διαχωρισμού του (Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024). Ωστόσο, σε μεγάλη κλίμακα, η συλλογή σημαντικών ποσοτήτων λαμπτήρων επιτρέπει την ανάκτηση χρήσιμων υλικών.

Η σταδιακή απόσυρση των λαμπτήρων πυράκτωσης ανέδειξε τη σημασία της εφαρμογής περιβαλλοντικών πολιτικών που στοχεύουν τόσο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης όσο και στην ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Παρότι οι λαμπτήρες αυτοί δεν περιέχουν επικίνδυνες ουσίες όπως ο υδράργυρος, η μαζική απόρριψή τους μπορεί να επιβαρύνει το περιβάλλον λόγω όγκου αποβλήτων. Η ανάπτυξη οργανωμένων συστημάτων συλλογής, όπως αυτά της «Φωτοκύκλωση Α.Ε.», συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των επιπτώσεων και στην αξιοποίηση των υλικών (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009).

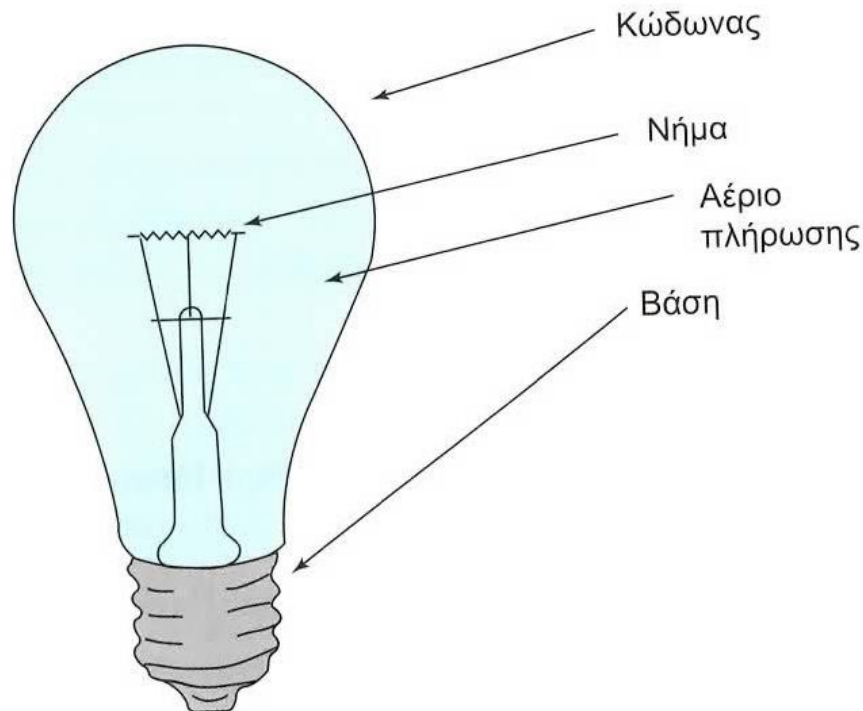
Τα βασικά μέρη ενός λαμπτήρα πυράκτωσης περιλαμβάνουν το νήμα, τον κώδωνα, τον κάλυκα και το αέριο πλήρωσης.

Το νήμα αποτελεί το κύριο στοιχείο παραγωγής φωτός και κατασκευάζεται κυρίως από βολφράμιο, το οποίο αντικατέστησε παλαιότερα υλικά όπως ο άνθρακας, το όσμιο και το ταντάλιο, λόγω των ανώτερων ιδιοτήτων του. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κράματα βολφραμίου με άλλα μέταλλα, όπως το ρήνιο. Η παραγωγή του νήματος περιλαμβάνει ειδικές διαδικασίες συρματοουργίας, με τελικό αποτέλεσμα διαμέτρους μικρότερες από 10 μm. Οι βασικές απαιτήσεις για το υλικό είναι το υψηλό σημείο τήξης, η χαμηλή πίεση ατμών, η αντοχή και η κατάλληλη ηλεκτρική αντίσταση.

Ο κώδωνας αποτελεί το γυάλινο περίβλημα του λαμπτήρα και διαμορφώνεται σε διάφορα σχήματα, όπως σφαιρικό, σωληνωτό ή σχήμα φλόγας. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι διαφορετικών τύπων, όπως μόλυβδος, κοινό ναντράσβεστο γυαλί ή βοριοπυριτικό γυαλί υψηλής αντοχής, ανάλογα με τις απαιτήσεις λειτουργίας.

Ο κάλυκας εξασφαλίζει τόσο τη μηχανική στήριξη όσο και την ηλεκτρική σύνδεση του λαμπτήρα με τη λυχνιολαβή. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι είναι οι βιδωτοί και οι μπαγιονέτ. Η σύνδεση του καλύκα με τον κώδωνα επιτυγχάνεται συνήθως με ειδικό τσιμέντο και θερμική επεξεργασία, αν και σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται ανθεκτικότερα υλικά ή μηχανικές συνδέσεις.

Τέλος, το αέριο πλήρωσης παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του λαμπτήρα. Στους πρώτους λαμπτήρες δημιουργούνταν κενό για την αποφυγή οξείδωσης του νήματος, ενώ στους σύγχρονους χρησιμοποιούνται ευγενή αέρια ή αλογόνα, όπως το ιώδιο. Η παρουσία αυτών των αερίων περιορίζει την εξάχνωση του βολφραμίου και επιτρέπει τη λειτουργία σε υψηλότερες θερμοκρασίες, βελτιώνοντας τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου φωτός.



Εικόνα 7: Δομή λαμπτήρα πυρακτώσεως (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

### 2.3. Λαμπτήρες αλογόνου

Οι λαμπτήρες χαλαζία-ιωδίου, γνωστοί και ως λαμπτήρες αλογόνου, αναπτύχθηκαν με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της διάρκειας ζωής των συμβατικών λαμπτήρων πυράκτωσης. Ένας τυπικός λαμπτήρας αλογόνου παρουσιάζει διάρκεια ζωής περίπου 2.000 ώρες, δηλαδή σχεδόν διπλάσια σε σύγκριση με έναν κοινό λαμπτήρα πυράκτωσης. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους φτάνει περίπου τους  $2.800^{\circ}\text{C}$ , ενώ η φωτεινή τους απόδοση κυμαίνεται κοντά στα  $12 \text{ lm/W}$ .

Η κατασκευή τους χαρακτηρίζεται από σωληνοειδές σχήμα μικρής διαμέτρου, στο εσωτερικό του οποίου το νήμα βολφραμίου είναι τοποθετημένο αξονικά. Το περίβλημα κατασκευάζεται από χαλαζιακό γυαλί, το οποίο μπορεί να αντέξει υψηλές θερμοκρασίες, καθώς κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα η επιφανειακή θερμοκρασία του μπορεί να φτάσει έως και τους  $600^{\circ}\text{C}$ .

Η λειτουργία των λαμπτήρων αλογόνου βασίζεται στον λεγόμενο «κύκλο αλογόνου», μέσω του οποίου το βολφράμιο που εξαχνώνεται από το νήμα επαναποτίθεται σε αυτό. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η εναπόθεση σωματιδίων στο εσωτερικό του γυαλιού, που στους συμβατικούς λαμπτήρες οδηγεί σε μαύρισμα του περιβλήματος, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του νήματος.

Σημαντική παράμετρος για τη σωστή χρήση των λαμπτήρων αλογόνου αποτελεί ο τρόπος χειρισμού τους κατά την τοποθέτηση. Η επαφή του γυαλιού με γυμνά χέρια μπορεί να αφήσει υπολείμματα λιπαρών ουσιών, τα οποία αυξάνουν τοπικά την απορρόφηση θερμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών στην επιφάνεια του λαμπτήρα και ενδέχεται να μειώσει τη διάρκεια ζωής του. Αντίθετα, στους συμβατικούς λαμπτήρες πυράκτωσης το γυάλινο περίβλημα βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από το νήμα, με αποτέλεσμα η επίδραση αυτή να είναι πολύ μικρότερη.

### 2.4. Λαμπτήρες LED

Οι λαμπτήρες LED (Light Emitting Diodes) αποτελούν διατάξεις ημιαγωγών τύπου p-n, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν απευθείας την ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή ακτινοβολία. Η λειτουργία τους βασίζεται στην εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης στα δύο ημιαγωγικά υλικά, με αποτέλεσμα την εκπομπή φωτός μέσω της διαδικασίας της επανασύνδεσης φορέων φορτίου.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των LED είναι η δυνατότητα παραγωγής φωτός σε μεγάλο εύρος φασματικών μηκών κύματος, ανάλογα με τη σύσταση των ημιαγωγικών υλικών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι δίοδοι παραγωγής λευκού φωτός, οι οποίες αποτελούν μία από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα του φωτισμού και θεωρούνται ιδιαίτερα αποδοτική και εξελίξιμη τεχνολογία.

Η παραγωγή λευκού φωτός στα LED επιτυγχάνεται συνήθως μέσω φθορίζουσας επίστρωσης, η οποία εφαρμόζεται σε δίοδους εκπομπής συγκεκριμένου χρώματος, όπως το ιώδες ή το μπλε. Σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες φωτισμού, τα LED δεν εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες υπεριώδους ή υπέρυθρης ακτινοβολίας, γεγονός που τα καθιστά ασφαλέστερα και ενεργειακά αποδοτικότερα. Η φασματική κατανομή του φωτός επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας και την εφαρμοζόμενη τάση.

Τα LED μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τύπους, όπως LED υψηλής έντασης (heterojunction), LED εκπομπής άκρου και LED εκπομπής επιφάνειας, ανάλογα με τη δομή και τον τρόπο εκπομπής της ακτινοβολίας. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους περιλαμβάνουν ενώσεις στοιχείων όπως το γάλλιο, το αρσενικό, το ίνδιο και το φώσφορο, τα οποία προσδίδουν τις κατάλληλες ηλεκτρονικές και οπτικές ιδιότητες.

Η κατασκευή ενός λαμπτήρα LED περιλαμβάνει διάφορα βασικά δομικά στοιχεία.

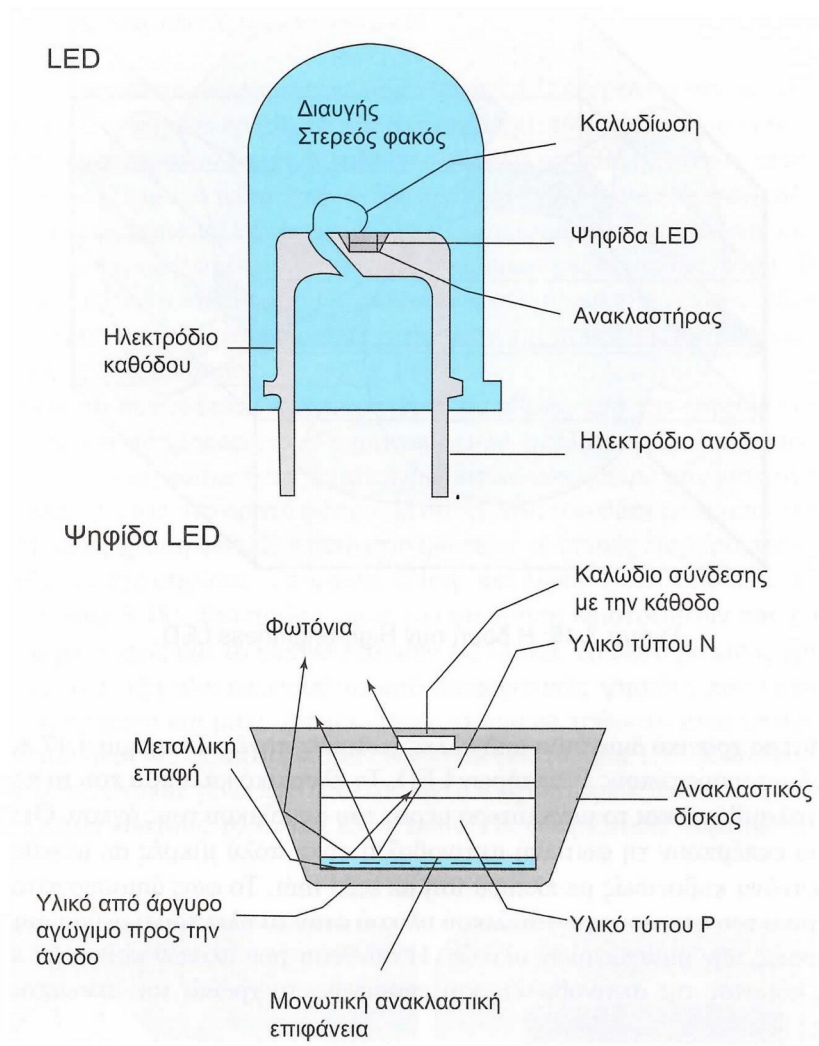
Ο κώδωνας διαφοροποιείται ανάλογα με την εφαρμογή του λαμπτήρα και μπορεί να κατασκευάζεται από γυαλί, πλαστικό ή κεραμικά υλικά. Συχνά ενσωματώνει συστήματα απαγωγής θερμότητας, όπως αεραγωγούς, μεταλλικά στοιχεία ή ακόμα και μικρούς ανεμιστήρες, προκειμένου να διατηρείται η θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα.

Στο εσωτερικό του λαμπτήρα περιλαμβάνεται συνήθως ανακλαστήρας, ο οποίος συμβάλλει στον έλεγχο και την κατεύθυνση της φωτεινής δέσμης. Ανάλογα με τον σχεδιασμό, ο φωτισμός μπορεί να είναι άμεσος ή έμμεσος, ενώ τα υλικά του ανακλαστήρα κυμαίνονται από μεταλλικά κάτοπτρα έως πλαστικούς φακούς.

Το στοιχείο LED διαφοροποιείται ανάλογα με την εφαρμογή και μπορεί να είναι τύπου High Power, SMD, COB ή DIP, με κάθε τύπο να παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης και χρήσης.

Η ηλεκτρονική πλακέτα αποτελεί κρίσιμο μέρος της λειτουργίας του λαμπτήρα, καθώς περιλαμβάνει εξαρτήματα όπως δίοδους, αντιστάσεις, πυκνωτές και αγωγίμες διαδρομές χαλκού, τα οποία ρυθμίζουν την τροφοδοσία και τη λειτουργία του LED.

Τέλος, ο κάλυκας εξασφαλίζει τη μηχανική στήριξη και την ηλεκτρική σύνδεση του λαμπτήρα με το δίκτυο τροφοδοσίας και διατίθεται σε διάφορους τύπους, όπως βιδωτούς, μπαγιονέτ ή δύο ακίδων, ανάλογα με την εφαρμογή.



Εικόνα 8: Δομή LED και ψηφίδας LED (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

## 2.5. Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης

Οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης βασίζονται στη λειτουργία ηλεκτρικής εκκένωσης μέσα σε σωλήνα τόξου κατασκευασμένο συνήθως από χαλαζιακό γυαλί υψηλής αντοχής. Στο εσωτερικό του σωλήνα περιέχονται μικρή ποσότητα αργού και υδράργυρος, ο οποίος κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα εξατμίζεται και συμμετέχει στη διαδικασία της εκκένωσης. Η διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος προκαλεί τη δημιουργία τόξου, το οποίο εκπέμπει τόσο ορατή όσο και υπεριώδη ακτινοβολία. Το παραγόμενο φως χαρακτηρίζεται από λευκογάλαζη απόχρωση, ενώ η χρήση φθοριζουσών επιστρώσεων επιτρέπει τη μετατροπή μεγαλύτερου μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας σε ορατό φως, βελτιώνοντας παράλληλα τη φωτιστική απόδοση και τη χρωματική απόδοση του λαμπτήρα.

Όπως και οι υπόλοιποι λαμπτήρες εκκένωσης αερίων, απαιτούν τη χρήση διατάξεων σταθεροποίησης του ρεύματος (ballast), ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή και ασφαλής λειτουργία τους. Σε αρκετές περιπτώσεις προστίθενται μεταλλικά ιωδίδια στο εσωτερικό του σωλήνα εκκένωσης, με σκοπό τη βελτίωση του φάσματος εκπομπής στις περιοχές όπου οι ατμοί υδραργύρου παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση. Η πρακτική αυτή συμβάλλει τόσο

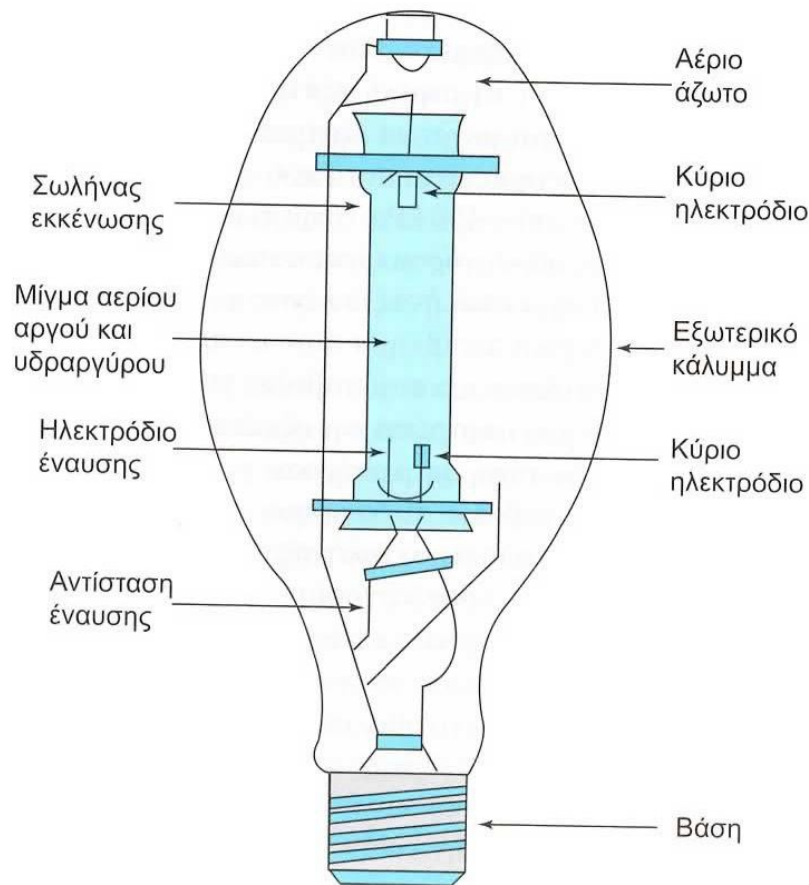
στη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου φωτός όσο και στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του λαμπτήρα. Μεταξύ των συνηθέστερων προσθέτων περιλαμβάνονται ενώσεις νατρίου και σκανδίου υπό μορφή ιωδιδίων (Βολέλης & Φώκος, 2017).

Οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε εξωτερικούς χώρους, όπως οδοφωτισμός, αθλητικές εγκαταστάσεις και βιομηχανικές εφαρμογές, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και της ισχυρής φωτεινότητας που παρείχαν. Η λειτουργία τους βασιζόταν σε εκκένωση αερίων μέσα σε σωλήνα που περιείχε υδράργυρο υπό υψηλή πίεση, γεγονός που τους καθιστούσε πιο αποδοτικούς σε σχέση με τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Ωστόσο, η παρουσία του υδραργύρου, μιας ουσίας τοξικής και ιδιαίτερα επικίνδυνης για την υγεία και το περιβάλλον, έθεσε από νωρίς ζητήματα ασφαλείας σχετικά με τη χρήση και τη διαχείρισή τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Eurostat, 2024).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στη σταδιακή απόσυρση των λαμπτήρων αυτών, στο πλαίσιο της πολιτικής για περιορισμό της χρήσης υδραργύρου. Ειδικότερα, οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης έχουν αποσυρθεί σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2017/852 για τον Υδράργυρο, που ενσωμάτωσε τις δεσμεύσεις της Διεθνούς Σύμβασης της Μινάματα (2013) και επέβαλε την κατάργηση προϊόντων που περιέχουν υδράργυρο. Παράλληλα, ο Κανονισμός (ΕΚ) 245/2009 για τον οικολογικό σχεδιασμό των λαμπτήρων εκκένωσης υψηλής έντασης περιόρισε περαιτέρω την παραγωγή και διάθεσή τους, προωθώντας την αντικατάστασή τους από αποδοτικότερες και ασφαλέστερες τεχνολογίες, όπως οι λαμπτήρες νατρίου και οι LED (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2017· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009).

Η απόσυρση των λαμπτήρων υδραργύρου υψηλής πίεσης συνδέεται με την ανάγκη προστασίας της ανθρώπινης υγείας και μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ο υδράργυρος μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο νευρικό και αναπνευστικό σύστημα, ενώ η διαρροή του στο περιβάλλον μολύνει τα εδάφη και τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η ευρωπαϊκή στρατηγική επικεντρώθηκε όχι μόνο στον περιορισμό της χρήσης αυτών των λαμπτήρων αλλά και στην εφαρμογή ασφαλών μεθόδων συλλογής και ανακύκλωσης για εκείνους που εξακολουθούν να βρίσκονται σε κυκλοφορία (Οδηγία 2012/19/ΕΕ).

Στο πλαίσιο της ανακύκλωσης, οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης υφίστανται ειδικές διαδικασίες για την ανάκτηση και ασφαλή αποθήκευση του υδραργύρου. Ταυτόχρονα, ανακτώνται σημαντικές ποσότητες γυαλιού, μετάλλων (αλουμίνιο, χάλυβας) και φωσφορικών υλικών, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία. Η ύπαρξη αυτών των πολύτιμων υλικών ενισχύει τη σημασία της ορθής διαχείρισής τους, στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της μείωσης της εξάρτησης από φυσικούς πόρους. Ειδικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης στην Ελλάδα, όπως η «Φωτοκύκλωση Α.Ε.», έχουν αναπτύξει διαδικασίες συλλογής και ανακύκλωσης, ώστε να διασφαλιστεί η προστασία του περιβάλλοντος και η ανάκτηση χρησίων υλικών (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024).



Εικόνα 9: Δομή λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

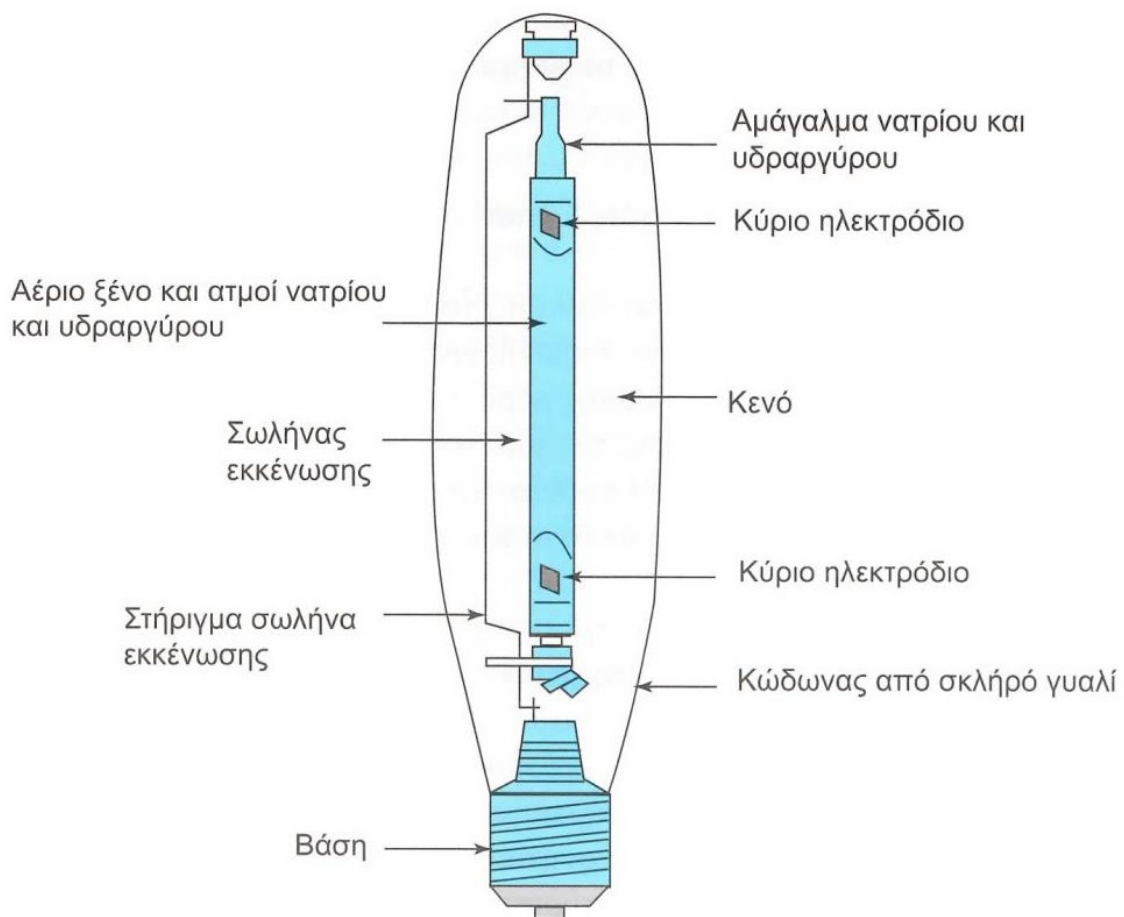
## 2.6. Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης αποτελούν μία από τις πλέον διαδεδομένες τεχνολογίες φωτισμού εκκένωσης αερίων και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε εφαρμογές εξωτερικού φωτισμού, όπως ο οδικός φωτισμός, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οι αθλητικοί χώροι. Η λειτουργία τους βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικής εκκένωσης μέσα σε σωλήνα τόξου που περιέχει νάτριο, μικρή ποσότητα υδραργύρου και αδρανές αέριο, συνήθως αργό ή νέον. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα το νάτριο εξατμίζεται και συμμετέχει στην εκκένωση, παράγοντας χαρακτηριστική ακτινοβολία με έντονη κιτρινωπή απόχρωση. Σε σύγκριση με άλλους λαμπτήρες εκκένωσης, οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης παρουσιάζουν υψηλή φωτιστική απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής (Βολέλης & Φώκος, 2017).

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης είναι τα ακόλουθα (Βολέλης & Φώκος, 2017):

- **Σωλήνας εκκένωσης (σωλήνας τόξου):** Αποτελεί το βασικό τμήμα του λαμπτήρα, όπου αναπτύσσεται η ηλεκτρική εκκένωση. Κατασκευάζεται συνήθως από πολυκρυσταλλική αλουμίνη, υλικό με υψηλή αντοχή στις θερμοκρασίες λειτουργίας και στη χημική δράση του νατρίου.

- **Εξωτερικός ή βοηθητικός σωλήνας:** Περιβάλλει τον σωλήνα εκκένωσης και συμβάλλει στη θερμική προστασία και στη σταθερή λειτουργία του λαμπτήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις φέρει ειδικές επιστρώσεις που βελτιώνουν τα φωτιστικά χαρακτηριστικά.
- **Ηλεκτρόδια:** Περιλαμβάνουν τα κύρια ηλεκτρόδια που δημιουργούν και διατηρούν το ηλεκτρικό τόξο, καθώς και βοηθητικά στοιχεία εκκίνησης όπου απαιτούνται.
- **Γυάλινο περίβλημα:** Το εξωτερικό περίβλημα προστατεύει τα εσωτερικά εξαρτήματα του λαμπτήρα από μηχανικές καταπονήσεις και περιβαλλοντικές επιδράσεις. Συνήθως έχει κυλινδρικό ή οβάλ σχήμα.
- **Βάση σύνδεσης:** Επιτρέπει τη μηχανική στήριξη και την ηλεκτρική σύνδεση του λαμπτήρα με το φωτιστικό σώμα.
- **Πλήρωση αερίων και ατμών:** Στο εσωτερικό του σωλήνα εκκένωσης περιέχονται αδρανή αέρια και ατμοί νατρίου και υδραργύρου, οι οποίοι συμβάλλουν στη δημιουργία και διατήρηση της ηλεκτρικής εκκένωσης και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης φωτεινής ακτινοβολίας.



Εικόνα 10: Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

## 2.7. Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης διαθέτουν συγκεκριμένη κατασκευαστική διάταξη, η οποία έχει σχεδιαστεί ώστε να εξασφαλίζει υψηλή φωτεινή απόδοση και σταθερή λειτουργία. Σύμφωνα με τους Βολέλη και Φώκο (2017), το βασικό στοιχείο του λαμπτήρα είναι ο σωλήνας εκκένωσης σχήματος U, ο οποίος κατασκευάζεται από ειδικό γυαλί ανθεκτικό στη χημική δράση του νατρίου. Ο σωλήνας αυτός περιβάλλεται από εξωτερικό περίβλημα μέσα στο οποίο διατηρείται κενό, με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών και τη διατήρηση των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας.

Στο εσωτερικό του σωλήνα εκκένωσης περιέχεται μίγμα αερίων, αποτελούμενο κυρίως από νάτριο και αδρανή αέρια, όπως νέον και αργό, τα οποία διευκολύνουν τη διαδικασία εκκίνησης και λειτουργίας της ηλεκτρικής εκκένωσης. Η παραγωγή φωτός επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτροδίων κατασκευασμένων από βολφράμιο, τα οποία έχουν σχεδιαστεί ώστε να αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες και να εξασφαλίζουν σταθερή εκπομπή ηλεκτρονίων.

Το εξωτερικό περίβλημα κενού φέρει εσωτερική επίστρωση οξειδίου του ινδίου, η οποία συμβάλλει στην ανάκλαση μέρους της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και στη διατήρηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του σωλήνα εκκένωσης. Παράλληλα, ο λαμπτήρας είναι εφοδιασμένος με βάση τύπου μπαγιονέτ για τη μηχανική στήριξη και ηλεκτρική σύνδεσή του στο φωτιστικό σώμα.

Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος απαιτείται επίσης η χρήση διάταξης περιορισμού του ρεύματος (ballast), η οποία στους λαμπτήρες αυτού του τύπου είναι συνήθως τύπου αυτομετασχηματιστή. Επιπλέον, χρησιμοποιείται πυκνωτής διόρθωσης του συντελεστή ισχύος, με στόχο τη βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος και τη μείωση των απωλειών κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα (Βολέλης & Φώκος, 2017).

Η δομή και τα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία ενός τυπικού λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 11.



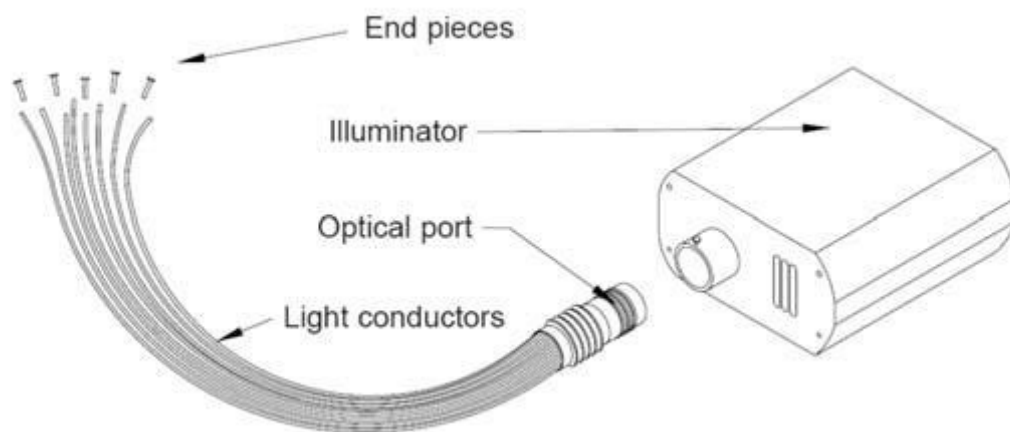
Εικόνα 11: Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

## 2.8. Οπτικές Ίνες

Η χρήση οπτικών ινών για τον φωτισμό ενός χώρου δεν αποτελεί αυτόνομη τεχνολογία φωτισμού, αλλά μέθοδο μεταφοράς φωτεινής ακτινοβολίας. Οι οπτικές ίνες λειτουργούν ως μέσα καθοδήγησης του φωτός, μεταφέροντας ακτινοβολία ορατού φάσματος από μια φωτεινή πηγή σε ένα απομακρυσμένο σημείο. Η μετάδοση του φωτός πραγματοποιείται μέσω του φαινομένου της ολικής εσωτερικής ανάκλασης, κατά το οποίο η φωτεινή ακτινοβολία εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της ίνας και κατευθύνεται κατά μήκος της. Με τον τρόπο αυτό, το φως εξέρχεται στο άκρο της ίνας, χωρίς να μεταφέρεται θερμότητα ή ηλεκτρικό ρεύμα στον φωτιζόμενο χώρο, γεγονός που καθιστά τις οπτικές ίνες κατάλληλες για ειδικές εφαρμογές φωτισμού.

### Λειτουργικό σύστημα των οπτικών ινών

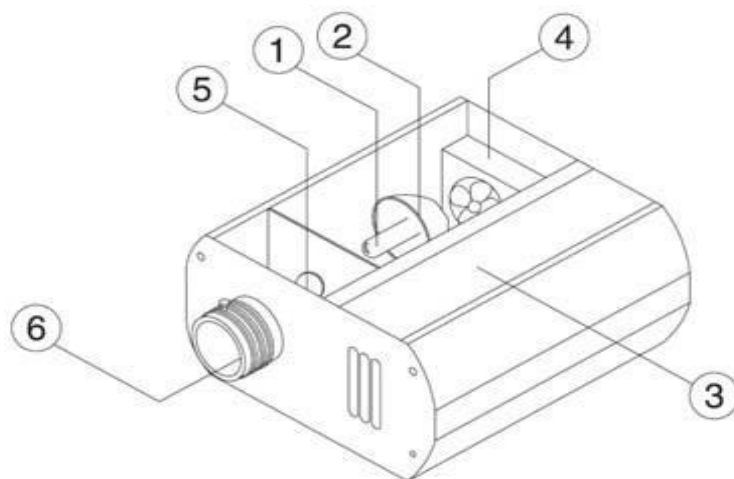
Ανεξάρτητα από τον τρόπο λειτουργίας, τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες βασίζονται σε κοινή δομή και περιλαμβάνουν ορισμένα βασικά στοιχεία, όπως το **φωτιστικό σώμα, την είσοδο της οπτικής ίνας, τους αγωγούς φωτός και τα τερματικά εξόδου.**



Εικόνα 12: Λειτουργικό σύστημα οπτικών ινών

### Φωτιστικό

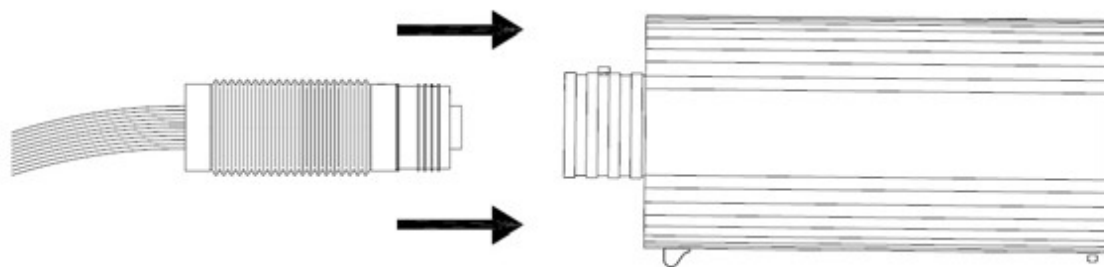
Το φωτιστικό αποτελεί τη βασική μονάδα παραγωγής φωτός και έχει τη μορφή κλειστής συσκευής που περιλαμβάνει την πηγή φωτισμού, ανακλαστήρα, σύστημα τροφοδοσίας (ballast ή power supply), ανεμιστήρα για ψύξη, καθώς και στοιχεία προστασίας, όπως φίλτρα και ασφάλειες. Επιπλέον, διαθέτει φακούς για τη διαμόρφωση της δέσμης και ειδική υποδοχή για τη σύνδεση της οπτικής ίνας.



Εικόνα 13: Δομή φωτιστικού οπτικής ίνας

### Είσοδος οπτικής ίνας

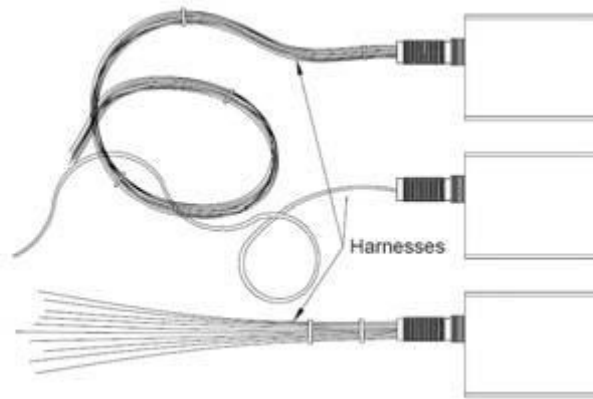
Η είσοδος της οπτικής ίνας αποτελεί κρίσιμο σημείο του συστήματος, καθώς εξασφαλίζει τη σωστή και σταθερή σύνδεση των ινών με το φωτιστικό. Περιλαμβάνει μηχανικά εξαρτήματα που διατηρούν τις ίνες στη σωστή θέση, εξασφαλίζοντας γεωμετρική ακρίβεια και δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικές διαμέτρους. Η σωστή εφαρμογή της εισόδου είναι καθοριστική για την αποδοτική και ασφαλή λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 14: Είσοδος αγωγού οπτικής ίνας σε φωτιστικό

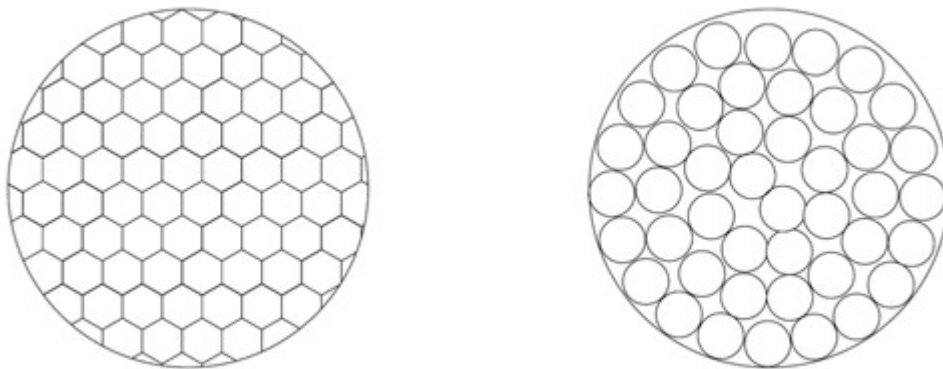
### Αγωγοί

Οι αγωγοί αποτελούνται από μία ή περισσότερες οπτικές ίνες, οι οποίες μεταφέρουν το φως από την πηγή προς το σημείο φωτισμού. Η ποιότητα της σύνδεσης στο κοινό άκρο των ινών είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει άμεσα την απόδοση του συστήματος. Το σημείο αυτό είναι ευαίσθητο σε υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ακτινοβολία, γι' αυτό απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση και πιθανή φθορά.



**Εικόνα 15: Αγωγοί οπτικών ινών (Βολέλης, Φώκος, 2017)**

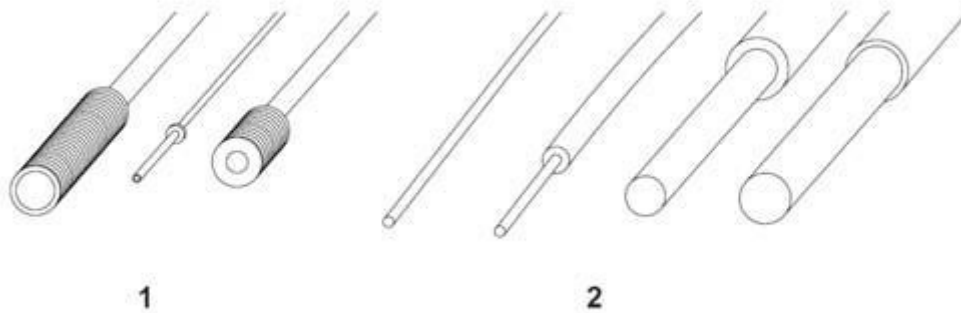
Το κοινό άκρο των οπτικών ινών είναι σημαντικό αφού τελικό αποτέλεσμα της εγκατάστασης εξαρτάται από την ποιότητα και τον τύπο της σύνδεσης του κοινού άκρου. Το κοινό άκρο είναι ευαίσθητο στις υψηλές θερμοκρασίες και στα ψηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό τα εξωτερικά στοιχεία μέχρι και ο αέρας δεν μπορούν να βρίσκονται μεταξύ των οπτικών ινών αφού μπορεί να δημιουργήσουν υπερθέρμανση και το σύστημα να καταστραφεί.



**Εικόνα 16: Τομή αγωγού οπτικής ίνας**

### **Τρόπος Σύνδεσης Οπτικών Ινών**

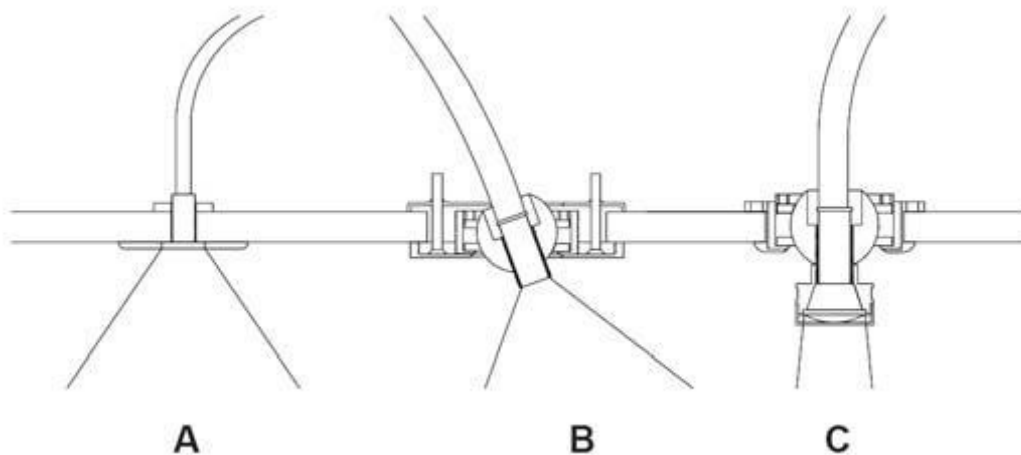
Η σύνδεση των επιμέρους ινών μπορεί να πραγματοποιηθεί με μηχανικές διατάξεις, οι οποίες εξασφαλίζουν σταθερότητα και σωστή ευθυγράμμιση των στοιχείων, επιτρέποντας την αποτελεσματική μετάδοση της φωτεινής ακτινοβολίας.



Εικόνα 17: Συνδεσμολογίες οπτικών ινών

### Τερματικά Εξόδου

Τα τερματικά εξόδου καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο το φως διαχέεται στον χώρο. Η επιλογή τους εξαρτάται από την εφαρμογή, τη θέση εγκατάστασης και τις απαιτήσεις του χρήστη. Στην αγορά διατίθεται μεγάλη ποικιλία τερματικών, ωστόσο είναι σημαντικό να διασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ των επιμέρους εξαρτημάτων, καθώς διαφορετικοί κατασκευαστές ενδέχεται να χρησιμοποιούν διαφορετικές προδιαγραφές, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 18: Διάφορα τερματικά εξόδου οπτικών ινών (ΒΟΛΕΛΗΣ & ΦΩΚΟΣ, 2017)

### 3. Ανακύκλωση λαμπτήρων

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, αν και πλέον έχουν αποσυρθεί από την αγορά, συνεχίζουν να εμφανίζονται στο ρεύμα των αποβλήτων. Από αυτούς ανακτώνται κυρίως το γυαλί και τα μεταλλικά σπειρώματα (αλουμίνιο ή χάλυβας), ενώ το βολφράμιο του νήματος έχει περιορισμένη αξιοποίηση. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν μηχανικό διαχωρισμό των συστατικών και ανακύκλωση υλικών σε συμβατικές ροές (υαλουργία, μεταλλουργία). Θετικό στοιχείο είναι η απουσία επικίνδυνων ουσιών, κάτι που διευκολύνει την ανακύκλωση· αρνητικό είναι η χαμηλή συνολική αξία των ανακτώμενων υλικών (Eurostat, 2024· Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024).

Οι λαμπτήρες αλογόνου παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους πυρακτώσεως, αλλά περιέχουν και αέρια αλογόνου (π.χ. ιώδιο ή βρώμιο). Τα ανακτώμενα υλικά είναι το γυαλί και τα μεταλλικά μέρη, ενώ τα αέρια εξουδετερώνονται κατά την ανακύκλωση. Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν θερμική επεξεργασία και μηχανικό διαχωρισμό. Στα θετικά στοιχεία περιλαμβάνεται η δυνατότητα ανάκτησης καθαρών υλικών, ενώ αρνητικό είναι η χαμηλή ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων, που έχει ήδη οδηγήσει στην απόσυρσή τους (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009).

Οι λαμπτήρες φθορισμού (T12, T8, T5, CFL) περιέχουν γυαλί, μέταλλα, φωσφορικές επικαλύψεις και μικρές ποσότητες υδραργύρου. Οι μέθοδοι ανακύκλωσης περιλαμβάνουν μηχανικό θρυμματισμό σε κλειστό κύκλωμα και διαχωρισμό με φίλτρα, ώστε να συλλεχθεί ο υδράργυρος και να ανακτηθούν το γυαλί και τα μέταλλα. Θετικό στοιχείο είναι η ανάκτηση υδραργύρου και η αποφυγή ρύπανσης· αρνητικό είναι ότι η παρουσία υδραργύρου καθιστά τη διαχείριση δαπανηρή και απαιτητική σε επίπεδο ασφάλειας (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Οδηγία 2012/19/ΕΕ).

Οι λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης περιέχουν υψηλότερες ποσότητες υδραργύρου σε σχέση με τους φθορισμούς, καθώς και σημαντικές ποσότητες γυαλιού και μετάλλων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται εστιάζουν σε θερμική επεξεργασία και συμπύκνωση ατμών υδραργύρου, με παράλληλη ανάκτηση γυαλιού και μετάλλων. Θετικό είναι ότι ανακτώνται πολύτιμα υλικά, ωστόσο αρνητικό παραμένει η επικινδυνότητα της διαδικασίας και το υψηλό κόστος ειδικών εγκαταστάσεων (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2017).

Οι λαμπτήρες νατρίου (υψηλής και χαμηλής πίεσης) περιέχουν γυαλί, μέταλλα και νατρίου. Κατά την ανακύκλωση, γίνεται διαχωρισμός του γυαλιού και ανάκτηση των μετάλλων, ενώ το νάτριο απαιτεί ειδική εξουδετέρωση. Θετικά στοιχεία αποτελούν η υψηλή απόδοση αυτών των λαμπτήρων και η ανακτήσιμη ποσότητα υλικών, ενώ αρνητικό είναι ο κίνδυνος που ενέχει το νάτριο, καθώς αντιδρά έντονα με την υγρασία, δημιουργώντας ανάγκη για αυστηρούς κανόνες ασφαλείας (Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024).

Οι λαμπτήρες LED αποτελούν την πλέον σύγχρονη τεχνολογία και περιέχουν πλακέτες με ημιαγωγούς, σπάνιες γαίες, μέταλλα, πλαστικά και γυαλί. Οι μέθοδοι ανακύκλωσης περιλαμβάνουν μηχανικό θρυμματισμό, διαχωρισμό με ηλεκτροστατικά και μαγνητικά πεδία, καθώς και χημικές διεργασίες για την ανάκτηση σπάνιων γαιών και πολύτιμων μετάλλων. Το θετικό είναι η ανάκτηση υλικών υψηλής αξίας (π.χ. ινδίου, γαλλίου), ενώ αρνητικό αποτελεί η πολυπλοκότητα της διαδικασίας και η ανάγκη για εξειδικευμένες υποδομές (Οδηγία 2011/65/ΕΕ· Eurostat, 2024).

**Πίνακας 6: Συγκέντρωση Υλικών που Περιγράφονται στο Παραπάνω Κείμενο**

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των κυριότερων τύπων λαμπτήρων, τα υλικά που περιέχουν, τις εφαρμοζόμενες μεθόδους ανακύκλωσης, καθώς και τα θετικά και αρνητικά στοιχεία της διαδικασίας, όπως περιγράφονται στο κείμενο.

**Πίνακας 7: Βασικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι ανακύκλωσης των κύριων τύπων λαμπτήρων**

| Τύπος<br>Λαμπτήρα                               | Κύρια Υλικά                                                              | Μέθοδοι<br>Ανακύκλωσης                                                                                           | Ανακτώμε<br>να Υλικά                               | Θετικά<br>Στοιχεία                                         | Αρνητικά<br>Στοιχεία                                              |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Λαμπτήρες<br>Πυρακτώσε<br>ως                    | Γυαλί, μέταλλο<br>(αλουμίνιο/χάλυβ<br>ας), βολφράμιο                     | Μηχανικός<br>διαχωρισμός,<br>ανακύκλωση<br>υλικών                                                                | Γυαλί,<br>μέταλλο                                  | Απουσία<br>επικίνδυνω<br>ν ουσιών,<br>εύκολη<br>διαχείριση | Χαμηλή αξία<br>ανακτώμενων<br>υλικών                              |
| Λαμπτήρες<br>Αλογόνου                           | Γυαλί, μέταλλο,<br>αέρια αλογόνου<br>(ιώδιο/βρώμιο)                      | Θερμική<br>επεξεργασία,<br>μηχανικός<br>διαχωρισμός                                                              | Γυαλί,<br>μέταλλα                                  | Καθαρότητ<br>α<br>ανακτώμεν<br>ων υλικών                   | Χαμηλή<br>ενεργειακή<br>απόδοση,<br>απόσυρση<br>από αγορά         |
| Λαμπτήρες<br>Φθορισμού<br>(T12, T8,<br>T5, CFL) | Γυαλί, μέταλλα,<br>φωσφορικά,<br>υδράργυρος                              | Θρυμματισμός<br>σε κλειστό<br>κύκλωμα,<br>διαχωρισμός<br>με φίλτρα                                               | Υδράργυρ<br>ος, γυαλί,<br>μέταλλα                  | Ανάκτηση<br>υδραργύρο<br>υ, αποφυγή<br>ρύπανσης            | Υψηλό<br>κόστος,<br>απαιτήσεις<br>ασφάλειας<br>λόγω<br>υδραργύρου |
| Λαμπτήρες<br>Υδραργύρο<br>υ Υψηλής<br>Πίεσης    | Γυαλί, μέταλλα,<br>υδράργυρος                                            | Θερμική<br>επεξεργασία,<br>συμπύκνωση<br>ατμών<br>υδραργύρου                                                     | Υδράργυρ<br>ος, γυαλί,<br>μέταλλα                  | Ανάκτηση<br>πολύτιμων<br>υλικών                            | Επικινδυνότητ<br>α και υψηλό<br>κόστος<br>εγκαταστάσεω<br>ν       |
| Λαμπτήρες<br>Νατρίου<br>(Y/X<br>Πίεσης)         | Γυαλί, μέταλλα,<br>νάτριο                                                | Μηχανικός<br>διαχωρισμός,<br>εξουδετέρωση<br>νατρίου                                                             | Γυαλί,<br>μέταλλα                                  | Υψηλή<br>απόδοση,<br>ανακτήσιμα<br>υλικά                   | Κίνδυνος<br>αντίδρασης<br>νατρίου με<br>υγρασία                   |
| Λαμπτήρες<br>LED                                | Πλακέτες,<br>ημιαγωγοί,<br>σπάνιες γαίες,<br>μέταλλα,<br>πλαστικά, γυαλί | Μηχανικός<br>θρυμματισμός<br>,<br>ηλεκτροστατι<br>κός και<br>μαγνητικός<br>διαχωρισμός,<br>χημικές<br>διεργασίες | Σπάνιες<br>γαίες,<br>πολύτιμα<br>μέταλλα,<br>γυαλί | Ανάκτηση<br>υλικών<br>υψηλής<br>αξίας                      | Πολυπλοκότη<br>τα, ανάγκη<br>εξειδικευμένω<br>ν υποδομών          |

Η συλλογή ΑΗΗΕ (Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού) αποτελεί κρίσιμο κομμάτι της διαχείρισης αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα συστήματα συλλογής ΑΗΗΕ διαφέρουν από χώρα σε χώρα, αλλά γενικά βασίζονται σε κάποιες κοινές αρχές και πρακτικές που προβλέπονται από την οδηγία 2012/19/ΕΕ για τα ΑΗΗΕ. Ακολουθεί μια επισκόπηση των συστημάτων συλλογής ΑΗΗΕ σε διάφορες χώρες της ΕΕ:

### Γερμανία

- **Σύστημα Συλλογής:** Η Γερμανία έχει ένα καλά ανεπτυγμένο σύστημα συλλογής ΑΗΗΕ που περιλαμβάνει σημεία συλλογής σε καταστήματα λιανικής, δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης και ειδικά σημεία συλλογής για μεγάλες συσκευές.
- **Νομοθεσία:** Ο νόμος ElektroG (Elektro- und Elektronikgerätegesetz) προβλέπει την υποχρέωση των κατασκευαστών και διανομέων να συμμετέχουν στη συλλογή και ανακύκλωση ΑΗΗΕ.

### Γαλλία

- **Σύστημα Συλλογής:** Στη Γαλλία υπάρχουν περίπου 12.000 σημεία συλλογής ΑΗΗΕ, τα οποία περιλαμβάνουν καταστήματα λιανικής και δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης.
- **Οργάνωση:** Η συλλογή και διαχείριση των ΑΗΗΕ πραγματοποιείται μέσω οργανισμών όπως η Eco-systèmes, οι οποίοι συνεργάζονται με κατασκευαστές και διανομείς.

### Ηνωμένο Βασίλειο

- **Σύστημα Συλλογής:** Το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει ένα δίκτυο σημείων συλλογής που περιλαμβάνει δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης και καταστήματα λιανικής που προσφέρουν υπηρεσίες απόσυρσης παλιών συσκευών κατά την αγορά νέων.
- **Νομοθεσία:** Η διαχείριση των ΑΗΗΕ ρυθμίζεται από τους Κανονισμούς ΑΗΗΕ 2013 (WEEE Regulations 2013), οι οποίοι ευθυγραμμίζονται με την ευρωπαϊκή οδηγία.

### Ολλανδία

- **Σύστημα Συλλογής:** Στην Ολλανδία, τα ΑΗΗΕ συλλέγονται μέσω δημοτικών κέντρων ανακύκλωσης και καταστημάτων λιανικής που υποχρεούνται να δέχονται παλιές συσκευές κατά την αγορά νέων.
- **Οργάνωση:** Ο οργανισμός Wecycle είναι υπεύθυνος για την οργάνωση της συλλογής και ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, συνεργαζόμενος με κατασκευαστές και διανομείς.

### Σουηδία

- **Σύστημα Συλλογής:** Η Σουηδία έχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής που περιλαμβάνει δημοτικά σημεία συλλογής και καταστήματα λιανικής. Οι πολίτες μπορούν να επιστρέφουν τις παλιές τους συσκευές χωρίς κόστος.
- **Νομοθεσία:** Η νομοθεσία βασίζεται στην ευρωπαϊκή οδηγία, με πρόσθετες εθνικές ρυθμίσεις για την ενίσχυση της συλλογής και ανακύκλωσης.

## Ελλάδα

- **Σύστημα Συλλογής:** Στην Ελλάδα, η συλλογή ΑΗΗΕ πραγματοποιείται μέσω δημοτικών κέντρων ανακύκλωσης και καταστημάτων λιανικής που προσφέρουν υπηρεσίες απόσυρσης. Υπάρχουν επίσης καμπάνιες ενημέρωσης για την ενίσχυση της συμμετοχής των πολιτών.
- **Οργάνωση:** Ο Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) επιβλέπει τη διαδικασία συλλογής και ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, συνεργαζόμενος με πιστοποιημένους διαχειριστές αποβλήτων.

## Κοινά Χαρακτηριστικά

- **Συμμετοχή Κατασκευαστών:** Σε όλες τις χώρες της ΕΕ, οι κατασκευαστές και εισαγωγείς ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών έχουν την υποχρέωση να χρηματοδοτούν και να οργανώνουν συστήματα συλλογής και ανακύκλωσης.
- **Δημοτικά Κέντρα Ανακύκλωσης:** Η πλειονότητα των χωρών διαθέτει δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης όπου οι πολίτες μπορούν να αφήνουν τις παλιές τους συσκευές χωρίς κόστος.
- **Εκστρατείες Ενημέρωσης:** Υπάρχουν εκστρατείες ενημέρωσης για την ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με τη σημασία της ανακύκλωσης ΑΗΗΕ και τη σωστή διαδικασία συλλογής.

Ο πίνακας 7 παρουσιάζει συγκριτικά τα συστήματα συλλογής, τις οργανώσεις και το νομικό πλαίσιο που εφαρμόζεται σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες για τη διαχείριση των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).

**Πίνακας 8: Συστήματα Συλλογής και Νομοθεσία ΑΗΗΕ στην Ευρώπη**

| Χώρα             | Σύστημα Συλλογής                                                                                         | Οργάνωση / Νομοθεσία  | Σχόλια                                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Γερμανία         | Σημεία συλλογής σε καταστήματα λιανικής, δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης, ειδικά σημεία για μεγάλες συσκευές | Νόμος ElektroG        | Καλά ανεπτυγμένο σύστημα, υποχρεωτική συμμετοχή κατασκευαστών και διανομέων |
| Γαλλία           | 12.000 σημεία συλλογής (καταστήματα λιανικής, δημοτικά κέντρα)                                           | Eco-systèmes          | Συνεργασία με κατασκευαστές και διανομείς                                   |
| Ηνωμένο Βασίλειο | Δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης, καταστήματα λιανικής με υπηρεσία απόσυρσης                                  | WEEE Regulations 2013 | Ευθυγράμμιση με την ευρωπαϊκή οδηγία                                        |

|          |                                                                           |                                         |                                                          |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Ολλανδία | Δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης, καταστήματα λιανικής                         | Οργανισμός Wecycle                      | Υποχρεωτική παραλαβή παλιών συσκευών κατά την αγορά νέων |
| Σουηδία  | Δημοτικά σημεία συλλογής και καταστήματα λιανικής                         | Ευρωπαϊκή οδηγία + εθνικές ρυθμίσεις    | Επιστροφή συσκευών χωρίς κόστος για πολίτες              |
| Ελλάδα   | Δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης, καταστήματα λιανικής, εκστρατείες ενημέρωσης | Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (EOAN) | Συνεργασία με πιστοποιημένους διαχειριστές αποβλήτων     |

### 3.1.1. Ανακτώμενα Υλικά ανά τύπο λαμπτήρα

Στο κείμενο που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάκτησης υλικών, τα ανακτώμενα υλικά καθώς και οι χρήσεις αυτών, από τα διάφορα είδη λαμπτήρων όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο τρέχον κεφάλαιο. Αναλυτικά:

#### 3.1.1.1. Λαμπτήρες Φθορισμού

Η ανάκτηση υλικών από λαμπτήρες φθορισμού περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες για τη συλλογή και την ανακύκλωση των χρήσιμων υλικών που περιέχονται σε αυτούς. Αυτές οι διαδικασίες εξασφαλίζουν ότι τα επικίνδυνα υλικά όπως ο υδράργυρος απομακρύνονται με ασφάλεια και τα ανακυκλώσιμα υλικά επαναχρησιμοποιούνται. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες μέθοδοι ανάκτησης υλικών από λαμπτήρες φθορισμού:

##### Συλλογή και Αρχικός Διαχωρισμός

- **Συλλογή:** Οι λαμπτήρες φθορισμού συλλέγονται σε ειδικά σημεία ανακύκλωσης, όπως καταστήματα πώλησης ηλεκτρικών ειδών, δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης, και επιχειρήσεις που συμμετέχουν σε προγράμματα ανακύκλωσης.
- **Διαχωρισμός:** Οι λαμπτήρες διαχωρίζονται από άλλα απόβλητα και ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο και τη σύνθεσή τους.

##### Αποσυναρμολόγηση και Θραύση

- **Αποσυναρμολόγηση:** Οι λαμπτήρες φθορισμού αποσυναρμολογούνται για να διαχωριστούν τα διαφορετικά υλικά τους. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση των μεταλλικών και πλαστικών μερών από το γυαλί.
- **Θραύση:** Το γυαλί των λαμπτήρων θραύεται σε ειδικά σχεδιασμένες μηχανές θραύσης που διασφαλίζουν την ελάχιστη απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών.

### Ανάκτηση Υδραργύρου

- **Θερμική Απόσταξη:** Ο υδράργυρος ανακτάται μέσω θερμικής απόσταξης, όπου οι λαμπτήρες θερμαίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες για να εξατμιστεί ο υδράργυρος. Η ατμοσφαιρική μορφή του υδραργύρου συλλέγεται και υγροποιείται ξανά.
- **Χημική Καθαρισμός:** Σε μερικές περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται χημικές μέθοδοι για να απομακρυνθούν τα υπολείμματα υδραργύρου από τα γυαλιά και άλλα υλικά.

### Ανακύκλωση Γυαλιού και Μετάλλων

- **Γυαλί:** Το ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων λαμπτήρων ή άλλων γυάλινων προϊόντων.
- **Μέταλλα:** Τα μεταλλικά μέρη, όπως οι βάσεις των λαμπτήρων και τα ηλεκτρόδια, ανακτώνται και τήκονται για να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή νέων μεταλλικών προϊόντων.

### Επεξεργασία Φωσφόρου

- **Ανάκτηση Φωσφόρου:** Ο φωσφόρος που χρησιμοποιείται στους λαμπτήρες φθορισμού μπορεί να ανακτηθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί στην παραγωγή νέων λαμπτήρων ή άλλων εφαρμογών.

### Τελική Διάθεση

- **Ασφαλής Διάθεση:** Υλικά που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν απορρίπτονται με ασφάλεια σε ειδικούς χώρους ταφής επικίνδυνων αποβλήτων, εξασφαλίζοντας ότι δεν θα επιμολύνουν το περιβάλλον.

### 3.1.1.2. Λαμπτήρες Πυρακτώσεως

Η Διαδικασία Ανάκτησης Υλικών από Λαμπτήρες Πυρακτώσεως είναι η ακόλουθη.

#### Συλλογή και Διαλογή

- **Συλλογή:** Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως συλλέγονται σε σημεία ανακύκλωσης, όπως ειδικούς κάδους στα καταστήματα πώλησης ηλεκτρικών ειδών και δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης.
- **Διαλογή:** Οι λαμπτήρες διαχωρίζονται από άλλους τύπους λαμπτήρων για να διασφαλιστεί η κατάλληλη επεξεργασία τους.

#### Αποσυναρμολόγηση και Θραύση

- **Αποσυναρμολόγηση:** Οι λαμπτήρες αποσυναρμολογούνται για να διαχωριστούν τα διάφορα υλικά που τους συνθέτουν.
- **Θραύση:** Το γυαλί των λαμπτήρων θραύεται σε μικρότερα κομμάτια.

#### Ανάκτηση Υλικών

- **Γυαλί:** Το γυαλί από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στην παραγωγή νέων γυάλινων προϊόντων ή στη βιομηχανία κατασκευών.
- **Μέταλλα:** Τα μεταλλικά μέρη (όπως τα νήματα βολφραμίου και τα μεταλλικά εξαρτήματα) ανακτώνται και τήκονται για την παραγωγή νέων μεταλλικών προϊόντων. Το βολφράμιο, για παράδειγμα, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της υψηλής αντοχής του στη θερμότητα.

- **Άλλα υλικά:** Τα υπόλοιπα υλικά, όπως το αλουμίνιο από τις βάσεις των λαμπτήρων, επίσης ανακτώνται και ανακυκλώνονται.

### 3.1.1.3. Λαμπτήρες Αλογόνου

Ακολουθούν τα βασικά βήματα της διαδικασίας ανάκτησης υλικών από λαμπτήρες αλογόνου:

**Συλλογή και Διαλογή:** Οι χρησιμοποιημένοι λαμπτήρες συλλέγονται και διαχωρίζονται από άλλα απορρίμματα. Η διαλογή μπορεί να γίνει με το χέρι ή με μηχανήματα.

**Αποσυναρμολόγηση:** Οι λαμπτήρες αποσυναρμολογούνται για να διαχωριστούν τα διαφορετικά υλικά που περιέχουν. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει το σπάσιμο των λαμπτήρων για να απελευθερωθούν τα εσωτερικά υλικά.

**Διαχωρισμός Υλικών:**

- **Γυαλί:** Το γυαλί που χρησιμοποιείται στους λαμπτήρες αλογόνου είναι ειδικού τύπου, υψηλής θερμοκρασίας αντοχής. Το γυαλί ανακτάται και καθαρίζεται για να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέους λαμπτήρες ή σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.
- **Μέταλλα:** Οι λαμπτήρες αλογόνου περιέχουν μεταλλικά στοιχεία, όπως βολφράμιο για το νήμα, και αλουμίνιο ή χαλκό για τις συνδέσεις. Αυτά τα μέταλλα ανακτώνται και λιώνουν για να χρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα.
- **Χημικές Ενώσεις:** Οι λαμπτήρες αλογόνου περιέχουν χημικές ενώσεις όπως το ιώδιο ή το βρώμιο. Αυτά τα υλικά μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν στη χημική βιομηχανία.

**Καθαρισμός και Επεξεργασία:** Τα υλικά που ανακτώνται καθαρίζονται και επεξεργάζονται για να απομακρυνθούν τυχόν ρυπαντές ή υπολείμματα. Η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει χημικές ή φυσικές μεθόδους.

**Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση:** Τα καθαρά και επεξεργασμένα υλικά μπορούν να εισαχθούν εκ νέου στην παραγωγική διαδικασία για την κατασκευή νέων προϊόντων. Το γυαλί μπορεί να λιώσει και να μορφοποιηθεί ξανά, τα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε νέα κράματα, και οι χημικές ενώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικές εφαρμογές.

### 3.1.1.4. Λαμπτήρες LED

Η ανάκτηση υλικών από λαμπτήρες LED είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, αλλά είναι εξίσου σημαντική για την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση πόρων. Οι λαμπτήρες LED περιέχουν διάφορα υλικά, όπως μέταλλα, πλαστικά, γυαλί, και ημιαγωγούς, που μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Τα Βήματα της Διαδικασίας Ανάκτησης Υλικών από Λαμπτήρες LED είναι τα εξής:

**Συλλογή και Διαλογή:** Οι χρησιμοποιημένοι λαμπτήρες LED συλλέγονται από καταναλωτές, επιχειρήσεις ή κέντρα ανακύκλωσης και διαχωρίζονται από άλλα ηλεκτρονικά απόβλητα.

**Αποσυναρμολόγηση:** Οι λαμπτήρες αποσυναρμολογούνται για να διαχωριστούν τα διάφορα υλικά τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει το διαχωρισμό του γυαλιού, των πλαστικών και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

#### **Διαχωρισμός Υλικών:**

- **Γυαλί:** Το γυαλί από τον λαμπτήρα ανακτάται και καθαρίζεται. Το ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως στην κατασκευή νέων λαμπτήρων ή σε άλλες βιομηχανίες.
- **Πλαστικά:** Τα πλαστικά μέρη διαχωρίζονται και καθαρίζονται για να ανακυκλωθούν σε νέα πλαστικά προϊόντα.
- **Μέταλλα:** Οι λαμπτήρες LED περιέχουν μέταλλα όπως αλουμίνιο, χαλκό και πολύτιμα μέταλλα. Αυτά τα μέταλλα ανακτώνται και λιώνουν για να χρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα.
- **Ημιαγωγοί και Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα:** Τα LED είναι ημιαγωγοί που περιέχουν υλικά όπως γάλλιο, ίνδιο και αρσενικό. Αυτά τα υλικά μπορούν να ανακτηθούν μέσω εξειδικευμένων διαδικασιών.

**Καθαρισμός και Επεξεργασία:** Τα υλικά που ανακτώνται καθαρίζονται για να απομακρυνθούν τυχόν ρυπαντές ή υπολείμματα. Η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει χημικές ή φυσικές μεθόδους για να εξασφαλιστεί η καθαρότητα και η ποιότητα των υλικών.

**Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση:** Τα καθαρά και επεξεργασμένα υλικά μπορούν να εισαχθούν ξανά στην παραγωγική διαδικασία για την κατασκευή νέων προϊόντων. Για παράδειγμα, το αλουμίνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για νέα μεταλλικά προϊόντα, τα πλαστικά για νέα πλαστικά αντικείμενα και τα μέταλλα για νέα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Η ανάκτηση υλικών από λαμπτήρες LED μπορεί να είναι περίπλοκη λόγω της ποικιλίας των υλικών που περιέχουν και της ανάγκης για εξειδικευμένο εξοπλισμό και τεχνογνωσία για την αποσυναρμολόγηση και τον διαχωρισμό τους. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων και ημιαγωγών από τα LED είναι κρίσιμη. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν εξελιγμένες μεθόδους διαχωρισμού, όπως υγρή χημική επεξεργασία και ηλεκτρολυτική ανάκτηση.

#### **3.1.1.5. Λαμπτήρες Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης**

Η ανάκτηση υλικών από λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι μια διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της τοξικότητας του υδραργύρου και της πολυπλοκότητας των υλικών που περιέχονται σε αυτούς τους λαμπτήρες. Ακολουθούν τα βασικά βήματα της διαδικασίας ανάκτησης:

##### **Συλλογή και Μεταφορά:**

- Οι χρησιμοποιημένοι λαμπτήρες συλλέγονται από καταναλωτές, επιχειρήσεις ή ειδικά κέντρα ανακύκλωσης και μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης με ασφάλεια, αποφεύγοντας διαρροές υδραργύρου.

### **Αποσυναρμολόγηση:**

- Οι λαμπτήρες αποσυναρμολογούνται προσεκτικά για να διαχωριστούν τα διάφορα υλικά που περιέχουν, όπως γυαλί, μέταλλα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει με το χέρι ή με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων.

### **Διαχωρισμός Υλικών:**

- **Γυαλί:** Το γυαλί ανακτάται και καθαρίζεται για να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέες εφαρμογές, όπως στην κατασκευή νέων λαμπτήρων ή άλλων προϊόντων.
- **Μέταλλα:** Οι λαμπτήρες υδραργύρου περιέχουν μέταλλα όπως αλουμίνιο, χαλκό και ενίοτε πολύτιμα μέταλλα. Αυτά τα μέταλλα ανακτώνται και λιώνουν για να χρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα.
- **Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα:** Τα ηλεκτρονικά μέρη διαχωρίζονται και μπορούν να ανακυκλωθούν ξεχωριστά για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων και άλλων υλικών.

### **Ανάκτηση Υδραργύρου:**

- Ο υδράργυρος συλλέγεται μέσω εξειδικευμένων διαδικασιών που περιλαμβάνουν τη θέρμανση των λαμπτήρων σε κλειστούς θαλάμους ώστε ο υδράργυρος να εξατμιστεί και να συγκεντρωθεί σε συμπυκνωτές. Αυτός ο υδράργυρος μπορεί να καθαριστεί και να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέες εφαρμογές, όπως σε νέα λαμπτήρες ή σε βιομηχανικές διεργασίες.

### **Καθαρισμός και Επεξεργασία:**

- Τα ανακτημένα υλικά καθαρίζονται για να απομακρυνθούν τυχόν ρυπαντές ή υπολείμματα και επεξεργάζονται περαιτέρω για να εξασφαλιστεί η καθαρότητα και η ποιότητά τους.

### **Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση:**

- Τα καθαρά και επεξεργασμένα υλικά επαναχρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία για την κατασκευή νέων προϊόντων, μειώνοντας την ανάγκη για εξόρυξη και επεξεργασία νέων πρώτων υλών.

Η τοξικότητα του υδραργύρου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στη διαχείριση και την επεξεργασία των λαμπτήρων για την αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος και την προστασία της υγείας των εργαζομένων. Η πολυπλοκότητα των υλικών και η ανάγκη για εξειδικευμένες τεχνολογίες διαχωρισμού και ανάκτησης αυξάνουν το κόστος και τις απαιτήσεις της διαδικασίας.

Οι τεχνολογίες ανάκτησης υδραργύρου συνεχώς βελτιώνονται, με νέες μεθόδους για την αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη εξαγωγή και καθαρισμό του υδραργύρου. Αναπτύσσονται επίσης προηγμένες τεχνολογίες διαχωρισμού για την ανάκτηση των υπόλοιπων υλικών από τους λαμπτήρες, όπως η χρήση ρομποτικών συστημάτων και η αυτοματοποίηση της αποσυναρμολόγησης.

### 3.1.1.6. Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής και Χαμηλής Πίεσης

Η ανάκτηση υλικών από λαμπτήρες νατρίου υψηλής και χαμηλής πίεσης είναι μια διαδικασία που, όπως και στην περίπτωση των λαμπτήρων υδραργύρου, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της τοξικότητας του νατρίου και των άλλων υλικών που περιέχουν. Τα βασικά στάδια της διαδικασίας ανάκτησης έχουν ως εξής:

#### Συλλογή και Μεταφορά:

- Οι χρησιμοποιημένοι λαμπτήρες νατρίου συλλέγονται από καταναλωτές, επιχειρήσεις ή κέντρα ανακύκλωσης και μεταφέρονται σε ειδικές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης.

#### Αποσυναρμολόγηση:

- Οι λαμπτήρες αποσυναρμολογούνται για να διαχωριστούν τα διάφορα υλικά τους. Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει την αποσυναρμολόγηση του γυαλιού, των μεταλλικών μερών και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

#### Διαχωρισμός Υλικών:

- **Γυαλί:** Το γυαλί που χρησιμοποιείται στους λαμπτήρες νατρίου ανακτάται και καθαρίζεται. Το γυαλί μπορεί να ανακυκλωθεί για να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή νέων προϊόντων.
- **Μέταλλα:** Οι λαμπτήρες νατρίου περιέχουν μέταλλα όπως αλουμίνιο, χαλκό και νικέλιο. Αυτά τα μέταλλα ανακτώνται και λιώνουν για να χρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα.
- **Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα:** Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ανακτώνται και ανακυκλώνονται ξεχωριστά για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων και άλλων υλικών.

#### Ανάκτηση Νατρίου:

- Το νάτριο από τους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης συλλέγεται μέσω εξειδικευμένων διαδικασιών, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν τη θέρμανση των λαμπτήρων σε κλειστούς θαλάμους για να εξατμιστεί και να συγκεντρωθεί το νάτριο. Ο νάτριο που συλλέγεται μπορεί να καθαριστεί και να επαναχρησιμοποιηθεί.

#### Καθαρισμός και Επεξεργασία:

- Τα υλικά που ανακτώνται καθαρίζονται για να απομακρυνθούν τυχόν ρυπαντές ή υπολείμματα. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει χημικές ή φυσικές μεθόδους για να εξασφαλιστεί η καθαρότητα και η ποιότητα των υλικών.

#### Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση:

- Τα καθαρά και επεξεργασμένα υλικά επαναχρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία για την κατασκευή νέων προϊόντων. Για παράδειγμα, το γυαλί και τα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή νέων λαμπτήρων ή άλλων προϊόντων.

Η διαχείριση του νατρίου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω της τοξικότητάς του και της αντιδραστικότητάς του με το νερό. Όπως και στους λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης χρειάζεται εξειδικευμένος εξοπλισμός διαχωρισμού και ανάκτησης που αυξάνουν το κόστος της διαδικασίας.

### 3.1.1.7. Οπτικές Ίνες

Οι οπτικές ίνες περιέχουν διάφορα υλικά, όπως γυαλί, πλαστικά και μέταλλα, που μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Ακολουθούν τα βασικά βήματα της διαδικασίας ανάκτησης:

#### Συλλογή και Μεταφορά:

- Οι χρησιμοποιημένες ή άχρηστες οπτικές ίνες συλλέγονται από διάφορες πηγές, όπως τηλεπικοινωνιακές εταιρείες, εγκαταστάσεις δεδομένων ή κέντρα ανακύκλωσης και μεταφέρονται σε ειδικές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης.

#### Αποσυναρμολόγηση και Προκαταρκτική Επεξεργασία:

- Οι οπτικές ίνες αποσυναρμολογούνται για να διαχωριστούν τα διάφορα υλικά που περιέχουν. Η αποσυναρμολόγηση αυτή μπορεί να περιλαμβάνει τη διάσπαση των καλωδίων σε μικρότερα κομμάτια για να διευκολυνθεί η επεξεργασία.

#### Διαχωρισμός Υλικών:

- **Γυαλί:** Το γυαλί που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες είναι συνήθως υψηλής καθαρότητας. Οι ίνες από γυαλί μπορούν να διαχωριστούν από τα υπόλοιπα υλικά και να καθαριστούν για επαναχρησιμοποίηση.
- **Πλαστικά:** Οι εξωτερικές επικαλύψεις και τα προστατευτικά στρώματα των οπτικών ινών αποτελούνται συχνά από πλαστικά. Αυτά τα πλαστικά μπορούν να διαχωριστούν και να ανακυκλωθούν σε νέα πλαστικά προϊόντα.
- **Μέταλλα:** Οι οπτικές ίνες συχνά περιέχουν μεταλλικά μέρη, όπως χαλκό ή αλουμίνιο, στα προστατευτικά καλύμματα ή στους συνδετήρες. Αυτά τα μέταλλα ανακτώνται και λιώνουν για να χρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα.

#### Καθαρισμός και Επεξεργασία:

- Τα ανακτημένα υλικά καθαρίζονται για να απομακρυνθούν τυχόν ρυπαντές ή υπολείμματα και επεξεργάζονται περαιτέρω για να εξασφαλιστεί η καθαρότητα και η ποιότητά τους. Για παράδειγμα, το γυαλί μπορεί να λιώσει και να αναμορφωθεί, ενώ τα πλαστικά μπορούν να επεξεργαστούν σε νέες πλαστικές ρητίνες.

#### Ανακύκλωση και Επαναχρησιμοποίηση:

- Τα καθαρά και επεξεργασμένα υλικά μπορούν να εισαχθούν ξανά στην παραγωγική διαδικασία για την κατασκευή νέων προϊόντων. Το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νέες οπτικές ίνες ή σε άλλες εφαρμογές, τα πλαστικά για νέα πλαστικά αντικείμενα και τα μέταλλα για νέα μεταλλικά προϊόντα.

Εν γένει, η διαδικασία διαχωρισμού των υλικών, λόγω της μικρής διαμέτρου των οπτικών ινών και των συνδυασμένων υλικών, είναι αρκετά απαιτητική.

## 4. Μονάδες ανακύκλωσης λαμπτήρων (Εθνικό επίπεδο)

Τα εργοστάσια ανακύκλωσης ΑΗΗΕ λειτουργούν με πολύπλοκους και εξειδικευμένους τρόπους για την αποτελεσματική επεξεργασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων. Ανάλογα με τον τύπο των αποβλήτων και τις τεχνολογικές δυνατότητες του εργοστασίου, η διαδικασία επεξεργασίας μπορεί να διαφέρει, αλλά συνήθως περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

**Συλλογή και Μεταφορά:** Η διαδικασία ξεκινά με τη συλλογή των ΑΗΗΕ από διάφορες πηγές, όπως σημεία συλλογής, καταστήματα ή αποθήκες. Στη συνέχεια, τα απόβλητα μεταφέρονται στο εργοστάσιο ανακύκλωσης για περαιτέρω επεξεργασία.

**Διάσπαση και Ταξινόμηση:** Τα ΑΗΗΕ διασπώνται σε διάφορα εξαρτήματα και υλικά, όπως πλαστικά, μέταλλα, γυαλί, κυκλώματα κ.λπ. Κάθε υλικό ταξινομείται σύμφωνα με το είδος του, προκειμένου να διευκολυνθεί η επόμενη φάση της επεξεργασίας.

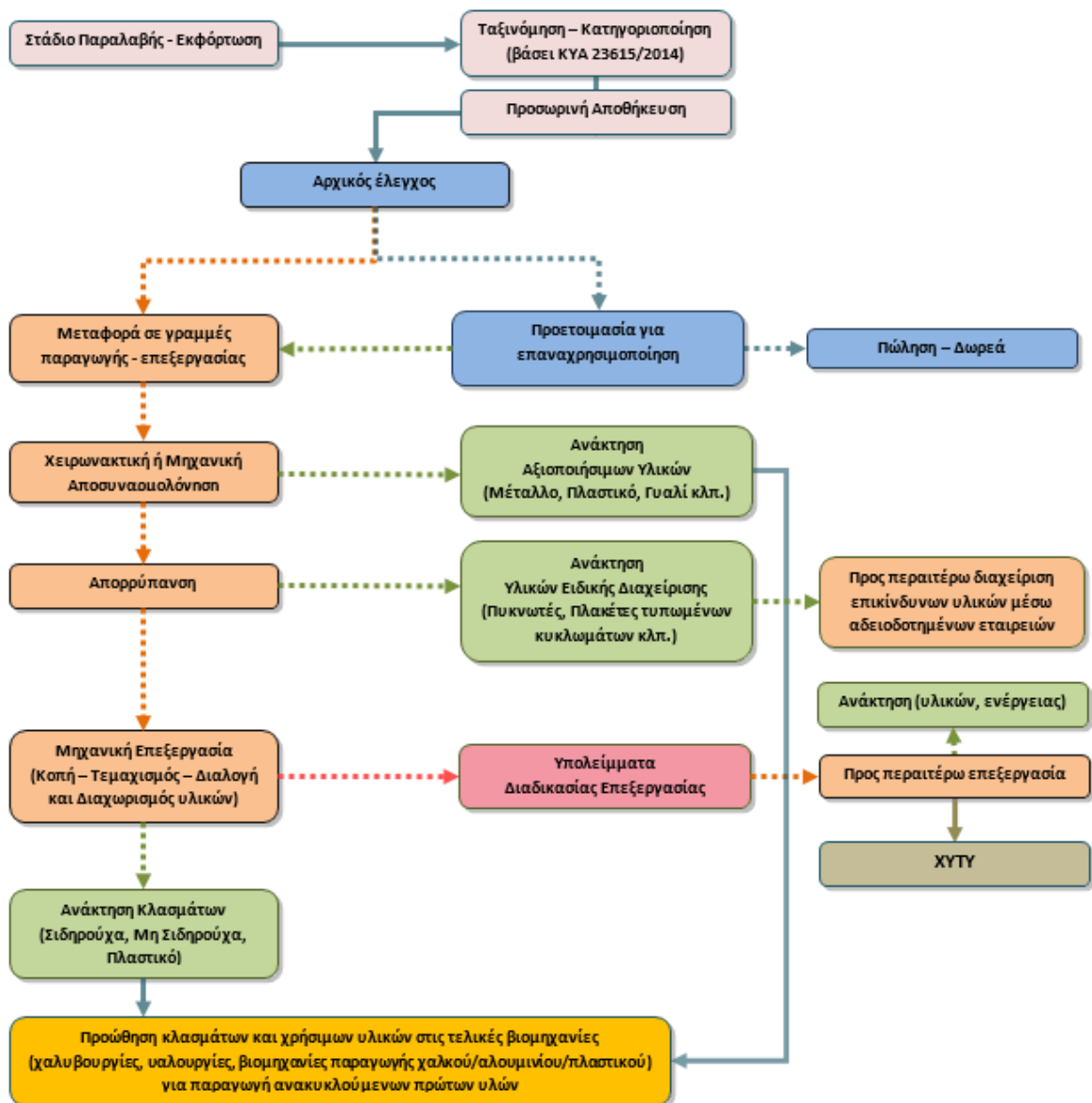
**Επεξεργασία:** Τα διαφορετικά υλικά υπόκεινται σε διαφορετικές διαδικασίες επεξεργασίας. Για παράδειγμα, τα πλαστικά μπορούν να υποβληθούν σε διαδικασίες όπως η τυποποίηση, η κατεργασία και η ανακύκλωση για την παραγωγή νέων πλαστικών προϊόντων. Τα μέταλλα μπορούν να λιωθούν και να καλυφθούν σε καινούριες μορφές, ενώ τα κυκλώματα μπορούν να υποβληθούν σε ειδικές διαδικασίες επαναχρησιμοποίησης ή ανάκτησης αξιόλογων υλικών.

**Ανακύκλωση και Διάθεση:** Τα υλικά που έχουν επεξεργαστεί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά για την παραγωγή νέων προϊόντων. Η ανακύκλωση μειώνει την ανάγκη για πρώτες ύλες και εξοικονομεί ενέργεια, ενώ η ασφαλής διάθεση των υπολειμμάτων εξασφαλίζει ότι δεν προκαλούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι διαδικασίες αυτές εφαρμόζονται με σκοπό την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των ΑΗΗΕ, μείωση των αποβλήτων και προστασία του περιβάλλοντος.

### 4.1. Λειτουργία μονάδων ανακύκλωσης

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα Νο.16) απεικονίζεται η διαδικασία επεξεργασίας των αποβλήτων ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) και στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας Νο.17) απεικονίζονται τα παραγόμενα υλικά από εργασίες διαχείρισης λαμπτήρων (όπου είναι κυρίως το γυαλί, μεταλλικά στοιχεία πλαστικό και φθορίζουσα πούδρα). Επιπλέον σε ορισμένους τύπους λαμπτήρων εμπεριέχεται για την λειτουργία τους κι ένα ποσοστό υδραργύρου και απαιτείται η «απορρύπανση» των αποβλήτων τους (αφαίρεση και δέσμευση του υδραργύρου προς περαιτέρω διαχείριση). Στην αμέσως επόμενη εικόνα απεικονίζονται οι διαδικασίες προς την ανακύκλωση των διαφορετικών τύπων λαμπτήρων.



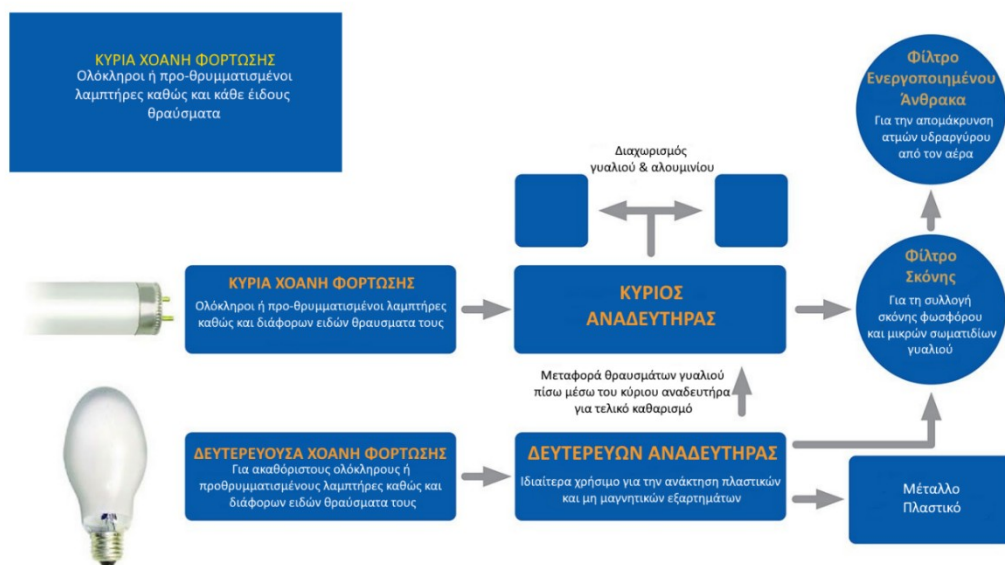
Εικόνα 19: Διαδικασία επεξεργασίας ΑΗΗΕ (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)

Σε ό,τι αφορά στη μηχανική επεξεργασία, οι μονάδες ανακύκλωσης ΑΗΗΕ που λειτουργούν στη χώρα ακολουθούν το μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.

Η μηχανική επεξεργασία των ΑΗΗΕ περιλαμβάνει μια σειρά από στάδια που στοχεύουν στον διαχωρισμό των υλικών και στην ανάκτηση εκείνων που μπορούν να

επαναχρησιμοποιηθούν. Αρχικά, πραγματοποιείται η προκαταρκτική αποσυναρμολόγηση, όπου αφαιρούνται χειρωνακτικά επικίνδυνα ή ευαίσθητα μέρη (π.χ. μπαταρίες, πυκνωτές, λαμπτήρες). Στη συνέχεια ακολουθεί ο θρυμματισμός με ειδικούς μηχανισμούς, που μειώνει τα απόβλητα σε μικρότερα κομμάτια, διευκολύνοντας τον διαχωρισμό. Τα κομμάτια αυτά περνούν από συστήματα μαγνητικού και επαγωγικού διαχωρισμού, ώστε να απομονωθούν τα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, ενώ παράλληλα εφαρμόζονται μέθοδοι αεροδιαχωρισμού και κοσκινίσματος για την απομάκρυνση ελαφρών κλασμάτων, όπως πλαστικά και αφρώδη υλικά. Τέλος, ειδικές διεργασίες στοχεύουν στην ανάκτηση γυαλιού, σπάνιων γαιών και άλλων πολύτιμων υλικών από ηλεκτρονικά εξαρτήματα (Eurostat, 2024· Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024).

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικά θετικά στοιχεία, καθώς επιτυγχάνει την ανάκτηση μεγάλου ποσοστού υλικών υψηλής αξίας, μειώνει τον όγκο των αποβλήτων που οδηγούνται σε ταφή και επιτρέπει την εκ νέου εισαγωγή των υλικών στη βιομηχανία, ενισχύοντας την κυκλική οικονομία. Παράλληλα, διευκολύνει την ασφαλή απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών, περιορίζοντας τον κίνδυνο περιβαλλοντικής ρύπανσης. Ωστόσο, υπάρχουν και αρνητικά σημεία, όπως το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων, η ενεργοβόρα φύση της διαδικασίας και η πιθανότητα απώλειας μικρών ποσοτήτων πολύτιμων υλικών λόγω τεχνικών περιορισμών. Επιπλέον, η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού και η σωστή διαχείριση των επικίνδυνων καταλοίπων αποτελούν προκλήσεις που επηρεάζουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα του συστήματος (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).



Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής μονάδας ανακύκλωσης λαμπτήρων (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)

Στην παρακάτω εικόνα (No.21) φαίνεται το μηχανήμα διαχωρισμού του γυαλιού και του αλουμινίου.



**Εικόνα 21: Μηχάνημα διαχωρισμού γυαλιού και αλουμινίου (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)**  
Στην εικόνα (No.22) παρουσιάζεται σύστημα φιλτραρίσματος εκπομπών υδραργύρου.



**Εικόνα 22: Σύστημα φιλτραρίσματος εκπομπών υδραργύρου (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)**



**Εικόνα 23: Συλλογή γυαλιού λαμπτήρων(τελικό προϊόν) (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)**



**Εικόνα 24: Συλλογή μεταλλικών τμημάτων λαμπτήρων (ΟΙΚΟΚΥΚΛΙΟΣ Α.Ε., 2024)**

Το μηχάνημα διαχωρισμού γυαλιού και αλουμινίου εφαρμόζεται κυρίως σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων συσκευασίας, ανακύκλωσης ΑΗΗΕ ή μονάδες μηχανικής διαλογής απορριμμάτων. Ο ημερήσιος όγκος επεξεργασίας εξαρτάται από τη δυναμικότητα της γραμμής και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5 και 50 τόνων υλικού ανά ημέρα, καθιστώντας το κατάλληλο τόσο για μικρές όσο και για μεσαίου μεγέθους

εγκαταστάσεις. Η συνεχής λειτουργία του επιτρέπει τη σταθερή τροφοδοσία και την αποδοτική διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων μίγματος γυαλιού-μετάλλων. Ως προς τα ανακτώμενα υλικά, το σύστημα επιτυγχάνει τον αποτελεσματικό διαχωρισμό του γυαλιού από το αλουμίνιο, αξιοποιώντας συνδυασμό μηχανικών, μαγνητικών και επαγωγικών τεχνολογιών. Το γυαλί ανακτάται συνήθως σε μορφή θραυσμάτων (cullet), κατάλληλων για επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία υαλουργίας, ενώ το αλουμίνιο συλλέγεται ως καθαρό μεταλλικό κλάσμα έτοιμο για ανακύκλωση. Σε ορισμένες εφαρμογές, το σύστημα μπορεί να διαχωρίζει επιπλέον και άλλα μη σιδηρούχα μέταλλα, εφόσον αυτά περιλαμβάνονται στο εισερχόμενο ρεύμα.

Η καθαρότητα των ανακτημένων υλικών αποτελεί βασικό δείκτη απόδοσης του μηχανήματος. Για το αλουμίνιο, τα επίπεδα καθαρότητας μπορούν να φτάσουν το 90–98%, ενώ για το γυαλί κυμαίνονται συνήθως άνω του 95%, ανάλογα με την ποιότητα του αρχικού μίγματος και τη ρύθμιση της γραμμής. Υψηλά ποσοστά καθαρότητας μειώνουν το κόστος περαιτέρω επεξεργασίας και αυξάνουν την εμπορική αξία των ανακτημένων υλικών. Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, το μηχάνημα συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των επικίνδυνων ουσιών που καταλήγουν στο περιβάλλον. Σε περιπτώσεις επεξεργασίας αποβλήτων που περιέχουν ίχνη υδραργύρου, όπως ορισμένα γυάλινα ή ηλεκτρονικά απόβλητα, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί σε συνδυασμό με φίλτρα ή μονάδες δέσμευσης αερίων ρύπων, επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση των εκπομπών. Η ελεγχόμενη απομάκρυνση και συγκράτηση επικίνδυνων στοιχείων ενισχύει τη συμμόρφωση με την περιβαλλοντική νομοθεσία και τα πρότυπα ασφαλείας.

Τέλος, η συνολική εφαρμογή του μηχανήματος διαχωρισμού γυαλιού και αλουμινίου συμβάλλει στη βελτίωση της κυκλικής οικονομίας, καθώς αυξάνει τα ποσοστά ανάκτησης δευτερογενών πρώτων υλών και μειώνει την ανάγκη για εξόρυξη πρωτογενών πόρων. Παράλληλα, περιορίζεται ο όγκος των αποβλήτων που οδηγούνται σε υγειονομική ταφή, μειώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενισχύεται η βιωσιμότητα των συστημάτων ανακύκλωσης. Ενώ ενδεικτικά για τα υλικά ανάκτησης από την επεξεργασία παρατίθενται στοιχεία στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 9: Ενδεικτικός πίνακας παραγόμενων υλικών από την ανακύκλωση λαμπτήρων  
(ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)**

| Υλικό                                                 | Ποσοστό |
|-------------------------------------------------------|---------|
| <b>Γυαλί</b>                                          | 48,8%   |
| <b>Σιδηρούχα μέταλλα</b>                              | 2,9%    |
| <b>Μη σιδηρούχα μέταλλα</b>                           | 3,3%    |
| <b>Πλακέτες</b>                                       | 5,7%    |
| <b>Γυαλί με επικίνδυνες ουσίες</b>                    | 0,6%    |
| <b>Υδράργυρος</b>                                     | 0,0004% |
| <b>Κλάσμα πλαστικού-γυαλιού</b>                       | 36,1%   |
| <b>Φθορίζουσα πούδρα</b>                              | 1,9%    |
| <b>Νερό ρυπασμένο από μονάδα απόσταξης υδραργύρου</b> | 0,04%   |
| <b>Απώλειες</b>                                       | 0,7%    |

#### 4.2. Μοντέλο ανακύκλωσης στην Ελλάδα

Ο Εθνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) είναι ο κεντρικός φορέας της Ελλάδας που εποπτεύει και συντονίζει τις δραστηριότητες ανακύκλωσης και διαχείρισης αποβλήτων. Ο ρόλος του ΕΟΑΝ είναι καθοριστικός για την επίτευξη των εθνικών στόχων ανακύκλωσης και τη συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές οδηγίες. Ο ρόλος και αρμοδιότητες του ΕΟΑΝ είναι οι κάτωθι ΕΟΑΝ, 2015):

1. **Εποπτεία και Ρύθμιση:** Εποπτεύει τα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων και εφαρμόζει την εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία για την ανακύκλωση.
2. **Συντονισμός:** Συντονίζει τη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων φορέων, όπως οι δήμοι, οι εταιρείες ανακύκλωσης, και οι παραγωγοί προϊόντων ενώ παράλληλα αναπτύσσει και εφαρμόζει προγράμματα ανακύκλωσης σε εθνικό επίπεδο.
3. **Ενημέρωση και Ευαισθητοποίηση:** Οργανώνει εκστρατείες ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού για τη σημασία της ανακύκλωσης και προωθεί την εκπαίδευση σχετικά με τις καλές πρακτικές ανακύκλωσης και τη διαχείριση αποβλήτων.
4. **Έλεγχος και Παρακολούθηση:** Παρακολουθεί την απόδοση των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων και διενεργεί ελέγχους για να διασφαλίσει τη συμμόρφωση με τις νομοθετικές απαιτήσεις.

Οι κύριοι στόχοι του ΕΟΑΝ περιλαμβάνουν την αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης, τη μείωση των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής καθώς και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας μέσω της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υλικών. Ο ΕΟΑΝ παίζει έναν κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης στην Ελλάδα, προωθώντας την ανακύκλωση και συμβάλλοντας στην αειφόρο ανάπτυξη της χώρας. Στην Ελλάδα, η ανακύκλωση λαμπτήρων πραγματοποιείται με τη συνεργασία διαφόρων εταιρειών και φορέων, που συμβάλλουν στην ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων φωτιστικών και λαμπτήρων. Οι κύριοι φορείς και εταιρείες που εμπλέκονται στη διαδικασία αυτή είναι οι εξής:

1. ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε.
2. Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ)
3. Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.
4. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας: Ρυθμίζει και εποπτεύει τη διαδικασία ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων ενώ παράλληλα θεσπίζει κανονισμούς και νομοθεσία για την ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων.

Σε ό,τι αφορά στις διαδικασίες που ακολουθούνται για την ανακύκλωση αυτές περιλαμβάνουν συνοπτικά τα εξής:

**Συλλογή:** Η συλλογή γίνεται μέσω σημείων ανακύκλωσης που βρίσκονται σε καταστήματα, σούπερ μάρκετ, δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης και άλλους δημόσιους και ιδιωτικούς χώρους.

**Μεταφορά:** Τα απόβλητα λαμπτήρων μεταφέρονται σε κέντρα επεξεργασίας με ειδικά οχήματα και εξοπλισμό.

**Επεξεργασία:** Στα κέντρα επεξεργασίας, οι λαμπτήρες αποσυναρμολογούνται και τα υλικά τους διαχωρίζονται για ανακύκλωση. Τα υλικά όπως το γυαλί, τα μέταλλα και τα επικίνδυνα χημικά υποβάλλονται σε κατάλληλες διαδικασίες ανακύκλωσης ή απόρριψης.

#### 4.3. Ποσοτικά στοιχεία

Η ανάλυση που ακολουθεί επικεντρώνεται σε στοιχεία που αντλήθηκαν από τις εταιρείες ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε. και ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε. για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Η ανάλυση των στοιχείων των εν λόγω εταιρειών αντικατοπτρίζει σε μεγάλο βαθμό την πορεία και την εξέλιξη της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια καθώς επίσης και τις τάσεις που επικρατούν για το μέλλον.

Η ανάλυση των στοιχείων των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα (όπως η Φωτοκύκλωση Α.Ε. και η Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.) δείχνει μια σταθερή αύξηση στη συλλογή και επεξεργασία αποβλήτων φωτιστικών σωμάτων, γεγονός που αποτυπώνει την πορεία της χώρας προς πιο οργανωμένα και αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης. Αυτό συνδέεται άμεσα με την ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών οδηγιών, όπως η Οδηγία 2012/19/ΕΕ για τα ΑΗΗΕ, στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο, που υποχρέωσε τους παραγωγούς και διανομείς να συμβάλλουν ενεργά στη χρηματοδότηση και οργάνωση της συλλογής. Συνεπώς, τα στατιστικά στοιχεία δεν αποτυπώνουν μόνο τη λειτουργία των εταιρειών αλλά και τη θεσμική ώθηση που έχει δεχθεί ο κλάδος τα τελευταία χρόνια (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2012· Ν. 4042/2012).

Η εξέλιξη αυτή γίνεται εμφανής και μέσα από τις μεταβολές στους τύπους λαμπτήρων που συλλέγονται. Η σταδιακή απόσυρση των λαμπτήρων πυράκτωσης και η μείωση της διάθεσης των λαμπτήρων φθορισμού, σε συνδυασμό με την αύξηση της χρήσης των λαμπτήρων LED, έχουν οδηγήσει σε διαφοροποίηση των ροών αποβλήτων και σε νέες απαιτήσεις ανακύκλωσης. Οι εταιρείες ανακύκλωσης στην Ελλάδα έχουν προσαρμόσει τις υποδομές τους ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται πιο σύνθετες τεχνολογίες, όπως οι λαμπτήρες LED που περιέχουν σπάνιες γαίες και ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Αυτό αντικατοπτρίζει την ικανότητα του συστήματος να παρακολουθεί τις διεθνείς εξελίξεις και να προσαρμόζεται στις νέες ανάγκες της αγοράς (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., 2024).

Όσον αφορά τις μελλοντικές τάσεις, η συνεχιζόμενη ενίσχυση των ποσοτικών στόχων συλλογής σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η υποχρέωση διαφανής λειτουργίας μέσω πιστοποιήσεων (π.χ. WEEE LABEX) και η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των πολιτών μέσω εκστρατειών ενημέρωσης οδηγούν σε προβλέψεις για περαιτέρω βελτίωση των επιδόσεων. Η τάση προς την κυκλική οικονομία και η ανάδειξη της πράσινης ανάπτυξης ως προτεραιότητα για την Ελλάδα και την ΕΕ σημαίνει ότι οι εταιρείες θα συνεχίσουν να αποτελούν βασικό κρίκο στην αλυσίδα βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων. Έτσι, η πορεία τους μέχρι σήμερα δεν είναι τυχαία, αλλά αποτελεί απόρροια συγκεκριμένων θεσμικών ρυθμίσεων και τεχνολογικών αλλαγών που αναμένεται να συνεχίσουν να καθορίζουν το μέλλον του κλάδου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· Eurostat, 2024).

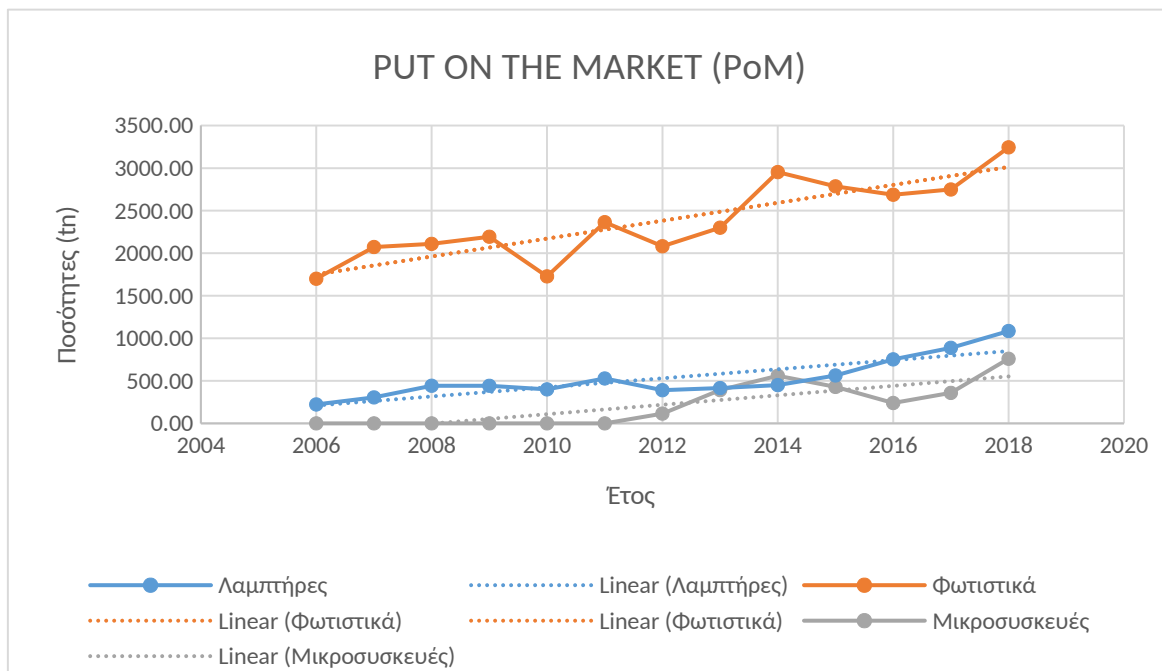
##### 4.3.1. Ποσοτικά στοιχεία και ανακτώμενα υλικά

Ο όρος **Put on the Market (PoM)**, ή «Τοποθέτηση στην Αγορά» στα ελληνικά, χρησιμοποιείται στη νομοθεσία και στις κανονιστικές ρυθμίσεις σχετικά με τα Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) για να αναφέρει στην πρώτη φορά που ένα προϊόν ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού εξοπλισμού διατίθεται στην αγορά της ΕΕ για διανομή, κατανάλωση ή χρήση. Η σημασία του PoM στην Ανακύκλωση ΑΗΗΕ είναι μεγάλη δεδομένου ότι συμβάλει στο να καταγράφονται και να πραγματοποιούνται τα παρακάτω.

1. **Υπολογισμός Στόχων Ανακύκλωσης:** Οι στόχοι ανακύκλωσης και οι ποσοστώσεις συλλογής ΑΗΗΕ βασίζονται συχνά στον όγκο και το βάρος του εξοπλισμού που τοποθετείται στην αγορά (PoM). Η συμμόρφωση με τις οδηγίες της ΕΕ για τα ΑΗΗΕ (όπως η Οδηγία 2012/19/ΕΕ) απαιτεί από τα κράτη μέλη να συλλέγουν συγκεκριμένο ποσοστό των ΑΗΗΕ που έχουν τοποθετηθεί στην αγορά.
2. **Ευθύνες Παραγωγών:** Ο όρος PoM καθορίζει τις ευθύνες των παραγωγών για τη διαχείριση των αποβλήτων των προϊόντων που τοποθετούνται στην αγορά. Οι παραγωγοί (manufacturers) είναι υπεύθυνοι για τη χρηματοδότηση της συλλογής, επεξεργασίας και ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ που παράγουν και τοποθετούν στην αγορά.
3. **Καταγραφή και Αναφορά:** Οι εταιρείες που τοποθετούν ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό στην αγορά υποχρεούνται να καταγράφουν και να αναφέρουν τα στοιχεία αυτά σε αρμόδιους φορείς. Στην Ελλάδα, οι παραγωγοί υποβάλλουν αυτές τις πληροφορίες στον ΕΟΑΝ (Εθνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης), ο οποίος παρακολουθεί και ελέγχει την τήρηση των κανονισμών.
4. **Οικολογικός Σχεδιασμός και Επισήμανση:** Η τοποθέτηση στην αγορά συνδέεται επίσης με απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού και επισήμανσης προϊόντων, διασφαλίζοντας ότι οι καταναλωτές ενημερώνονται για τα χαρακτηριστικά και την ανακυκλωσιμότητα των προϊόντων.

Συμπερασματικά, ο όρος Put on the Market (PoM) είναι κρίσιμος για την κατανόηση και την εφαρμογή της νομοθεσίας σχετικά με τα ΑΗΗΕ, καθώς επηρεάζει τη συμμόρφωση των παραγωγών με τους κανονισμούς ανακύκλωσης, τη διαχείριση των αποβλήτων και τον υπολογισμό των εθνικών στόχων ανακύκλωσης. Οι αρμόδιοι φορείς και οι παραγωγοί πρέπει να τηρούν ακριβείς καταγραφές και να συμμορφώνονται με τις σχετικές απαιτήσεις για να επιτύχουν βιώσιμη και αποτελεσματική διαχείριση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων.

| PUT ON THE MARKET (PoM) (tn) |           |           |               |
|------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| Έτος                         | Λαμπτήρες | Φωτιστικά | Μικροσυσκευές |
| 2006                         | 222.50    | 1700.00   | 0.00          |
| 2007                         | 305.50    | 2073.00   | 0.00          |
| 2008                         | 442.50    | 2110.00   | 0.00          |
| 2009                         | 442.00    | 2194.00   | 0.00          |
| 2010                         | 400.00    | 1728.00   | 0.00          |
| 2011                         | 528.00    | 2365.00   | 0.00          |
| 2012                         | 390.00    | 2082.00   | 115.02        |
| 2013                         | 415.50    | 2300.00   | 391.20        |
| 2014                         | 450.00    | 2954.00   | 559.00        |
| 2015                         | 563.34    | 2786.10   | 428.80        |
| 2016                         | 752.52    | 2687.65   | 239.69        |
| 2017                         | 888.03    | 2749.34   | 358.25        |
| 2018                         | 1085.75   | 3244.68   | 759.27        |

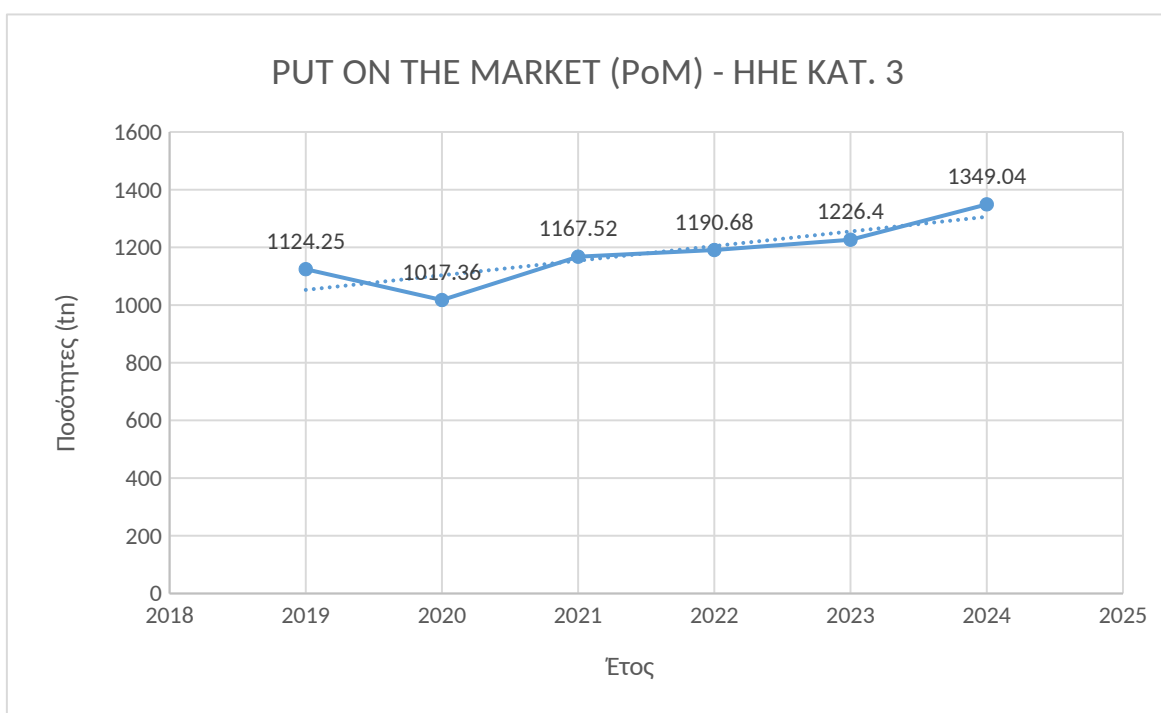


**Διάγραμμα 1: Ποσότητες PoM για την περίοδο 2006-2018 και τάσεις (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

Οι αυξήσεις στις ποσότητες του PoM παρουσιάζουν μια εμφανή αύξηση από το 2016 και μετά, η οποία συνδέεται με την αύξηση των συνεργαζόμενων παραγωγών

**Πίνακας 11: Ποσότητες PoM υφιστάμενες και μελλοντικές εκτιμήσεις (2019-2024)  
(ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| PUT ON THE MARKET (PoM) (tn) |         |
|------------------------------|---------|
| Έτος                         | KAT.    |
| 2019                         | 1124.25 |
| 2020                         | 1017.36 |
| 2021                         | 1167.52 |
| 2022                         | 1190.68 |
| 2023                         | 1226.4  |
| 2024                         | 1349.04 |



**Διάγραμμα 2: Ποσότητες PoM υφιστάμενες και μελλοντικές εκτιμήσεις (2019-2024)  
(ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

Έως και το 2018 οι υπολογισμοί πραγματοποιούνταν για τρεις διαφορετικές κατηγορίες, τους λαμπτήρες, τα φωτιστικά και τις μικροσυσκευές. Μετά το 2018 οι ποσότητες υπολογίζονται με βάσει την κατηγοριοποίηση που προβλέπεται από τη νομοθεσία. Γι' αυτό και παρουσιάζεται σε διαφορετικό πίνακα 11. Οι ποσότητες των ΑΗΗΕ έτσι όπως παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα και πίνακες διαχωρίζονται από το 2013 έως το 2016 και από το 2017 μετά. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό είναι η διαφοροποίηση των κατηγοριών ΗΗΕ καθώς και η λεπτομερέστερη καταγραφή τόσο των υποκατηγοριών ΗΗΕ αλλά και των υλικών που προκύπτουν από την επεξεργασία αυτών. Συνεπώς, γίνεται διάκριση μεταξύ των δύο αυτών περιόδων ως προς την παρουσίαση αλλά και την ανάλυση.

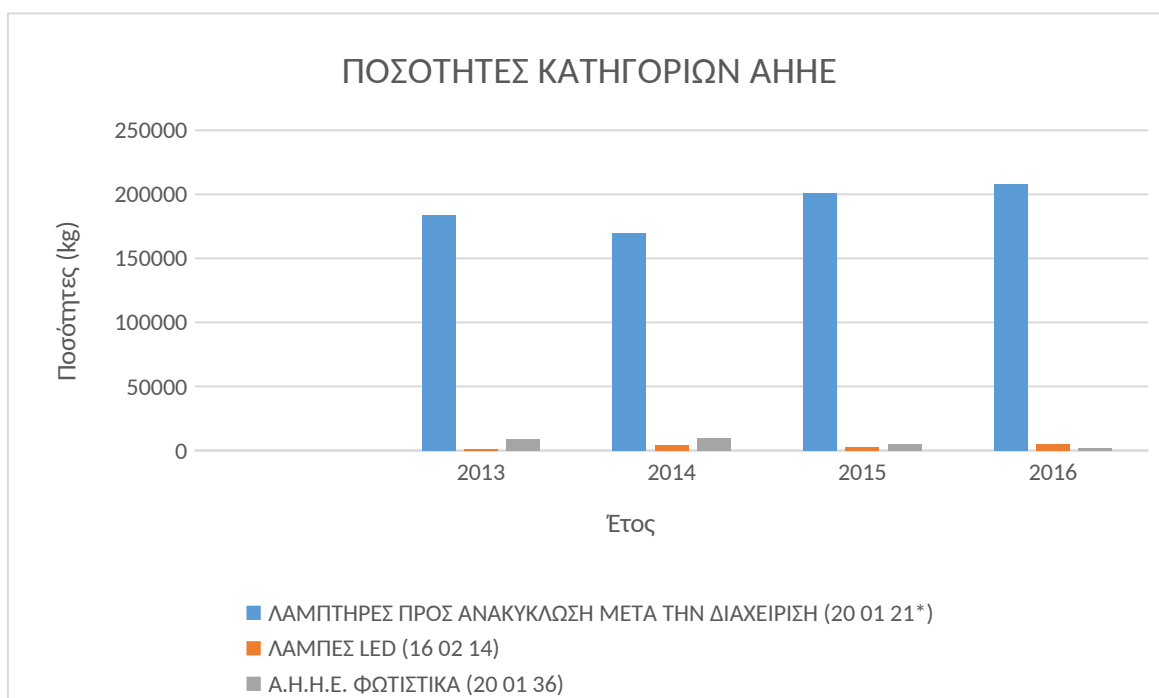
Ο λόγος για τον οποίο παρατηρείται αυτή η διαφοροποίηση σχετίζεται άμεσα με την εξέλιξη του θεσμικού και τεχνολογικού πλαισίου που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). Σε παλαιότερες περιόδους, η καταγραφή και παρουσίαση των στοιχείων γινόταν με λιγότερο αναλυτικό τρόπο, καθώς τα

δεδομένα περιορίζονταν σε γενικές κατηγορίες συσκευών. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου και την ενσωμάτωση της Οδηγίας 2012/19/ΕΕ στο εθνικό δίκαιο, τέθηκε η ανάγκη για λεπτομερέστερη αποτύπωση των ρευμάτων αποβλήτων, τόσο ως προς τις υποκατηγορίες του ΗΗΕ όσο και ως προς τα υλικά που προκύπτουν από την επεξεργασία τους (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2012· Ν. 4496/2017).

Η διάκριση αυτή είναι ουσιώδης διότι επιτρέπει πιο ακριβή ανάλυση της πορείας συλλογής και ανακύκλωσης, αλλά και καλύτερη αξιολόγηση της αποδοτικότητας των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης. Για παράδειγμα, η κατηγοριοποίηση επιτρέπει να διαπιστωθεί ποια ρεύματα παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά ανάκτησης πολύτιμων υλικών (όπως μέταλλα και γυαλί) και ποια εξακολουθούν να εμφανίζουν προκλήσεις λόγω επικινδύνων ουσιών (π.χ. υδράργυρος σε λαμπτήρες φθορισμού). Συνεπώς, η διάκριση μεταξύ των δύο περιόδων δεν αφορά μόνο τη μορφή της παρουσίασης, αλλά και την ουσία της ανάλυσης, καθώς παρέχει τη δυνατότητα για συγκρίσεις και στρατηγικό σχεδιασμό που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της κυκλικής οικονομίας (Eurostat, 2024· ΕΟΑΝ, 2023).

**Πίνακας 12: Ποσότητες κατηγοριών ΑΗΗΕ προς ανακύκλωση (2013-2016) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| <b>ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΑΗΗΕ (kg)</b>                                  |            |             |             |             |             |
|------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                        | <b>ΕΚΑ</b> | <b>2013</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> |
| <b>ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ<br/>ΠΡΟΣ<br/>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ<br/>Η ΜΕΤΑ ΤΗΝ<br/>ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ</b> | (20 01 21) | 184007      | 169788.9    | 200795.5    | 207699.3    |
| <b>ΛΑΜΠΕΣ LED</b>                                                      | (16 02 14) | 895         | 3979.4      | 2557.5      | 5028.48     |
| <b>Α.Η.Η.Ε.<br/>ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ</b>                                          | (20 01 36) | 8800.5      | 9357.2      | 5349.5      | 1818.6      |

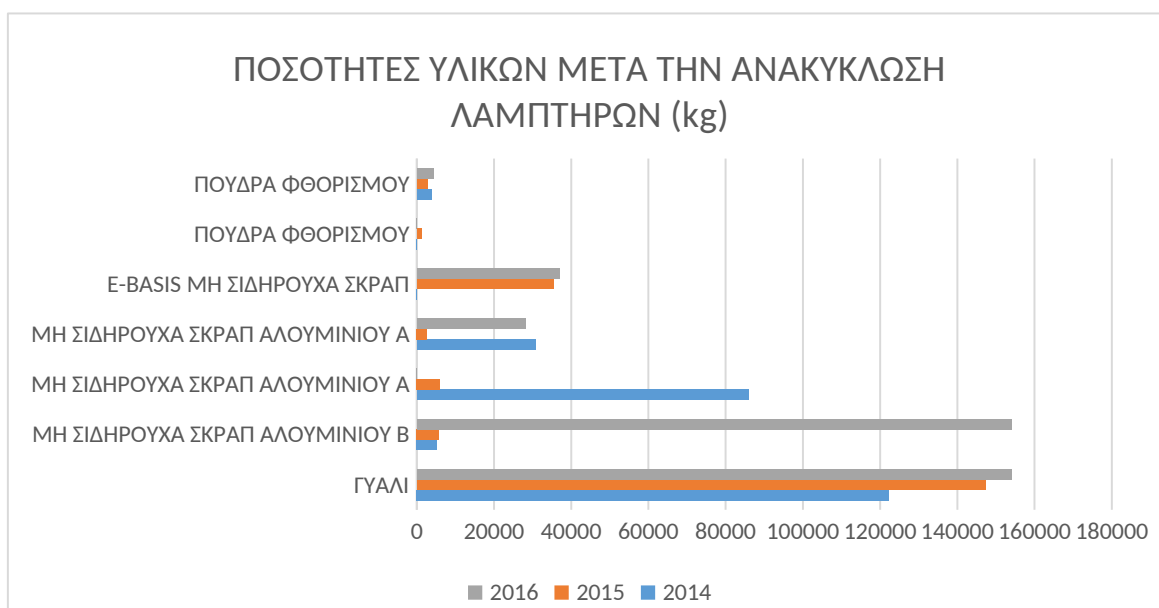


**Διάγραμμα 3: Ποσότητες κατηγοριών ΑΗΗΕ προς ανακύκλωση (2013-2016) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

Παρατηρώντας το γράφημα 12 εν γένει διακρίνεται μια τάση αύξησης των ποσοτήτων των λαμπτήρων προς ανακύκλωση παρά το γεγονός ότι το χρονικό διάστημα είναι σχετικά μικρό.

**Πίνακας 13: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από ανακύκλωση λαμπτήρων 2014-2016 (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| <b>ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (kg) ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ 1.706.553 ΤΟΝΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ</b> |            |             |             |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                                              | <b>ΕΚΑ</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> |
| <b>ΓΥΑΛΙ</b>                                                                                 | 19 12 05   | 122277.4    | 147359.4    | 154018.7    |
| <b>ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΣΚΡΑΠ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ Β</b>                                                       | 19 12 03   | 5214.8      | 5769.3      | 154018.7    |
| <b>ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΣΚΡΑΠ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ Α</b>                                                       | 19 12 03   | 86000       | 6061.4      | 0           |
| <b>Ε-BASIS ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΣΚΡΑΠ</b>                                                            | 19 12 03   | 0           | 35510.3     | 36968.88    |
| <b>ΠΟΥΔΡΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ</b>                                                                      | 19 12 11*  | 0           | 1209.5      | 0           |
| <b>ΣΥΝΟΛΟ</b>                                                                                |            | 170655.3    | 201356.9    | 223457.9    |



**Διάγραμμα 4: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από ανακύκλωση λαμπτήρων 2014-2016  
(ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

Σύμφωνα με το γράφημα 3 που προκύπτει από την ανάλυση των ποσοτήτων για το χρονικό διάστημα 2014-2016, φαίνεται πως το γυαλί αποτελεί ένα από τα κύρια ανακτώμενα, μετά την επεξεργασία, υλικά, ενώ ακολουθούν κυρίως τα σιδηρούχα (διαφόρων τύπων) και εν συνεχεία η πούδρα φθορισμού. Η αύξηση των ανακτώμενων ποσοτήτων εν το σύνολο μεταξύ των ετών 2014 και 2016 είναι εμφανής και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7.

Σύμφωνα με το γράφημα 4 που προκύπτει από την ανάλυση των ποσοτήτων ανακύκλωσης για το χρονικό διάστημα 2014–2016, το γυαλί αναδεικνύεται ως το βασικό ανακτώμενο υλικό μετά την επεξεργασία των αποβλήτων φωτιστικών σωμάτων. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται, καθώς οι περισσότερες κατηγορίες λαμπτήρων περιέχουν σημαντική αναλογία γυαλιού στη δομή τους, γεγονός που καθιστά την ανάκτησή του πιο αποδοτική και εύκολα υλοποιήσιμη. Ακολουθούν τα σιδηρούχα μέταλλα, τα οποία προέρχονται κυρίως από τα μεταλλικά εξαρτήματα και τα στηρίγματα των λαμπτήρων, ενώ σε μικρότερες αλλά αξιόλογες ποσότητες καταγράφεται η ανάκτηση πούδρας φθορισμού. Η πούδρα αυτή, αν και περιέχει υδράργυρο και απαιτεί ειδική διαχείριση, αποτελεί σημαντικό υλικό προς αξιοποίηση, καθώς ενσωματώνει φωσφορικές ενώσεις που μπορούν να οδηγηθούν σε περαιτέρω επεξεργασία (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Eurostat, 2024).

Η συνολική αύξηση των ανακτώμενων ποσοτήτων μεταξύ των ετών 2014 και 2016 είναι εμφανής και αποτυπώνει τη σταδιακή βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων συλλογής και ανακύκλωσης στην Ελλάδα. Η εξέλιξη αυτή συνδέεται αφενός με την ενίσχυση των υποδομών και των συνεργασιών μεταξύ φορέων διαχείρισης αποβλήτων, και αφετέρου με τη βελτίωση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών, η οποία ενισχύθηκε από εκστρατείες ενημέρωσης και από την αυξανόμενη προσβασιμότητα σε σημεία συλλογής. Συνεπώς, το γράφημα 4 δεν παρουσιάζει απλώς μια στατιστική τάση, αλλά αποτυπώνει την προσαρμογή της χώρας στις ευρωπαϊκές απαιτήσεις και την κατεύθυνση προς ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο κυκλικής οικονομίας, όπου η ανάκτηση υλικών αποκτά στρατηγικό ρόλο για την εξοικονόμηση πόρων και τη μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΟΑΝ, 2023· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).



Διάγραμμα 5: Συνολικές ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την ανακύκλωση λαμπτήρων (2014-2016) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)

Για το χρονικό διάστημα 2017-2022 το σύνολο των δεδομένων παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Πίνακας 14: Ποσότητες παραλαβών και επεξεργασίας λαμπτήρων(2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)

|                    | ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ (ΕΚΑ 20 01 21*) (kg) |           |          |          |          |          |
|--------------------|-----------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
|                    | 2017                                    | 2018      | 2019     | 2020     | 2021     | 2022     |
| <b>ΠΑΡΑΛΑΒΕΣ</b>   | 347097.64                               | 345014.24 | 339105.9 | 296727.9 | 300915.4 | 297610.3 |
| <b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b> | 353539.16                               | 353989.25 | 326042.5 | 328279   | 278782   | 316727   |



Διάγραμμα 6: Ποσότητες παραλαβών λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)



**Διάγραμμα 7: Ποσότητες επεξεργασίας λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα υλικά που προκύπτουν από την ανακύκλωση λαμπτήρων για την περίοδο 2017–2022.

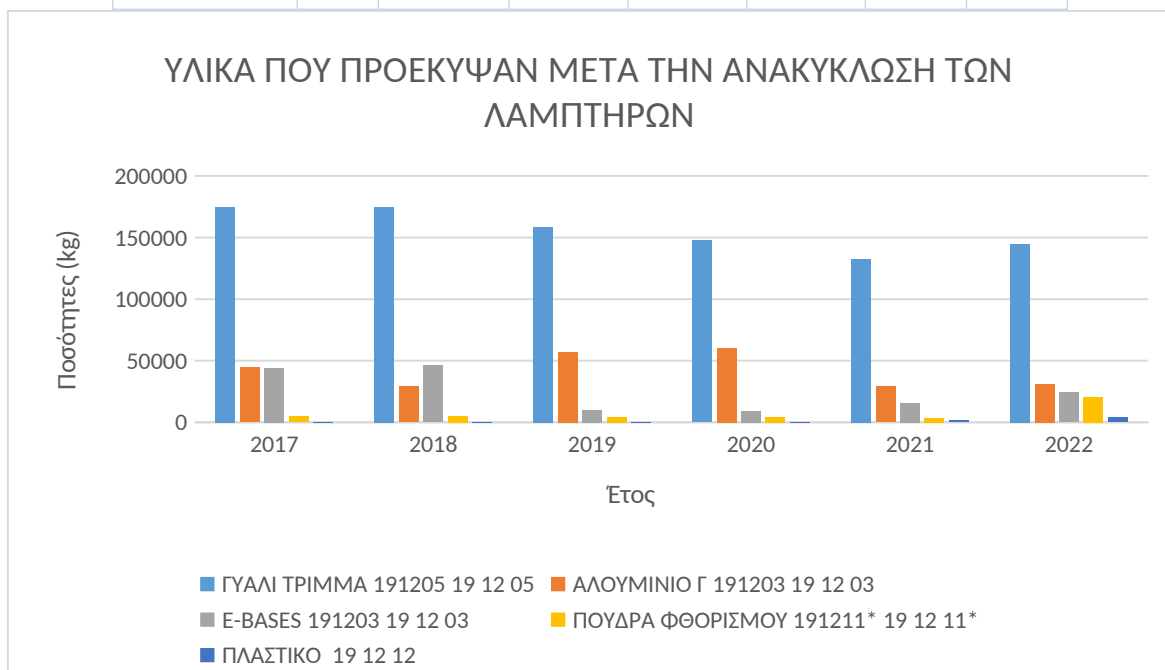
**Πίνακας 15: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση ΑΗΗΕ (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΗΗΕ (kg) |          |           |          |          |          |        |        |
|------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| ΥΛΙΚΑ                                                | ΕΚΑ      | 2017      | 2018     | 2019     | 2020     | 2021   | 2022   |
| ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ        | 20 01 21 | 268419.46 | 254695.3 | 229900.2 | 221635.3 | 194683 | 224129 |
| ΠΑΛΕΤΕΣ                                              | 19 12 07 | 22110     | 26910.62 | 28665.7  | 31144.9  | 31048  | 31430  |
| Α.Η.Η.Ε. ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ                                   | 20 01 36 | 11354.6   | 16977.93 | 24962.4  | 32215.7  | 16842  | 22859  |
| Α.Η.Η.Ε. ΜΙΚΡΟΣΥΣΚΕΥΕΣ                               | 20 01 36 | 10077.15  | 6515.8   | 2806.9   | 0        | 0      | 0      |
| ΚΑΛΩΔΙΑ                                              | 17 04 11 | 2170.7    | 2947.3   | 2242.9   | 3093.7   | 2791   | 2843   |
| ΧΑΡΤΙ                                                | 19 12    | 34981.1   | 40594.   | 31316    | 30636.   | 2700   | 2790   |

|                   |          |           |          |          |        |        |        |
|-------------------|----------|-----------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                   | 01       | 5         | 2        |          | 2      | 7      | 0      |
| ΝΑΪΛΟΝ - ΠΛΑΣΤΙΚΑ | 19 12 04 | 1386.1    | 1150.1   | 1254     | 961.2  | 574    | 997    |
| ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ         | 20 01 33 | 2519.5    | 2835.6   | 2367.1   | 2824   | 2025   | 2194   |
| ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ | 20 03 01 | 520.5     | 1362.4   | 2527.3   | 5768   | 3812   | 4375   |
| ΣΥΝΟΛΟ            |          | 353539.16 | 353989.3 | 326042.5 | 328279 | 278782 | 316727 |

**Πίνακας 16: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ<br>ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ (kg) |           |           |          |          |          |        |        |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| ΥΛΙΚΑ                                                         | ΕΚΑ       | 2017      | 2018     | 2019     | 2020     | 2021   | 2022   |
| ΓΥΑΛΙ ΤΡΙΜΜΑ 191205                                           | 19 12 05  | 174908.4  | 174869   | 158292.7 | 147573.6 | 132511 | 144591 |
| ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Γ 191203                                            | 19 12 03  | 44552.7   | 28831.9  | 56980.1  | 60547.2  | 28925  | 31124  |
| E-BASES 191203                                                | 19 12 03  | 44198.8   | 46045.4  | 10116.6  | 9342     | 15519  | 24182  |
| ΠΟΥΔΡΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ 191211*                                      | 19 12 11* | 4759.56   | 4949     | 4510.8   | 4172.5   | 3378   | 20374  |
| ΠΛΑΣΤΙΚΟ                                                      | 19 12 12  | 0         | 0        | 0        | 0        | 1435   | 3858   |
| ΣΥΝΟΛΟ                                                        |           | 268419.46 | 254695.3 | 229900.2 | 221635.3 | 194683 | 224129 |



**Διάγραμμα 8: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση λαμπτήρων (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

**Πίνακας 17: Ποσότητες υλικών έπειτα από τη διαχείριση λαμπτήρων σε ποσοστά κλάσματος (2017-2022) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ |          |                       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                       |          | ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ (%) |       |       |       |       |       |
| ΥΛΙΚΑ                                                 | ΕΚΑ      | 2017                  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  |
| ΓΥΑΛΙ ΤΡΙΜΜΑ 191205                                   | 19 12 05 | 65,16%                | 68.65 | 68.85 | 66.58 | 68.07 | 64.51 |
| ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Γ 191203                                    | 19 12 03 | 16,6%                 | 11.34 | 24.78 | 27.32 | 14.86 | 13.89 |
| E-BASES 191203                                        | 19 12 03 | 16,47%                | 18.07 | 4.4   | 4.22  | 7.97  | 10.79 |
| ΠΟΥΔΡΑ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ 191211                               | 19 12 11 | 1.77                  | 1.94  | 1.96  | 1.88  | 7.37  | 9.09  |
| ΠΛΑΣΤΙΚΟ                                              | 19 12 12 | 0                     | 0     | 0     | 0     | 1.74  | 1.72  |
| ΣΥΝΟΛΟ                                                |          | 100%                  | 100%  | 100%  | 100%  | 100%  | 100%  |

Από τα δεδομένα του πίνακα 16 είναι φανερό πως το μεγαλύτερο μέρος του κλάσματος είναι το γυαλί. Οι λαμπτήρες προς ανακύκλωση, σύμφωνα με τα δεδομένα και βάσει των έξι (6) κατηγοριών όπως αυτές ισχύουν από το 2018, προκύπτουν και από την επεξεργασία φωτιστικών και μικροσυσκευών. Οι ποσότητες αυτές έχουν καταγραφεί και παρουσιάζονται στο πίνακα 16.

Η κυριαρχία του υλικού αυτού δικαιολογείται από τη σύσταση των περισσότερων τύπων λαμπτήρων, καθώς το γυαλί αποτελεί το κύριο δομικό τους στοιχείο και καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό του συνολικού τους βάρους. Η ανάκτησή του έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς μπορεί να οδηγηθεί σε περαιτέρω επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία υαλουργίας, μειώνοντας την ανάγκη για νέες πρώτες ύλες και ενισχύοντας τη λογική της κυκλικής οικονομίας (Eurostat, 2024· Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024).

Σύμφωνα με το θεσμικό πλαίσιο που ισχύει από το 2018, οι κατηγορίες ΑΗΗΕ έχουν εξειδικευτεί σε έξι (6) ομάδες, οι οποίες περιλαμβάνουν πλέον όχι μόνο τους λαμπτήρες αλλά και φωτιστικά σώματα και μικροσυσκευές. Η αλλαγή αυτή στη μεθοδολογία καταγραφής είχε ως αποτέλεσμα την ακριβέστερη αποτύπωση των ροών αποβλήτων, ενισχύοντας τη δυνατότητα αξιολόγησης της προόδου που επιτυγχάνεται σε κάθε κατηγορία. Οι ποσότητες που προκύπτουν από την επεξεργασία αυτών των συσκευών έχουν καταγραφεί και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα/γράφημα, αποτυπώνοντας τη σταδιακή βελτίωση των ποσοστών συλλογής και την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των υλικών που ανακτώνται (ΕΟΑΝ, 2023· Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2012).

**Πίνακας 18: Υλικά που προέκυψαν από την ανακύκλωση φωτιστικών και μικροσυσκευών (2017-2021) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)**

| ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΥΣΚΕΥΩΝ (kg) |         |         |        |        |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|------|------|
| ΥΛΙΚΑ Α.Η.Η.Ε                                                             | ΕΚΑ     | 2017    | 2018   | 2019   | 2020 | 2021 |
| ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ                                                                 | 200021* | 3320.06 | 3416.6 | 4075.2 | 6963 | 4074 |
| ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ LED                                                             | 191203  | 6595.9  | 2077   |        |      |      |
| ΣΥΝΟΛΟ                                                                    |         | 9915.96 | 5493.6 | 4075.2 | 6963 | 4074 |

Από το 2019 και έπειτα την αλλαγή των κατηγοριών ΑΗΗΕ, οι Λαμπτήρες LED (19 12 03) και οι κοινοί λαμπτήρες (20 22 21) λογίζονται ως μία ποσότητα. Συνεπώς, στον παραπάνω πίνακα δεν εμφανίζονται ποσότητες για τις δύο κατηγορίες χωριστά από το 2019 και μετά.



Διάγραμμα 9: Υλικά που προέκυψαν από την ανακύκλωση φωτιστικών και μικροσυσκευών (2017-2021) (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024)

Οι παραδοσιακοί λαμπτήρες, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, οι φθορισμού και οι αλογόνου, βασίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας για να παράγουν φως. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως λειτουργούν μέσω θέρμανσης του μεταλλικού νήματος βολφραμίου, οι φθορισμού αξιοποιούν εκκένωση αερίων σε σωλήνα με επικάλυψη φωσφόρου και παρουσία υδραργύρου, ενώ οι αλογόνου χρησιμοποιούν αέρια αλογόνου για βελτίωση της απόδοσης. Όλοι αυτοί θεωρούνται «κοινοί λαμπτήρες», καθώς αποτελούσαν τις κυριότερες επιλογές φωτισμού μέχρι την τελευταία δεκαετία (Eurostat, 2024· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009).

Αντίθετα, οι λαμπτήρες LED (Light Emitting Diodes) λειτουργούν με βάση τις διόδους εκπομπής φωτός, που παράγουν φωτεινή ακτινοβολία μέσω της κίνησης ηλεκτρονίων σε ημιαγωγούς. Σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες, δεν απαιτούν υδράργυρο ούτε γυάλινους σωλήνες υπό πίεση, γεγονός που τους καθιστά ασφαλέστερους για το περιβάλλον. Επιπλέον, οι LED είναι έως και 80% αποδοτικότεροι ενεργειακά, έχουν πολλαπλάσια διάρκεια ζωής και μειώνουν σημαντικά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που συνδέονται με την κατανάλωση ενέργειας (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2011).

Η βασική διαφορά, λοιπόν, είναι ότι οι κοινοί λαμπτήρες στηρίζονται σε φυσικές διεργασίες θερμότητας ή εκκένωσης αερίων, ενώ οι LED βασίζονται σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και ημιαγωγούς. Αυτό έχει επιπτώσεις και στη διαχείριση αποβλήτων: οι κοινοί λαμπτήρες περιέχουν υλικά όπως υδράργυρο ή φωσφορικά, που είναι επικίνδυνα για το περιβάλλον, ενώ οι LED αν και δεν περιέχουν υδράργυρο, περιλαμβάνουν σπάνιες γαίες και πολύτιμα μέταλλα που καθιστούν την ανακύκλωσή τους πιο πολύπλοκη αλλά και πιο σημαντική λόγω της αξίας των υλικών που ανακτώνται. Συνεπώς, οι LED δεν είναι «κοινοί λαμπτήρες»,

αλλά μια νέα, πιο αποδοτική και βιώσιμη τεχνολογία φωτισμού που αντικαθιστά σταδιακά όλες τις παλαιότερες μορφές (ΕΟΑΝ, 2023· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

Τα στοιχεία στον Πίνακα 18 αφορούν στις ποσότητες που ανακυκλώθηκαν ανά κατηγορία ΗΗΕ για το χρονικό διάστημα από 2015 έως 2022.

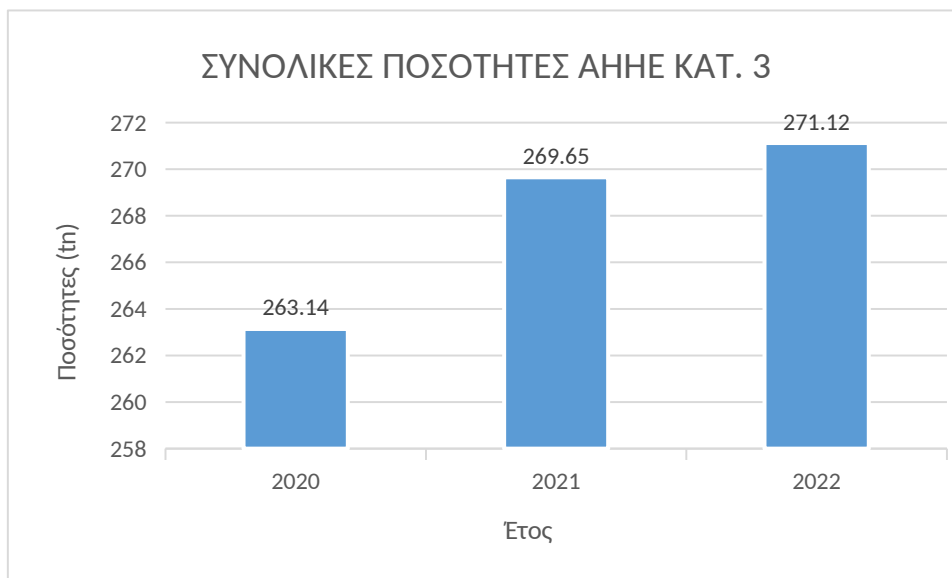
**Πίνακας 19: Ποσότητες ΗΗΕ που ανακυκλώθηκαν από το 2015 έως το 2022(ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε.)**

| ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ (tn) |         |         |         |         |         |        |        |        |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    | 2019    | 2020   | 2021   | 2022   |
| <b>ΚΑΤ.3</b>   | N/A     | N/A     | N/A     | N/A     | N/A     | 263.14 | 269.65 | 271.12 |
| <b>ΚΑΤ. 5</b>  | 311.662 | 304.424 | 355.618 | 391.328 | 781.084 | N/A    | N/A    | N/A    |

Οι ποσότητες που αναγράφονται στον πίνακα 18 διαχωρίζονται σε δύο (2) κατηγορίες. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι η αλλαγή στην κατηγοριοποίηση των ΗΗΕ από δέκα (10) σε έξι (6), σύμφωνα με την Οδηγία 2012/19/ΕΚ και έπειτα από τη λήξη της μεταβατικής περιόδου 2012-2018. Έτσι καθίσταται δύσκολη η σύγκριση των ποσοτήτων όπως αυτές παρουσιάζονται έως το 2019 και μετά από αυτό. Η ΚΑΤ. 5 ΑΗΗΕ περιλαμβάνει εν γένει τα είδη φωτισμού, ενώ η ΚΑΤ.3, έπειτα από την τροποποίηση των κατηγοριών αφορά αμιγώς σε λαμπτήρες. Ανεξάρτητα από αυτό όμως μπορεί να παρατηρηθεί μια ελαφρώς αυξητική τάση στις ποσότητες που ανακυκλώνονται.



**Διάγραμμα 10: Ποσότητες ΑΗΗΕ ΚΑΤ. 5 που ανακυκλώθηκαν (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)**

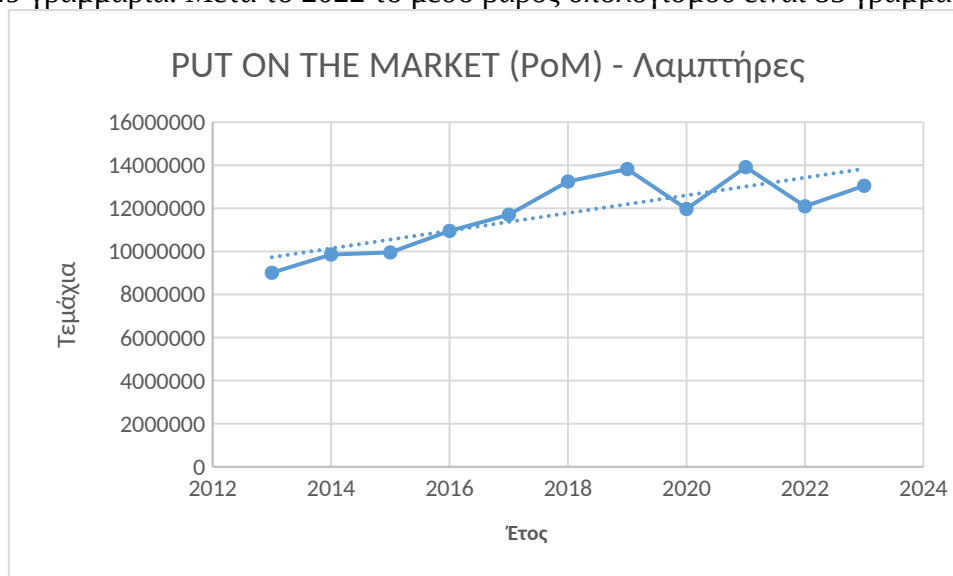


Διάγραμμα 11: Ποσότητες ΑΗΗΕ ΚΑΤ. 3 που ανακυκλώθηκαν (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024)

Πίνακας 20: Ποσότητες PoM εκπεφρασμένες σε τεμάχια και αντίστοιχο βάρος για τα έτη από το 2013 έως το 2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).

| ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε.            |            |             |
|-------------------------------------|------------|-------------|
| PUT ON THE MARKET (PoM) - Λαμπτήρες |            |             |
| Έτος                                | Βάρος (tn) | Τεμάχια     |
| 2013                                | 1342,41    | 9.009.517   |
| 2014                                | 1468,04    | 9.852.674   |
| 2015                                | 1482,39    | 9.948.959   |
| 2016                                | 1631.58    | 10950846    |
| 2017                                | 1743.61    | 11702148    |
| 2018                                | 1973.46    | 13244695    |
| 2019                                | 2059.6     | 13822852    |
| 2020                                | 1783.31    | 11968545    |
| 2021                                | 2072.95    | 13912422    |
| 2022                                | 1027.87    | 12092408    |
| 2023                                | 1109.02    | 13047004    |
| Σύνολο                              | 18.893,72  | 137.325.437 |

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, το μέσο βάρος των λαμπτήρων άλλαξε το 2022. Μέχρι τότε ήταν 149 γραμμάρια. Μετά το 2022 το μέσο βάρος υπολογισμού είναι 85 γραμμάρια.



Διάγραμμα 12: Αριθμός τεμαχίων που σχετίζονται με το PoM για τα έτη από 2012 έως 2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 12, οι ποσότητες PoM παρουσιάζουν μια ελαφρώς αυξητική τάση για το ανωτέρω χρονικό διάστημα. Σημαντικό ρόλο παίζει η αλλαγή στο μέσο βάρος του λαμπτήρα όπου μετά το 2022 άλλαξε και από 149γρ. μεταβλήθηκε στα 85γρ. Δεδομένης αυτής της αλλαγής κρίνεται πιο σωστή η χρήση των τεμαχίων αντί του βάρους για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την τάση των ποσοτήτων PoM. Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται για τα έτη 2017 έως 2023 οι ποσότητες των ανακτώμενων υλικών από την ανακύκλωση λαμπτήρων.

Πίνακας 21: Ποσότητες Ανακτώμενων Υλικών από την επεξεργασία λαμπτήρων για το χρονικό διάστημα από 2017 έως 2023 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).

| Έτος                            | 2017  | 2018   | 2019  | 2020   |
|---------------------------------|-------|--------|-------|--------|
| Alumina Glass (Na)              | 0.5   | 0.46   | 0.24  |        |
| Capsules (Hg+Na)                |       |        | 0.43  | 0.9    |
| Ceramics                        |       |        | 0.55  | 0.28   |
| Ferrous Metals                  | 6.19  | 5      | 3.32  | 7.14   |
| Fluorescent Powder (no mercury) | 3.63  | 3.55   | 2.83  |        |
| Fluorescent Powder with mercury | 0.01  |        |       | 0.35   |
| Glass                           | 97.98 | 103.45 | 91.92 | 181.64 |
| Glass (tube ends)               | 7.15  | 7.06   | 6.14  | 5.98   |
| Losses                          | 1.57  | 1.69   | 1.28  | 3.24   |
| Mercury                         | 0.36  |        | 0.48  | 3.03   |
| Non ferrous metals              | 7.14  | 7.24   | 10.99 | 22.38  |
| Plastic                         |       |        | 2.12  | 7.93   |
| Plastic and glass               | 77.93 | 68.42  | 66.28 | 53.9   |
| Printed circuit board           | 12.32 | 10.06  | 11.42 | 10.11  |

|                                              |        |        |        |        |
|----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Quartz glass (Hg)                            | 0.76   | 0.56   | 0.48   |        |
| Water (condensation)                         | 0.08   | 0.06   | 0.08   |        |
| Αλουμίνιο                                    |        |        |        | 21.98  |
| Αναμεικτα δημοτικά απορρίμματα               | 11.2   |        | 6.2    | 14.34  |
| Γυάλινα μέρη                                 |        |        |        | 5.72   |
| Λαμπτήρες                                    |        |        |        | 7.9    |
| Μη-σιδηρούχο                                 |        |        |        | 7.39   |
| Πλαστικά                                     |        |        |        |        |
| Συσκευές που έχουν προετοιμαστεί για επαν/ση |        |        |        |        |
| Υλικά συσκευασίας                            |        |        |        |        |
| Σύνολο                                       | 226.83 | 207.53 | 204.74 | 354.19 |

Σύμφωνα με τα ανωτέρω στοιχεία τα ανακτώμενα υλικά αυξάνονται με τα έτη γεγονός που δείχνει τη συνεχή εξέλιξη της ανακύκλωσης λαμπτήρων στη χώρα μας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τα ανωτέρω το γυαλί είναι το κυρίαρχο υλικό ανάκτησης. Από το 2020 και μετά παρατηρούνται ανακτώμενες ποσότητες αλουμινίου οι οποίες φθίνουν έως το 2022 όπου και παρατηρείται μεγάλη αύξηση των ποσοτήτων των ανακτώμενων πλαστικών. Αυτή η παρατήρηση ενδέχεται να συνδέεται με αλλαγές στα υλικά κατασκευής των λαμπτήρων ή/και σε αύξηση της χρήσης λαμπτήρων που κατασκευαστικά αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από πλαστικά μέρη.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες αλογόνου δεν περιέχουν ουσιαστικά πλαστικά μέρη· η κατασκευή τους βασίζεται κυρίως σε γυαλί, μέταλλο (ντουί, νήμα βολφραμίου) και σε ορισμένες περιπτώσεις αέρια αλογόνου. Το ίδιο ισχύει σε μεγάλο βαθμό και για τους λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης και τους λαμπτήρες νατρίου, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από γυάλινους σωλήνες και μεταλλικά στοιχεία. Συνεπώς, αυτές οι κατηγορίες δεν συνδέονται με ιδιαίτερη παρουσία πλαστικών στην κατασκευή τους, κάτι που καθιστά την ανακύκλωσή τους πιο επικεντρωμένη στο γυαλί και στα μέταλλα (Eurostat, 2024· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009).

Αντίθετα, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL) περιλαμβάνουν πλαστικά μέρη στη βάση τους, όπου στεγάζονται τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Τα πλαστικά αυτά συμβάλλουν στη μόνωση και στη στήριξη των κυκλωμάτων, αλλά παράλληλα αποτελούν και πρόσθετο υλικό που πρέπει να διαχωριστεί κατά την ανακύκλωση. Οι λαμπτήρες LED επίσης περιέχουν σημαντικά πλαστικά μέρη, τόσο στο σώμα τους όσο και σε ορισμένα διαφανή καλύμματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για λόγους αντοχής, προστασίας και διάχυσης του φωτός. Στην αγορά σήμερα, οι LED αποτελούν την ταχύτερα αναπτυσσόμενη τεχνολογία φωτισμού, με μεγάλη γκάμα προϊόντων που συνδυάζουν πλαστικά, μέταλλα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· ΕΟΑΝ, 2023).

Συνεπώς, από τους τύπους που αναφέρθηκαν παραπάνω, πλαστικά μέρη συναντώνται κυρίως στους \*\*συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL)\*\* και στους \*\*λαμπτήρες LED\*\*.

Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται ακόμη σε αρκετές κατοικίες και επαγγελματικούς χώρους, αν και υποχωρούν λόγω της επικράτησης των LED, ενώ οι δεύτεροι καταλαμβάνουν πλέον το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς παγκοσμίως. Αντίθετα, οι παραδοσιακοί «κοινοί» λαμπτήρες

(πυρακτώσεως, αλογόνου, φθορισμού γραμμικοί, νατρίου, υδραργύρου) δεν περιέχουν ουσιαστικά πλαστικά στοιχεία, αλλά βασίζονται κυρίως σε γυαλί και μέταλλα. Αυτός ο συνδυασμός δείχνει ότι ενώ τα νεότερα προϊόντα μειώνουν τις ενεργειακές ανάγκες, αυξάνουν την πολυπλοκότητα της ανακύκλωσης λόγω της παρουσίας πλαστικών και ηλεκτρονικών μερών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· Eurostat, 2024).

**Πίνακας 22: Ανακτώμενα υλικά (tn) από την ανακύκλωση φωτιστικών για τα έτη 2017-2018  
(ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).**

| Κλάσματα                                          | 2017          | 2018          |
|---------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Άλλα μέρη/κλάσματα από αποσυναρμολόγηση           |               | 0,02          |
| Ανεμιστήρες μικροί                                | 0,02          |               |
| Γυαλί                                             | 0,08          | 0,18          |
| Καλώδια                                           | 1,97          | 3,47          |
| Λαμπτήρες                                         | <b>4,10</b>   | <b>2,98</b>   |
| INOX                                              | 0,13          | 0,08          |
| Αλουμίνιο                                         | 24,07         | 26,29         |
| Μη-σιδηρούχο                                      | 0,16          | 0,03          |
| Ορείχαλκος                                        | 0,04          | 0,06          |
| Σίδηρος                                           | 39,02         | 29,68         |
| Χαλκός                                            | 0,06          | 0,02          |
| Μετασχηματιστές                                   | 1,58          | 3,08          |
| Μοτερ και μετασχηματιστές (μικρά)                 | 0,07          | 0,22          |
| Μοτέρ/μετασχηματιστές από κατατεμαχισμό           | 12,15         | 9,64          |
| Μπαταρίες                                         | 0,86          | 1,82          |
| Ξύλο                                              | 0,19          | 0,37          |
| Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων >10 cm <sup>2</sup> | 0,11          | 0,54          |
| Πλαστικά                                          | 35,92         | 13,33         |
| Πυκνωτές ηλ/κοι                                   | 0,63          | 0,37          |
| Πυκνωτές με PCB                                   | 0,01          | 0,01          |
| Αναμεικτα δημοτικά απορρίμματα                    | 0,31          |               |
| Υλικά συσκευασίας                                 | 1,21          | 2,86          |
| Υπολείμματα διαδικασίας (Total)                   | 9,31          | 59,87         |
| <b>Total</b>                                      | <b>131,97</b> | <b>154,91</b> |

**Πίνακας 23: Ανακτώμενα υλικά (tn) από την ανακύκλωση φωτιστικών για τα έτη 2019-2023  
(ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2024).**

| Κλάσματα                                | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Τροφοδοτικά                             |      | 0,05 | 0,23 |      |      |
| Άλλα μέρη/κλάσματα από αποσυναρμολόγηση |      | 0,16 | 0,08 |      |      |

|                                                          |                    |               |               |               |               |
|----------------------------------------------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Ανεμιστήρες μικροί</b>                                |                    | 0,01          |               | 0,02          |               |
| <b>Πηνία</b>                                             | 30,08              | 18,34         | 7,54          | 26,30         | 44,55         |
| <b>Τηλεκονρόλ</b>                                        |                    | 1,54          |               |               |               |
| <b>Πλακέτες</b>                                          |                    |               | 0,39          | 0,78          |               |
| <b>Γυαλί</b>                                             | 2,16               | 0,13          | 0,57          | 0,99          | 0,72          |
| <b>Καλώδια</b>                                           | 14,15              | 16,75         | 13,75         | 20,07         | 18,98         |
| <b>Πρίζες</b>                                            | 0,34               | 0,48          | 0,80          | 0,70          | 0,44          |
| <b>Λαμπτήρες</b>                                         | <b>11,87</b>       | <b>5,21</b>   | <b>4,67</b>   | <b>10,93</b>  | <b>10,19</b>  |
| <b>INOX</b>                                              | 0,15               | 0,04          | 0,19          | 0,25          | 0,14          |
| <b>Αλουμίνιο</b>                                         | 30,74              | 25,20         | 39,38         | 29,69         | 40,64         |
| <b>Μη-σιδηρούχο</b>                                      | 12,06              | 7,84          | 3,83          | 9,10          | 11,98         |
| <b>Ορείχαλκος</b>                                        | 0,03               | 0,01          | 0,02          | 0,34          |               |
| <b>Σίδηρος</b>                                           | 141,4<br>5         | 88,61         | 97,61         | 124,36        | 316,68        |
| <b>Χαλκός</b>                                            | 0,02               | 0,02          | 1,85          | 0,91          | 0,91          |
| <b>Μετασχηματιστές</b>                                   | 14,46              | 13,53         | 17,88         | 20,93         | 15,06         |
| <b>Μοτερ και μετασχηματιστές (μικρά)</b>                 | 0,26               | 0,10          | 0,01          |               | 0,20          |
| <b>Μοτέρ/Μετασχηματιστές</b>                             |                    | 0,02          |               |               |               |
| <b>Μοτέρ/μετασχηματιστές από κατατεμαχισμό</b>           |                    |               | 0,06          | 0,31          | 0,55          |
| <b>Συμπιεστές</b>                                        |                    |               |               | 0,05          |               |
| <b>Μπαταρίες</b>                                         | 0,88               | 0,81          | 1,06          | 1,01          | 0,92          |
| <b>Ξύλο</b>                                              | 0,68               | 0,95          | 1,62          | 1,00          | 2,06          |
| <b>Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων &gt;10 cm2</b>          | 0,82               | 0,96          | 1,28          | 1,09          | 0,95          |
| <b>Πλαστικά</b>                                          | 21,97              | 13,60         | 20,37         | 26,50         | 31,85         |
| <b>Μέρη που μπορεί να προετοιμαστούν για επαν/ση</b>     |                    |               | 0,06          |               |               |
| <b>Συσκευές που έχουν προετοιμαστεί για επαν/ση</b>      |                    |               | 0,10          | 8,26          |               |
| <b>Συσκευές που μπορεί να προετοιμαστούν για επαν/ση</b> |                    |               |               |               | 0,11          |
| <b>Πυκνωτές (όχι PCB, όχι ηλ/κοι)</b>                    |                    | 0,05          | 0,08          | 0,10          | 0,13          |
| <b>Πυκνωτές ηλ/κοι</b>                                   | 0,73               | 0,62          | 0,75          | 0,74          | 0,92          |
| <b>Πυκνωτές με PCB</b>                                   | 0,08               | 0,10          | 0,05          | 0,04          |               |
| <b>Συσκευές</b>                                          |                    |               | 0,22          | 2,89          |               |
| <b>Ανάμεικτα δημοτικά απορρίμματα</b>                    | 4,67               | 1,41          | 0,30          | 0,18          | 0,31          |
| <b>Υλικά συσκευασίας</b>                                 | 2,44               | 3,28          | 3,06          | 12,14         | 4,57          |
| <b>Υπολείμματα διαδικασίας</b>                           | 116,0<br>0         | 59,99         | 58,95         | 76,21         | 83,64         |
| <b>Ελαφρύ κλάσμα κατατεμαχισμού</b>                      |                    |               |               | 0,075         |               |
| <b>Total</b>                                             | <b>407,7<br/>5</b> | <b>258,18</b> | <b>276,30</b> | <b>375,60</b> | <b>587,25</b> |

Γενικά, παρατηρώντας τα δεδομένα από τους πίνακες 20, 21 και 22 γίνεται αντιληπτό ότι οι ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την ανακύκλωση φωτιστικών παρουσιάζουν μια αύξηση ιδιαίτερα από το 2019 και μετά. Αντίστοιχες τάσεις παρουσιάζει και η ανάκτηση

λαμπτήρων όπου το 2014 ανακτήθηκαν 4,1tn και το 2023 10,19tn. Εν γένει, στην περίπτωση των φωτιστικών τα κυρίαρχα ανακτώμενα υλικά είναι ο σίδηρος, το αλουμίνιο, τα πηνία, πλαστικά και έπειτα μαζί με καλώδια και μετασχηματιστές έρχονται οι ποσότητες των λαμπτήρων.

Συμπερασματικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ποσότητες λαμπτήρων που ανακτώνται από την ανακύκλωση φωτιστικών είναι αρκετά μικρές συγκριτικά με τις ποσότητες λαμπτήρων του RoM και των ποσοτήτων που καταλήγουν για ανακύκλωση. Παρόλα αυτά η κάθε πηγή συμβάλλει, είτε λίγο είτε πολύ, θετικά στην προσπάθεια εξέλιξης και αναβάθμισης του μοντέλου και της αποδοτικότητας της ανακύκλωσης.

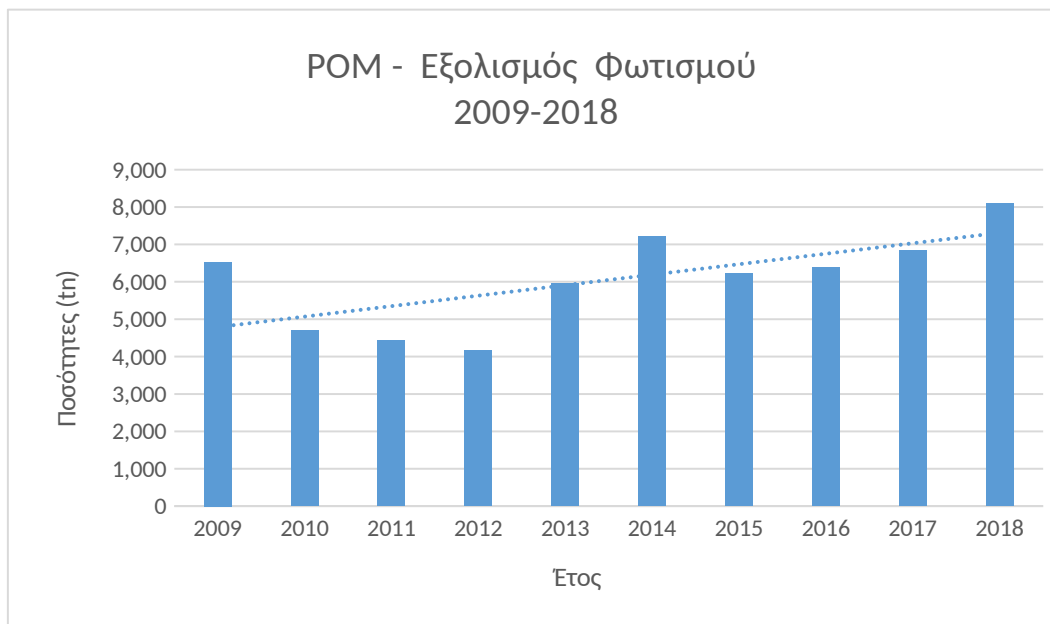
#### 4.3.2. Στοιχεία Ελλάδας και χωρών της Ε.Ε.

##### **Ποσότητες RoM**

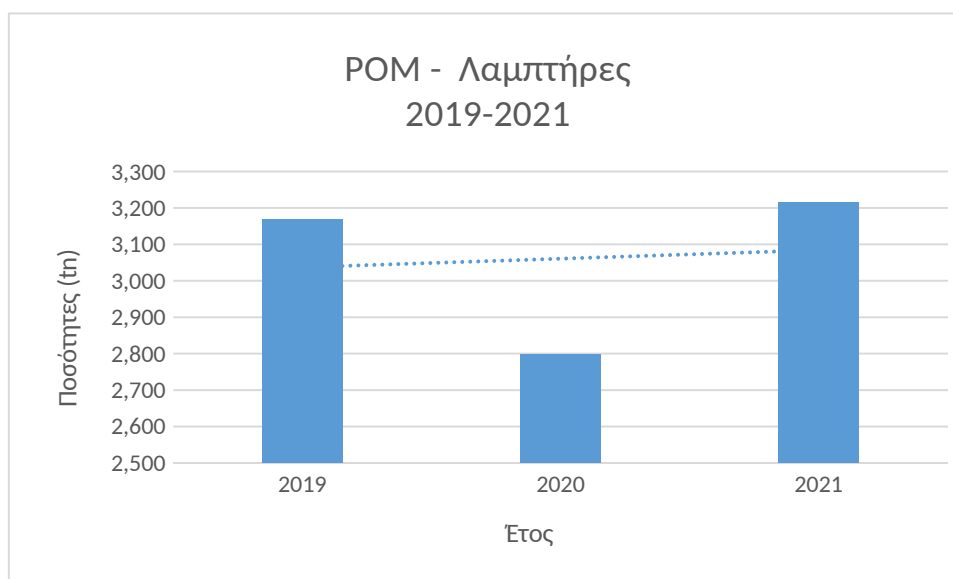
Στα διαγράμματα 13, 14 παρουσιάζονται στοιχεία για τις ποσότητες RoM στην Ελλάδα και τις λοιπές χώρες της Ε.Ε. Τα στοιχεία χωρίζονται σε δύο περιόδους που παρουσιάζεται και η αλλαγή στις κατηγοριοποιήσεις των ΗΗΕ.

| TIME                                | 2009   | 2010   | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    |
|-------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>GEO (Labels)</b>                 |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
| European Union - 27 countries (from | :      | :      | 306,338 | 333,088 | 299,163 | 339,888 | 515,662 | 460,167 | 476,108 | 448,695 |
| Belgium                             | 24,661 | 25,576 | 25,867  | 26,258  | 21,675  | 27,402  | 29,016  | 29,683  | 27,083  | 30,681  |
| Bulgaria                            | 613    | 478    | 453     | 481     | 469     | 627     | 784     | 1,739   | 1,889   | :       |
| Czechia                             | 7,039  | 7,512  | 7,555   | 7,178   | 7,530   | 8,802   | 9,376   | 8,773   | 9,445   | 10,874  |
| Denmark                             | 2,938  | 2,445  | 2,925   | 1,401   | 3,890   | 1,656   | 7,087   | 1,757   | 10,095  | 10,017  |
| Germany                             | 68,501 | 57,471 | 45,702  | 40,194  | 43,786  | 87,422  | 233,860 | 138,007 | 153,945 | 193,215 |
| Estonia                             | 822    | 675    | 798     | 820     | 653     | 652     | 757     | 799     | 965     | 978     |
| Ireland                             | 4,637  | 4,544  | 3,150   | 2,981   | 3,775   | 3,888   | 3,226   | 4,328   | 5,749   | 3,984   |
| Greece                              | 6,530  | 4,700  | 4,426   | 4,163   | 5,954   | 7,205   | 6,229   | 6,373   | 6,837   | 8,100   |
| Spain                               | 37,621 | 35,358 | 29,649  | 23,476  | 23,167  | 19,924  | 20,945  | 24,634  | 25,939  | 28,401  |
| France                              | 22,859 | 29,967 | 12,134  | 34,863  | 32,839  | 32,620  | 34,276  | 36,940  | 38,049  | 38,104  |
| Croatia                             | :      | :      | 2,700   | 2,212   | 1,975   | 2,141   | 2,061   | 2,536   | 2,833   | 3,030   |
| Italy                               | 99,961 | 80,703 | 99,400  | 108,795 | 74,245  | 61,889  | 70,805  | 86,098  | 74,670  | :       |
| Cyprus                              | 440    | 550    | 423     | 395     | 324     | 334     | 238     | 254     | 291     | 360     |
| Latvia                              | 602    | 485    | 608     | 859     | 741     | 836     | 1,271   | 1,210   | 1,436   | 1,454   |
| Lithuania                           | 524    | 462    | 532     | 482     | 829     | 859     | 991     | 1,151   | 1,248   | 1,729   |
| Luxembourg                          | 691    | 826    | 850     | 565     | 531     | 728     | 744     | 1,027   | 1,240   | 1,283   |
| Hungary                             | 3,840  | 3,888  | 3,183   | 3,992   | 3,151   | 2,790   | 3,895   | 4,054   | 5,616   | 5,536   |
| Malta                               | 469    | 520    | 545     | 505     | 758     | 1,417   | 1,007   | 325     | 370     | 221     |
| Netherlands                         | :      | :      | :       | 9,925   | 8,356   | 7,889   | 10,871  | 10,827  | 12,569  | 11,112  |
| Austria                             | 1,223  | 1,484  | 1,346   | 1,329   | 1,306   | 1,393   | 1,450   | 2,675   | 2,659   | 2,293   |
| Poland                              | 23,434 | 26,913 | 28,056  | 25,551  | 26,537  | 32,379  | 32,372  | 48,651  | 38,653  | 36,764  |
| Portugal                            | 9,474  | 7,569  | 6,693   | 6,170   | 4,268   | 4,268   | 5,194   | 5,689   | 7,839   | :       |
| Romania                             | 2,420  | 1,234  | 4,237   | 4,588   | 5,429   | 4,253   | 4,918   | 5,980   | 8,387   | 13,061  |
| Slovenia                            | 1,139  | 1,100  | 1,024   | 999     | 1,018   | 964     | 883     | 870     | 950     | 931     |
| Slovakia                            | 2,768  | 2,772  | 2,400   | 2,244   | 2,326   | 2,755   | 1,885   | 3,361   | 3,663   | 3,866   |
| Finland                             | 10,609 | 10,239 | 9,823   | 10,985  | 11,777  | 9,675   | 8,620   | 9,109   | 9,925   | 8,730   |
| Sweden                              | 11,160 | 11,130 | 11,839  | 11,676  | 11,857  | 15,117  | 22,901  | 23,316  | 23,763  | 24,243  |
| Iceland                             | 979    | 1,161  | 1,231   | 1,079   | 1,066   | 1,061   | 897     | 1,026   | 1,321   | 1,423   |
| Liechtenstein                       | :      | :      | 1       | 1       | 1       | 5       | 10      | 35      | 35      | 31      |
| Norway                              | 29,435 | 32,217 | 25,062  | 26,772  | 26,186  | 24,279  | 26,585  | 24,164  | 26,069  | 25,049  |
| United Kingdom                      | 68,166 | 67,855 | 72,962  | 56,355  | 51,436  | 50,872  | 44,808  | 50,945  | 49,111  | 45,903  |

Εικόνα 25: Ποσότητες ΡοΜ εξοπλισμού φωτισμού για τα έτη 2009 έως 2018 στις χώρες της Ε.Ε.



Διάγραμμα 13: Ποσότητες ΡοΜ εξοπλισμού φωτισμού για τα έτη 2009 έως 2018 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)

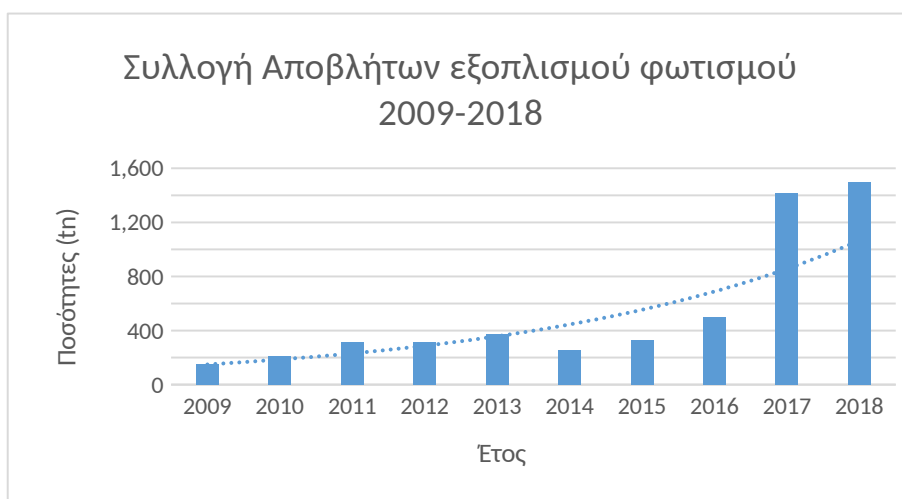


**Διάγραμμα 14: Ποσότητες PoM λαμπτήρων για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)**

Εν γένει αυτό που παρατηρείται είναι μία σταθερότητα στις ποσότητες PoM στις περισσότερες εκ των χωρών της Ε.Ε. συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Παρατηρείται η ίδια εικόνα με τα προηγούμενα δεδομένα και για την Ελλάδα και για την Ε.Ε. Μία σχετική αύξηση τα έτη 2017-2018 και μια σταθεροποίηση των ποσοτήτων από το 2019 και έπειτα. Αυτή η εικόνα είναι επηρεασμένη σε μεγάλο βαθμό από την αλλαγή στην κατηγοριοποίηση των ΗΗΕ και τη συγχώνευση των κατηγοριών από δέκα (10) σε έξι (6). Αυτός είναι και ο λόγος που οι ποσότητες σαν απόλυτοι αριθμοί δεν παρουσιάζουν συνέπεια πριν από το 2019 και μετά από αυτό.

#### 4.3.3. Ποσότητες συλλογής ΑΗΗΕ

Στα διαγράμματα 15, 16 παρουσιάζονται στοιχεία για τις ποσότητες συλλογής εξοπλισμού φωτισμού και λαμπτήρων για τις περιόδους 2009-2018 και 2019-2021, αντίστοιχα στην Ελλάδα και τις λοιπές χώρες της Ε.Ε.



**Διάγραμμα 15: Ποσότητες εξοπλισμού φωτισμού που συλλέχθηκαν για τα έτη 2009 έως 2018 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)**

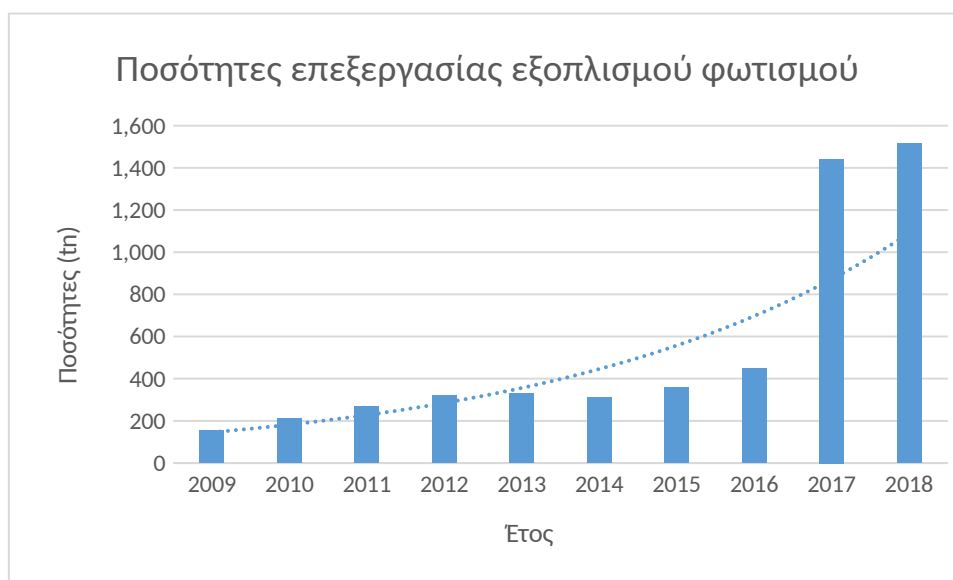


**Διάγραμμα 16: Ποσότητες λαμπτήρων που συλλέχθηκαν για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)**

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δεδομένα εδώ παρατηρείται μια στασιμότητα και σταθεροποίηση των ποσοτήτων που συλλέγονται κάθε χρόνο.

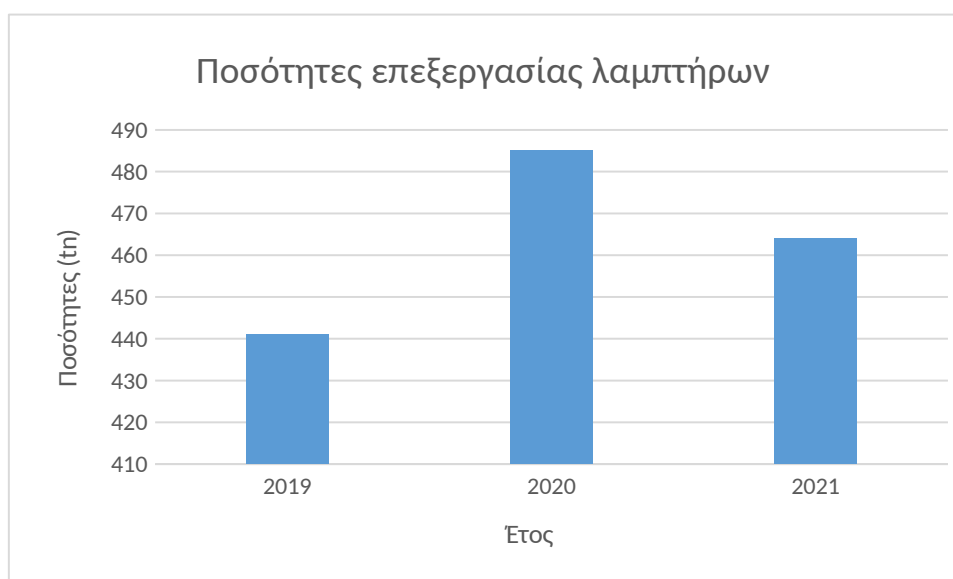
#### 4.3.4. Ποσότητες επεξεργασίας ΑΗΗΕ

Στα διαγράμματα και πίνακες παρουσιάζονται στοιχεία για τις ποσότητες επεξεργασίας εξοπλισμού φωτισμού και λαμπτήρων για τις περιόδους 2009-2018 και 2019-2021, αντίστοιχα στην Ελλάδα και τις λοιπές χώρες της Ε.Ε.



**Διάγραμμα 17: Ποσότητες εξοπλισμού φωτισμού που υπέστησαν επεξεργασία για τα έτη 2009 έως 2018 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)**

Στα δεδομένα που αφορούν στις ποσότητες επεξεργασίας η εικόνα 18 είναι παρόμοια με αυτή των δεδομένων συλλογής.



**Διάγραμμα 18: Ποσότητες λαμπτήρων που υπέστησαν επεξεργασία για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)**

Στα δεδομένα που αφορούν στις ποσότητες επεξεργασίας η εικόνα είναι παρόμοια με αυτή των δεδομένων συλλογής. Παρατηρείται μια αυξητική τάση κυρίως τα έτη 2017 – 2018 και μία σταθεροποίηση από το 2019 και μετά.

### Ανακτώμενες ποσότητες

| TIME                                      | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>GEO (Labels)</b>                       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |
| European Union - 27 countries (from 2020) | :     | :     | :     | :     | :     | 23,215 | 29,194 | 48,644 | 62,584 | 71,639 |
| Belgium                                   | 1,063 | 1,158 | 1,261 | 1,334 | 1,370 | 1,440  | 1,830  | 2,199  | 3,757  | 2,751  |
| Bulgaria                                  | 177   | 207   | 233   | 161   | 140   | 183    | 352    | 706    | 817    | :      |
| Czechia                                   | 189   | 284   | 329   | 241   | 868   | 479    | 530    | 1,088  | 1,711  | 2,627  |
| Denmark                                   | 3     | 5     | 54    | 669   | 0     | 412    | 1,221  | 822    | 1,735  | 2,623  |
| Germany                                   | 451   | 753   | 867   | 502   | 1,728 | 1,158  | 1,465  | 7,102  | 10,395 | 15,104 |
| Estonia                                   | 39    | 24    | 40    | 16    | 14    | 23     | 12     | 3      | 24     | 26     |
| Ireland                                   | 490   | 804   | 310   | 367   | 574   | 265    | 401    | 535    | 868    | 1,066  |
| Greece                                    | 133   | 180   | 250   | 268   | 313   | 289    | 340    | 401    | 1,425  | 1,486  |
| Spain                                     | 1,411 | 1,842 | 1,364 | 1,582 | 3,928 | 2,931  | 3,353  | 3,752  | 4,706  | 5,288  |
| France                                    | 0     | 166   | 252   | 303   | 1,545 | 2,365  | 1,708  | 2,685  | 2,923  | 2,724  |
| Croatia                                   | :     | :     | :     | 70    | 59    | 59     | 78     | 113    | 229    | 194    |
| Italy                                     | :     | :     | :     | :     | :     | 873    | 620    | 737    | 682    | 1,178  |
| Cyprus                                    | 0     | 0     | 13    | 13    | 11    | 38     | 18     | 19     | 26     | 20     |
| Latvia                                    | 116   | 134   | 176   | 207   | 171   | 176    | 231    | 270    | 414    | 450    |
| Lithuania                                 | 121   | 92    | 126   | 197   | 163   | 188    | 147    | 171    | 219    | 408    |
| Luxembourg                                | 96    | 98    | 102   | 116   | 48    | 122    | 132    | 145    | 143    | 146    |
| Hungary                                   | 211   | 169   | 147   | 333   | 345   | 254    | 192    | 269    | 448    | 972    |
| Malta                                     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1      | 13     | 19     | 1      | 49     |
| Netherlands                               | 372   | 1,197 | 1,625 | 1,667 | 1,799 | 1,953  | 2,019  | 2,178  | 2,699  | 3,631  |
| Austria                                   | 815   | 883   | 1,005 | 1,099 | 1,145 | 1,301  | 1,316  | 1,307  | 1,425  | 1,400  |
| Poland                                    | 2,308 | 2,217 | 2,968 | 3,379 | 3,143 | 3,775  | 3,920  | 12,779 | 13,556 | 10,585 |
| Portugal                                  | 544   | 573   | 164   | 104   | 117   | 442    | 2,262  | 2,162  | 2,325  | :      |
| Romania                                   | 5     | 53    | 116   | 431   | 362   | 489    | 734    | 804    | 1,476  | 2,047  |
| Slovenia                                  | 12    | 48    | 174   | 281   | 157   | 192    | 96     | 130    | 410    | 399    |
| Slovakia                                  | 188   | 614   | 1,012 | 890   | 882   | 936    | 901    | 962    | 1,455  | 1,428  |
| Finland                                   | 348   | 104   | 156   | 239   | 379   | 694    | 874    | 899    | 961    | 804    |
| Sweden                                    | 1,871 | 2,167 | 2,694 | 2,150 | 1,766 | 2,179  | 4,429  | 6,386  | 7,752  | 11,089 |
| Iceland                                   | 1     | 21    | 23    | 30    | 14    | 8      | 178    | 254    | 352    | 327    |
| Liechtenstein                             | 2     | 1     | 1     | 1     | 1     | 4      | 7      | 26     | 26     | 23     |
| Norway                                    | 5,782 | 6,076 | 7,453 | 7,461 | 8,419 | 8,335  | 6,395  | 7,897  | 8,709  | 8,376  |
| United Kingdom                            | 164   | :     | :     | :     | :     | 1,612  | 2,826  | 3,963  | 4,252  | 4,257  |

Εικόνα 26: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την επεξεργασία εξοπλισμού φωτισμού για τα έτη 2009 έως 2018 στις χώρες της Ε.Ε. (Eurostat, 2024)

Η Ελλάδα με βάση τα στατιστικά στοιχεία βρίσκεται συνεχώς εντός των 20 πρώτων χωρών της Ε.Ε. γεγονός που δείχνει ότι σαν χώρα μπορεί να μην πρωτοστατεί στην ανακύκλωση των ΑΗΗΕ (συγκριτικά με χώρες όπως η Γερμανία, η Σουηδία, η Νορβηγία κλπ.), αλλά σταθερά έστω και ετεροχρονισμένα ακολουθεί τις εξελίξεις και τις τάσεις των χωρών που δίνουν το παράδειγμα εντός της Ε.Ε.

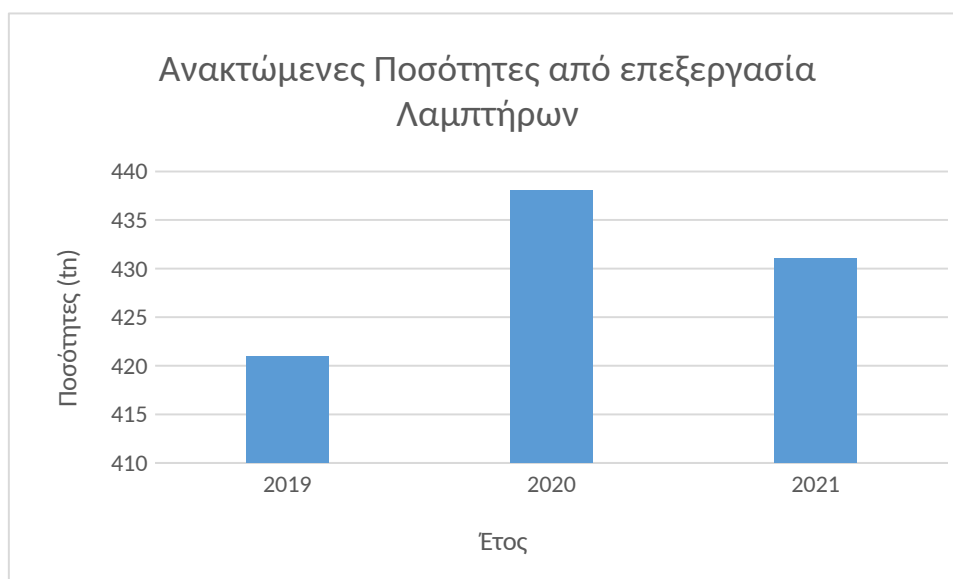


Διάγραμμα 19: Ανακτώμενες ποσότητες από επεξεργασία εξοπλισμού φωτισμού (2009–2018)

| GEO (Labels)                        | TIME 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  |
|-------------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| European Union - 27 countries (from |           |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Belgium                             |           |      |      |      |      |      |       | 1,376 | 1,250 | 1,254 |
| Bulgaria                            |           |      |      |      |      |      | 747   | 722   | 682   | 594   |
| Czechia                             |           |      |      |      |      |      |       | 910   | 971   | 1,274 |
| Denmark                             |           |      |      |      |      |      |       | 707   | 681   | 555   |
| Germany                             |           |      |      |      |      |      |       | 7,469 | 7,021 | 7,943 |
| Estonia                             |           |      |      |      |      |      |       | 155   | 107   | 114   |
| Ireland                             |           |      |      |      |      |      |       | 380   | 284   | 281   |
| Greece                              |           |      |      |      |      |      |       | 421   | 438   | 431   |
| Spain                               |           |      |      |      |      |      |       | 3,305 | 2,867 | 2,562 |
| France                              |           |      |      |      |      |      |       | 4,810 | 4,309 | 4,691 |
| Croatia                             |           |      |      |      |      |      |       | 119   | 91    | 75    |
| Italy                               |           |      |      |      |      |      |       | 3,802 | 4,025 | 3,868 |
| Cyprus                              |           |      |      |      |      |      |       |       | 28    | 0     |
| Latvia                              |           |      |      |      |      |      |       | 118   | 103   | 142   |
| Lithuania                           |           |      |      |      |      |      | 230   | 273   | 296   | 289   |
| Luxembourg                          |           |      |      |      |      |      |       | 85    | 78    | 76    |
| Hungary                             |           |      |      |      |      |      | 792   | 758   | 790   | 786   |
| Malta                               |           |      |      |      |      |      |       | 0     | 35    | 29    |
| Netherlands                         |           |      |      |      |      |      |       | 1,780 | 1,707 | 1,507 |
| Austria                             |           |      |      |      |      |      |       | 902   | 830   | 800   |
| Poland                              |           |      |      |      |      |      | 5,366 | 8,210 | 9,562 | 9,730 |
| Portugal                            |           |      |      |      |      |      | 351   | 1,081 | 761   | 535   |
| Romania                             |           |      |      |      |      |      |       | 605   | 382   | p     |
| Slovenia                            |           |      |      |      |      |      |       | 148   | 155   | 148   |
| Slovakia                            |           |      |      |      |      |      |       | 383   | 384   | 355   |
| Finland                             |           |      |      |      |      |      |       | 906   | 807   | 754   |
| Sweden                              |           |      |      |      |      |      |       | 604   | 483   | 1,931 |
| Iceland                             |           |      |      |      |      |      |       | 38    | 0     |       |
| Liechtenstein                       |           |      |      |      |      |      |       | 8     | 5     | 5     |
| Norway                              |           |      |      |      |      |      |       | 1,052 | 869   | 1,108 |

Εικόνα 27: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών από την επεξεργασία λαμπτήρων για τα έτη 2019 έως 2021 στις χώρες της Ε.Ε. (Eurostat, 2024)

Η σταθεροποίηση των ποσοτήτων συλλογής και ανακύκλωσης ΑΗΗΕ από το 2019 και έπειτα συνδέεται με την εφαρμογή της αναθεωρημένης Οδηγίας 2012/19/ΕΕ και τη μετάβαση στις έξι κατηγορίες καταγραφής. Η αλλαγή αυτή επέτρεψε πιο ακριβή αποτύπωση των ροών αποβλήτων, με αποτέλεσμα τα στατιστικά να αντικατοπτρίζουν καλύτερα την πραγματική εικόνα της αγοράς. Παράλληλα, οι στόχοι συλλογής που επιβλήθηκαν από την Ε.Ε. ανάγκαζαν τα κράτη-μέλη να ενισχύσουν τις υποδομές τους, γεγονός που οδήγησε σε σταδιακή αύξηση μέχρι το 2018 και σε σταθεροποίηση στη συνέχεια (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2012· Eurostat, 2024).



**Διάγραμμα 20: Ποσότητες ανακτώμενων υλικών (κυρίως από γυαλί και μέταλλα) από την επεξεργασία λαμπτήρων για τα έτη 2019 έως 2021 στην Ελλάδα (Eurostat, 2024)**

Για την Ελλάδα ειδικότερα, η διατήρηση της θέσης εντός των 20 πρώτων χωρών της Ε.Ε. σε σχέση με τα ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης ΑΗΗΕ είναι σημαντικό στοιχείο, δεδομένου ότι το θεσμικό πλαίσιο και οι υποδομές αναπτύχθηκαν ετεροχρονισμένα σε σχέση με τις χώρες της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης. Η ύπαρξη συλλογικών συστημάτων, όπως η «Φωτοκύκλωση Α.Ε.» και η «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.», επέτρεψε την κάλυψη του θεσμικού κενού και τη δημιουργία μιας πιο σταθερής βάσης για την οργάνωση της συλλογής, ακόμα κι αν τα ποσοστά δεν φτάνουν τα επίπεδα χωρών όπως η Γερμανία ή η Σουηδία (ΕΟΑΝ, 2023).

Η σχετική αύξηση την περίοδο 2017–2018 συνδέεται επίσης με την ενίσχυση της Σε σύγκριση με τις πρωτοπόρες χώρες της Ευρώπης, η Ελλάδα ακολουθεί ένα πιο «αντιδραστικό» μοντέλο, προσαρμόζοντας τις πολιτικές της με καθυστέρηση αλλά παραμένοντας σταθερά εντός του ευρωπαϊκού πλαισίου. Αυτή η πορεία δείχνει ότι, αν και η χώρα δεν ηγείται στον τομέα της ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, καταφέρνει να συμμορφώνεται με τους ευρωπαϊκούς στόχους και να συμμετέχει στη συλλογική προσπάθεια. Η πρόκληση για τα επόμενα χρόνια έγκειται στην περαιτέρω ανάπτυξη των υποδομών και στην αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών, όπως η ψηφιακή ιχνηλάτηση αποβλήτων και τα συστήματα πιστοποίησης ποιότητας, ώστε η Ελλάδα να συγκλίνει περισσότερο με τις χώρες που αποτελούν το παράδειγμα στην Ε.Ε. (Eurostat, 2024· Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

#### 4.3.5. Επαναχρησιμοποίηση

Η επαναχρησιμοποίηση των υλικών που προέρχονται από την ανακύκλωση λαμπτήρων, όπως το γυαλί, η πούδρα φθορισμού και το αλουμίνιο, έχει σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την οικονομία. Παρακάτω αναλύονται οι τρόποι με τους οποίους επαναχρησιμοποιούνται αυτά τα υλικά:

### Γυαλί

1. **Παραγωγή Νέων Λαμπτήρων:** Το ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή νέων λαμπτήρων και άλλων προϊόντων φωτισμού. Η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού μειώνει την ανάγκη για εξόρυξη πρώτων υλών και εξοικονομεί ενέργεια.
2. **Δομικά Υλικά:** Το γυαλί που προέρχεται από ανακύκλωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή μονωτικών υλικών και γυψοσανίδων ενώ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές υλικό σε σκυρόδεμα ή άσφαλτο, βελτιώνοντας τις ιδιότητες αυτών των υλικών.
3. **Κατασκευαστικά και Διακοσμητικά Προϊόντα:** Το ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε διακοσμητικά στοιχεία, πλακάκια και άλλες κατασκευές.

### Πούδρα Φθορισμού

**Ανάκτηση Πολύτιμων Υλικών:** Η πούδρα φθορισμού περιέχει σπάνιες γαίες και άλλα πολύτιμα μέταλλα, που μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Αυτά τα υλικά είναι απαραίτητα για την παραγωγή νέων λαμπτήρων και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών.

**Χημική Βιομηχανία:** Τα ανακτημένα υλικά από την πούδρα φθορισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή καταλυτών και άλλων χημικών προϊόντων.

### Αλουμίνιο

**Παραγωγή Νέων Προϊόντων:** Το αλουμίνιο από ανακυκλωμένους λαμπτήρες μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στην παραγωγή νέων προϊόντων αλουμινίου, όπως κουφώματα, κουτάκια αλουμινίου, εξαρτήματα αυτοκινήτων και δομικά υλικά.

**Κατασκευαστικά Υλικά:** Το ανακυκλωμένο αλουμίνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κατασκευές, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και μειώνοντας το ενεργειακό αποτύπωμα των κατασκευαστικών έργων.

Με την κατάλληλη τεχνολογία και υποδομή, η επαναχρησιμοποίηση γυαλιού, πούδρας φθορισμού και αλουμινίου μπορεί να προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, ενισχύοντας την πράσινη ανάπτυξη και την αειφορία.

Η επαναχρησιμοποίηση συνιστά έναν από τους θεμελιώδεις πυλώνες της κυκλικής οικονομίας, καθώς επεκτείνει τον κύκλο ζωής των προϊόντων και μειώνει την ανάγκη για παραγωγή νέων. Σε αντίθεση με την ανακύκλωση, που απαιτεί μετατροπή των υλικών σε νέα προϊόντα, η επαναχρησιμοποίηση επικεντρώνεται στη διατήρηση της αξίας και της λειτουργικότητας ενός αντικειμένου για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο, ελαχιστοποιείται η παραγωγή αποβλήτων και δημιουργείται μια πιο βιώσιμη αλυσίδα αξίας, όπου η κατανάλωση δεν βασίζεται στη λογική της γρήγορης αντικατάστασης, αλλά στη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των προϊόντων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).

Η συμβολή της επαναχρησιμοποίησης στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων είναι ιδιαίτερα σημαντική. Κάθε προϊόν που επαναχρησιμοποιείται αντί να απορριφθεί, συνεπάγεται αποφυγή κατανάλωσης πρώτων υλών, ενέργειας και νερού που θα απαιτούνταν για την παραγωγή ενός νέου. Έτσι, η πρακτική αυτή λειτουργεί ως εργαλείο διαχείρισης της σπανιότητας των πόρων και ενισχύει τη στρατηγική αυτονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης απέναντι σε κρίσιμες πρώτες ύλες (Eurostat, 2024· ΕΟΑΝ, 2023).

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, τα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης είναι πολλαπλά. Η μείωση της παραγωγής νέων προϊόντων περιορίζει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με τις βιομηχανικές διεργασίες, μειώνει τη ρύπανση του εδάφους και των υδάτων από εξορυκτικές δραστηριότητες και περιορίζει την ανάγκη για ταφή ή αποτέφρωση αποβλήτων. Επίσης, η επαναχρησιμοποίηση συμβάλλει στην αποφυγή διαρροής επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον, καθώς παρατείνει τον χρόνο ζωής των συσκευών που τις περιέχουν, δίνοντας παράλληλα χρόνο για την ανάπτυξη ασφαλέστερων μεθόδων επεξεργασίας τους (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2022).

Τέλος, η επαναχρησιμοποίηση ενισχύει κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις της βιωσιμότητας. Δημιουργεί νέες ευκαιρίες απασχόλησης σε τομείς όπως η επισκευή, η συντήρηση και η επαναπώληση, ενώ προάγει την κοινωνική συνοχή μέσα από πρωτοβουλίες όπως καταστήματα μεταχειρισμένων ειδών και κέντρα επισκευής σε τοπικό επίπεδο. Στην Ελλάδα, η συστηματική ανάπτυξη τέτοιων πρακτικών θα μπορούσε να ενισχύσει την επίδοση της χώρας στη διαχείριση ΑΗΗΕ και να συνδέσει πιο άμεσα την κυκλική οικονομία με την καθημερινότητα των πολιτών. Συνολικά, η επαναχρησιμοποίηση δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντική στρατηγική, αλλά και μοχλό πράσινης ανάπτυξης με σημαντικές προοπτικές για το μέλλον (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· ΕΟΑΝ, 2023).

## 5. Αξιολόγηση ανακύκλωσης

### 5.1. Αξιολόγηση σε εθνικό επίπεδο

Η ανακύκλωση λαμπτήρων στην Ελλάδα έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ορισμένα από τα θετικά τα οποία έχουν συμβάλει στη βελτίωση αυτής είναι τα ακόλουθα:

**Αύξηση Συλλογής και Ανακύκλωσης:** Οι ποσοτικοί στόχοι ανακύκλωσης που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινού, έχουν οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των ποσοστών συλλογής και ανακύκλωσης λαμπτήρων. Η ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε. αναφέρει αυξημένα ποσοστά συλλογής τα τελευταία χρόνια, με περισσότερα σημεία συλλογής να έχουν εγκατασταθεί σε όλη τη χώρα (βλ. Διάγραμμα 6: Ποσότητες παραλαβών λαμπτήρων, ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2024).

**Βελτίωση Υποδομών:** Έχουν δημιουργηθεί περισσότερα κέντρα συλλογής και επεξεργασίας αποβλήτων, βελτιώνοντας τη συνολική υποδομή ανακύκλωσης. Η συνεργασία με καταστήματα λιανικής και σούπερ μάρκετ για τη δημιουργία σημείων συλλογής έχει αποδώσει καρπούς, διευκολύνοντας την πρόσβαση των πολιτών στις υπηρεσίες ανακύκλωσης (βλ. ενότητα εξέλιξης συστήματος συλλογής ΑΗΗΕ και Πίνακα σύγκρισης ευρωπαϊκών χωρών).

**Εκστρατείες Ευαισθητοποίησης:** Εκστρατείες ενημέρωσης και εκπαίδευσης έχουν συμβάλει στην αλλαγή της νοοτροπίας των πολιτών σχετικά με την ανακύκλωση. Ο ΕΟΑΝ και άλλοι φορείς έχουν επενδύσει σε προγράμματα ευαισθητοποίησης, προωθώντας τη σημασία της σωστής διαχείρισης των αποβλήτων.

**Συμμόρφωση με Ευρωπαϊκά Πρότυπα:** Η Ελλάδα έχει κάνει σημαντικά βήματα για τη συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές οδηγίες σχετικά με την ανακύκλωση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων. Οι ελεγκτικοί μηχανισμοί και οι κανονισμοί έχουν ενισχυθεί, διασφαλίζοντας ότι οι εταιρείες και οι φορείς ανακύκλωσης ακολουθούν τις προβλεπόμενες διαδικασίες.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την εξέλιξη της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα, τα κύρια βήματα προόδου και τους εθνικούς στόχους έως το 2030, στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για την κυκλική οικονομία.

**Πίνακας 24: Εξέλιξη της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα και βασικοί στόχοι έως το 2030**

| Περίοδος / Έτος | Εξέλιξη Ανακύκλωσης Λαμπτήρων                                                                                                                        | Εθνικοί Στόχοι & Μελλοντικές Κατευθύνσεις                                                                                              |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2005–2010       | Ίδρυση της ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗΣ Α.Ε. και έναρξη οργανωμένης συλλογής αποβλήτων λαμπτήρων. Δημιουργία αρχικών σημείων συλλογής σε μεγάλες πόλεις.             | Θέσπιση εθνικού συστήματος διαχείρισης ΑΗΗΕ σύμφωνα με την Οδηγία 2002/96/ΕΚ.                                                          |
| 2011–2015       | Αύξηση ποσοτήτων συλλογής μέσω συνεργασιών με καταστήματα λιανικής. Εφαρμογή προγραμμάτων ευαισθητοποίησης πολιτών από τον ΕΟΑΝ.                     | Εναρμόνιση με την Οδηγία 2012/19/ΕΕ για ΑΗΗΕ, στόχος συλλογής 45% των παραγόμενων αποβλήτων.                                           |
| 2016–2020       | Ανάπτυξη νέων υποδομών, επέκταση σημείων συλλογής σε νησιά και απομακρυσμένες περιοχές. Ενίσχυση ελέγχων και βελτίωση της διαφάνειας στη διαχείριση. | Στόχος συλλογής 65% έως το 2019. Προώθηση πράσινων δημοσίων συμβάσεων για φωτισμό LED.                                                 |
| 2021–2025       | Επένδυση σε έξυπνες λύσεις συλλογής, συνεργασία με δήμους και ανάπτυξη ψηφιακών συστημάτων ιχνηλασιμότητας.                                          | Εναρμόνιση με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ 2020–2030). Στόχος: πλήρης ανακύκλωση όλων των τύπων λαμπτήρων έως το 2025. |
| 2026–2030       | Μετάβαση σε πλήρως κυκλικό σύστημα με ανάκτηση σπάνιων γαιών και πολυτίμων μετάλλων από LED. Ανάπτυξη εγχώριων μονάδων απορρύπανσης και ανακύκλωσης. | Στόχος 2030: 80% ποσοστό συλλογής, 70% ανάκτηση υλικών, ευθυγράμμιση με τον Ευρωπαϊκό Κύκλο Πράσινης Συμφωνίας (EU Green Deal).        |

## 5.2. Τάσεις και προοπτικές εξέλιξης στην ανακύκλωση λαμπτήρων

Οι προοπτικές εξέλιξης στην ανακύκλωση λαμπτήρων είναι ενθαρρυντικές, καθώς η ανάπτυξη τεχνολογιών, η αλλαγή στη νομοθεσία και η αυξημένη ευαισθητοποίηση του

κοινού οδηγούν σε πιο αποδοτικές και βιώσιμες πρακτικές ανακύκλωσης. Ορισμένες προοπτικές περιλαμβάνουν:

**Εξέλιξη Τεχνολογιών Ανακύκλωσης:** Νέες τεχνολογίες και διαδικασίες ανακύκλωσης αναπτύσσονται συνεχώς, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την ποιότητα των ανακτηθέντων υλικών.

**Επέκταση του Φάσματος Υλικών που Ανακτώνται:** Η τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει την ανάκτηση μεγαλύτερου φάσματος υλικών από τους λαμπτήρες, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, πλαστικών και γυαλιού.

**Ανάπτυξη Υποδομών Ανακύκλωσης:** Η επένδυση σε υποδομές ανακύκλωσης και επεξεργασίας αποβλήτων λαμπτήρων αυξάνει την ικανότητα και την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης.

**Αυστηροποίηση της Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας:** Αυστηρότερες περιβαλλοντικές προδιαγραφές και νομοθεσία που προάγουν την ανακύκλωση και την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων ενθαρρύνουν περαιτέρω την ανάπτυξη του τομέα.

**Αυξημένη Ευαισθητοποίηση του Κοινού:** Η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τη σημασία της ανακύκλωσης και της βιώσιμης διαχείρισης των αποβλήτων συνεισφέρει στην αύξηση της συμμετοχής και της υποστήριξης των προσπάθειών ανακύκλωσης.

Οι σύγχρονες τάσεις στην ανακύκλωση λαμπτήρων διαμορφώνονται κυρίως από τη μετάβαση της αγοράς προς τη χρήση των λαμπτήρων LED, οι οποίοι σταδιακά αντικαθιστούν τους παραδοσιακούς τύπους, όπως οι φθορισμού και οι πυράκτωσης. Η αλλαγή αυτή έχει διπλή διάσταση: αφενός, οι ποσότητες αποβλήτων από τους παλαιούς τύπους αυξάνονται λόγω της απόσυρσης τους, και αφετέρου, προκύπτει η ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνικών ανακύκλωσης για τους LED, που περιλαμβάνουν πλαστικά, σπάνιες γαίες και ηλεκτρονικά κυκλώματα. Συνεπώς, η πρόκληση για το μέλλον είναι η προσαρμογή των συστημάτων ανακύκλωσης ώστε να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα διαφοροποιημένα αυτά ρεύματα (Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024· Eurostat, 2024).

Παράλληλα, οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία ενισχύουν τη σημασία της ανάκτησης πολύτιμων και κρίσιμων υλικών, όπως οι σπάνιες γαίες που περιέχονται στους LED. Η ανάδειξη αυτών των υλικών ως στρατηγικής σημασίας για την τεχνολογική αυτονομία της Ευρώπης δίνει έμφαση στην ανάπτυξη νέων μεθόδων αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μονάδες ανακύκλωσης καλούνται να επενδύσουν σε τεχνολογίες που θα αυξήσουν την αποδοτικότητα ανάκτησης και θα μειώσουν τις απώλειες, ενισχύοντας παράλληλα τη βιωσιμότητα του κλάδου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020· ΕΟΑΝ, 2023).

Η τεχνολογική καινοτομία αποτελεί έναν ακόμη καθοριστικό παράγοντα. Συστήματα αυτοματοποιημένης διαλογής με χρήση τεχνητής νοημοσύνης και ρομποτικής επεξεργασίας αναμένεται να βελτιώσουν την ακρίβεια στον διαχωρισμό των υλικών, μειώνοντας το κόστος και αυξάνοντας τα ποσοστά ανάκτησης. Παράλληλα, ερευνητικές πρωτοβουλίες αναπτύσσουν «πράσινες» μεθόδους χημικής επεξεργασίας για την ανάκτηση σπάνιων γαιών από φωτιστικά σώματα LED, μειώνοντας την εξάρτηση από εξορυκτικές δραστηριότητες με υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2022· Eurostat, 2024).

Τέλος, οι κοινωνικές και καταναλωτικές τάσεις επηρεάζουν σημαντικά τις προοπτικές. Η αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση των πολιτών και οι εκστρατείες ενημέρωσης αναμένεται να ενισχύσουν τη συμμετοχή στη συλλογή αποβλήτων, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη ευκολότερων σημείων απόθεσης και συστημάτων ανταμοιβής. Η Ελλάδα, αν και ακολουθεί τις εξελίξεις με μια χρονική καθυστέρηση σε σχέση με τις πρωτοπόρες χώρες της Ευρώπης, έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τις νέες τεχνολογίες και το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο ώστε να βελτιώσει τις επιδόσεις της. Έτσι, οι τάσεις και οι προοπτικές του μέλλοντος εστιάζουν όχι μόνο στη βελτίωση των τεχνικών επεξεργασίας αλλά και στη δημιουργία μιας κουλτούρας υπεύθυνης κατανάλωσης και απόρριψης (EOAN, 2023· Φωτοκύκλωση Α.Ε., 2024).

## 6. Συμπεράσματα

Η ανακύκλωση λαμπτήρων στην Ελλάδα έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο τα τελευταία χρόνια, αντανakλώντας μια αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του κοινού και βελτίωση των υποδομών και των διαδικασιών ανακύκλωσης. Η ενίσχυση της νομοθεσίας και η συνεργασία μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών φορέων έχουν οδηγήσει σε αυξημένα ποσοστά συλλογής και ανακύκλωσης, συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της χώρας. Η αυξημένη ευαισθητοποίηση και συμμετοχή, οι βελτιωμένες υποδομές και τεχνολογίες ανακύκλωσης αποτελούν θετικά στοιχεία τα οποία αντανakλούν τις συνεχείς αυξήσεις ποσοτήτων προς ανακύκλωση.

Οι ποσότητες RoM, οι ποσότητες συλλογής και επεξεργασίας καθώς και αυτές των ανακτώμενων υλικών όπως αυτές καταγράφονται από τις εταιρείες ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε. και ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε. δείχνουν να παρουσιάζουν τάσεις παρόμοιες με αυτές που καταγράφονται στα επίσημα στοιχεία της EUROSTAT για την Ελλάδα καθώς και τις περισσότερες εκ των χωρών της Ε.Ε.

Για τα έτη που υπάρχουν στοιχεία και μέχρι το 2018, παρατηρείται μια τάση αύξησης των ποσοτήτων όλων των κατηγοριών που προαναφέρθηκαν με την κορύφωση να εντοπίζεται στα έτη 2017-2018, ενώ μετά το 2018 παρατηρείται μια σταθεροποίηση αυτών.

Για την Ελλάδα, βάσει των στοιχείων για τη χρονική περίοδο 2019-2021 όπου και η κατηγοριοποίηση των ΑΗΗΕ έχει αλλάξει αλλά και επηρεάσει το συσχετισμό με τις προηγούμενες περιόδους (μέχρι το 2018), οι ποσότητες RoM για τους λαμπτήρες κυμαίνονται περίπου στους 3100tn ετησίως, οι ποσότητες συλλογής περίπου στους 500tn, οι ποσότητες επεξεργασίας περίπου 440 – 490tn ενώ οι ανακτώμενες ποσότητες στους 420-440tn.

Τα κύρια υλικά ανάκτησης είναι το γυαλί, το αλουμίνιο ενώ αυξητικές τάσεις παρουσιάζει το πλαστικό που τα τελευταία χρόνια κατατάσσεται ως δεύτερο μετά το γυαλί στα υλικά ανάκτησης. Αυτό συνδέεται σε μεγάλο βαθμό στην αλλαγή των τύπων λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια συγκριτικά με το παρελθόν. Παρά όμως τις σημαντικές βελτιώσεις, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που χρήζουν αντιμετώπισης με στόχο την περαιτέρω ενίσχυση της ανακύκλωσης λαμπτήρων στην Ελλάδα.

Βάσει των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από την διπλωματική εργασία η ανακύκλωση των λαμπτήρων παρουσιάζει βελτίωση τα τελευταία χρόνια (ποσοστά) και διαφαίνονται περιθώρια εξέλιξης που η βάση τους σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να επικεντρωθεί στις ποσότητες συλλογής και κατ' επέκταση στις ποσότητες των ανακτώμενων υλικών. Για να συμβούν αυτά θα πρέπει να δοθεί περισσότερη έμφαση στην ενίσχυση του συστήματος-δικτύου συλλογής, στην ευαισθητοποίηση του κοινού και προφανώς στην αυστηροποίηση αλλά και αποδοτικότερη εφαρμογή της νομοθεσίας.

Βήματα και ενέργειες που δύναται να βελτιώσουν και να ενισχύσουν την ανακύκλωση λαμπτήρων περιλαμβάνουν:

- **Βελτίωση της Πρόσβασης σε Απομακρυσμένες Περιοχές:** μέσω της ανάπτυξης νέων σημείων συλλογής και της βελτίωσης της υποδομής.
- **Ενίσχυση της Εκπαίδευσης και Ευαισθητοποίησης:** Η συνέχιση των εκστρατειών ενημέρωσης και η ένταξη της εκπαίδευσης για την ανακύκλωση στα σχολεία δύναται να συμβάλει στην καλλιέργεια μιας κουλτούρας βιωσιμότητας από νεαρή ηλικία ενώ παράλληλες στοχευμένες δράσεις ευαισθητοποίησης για διαφορετικές κοινωνικές ομάδες θα βοηθήσουν στην αύξηση της συμμετοχής όλων των πολιτών.
- **Ανάπτυξη Νέων Τεχνολογιών:** Η επένδυση στην έρευνα και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανακύκλωσης δύναται να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών ανακύκλωσης ενώ ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην ασφαλή διαχείριση των επικίνδυνων υλικών, όπως ο υδράργυρος, που περιέχονται σε κάποιους τύπους λαμπτήρων.
- **Ενίσχυση της συνεργασία με Παραγωγούς**
- **Ενίσχυση της επαναχρησιμοποίησης** των υλικών των λαμπτήρων και της δημιουργίας νέων προϊόντων από ανακυκλωμένα υλικά η οποία θα μειώσει ακόμη περισσότερο την εξάρτηση από τις πρώτες ύλες και θα ενισχύσει τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η ανακύκλωση λαμπτήρων έχει επιτύχει αξιοσημείωτα αποτελέσματα τα τελευταία χρόνια και με τις σωστές στρατηγικές και τη συνεχή βελτίωση των υποδομών και των διαδικασιών οι προοπτικές για το μέλλον παρουσιάζονται ευόωες. Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα είναι ότι η ανακύκλωση λαμπτήρων στην Ελλάδα δεν αποτελεί πλέον μια αποσπασματική δραστηριότητα, αλλά έχει εξελιχθεί σε θεσμοθετημένη διαδικασία που παρακολουθείται συστηματικά. Η πρόοδος αυτή δείχνει ότι η χώρα έχει αποκτήσει την απαραίτητη τεχνογνωσία και το θεσμικό υπόβαθρο ώστε να συμμορφώνεται με τις ευρωπαϊκές απαιτήσεις, γεγονός που ενισχύει τη διεθνή της εικόνα στον τομέα της περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η ανάλυση των στοιχείων καταδεικνύει επίσης ότι η πορεία της Ελλάδας ακολουθεί τις γενικότερες ευρωπαϊκές τάσεις. Παρά το γεγονός ότι η χώρα ξεκίνησε με χρονική υστέρηση σε σχέση με κράτη όπως η Γερμανία ή η Σουηδία, καταφέρνει να παραμένει εντός των πρώτων 20 χωρών της Ε.Ε. όσον αφορά τα ποσοστά συλλογής. Αυτό το στοιχείο είναι ενθαρρυντικό, καθώς φανερώνει μια σταθερή βελτίωση, αλλά ταυτόχρονα αναδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω ενίσχυσης για να επιτευχθεί σύγκλιση με τις πρωτοπόρες χώρες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλλαγή στη σύσταση των υλικών που ανακτώνται. Η αύξηση του πλαστικού ως δεύτερου πιο σημαντικού υλικού μετά το γυαλί αντικατοπτρίζει την τεχνολογική μετάβαση της αγοράς προς τους λαμπτήρες LED, οι οποίοι ενσωματώνουν περισσότερα πλαστικά και ηλεκτρονικά μέρη. Αυτό φέρνει νέες προκλήσεις στην ανακύκλωση, καθώς απαιτούνται πιο εξειδικευμένες διαδικασίες διαχωρισμού και αξιοποίησης. Παράλληλα, δημιουργούνται νέες ευκαιρίες για επενδύσεις σε καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας.

Η επιτυχία της ανακύκλωσης λαμπτήρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο αποτελεσματικά λειτουργεί το δίκτυο συλλογής. Στην Ελλάδα, παρότι έχουν γίνει βήματα, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης, ειδικά σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές. Η έλλειψη πρόσβασης σε σημεία συλλογής οδηγεί συχνά σε ανεπίσημες πρακτικές διάθεσης, οι οποίες υπονομεύουν τα αποτελέσματα. Η ανάπτυξη ενός πιο ολοκληρωμένου δικτύου θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά τις ποσότητες συλλογής και κατ' επέκταση τα ποσοστά ανακύκλωσης.

Εξίσου κρίσιμη είναι η διάσταση της κοινωνικής συμμετοχής. Η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση των πολιτών αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχία κάθε στρατηγικής. Εκπαιδευτικά προγράμματα, εκστρατείες ενημέρωσης και στοχευμένες δράσεις για διαφορετικές κοινωνικές ομάδες μπορούν να ενισχύσουν τη συμμετοχή και να ενσωματώσουν την ανακύκλωση λαμπτήρων στην καθημερινή κουλτούρα. Η αλλαγή της καταναλωτικής συμπεριφοράς είναι μια μακροχρόνια διαδικασία, αλλά είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα των αποτελεσμάτων.

Ένα ακόμη κρίσιμο σημείο είναι η ενσωμάτωση της επαναχρησιμοποίησης στη στρατηγική διαχείρισης λαμπτήρων. Παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος επικεντρώνεται στην ανακύκλωση, η δυνατότητα ανάκτησης και αξιοποίησης επιμέρους εξαρτημάτων μπορεί να μειώσει την ανάγκη για νέες πρώτες ύλες. Η επαναχρησιμοποίηση συμβάλλει στην κυκλική οικονομία και μπορεί να αποτελέσει το επόμενο βήμα στην εξέλιξη του συστήματος.

Η τεχνολογική πρόοδος παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο. Η ανάπτυξη νέων μεθόδων ανακύκλωσης, όπως οι πράσινες χημικές διεργασίες για την ανάκτηση σπάνιων γαιών από LED, ή η χρήση τεχνητής νοημοσύνης για την αυτοματοποίηση του διαχωρισμού, μπορεί να αλλάξει τα δεδομένα στον κλάδο. Η Ελλάδα, ακολουθώντας τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις, θα πρέπει να επενδύσει σε τέτοιες τεχνολογίες ώστε να βελτιώσει περαιτέρω την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Τέλος, τα συμπεράσματα δείχνουν ότι παρά τις προόδους, η αυστηροποίηση και η αποδοτικότερη εφαρμογή της νομοθεσίας παραμένουν αναγκαίες. Οι υφιστάμενοι μηχανισμοί ελέγχου πρέπει να ενισχυθούν ώστε να περιοριστεί η παράνομη διάθεση και να διασφαλιστεί ότι όλες οι ποσότητες αποβλήτων διοχετεύονται σε εγκεκριμένα συστήματα. Με τον τρόπο αυτό, όχι μόνο θα αυξηθούν τα ποσοστά συλλογής και ανάκτησης, αλλά θα ενισχυθεί και η εμπιστοσύνη των πολιτών στη διαδικασία.

## Βιβλιογραφία

### Αγγλική Βιβλιογραφία

- Beu, D., Ciugudeanu, C. & Buzdugan, M. (2018). Circular Economy Aspects Regarding LED Lighting Retrofit—from Case Studies to Vision. *Sustainability*, 10(10), 3674.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2008). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2006). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13–14), 1337–1348.
- Chen, H., Yeboah, S. K., Dawodu, A., Dadoo, J. K. & Zou, T. (2025). A systematic review of circular economy of artificial lighting and global sustainability. *Energy & Buildings*, 347, 116314.
- Cenci, M., Christ Dal Berto, F., Schneider, E. L., & Veit, M. H. (2020, April 8). Assessment of LED lamps components and materials for recycling. *Elsevier*.
- Claudiu, P., Marmier, A., Tzimas, E., Schleicher, T., Schuler, D., Buchert, M., & Blagoeva, D. (2016, August). *Critical raw materials in lighting. The Netherlands: Institute for Energy and Transport, Joint Research Centre, European Commission*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes, United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation.
- Gassmann, A., Zimmermann, J., Gauss, R., Stauber, R. & Gutfleisch, O. (2016). *LED Lamps Recycling Technology for a Circular Economy. LED-professional*. Retrieved from <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy>
- John, E. P. & Mishra, U. (2023). Sustainable circular economy production system with emission control in LED bulb companies. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 59963–59990.
- Webster, K. (2013). *The Circular Economy: A Wealth of Flows*. Cowes, United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation Publishing.
- Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. (2023, November). Critical raw materials. Retrieved from [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)
- European Commission. (2002). Commission Decision 2002/532/EC of 3 July 2002 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC

establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste. *Official Journal of the European Communities*, L 177, 10-27.

Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE). (2023, November). Retrieved from [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en)

INFOCYCLE. (2023, November). Retrieved from <https://www.infocycle.gr/>

Martins, T., Tanabe, E., & Bertuol, D. (2020). Innovative method for the recycling of end-of-life LED bulbs by mechanical. *Resources, Conservation & Recycling*.

Shahzad, K., Rehan, M., Ismail, I., Sagir, M., Tahir, M., Bertok, B., & Nizami, A.-S. (2015). Comparative Life Cycle Analysis of Different Lighting Devices. *Chemical Engineering Transactions*.

WEEELABEX. (n.d.-a). Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence. Retrieved from <https://www.weeelabex.org>

WEEELABEX. (n.d.-b). Objectives and Key Elements. Retrieved from <https://www.weeelabex.org/objectives-key-elements>

WEEELABEX. (n.d.-c). Certification Process. Retrieved from <https://www.weeelabex.org/certification-process>

WEEELABEX. (n.d.-d). Benefits of Certification. Retrieved from <https://www.weeelabex.org/benefits-of-certification>

WEEELABEX. (n.d.-e). Users of WEEELABEX Standards. Retrieved from <https://www.weeelabex.org/users-of-weeelabex-standards>

Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. (2024).

Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. (2023, November). Retrieved from <https://www.electrocycle.gr/>

Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (EOAN). (χ.χ.). Retrieved from <https://www.eoan.gr>

Βωλέλη, Ι., & Φώκος, Α. (2017). Ανακύκλωση λαμπτήρων για ανάκτηση πολύτιμων υλικών και σπανίων γαιών. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών.

Γαϊτανέλης, Δ. (2015). *Διερεύνηση και αξιολόγηση μεθόδων*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων-Μηχανικών.

Ζαρζούλας, Λ., & Αποστολίδης, Δ. (2014). Ανακύκλωση λαμπτήρων. Αιγάλεω: Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Τμήμα Ηλεκτρολογίας.

Οικοκύκλιος Α.Ε. (2024).

Οικοκύκλιος Α.Ε. (χ.χ.). Retrieved from <https://oikokiklios.gr/>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2014). *Εθνικό σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων*. Retrieved from <https://ypen.gr>

Φωτοκύκλωση Α.Ε. (2024).

Φωτοκύκλωση Α.Ε. (2023, November). Retrieved from <https://fotokiklosi.gr/>

Recycling PC Blogspot. (2009, March). Retrieved from <http://recyclingpc.blogspot.gr/2009/03/blog-post.html>

Electrocycle. (n.d.). Retrieved from <http://www.electrocycle.gr/>

LIFE Project Number LIFE13 INF/GR/1342 «Εγχειρίδιο ορθής διαχείρισης ΑΗΗΕ για καταστήματα (retailers) » Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε

### **Διαδικτυακή Βιβλιογραφία**

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2008). *Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων Οδηγιών*. ΕΕ L 312/3.

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2002). *Οδηγία 2002/532/ΕΚ της Επιτροπής, της 3ης Σεπτεμβρίου 2002, για την τροποποίηση της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ του Συμβουλίου για τα επικίνδυνα απόβλητα*. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L 226, 3–5

Ελληνική Δημοκρατία (2012). *Νόμος 4042/2012: Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ*. ΦΕΚ Α' 24/13-02-2012.

Eurostat (2024). Municipal waste statistics. Διαθέσιμο στο: <https://ec.europa.eu/eurostat>.

Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. (2024). Ετήσια Έκθεση. Διαθέσιμο στο: <https://www.electrocycle.gr>.

Φωτοκύκλωση Α.Ε. (2024). Ετήσια Έκθεση για τη Διαχείριση Λαμπτήρων. Διαθέσιμο στο: <https://www.fotokiklosi.gr>.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2022). Waste prevention and management. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu>.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2009). *Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 244/2009 της Επιτροπής της 18ης Μαρτίου 2009 για τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού για μη κατευθυντικούς οικιακούς λαμπτήρες*. ΕΕ L 76/3.

- Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2009). Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 245/2009 της Επιτροπής της 18ης Μαρτίου 2009 για τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού για λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης και σχετικά στραγγαλιστικά πηνία. ΕΕ L 76/17.
- Ευρωπαϊκή Ένωση (2017). Κανονισμός (ΕΕ) 2017/852 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 17ης Μαΐου 2017 για τον υδράργυρο. ΕΕ L 137/1.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2012). Οδηγία 2012/19/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012 για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ). ΕΕ L 197/38.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2011). Οδηγία 2011/65/ΕΕ σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό (RoHS). ΕΕ L 174/88.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2020). *Circular Economy Action Plan*. Διαθέσιμο στο: <https://environment.ec.europa.eu>.
- ΕΟΑΝ (2023). Ετήσια Έκθεση Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης. Διαθέσιμο στο: <https://www.eoan.gr>
- WEEELABEX (n.d.). *Waste Electrical and Electronic Equipment Label of Excellence*. Διαθέσιμο στο: <https://weeelabex.org>.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι

προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.