



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών  
συσκευών στα πλαίσια των  
αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

**Παναγιώτης Στυλ. Καραγιαννόπουλος**

**ΑΙΓΑΛΕΩ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2024**





**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING  
PROGRAM OF DOCTORAL STUDIES**

**PhD THESIS**

**Techniques for determining the obsolescence of electrical appliances in the  
context of principles of reuse and recycling**

**Panagiotis Styl. Karagiannopoulos**

**ATHENS-EGALEO**

**JULY 2024**



## ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

**Καραγιαννόπουλος Στυλ. Παναγιώτης**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** Νικόλαος Μ.Μανουσάκης Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

### ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:

Νικόλαος Μ. Μανουσάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμ. ΗΗΜ, ΠαΔΑ

Κωνσταντίνος Σ. Ψωμόπουλος, Καθηγητής, Τμ. ΗΗΜ, ΠαΔΑ

Παναγιώτης Σινιόρος, Ομότιμος Καθηγητής, Τμ. ΗΗΜ, ΠαΔΑ

### ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Νικόλαος Μ. Μανουσάκης,  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠαΔΑ

Κωνσταντίνος Σ. Ψωμόπουλος,  
Καθηγητής ΠαΔΑ

Παναγιώτης Σινιόρος,  
Ομότιμος Καθηγητής ΠαΔΑ

Σταύρος Δ. Καμινάρης,  
Καθηγητής ΠαΔΑ

Γεώργιος Ιωαννίδης,  
Καθηγητής ΠαΔΑ

Εμμανουήλ Καραπιδάκης,  
Καθηγητής, Ελληνικό Μεσογειακό  
Πανεπιστήμιο

Χριστίνα Χρόνη,  
Επίκουρη Καθηγήτρια, Χαροκόπειο  
Πανεπιστήμιο

Ημερομηνία εξέτασης 04/07/2024



## PhD THESIS

Techniques for determining the obsolescence of electrical appliances in the context of principles of reuse and recycling

**Panagiotis Styl. Karagiannopoulos**

**SUPERVISOR: Nikolaos M. Manousakis**, Associate Professor UniWA

### **THREE-MEMBER ADVISORY COMMITTEE:**

**Nikolaos M. Manousakis**, Associate Professor UniWA

**Konstantinos Psomopoulos**, Professor UniWA

**Panagiotis Sinioros**, Professor Emeritus UniWA

### **SEVEN-MEMBER EXAMINATION COMMITTEE**

(Signature)

(Signature)

**Nikolaos M. Manousakis,**  
**Associate Professor UniWA**

**Constantinos S. Psomopoulos,**  
**Professor UniWA**

(Signature)

(Signature)

**Panagiotis Sinioros,**  
**Emeritus Professor UniWA**

**Stavros D. Kaminaris,**  
**Professor UniWA**

(Signature)

(Signature)

**Georgios Ch. Ioannidis,**  
**Professor UniWA**

**Emmanuel Karapidakis,**  
**Professor Hellenic Mediterranean**  
**University**

(Signature)

**Christina Chroni,**  
**Assistant Professor Harokopio University**

**Examination Date 04/07/2024**





**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Καραγιαννόπουλος Σ. Παναγιώτης, Μάιος 2024**

Η παρούσα διδακτορική διατριβή καλύπτεται από τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons «Αναφορά Δημιουργού Μη Εμπορική Χρήση Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές» (CC BY-NC-ND 4.0). Συνεπώς, το έργο είναι ελεύθερο για διανομή (αναπαραγωγή, διανομή και παρουσίαση του έργου στο κοινό), υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

α. Αναφορά δημιουργού: Ο χρήστης θα πρέπει να κάνει αναφορά στο έργο με τον τρόπο που έχει οριστεί από το δημιουργό ή τον χορηγούντα την άδεια.

β. Μη εμπορική χρήση: Ο χρήστης δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει το έργο αυτό για εμπορικούς σκοπούς.

γ. Όχι Παράγωγα Έργα: Ο Χρήστης δεν μπορεί να αλλοιώσει, να τροποποιήσει ή να δημιουργήσει νέο υλικό που να αξιοποιεί το συγκεκριμένο έργο (πάνω από το έργο αυτό).

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

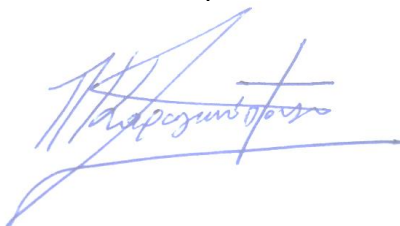
**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καραγιαννόπουλος Παναγιώτης του Στυλιανού, υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας και δικαιούχος των πνευματικών δικαιωμάτων επί της διατριβής και δεν προσβάλω τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων. Για τη συγγραφή της διδακτορικής μου διατριβής δεν χρησιμοποίησα ολόκληρο ή μέρος έργου άλλου δημιουργού ή τις ιδέες και αντιλήψεις άλλου δημιουργού χωρίς να γίνεται αναφορά στην πηγή προέλευσης (βιβλίο, άρθρο από εφημερίδα ή περιοδικό, ιστοσελίδα κ.λπ.). Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αυξανόμενος πληθυσμός και οι καλύτερες συνθήκες διαβίωσης έχουν οδηγήσει σε μεγαλύτερη ζήτηση για ηλεκτρικό οικιακό εξοπλισμό, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές άνθρακα. Ο κλάδος των συσκευών είναι μια κερδοφόρα αγορά και έχουν γίνει προσπάθειες για την προώθηση της βιωσιμότητας και την ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης και της επισκευής, ιδιαίτερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστηρίζει το κίνημα «Δικαίωμα στην επισκευή» για να καταστήσει τις επισκευές πιο προσιτές και να μειώσει τα απόβλητα. Οι συσκευές μεγαλύτερης διάρκειας είναι σημαντικές για την κυκλική οικονομία, επομένως πρέπει να δοθεί προσοχή στη βελτίωση της κατασκευής των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) για την ελαχιστοποίηση των αστοχιών. Στο πλαίσιο αυτό, είναι απαραίτητη η μελέτη της γήρανσης ή απόσυρσης μιας συσκευής, που εκφράζεται με τον όρο της «βραχυβιότητας».

Η παρούσα διατριβή αρχικά πραγματοποιεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης με βάση τις αρχές της πρωτοβουλίας «3R» (Reduce–Reuse–Recycle), στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Οι κύριες διαδικασίες που διέπουν την πρωτοβουλία «3R» είναι η απαρχαίωση, η ανακατασκευή και η πλήρης ανακατασκευή. Επιπλέον, εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν οι τεχνικές διαστάσεις της πρωτοβουλίας «3R» και στη συνέχεια καταγράφηκαν οι προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει η βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών στην υιοθέτηση του «πράσινου καταναλωτισμού» που εκφράζει τη συνειδητή και σκόπιμη επιλογή των καταναλωτών να αγοράσουν και να υποστηρίξουν συσκευές φιλικές προς το περιβάλλον.

Παράλληλα, διαμορφώθηκαν ολοκληρωμένες προτάσεις, για την εφαρμογή «3R» πρακτικών στον τομέα των οικιακών συσκευών με σκοπό την προώθηση μιας περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένης συμπεριφοράς των καταναλωτών. Προσομοιώθηκαν με επιτυχία διάφορες εναλλακτικές προσεγγίσεις, οι οποίες είχαν ως σκοπό τόσο τη συντήρηση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων από τις PCB ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, όσο και των ίδιων των συσκευών. Για το σκοπό αυτό, τέθηκαν περιορισμοί οι οποίοι αφορούσαν αφενός μεν το κόστος επισκευής, αφετέρου δε το διαθέσιμο ποσό επισκευής από πλευράς πελάτη.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με την ανάπτυξη τεχνικών προσδιορισμού της «βραχυβιότητας» των ηλεκτρικών συσκευών στο πλαίσιο των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης και λαμβάνοντας υπ' όψιν την έννοια του «πράσινου καταναλωτισμού», είναι δυνατόν να παραταθεί η διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, μέσω συντήρησης και επισκευής στο πλαίσιο του συστήματος της κυκλικής οικονομίας.

Συνοψίζοντας, η διατριβή οργανώνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στο πλαίσιο εξέλιξης της βιομηχανίας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, ενώ το δεύτερο ταξινομεί τις υιοθετούμενες πρακτικές στον παραπάνω χώρο με επίκεντρο τον «πράσινο καταναλωτισμό». Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης και τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα καθώς και μελλοντικές προοπτικές της εργασίας.

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:** Βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Ανακύκλωση, απαρχαίωση, βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, «βραχυβιότητα», επαναχρησιμοποίηση, κυκλική οικονομία, μείωση, πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, πολύτιμα μέταλλα, «πράσινος καταναλωτισμός», συντήρηση.

## ABSTRACT

Growing population and better living conditions have led to increased demand for electric household appliances, resulting in higher energy consumption and carbon emissions. The appliance industry is a profitable market and efforts have been made to promote sustainability and to encourage reuse and repair, especially in the European Union. The European Commission is supporting the Right to Repair movement to make repairs more affordable and reduce waste. Longer-lasting devices are important for the circular economy, so attention should be paid to improving the construction of printed circuit boards (PCB) to minimize failures. In this context, it is necessary to study the aging or withdrawal of a device, expressed by the term "obsolescence".

This dissertation initially carries out a comprehensive analysis of the current situation based on the principles of the "3R" (Reduce–Reuse–Recycle) initiative, in the electrical appliances industry. The main procedures governing the 3R initiative are obsolescence, renovation and reconstruction. In addition, the technical dimensions of the 3R initiative were identified and analysed, and the challenges that the household appliances industry may face, in adopting the "green consumerism" which expresses the conscious and deliberate choice of consumers to buy and support environmentally friendly devices, were then recorded.

At the same time, comprehensive proposals were formulated for the implementation of "3R" practices in the field of household appliances in order to promote environmentally conscious consumer behaviour. Several alternative approaches were successfully simulated, which aimed at both the maintenance of electronic components from PCB of electrical household appliances and the devices themselves. To this end, restrictions were imposed on the cost of repairs on the one hand and the amount of repair available to the customer on the other.

The results show that by developing techniques for determining the obsolescence of electrical appliances within the framework of the principles of reuse and recycling and taking into account the concept of 'green consumerism', it is possible to extend the lifetime of electric household appliance, through maintenance and repair in the context of the system of the circular economy.

To sum up, the thesis is organized into four chapters. The first chapter deals with the development of the electrical household appliances industry, while the second classifies the practices adopted in the above area with a focus on "green consumerism". Then, in the third chapter, the proposed algorithms for determining the obsolescence of electrical appliances within the framework of the principles of reuse and recycling are analysed extensively and finally in the fourth chapter the conclusions and future prospects of the work are presented.

**SUBJECT AREA:** Electrical domestic appliances industry.

**KEYWORDS:** Recycling, electrical domestic appliances industry, obsolescence, reuse, circular economy, reduce, printed circuit boards, precious metals, green consumerism, maintenance.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διατριβή είναι αφιερωμένη στον μοναδικό Βαγγελάκη, ως ελάχιστο δείγμα αναγνώρισης και ευγνωμοσύνης.

Γνωρίζω σίγουρα πως, μετά από όσα περάσαμε μαζί 19 χρόνια, κοιτάς από ψηλά και όπως πάντα συμμετέχεις ενεργά σε όλα!

Αιώνιως ευγνώμων, Καλή αντάμωση!



## ΛΙΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

### Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά :

Π1) Karagiannopoulos, P.S.; Manousakis, N.M.; Psomopoulos, C.S. A Novel ILP Formulation for PCB Maintenance Considering Electrical Measurements and Aging Factors: A “Right to Repair” Approach. *Energies* 2022, 15, 183. <https://doi.org/10.3390/en15010183>

Π2) P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, and C. S. Psomopoulos, “Repair and recycling of PCB and their components based on obsolescence index: A domestic electrical appliances case study”, *Environmental Science and Pollution Research* 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25077-z>

Π3) P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis and C. S. Psomopoulos, ““3R” Practices Focused on Home Appliances Sector in Terms of Green Consumerism: Principles, Technical Dimensions and Future Challenges,” in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, doi: 10.1109/TCE.2023.3318874.

### Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Συνέδρια :

Σ1) P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, P. E. Siniros and C. S. Psomopoulos, “Maintenance of PCB using Integer Programming,” *ISWA World Congress 2021, Athens, Greece*

Σ2) P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, and C. S. Psomopoulos, “A method for assessing the obsolescence of electrical appliances considering PCB maintenance” *Corfu 2022 9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*.

Σ3) Π.Σ. Καραγιαννόπουλος, Ν.Μ. Μανουσάκης, Κ.Σ. Ψωμόπουλος, “Επισκευή και ανακύκλωση εξαρτημάτων και πλακετών τυπωμένου κυκλώματος οικιακών συσκευών” 7ο Διεθνές συνέδριο της ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ. «Επιτάχυνση της Μετάβασης στην Κυκλική Οικονομία – Ευκαιρίες & Κίνδυνοι», Αθήνα 2022 (συνεργασία με την International Solid Waste Association–ISWA)

Σ4) P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, and C. S. Psomopoulos, “Repair and recycling of PCB and their components considering energy consumption” *Chania 2023 10th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*.

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>21</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>23</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ</b> .....	<b>25</b>
<b>ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ</b> .....	<b>27</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>29</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>31</b>
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	31
1.2 Βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών .....	32
1.3 Ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο οικολογικού σχεδιασμού.....	34
1.4 Κυκλική Οικονομία και βραχυβιότητα ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.....	40
1.5 Πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος (PCB) .....	42
1.6 Φυσικομηχανική διαδικασία ανακύκλωσης των PCB.....	43
1.7 Σκοπός της διδακτορικής διατριβής.....	45
<b>2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ</b> .....	<b>47</b>
2.1 «3R» πρωτοβουλία – Αρχές, κύριες διαδικασίες και τεχνικές διαστάσεις .....	47
2.2 «Πράσινος καταναλωτισμός» .....	47
2.3 Θεμελιώδεις αρχές της «3R» πρωτοβουλίας.....	50
2.3.1 Μείωση.....	50
2.3.2 Επαναχρησιμοποίηση.....	57
2.3.3 Ανακύκλωση.....	70
2.4 Κύριες διαδικασίες «3R» πρωτοβουλίας.....	77
2.4.1 Απαρχαίωση.....	77
2.4.2 Πλήρης ανακατασκευή.....	79
2.4.3 Ανακατασκευή.....	82

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

2.5 Τεχνικές διαστάσεις της «3R» στη βιβλιογραφία.....	94
2.5.1 Κυκλική Οικονομία.....	94
2.5.2 Σχεδιασμός.....	96
2.5.3 Αποσυναρμολόγηση.....	101
2.5.4 Περιβαλλοντικός αντίκτυπος.....	103
2.5.5 Διαχείριση.....	106
2.5.6 Πόροι.....	108
2.5.7 Αντίστροφη εφοδιαστική.....	110
2.5.8 Αλυσίδα εφοδιασμού.....	112
2.5.9 Βιωσιμότητα.....	115
2.5.10 Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.....	115
2.6 Αποτελέσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης εφαρμοζόμενων πρακτικών στις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές.....	117

### **3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΥΒΙΟΤΗΤΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ..... 121**

3.1.. Μελέτη προσδιορισμού μερικού ρυθμού αστοχίας και γήρανσης PCB .....	121
3.1.1 Υπολογισμός ρυθμού αστοχίας και γήρανσης εξαρτημάτων PCB.....	121
3.1.1.1  Ανορθωτική δίοδος.....	121
3.1.1.2  Μικροδιακόπτης-Μπουτόν.....	122
3.1.1.3  Θυρίστορ.....	122
3.1.1.4  Αντιστάτης.....	122
3.1.1.5  Ποκνωτής.....	123
3.1.1.6  Ρελέ.....	123
3.1.1.7  Στραγγαλιστικό πηνίο.....	123
3.1.1.8  Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής .....	124
3.1.1.9  Μεταβλητός αντιστάτης.....	124
3.1.1.10  Αυτομετασηματιστής.....	125
3.1.1.11  Περιστροφικός διακόπτης επιλογής.....	125
3.1.2 Προτεινόμενος αλγόριθμος συντήρησης PCB οικιακών συσκευών με χρήση παραγόντων γήρανσης .....	126
3.1.3 Υπολογισμοί ρυθμών αστοχίας και αποτελέσματα προσομοίωσης.....	127

3.2 Μελέτη βραχυβιότητας και διαδικασιών ανακύκλωσης μέσω αλγορίθμου συντήρησης PCB και οικιακών συσκευών.....	145
3.2.1 SQP διατύπωση αλγόριθμου .....	145
3.2.2 Ανάλυση και αποτελέσματα βάσει εφαρμογής προτεινόμενου SQP αλγόριθμου .....	145
3.2.3 Δείκτης επισκευασιμότητας ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.....	160
3.2.4 Ανακύκλωση μεταλλικών στοιχείων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων των PCB .....	163
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	175
4.1 Γενικά συμπεράσματα.....	175
4.2 Μελλοντική έρευνα.....	176
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄.....	180
Παράγοντες καθορισμού ρυθμού αστοχίας εξαρτημάτων PCB.....	180
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	181

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [2].....	33
Σχήμα 1.2: Παγκόσμια βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [1].....	34
Σχήμα 1.3: Σύγκριση παλαιάς και νέας ενεργειακής ετικέτας ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [5].....	35
Σχήμα 1.4: Ταξινόμηση των μεγαλύτερων κατασκευαστών βάσει κλάσης ενεργειακής απόδοσής [1].....	37
Σχήμα 1.5: Ανηγμένη τιμή ισχύος για τις κυριότερες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [1].....	38
Σχήμα 1.6: Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση [1].....	40
Σχήμα 1.7: Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB) ηλεκτρικού πλυντηρίου πιάτων [9].....	43
Σχήμα 2.1: Θεμελιώδεις αρχές της «3R» πρωτοβουλίας [1].....	47
Σχήμα 2.2: Ποσοστό πληθυσμιακών ομάδων με προτίμηση σε οικολογικά-φιλικές συσκευές [14].....	49
Σχήμα 2.3. Κατανομή εργασιών σε συμμετέχοντες φορείς στη βιομηχανία ΑΗΗΕ [19].....	51
Σχήμα 2.4. Κύκλος ζωής οικιακών συσκευών [20].....	52
Σχήμα 2.5. Παράμετροι κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [26].....	54
Σχήμα 2.6. Περιβαλλοντικός σχεδιασμός για τη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων [28].....	56
Σχήμα 2.7. Παγκόσμια ετήσια ζήτηση πρώτων υλών βιομηχανίας οικιακών συσκευών [32].....	58
Σχήμα 2.8. Ηλεκτρικές συσκευές μετά το τέλος ζωής τους [42].....	61
Σχήμα 2.9. Ζήτηση ενέργειας κατά τις φάσεις του κύκλου ζωής των συσκευών [49].....	64
Σχήμα 2.10. Ποσότητα επαναχρησιμοποιούμενων ΑΗΗΕ στην EU28 [56].....	67
Σχήμα 2.11. Προϊόντα που περιλαμβάνουν σπάνιες γαίες [61].....	69
Σχήμα 2.12. Στάδιο χειροκίνητης διαδικασίας διαχωρισμού ηλεκτρονικών αποβλήτων [63].....	71
Σχήμα 2.13. Ποσοστό ανακυκλωτικής δραστηριότητας σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς στην επαρχία Zhejiang [76].....	75
Σχήμα 2.14. Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού κύκλου [83].....	78
Σχήμα 2.15. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ένα ηλεκτρικό ψυγείο [87].....	81
Σχήμα 2.16. Ανακατασκευασμένος κινητήρας ηλεκτρικού πλυντηρίου ρούχων [95].....	85
Σχήμα 2.17. Φάση της αποσυναρμολόγησης στο πλαίσιο της διαδικασίας ανακατασκευής [63].....	87
Σχήμα 2.18. Σχολαστικός έλεγχος των εξαρτημάτων στο πλαίσιο της ανακατασκευής [63].....	91
Σχήμα 2.19. Τεχνικές διαστάσεις στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας ΑΗΗΕ [63].....	95
Σχήμα 2.20. Υπηρεσίες στο πλαίσιο της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας [63].....	98
Σχήμα 2.21. Διαδικασίες συλλογής ηλεκτρονικών αποβλήτων [113].....	101
Σχήμα 2.22 Εγκαταστάσεις ανακύκλωσης στη Νότια Ουαλία [66].....	104
Σχήμα 2.23. PCB με τα εξαρτήματα της σε στάδιο διαχείρισης ως ηλεκτρονικά απόβλητα [66].....	107
Σχήμα 2.24. Παραγωγή, ανακύκλωση και ανάκτηση πόρων [66].....	109

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης	
Σχήμα 2.25. Παράδειγμα αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας δευτερογενούς αγοράς [126].....	111
Σχήμα 2.26. Πυραμίδα αλυσίδας εφοδιασμού βάσει κύκλου ζωής του προϊόντος [71].....	114
Σχήμα 2.27. Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) [66].....	116
Σχήμα 2.28 Ετήσια κατανομή των ερευνηθεισών εργασιών για την πρωτοβουλία «3R» [1].....	118
Σχήμα 3.1: PCB πλυντηρίου ρούχων με τα εξαρτήματά της [15].....	128
Σχήμα 3.2: Πειραματική διάταξη PCB πλυντηρίου ρούχων για τη μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών [15].....	133
Σχήμα 3.3: Εξαρτήματα προς αντικατάσταση πλυντηρίου πιάτων βάσει προϋπολογισμού πελάτη [15].....	136
Σχήμα 3.4: Εξαρτήματα προς αντικατάσταση πλυντηρίου πιάτων για διαφορετικούς προϋπολογισμούς και κόστος εξαρτημάτων [15].....	137
Σχήμα 3.5: Βάρη μεταβλητών εξαρτημάτων βάσει χρόνου λειτουργίας για PCB πλυντηρίου ρούχων [15].....	138
Σχήμα 3.6: Βάρη μεταβλητών εξαρτημάτων βάσει χρόνου λειτουργίας για PCB πλυντηρίου πιάτων [15].....	139
Σχήμα 3.7: Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης εξαρτημάτων PCB για πλυντήριο ρούχων [15].....	141
Σχήμα 3.8: Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης εξαρτημάτων PCB για πλυντήριο πιάτων [15].....	142
Σχήμα 3.9: Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης βάσει μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη και ετήσιων ωρών λειτουργίας ενός πλυντηρίου ρούχων [15].....	143
Σχήμα 3.10: Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης βάσει μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη και ετήσιων ωρών λειτουργίας ενός πλυντηρίου πιάτων [15].....	144
Σχήμα 3.11: Απεικόνιση εξαρτημάτων της A1 PCB ηλεκτρικού ψυγείου σεναρίων I–III [9].....	149
Σχήμα 3.12: Απεικόνιση εξαρτημάτων της A2 PCB ηλεκτρικού ψυγείου σεναρίων I–III [9].....	150
Σχήμα 3.13: Απεικόνιση εξαρτημάτων της B1 PCB πλυντηρίου πιάτων σεναρίων I–III [9].....	151
Σχήμα 3.14.Απεικόνιση εξαρτημάτων της B2 PCB πλυντηρίου πιάτων σεναρίων I–III [9].....	152
Σχήμα 3.15.Απεικόνιση εξαρτημάτων της B3 PCB πλυντηρίου πιάτων σεναρίων I–III [9].....	153
Σχήμα 3.16.Απεικόνιση εξαρτημάτων της B4 PCB πλυντηρίου πιάτων σεναρίων I–III [9].....	154
Σχήμα 3.17.Απεικόνιση εξαρτημάτων της C1 PCB πλυντηρίου ρούχων σεναρίων [9].....	155
Σχήμα 3.18.Απεικόνιση εξαρτημάτων της C2 PCB πλυντηρίου ρούχων σεναρίων I–III [9].....	156
Σχήμα 3.19.Απεικόνιση εξαρτημάτων της C3 PCB πλυντηρίου ρούχων σεναρίων I–III [9].....	157
Σχήμα 4.1. Προτεινόμενη διαδικασία αλυσίδας εφοδιασμού και κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [1].....	179

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Ανηγγεμένη τιμή ανά κατασκευαστή & κλάση ενεργειακής απόδοσης [1].....	36
Πίνακας 1.2: Ανηγγεμένη τιμή, ενεργειακή κλάση και μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση [1].....	39
Πίνακας 3.1: Ανάλυση εξαρτημάτων δυο PCB [15].....	129
Πίνακας 3.2: Τιμές παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε εξάρτημα PCB [15].....	130
Πίνακας 3.3: Ρυθμοί αστοχίας εξαρτημάτων PCB βάσει συνθηκών [15].....	131
Πίνακας 3.4: Τιμές ηλεκτρικών μεγεθών για προσδιορισμό ρυθμού αστοχίας εξαρτημάτων [15].....	132
Πίνακας 3.5: Τιμές μερικού ρυθμού αστοχίας ανά εξάρτημα PCB [15].....	134
Πίνακας 3.6: Εξαρτήματα PCB πλυντηρίου ρούχων προς αντικατάσταση για μέγιστο προϋπολογισμό πελάτη [15].....	135
Πίνακας 3.7: Πλήθος και τύπος PCB ανά οικιακή ηλεκτρική συσκευή [9].....	146
Πίνακας 3.8: Τύπος, πλήθος και κόστος εξαρτημάτων ανά PCB για ηλεκτρικό ψυγείο [9].....	147
Πίνακας 3.9: Τύπος, πλήθος και κόστος εξαρτημάτων ανά PCB για πλυντήριο πιάτων [9].....	147
Πίνακας 3.10: Τύπος, πλήθος και κόστος εξαρτημάτων ανά PCB για πλυντήριο ρούχων [9].....	148
Πίνακας 3.11: Προσομοιωμένα σενάρια βάσει προϋπολογισμού πελάτη [9].....	148
Πίνακας 3.12: Πλήθος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων PCB προς αντικατάσταση [9].....	158
Πίνακας 3.13: Βάρος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων προς αντικατάσταση ανά PCB [9].....	159
Πίνακας 3.14: Χρόνος υπολογισμού για κάθε προσομοιωμένο σενάριο [9].....	160
Πίνακας 3.15: Δείκτης επισκευασιμότητας των PCB [9].....	161
Πίνακας 3.15: Συνέχεια [9].....	162
Πίνακας 3.16: Δείκτης επισκευασιμότητας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [9].....	162
Πίνακας 3.17: Ποσόν εξοικονόμησης επισκευασμένων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [9].....	163
Πίνακας 3.18: Βάρος μετάλλων από ηλεκτρονικά εξαρτήματα PCB [9].....	164
Πίνακας 3.19: Σνηθέστερα μεταλλικά στοιχεία των PCB (%) [9].....	165
Πίνακας 3.20: Σύγκριση δεδομένων ανακύκλωσης προτεινόμενης μεθόδου με άλλες εργασίες [9].....	165
Πίνακας 3.21: Συνολικό βάρος PCB για τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [9].....	166
Πίνακας 3.22: Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 40€ [9].....	167
Πίνακας 3.23: Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 55€ [9].....	168
Πίνακας 3.24: Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 70€ [9].....	169
Πίνακας 3.25: Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 40€ βάσει ανάκτησης πολύτιμων και μη μετάλλων και σύμφωνα με τον δείκτη AMR [9].....	170
Πίνακας 3.26: Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 55€ βάσει ανάκτησης πολύτιμων και μη μετάλλων και σύμφωνα με τον δείκτη AMR [9].....	171

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Πίνακας 3.27: Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 70€ βάσει ανάκτησης πολύτιμων και μη μετάλλων και σύμφωνα με τον δείκτη AMR [9].....	172
Πίνακας 3.28: Σύγκριση προτεινόμενης ανακύκλωσης AMR με άλλες για πολύτιμα μέταλλα [9].....	173
Πίνακας 3.29: Περιβαλλοντικοί δείκτες σύγκρισης προτεινόμενης μεθόδου και βιβλιογραφίας [132].....	173
Πίνακας 3.30: Προσδιορισμός περιβαλλοντικών δεικτών για τα προσομοιούμενα σενάρια [128].....	173
Πίνακας 3.31: Οικονομική σύγκριση παρούσας προσέγγισης με τη βιβλιογραφία [127].....	173
Πίνακας 4.1: Μελλοντική έρευνα σε αρχές της «3R» πρωτοβουλίας.....	177
Πίνακας 4.2: Μελλοντική έρευνα σε διαδικασίες της «3R» πρωτοβουλίας.....	177



### ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Reliability	Αξιοπιστία
Editor	Επιμελητής
Recommendations	Υποδείξεις
EoL or End-of-Life	Τέλος ζωής
ecodesign	Οικολογικός σχεδιασμός
OECD	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
EPR	Διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού
Reverse logistics	Αντίστροφη εφοδιαστική
MILP	Μικτός ακέρατος γραμμικός προγραμματισμός
GA or Genetic Algorithm	Γενετικός Αλγόριθμος
OEMs or Original Equipment Manufacturer	Αυθεντικός κατασκευαστής
e-waste	Ηλεκτρονικά απόβλητα
CE	Κυκλική Οικονομία
WoS or Web of Science	Βάση Δεδομένων Αναφορών Επιστημονικών Δημοσιεύσεων
DfE or Design for Environment	Σχεδιάστε για το περιβάλλον
Diode Rectifier	Ανορθωτική δίοδος
Push-Button Microswitch	Μικροδιακόπτης-μπουτόν
Thyristor	Θυρίστορ
Resistor	Αντιστάτης
Capacitor	Πυκνωτής
Relay	Ρελέ
Choke	Στραγγαλιστικό πηνίο
Triac	Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής
Varistor	Μεταβλητός αντιστάτης
Autotransformer	Αυτομετασχηματιστής
Rotary switch (selector)	Περιστροφικός διακόπτης επιλογής
CAGR	Συνδυασμένος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης
QR	Κωδικός γρήγορης ανταπόκρισης
MECPAEC	Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση
MNA	Μέσος αριθμός συσκευών
LCA	Εκτίμηση κύκλου ζωής
EE	Ευρωπαϊκή ένωση
PCB	Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος
Rohs	Περιορισμός χρήσης των επικίνδυνων ουσιών
RL	Αντίστροφη εφοδιαστική
GA	Γενετικός αλγόριθμος
GAMS	Γενικευμένο μοντέλο αλγεβρικού προγραμματισμού
RDPM	Μοντέλο πλατφόρμας σχεδιασμού αναπαραγωγής
DFR	Σχεδιασμός για αναπαραγωγή
REE	Στοιχεία σπάνιων γαιών
DFD	Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση
GSCM	Διαχείριση της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού
R / R	Ανακαίνιση και ανακατασκευή

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

CLSC	Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού κυκλώματος
CED	Ενιαία περιβαλλοντική μέτρηση
RPP	Προφίλ ανακατασκευασμένων προϊόντων
DfR	Σχεδιασμός για την ανακύκλωση
PfR	Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση

## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ADONIS	Article Delivery Over Network Information Systems
ALISE	Association For Library Collections and Technical Services
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
TEI	Text Encoding Initiative
UNISIST	Universal System for Information in Science and Technology
W3C	World Wide Web Consortium
UniWA	University of West Attica
THHM	Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
EPR	Extended Producer Responsibility
(WEEP)	Waste from Electrical and Electronic Equipment
(GSCM)	Green Supply Chain Management
(CLSC)	Closed Loop Supply Chain
(RPP)	Reproduction Product Profile
REPRO2	Remanufacturing with PROduct PROfiles
(CED)	Cumulative Energy Demand
CAGR	Compound Annual Growth Rate
QR	Quick Response
MECPAEC	Mean Energy Consumption per Appliance and Energy Consumption
MNA	Mean Energy Number
LCA	Life-Cycle Assessment
PCB	Printed Circuit Boards
RoHS	Restriction of (the use of certain) Hazardous Substances
EPR	Extended Producer Responsibility
MILP	Mixed Integer Linear Programming
RL	Reverse Logistics
GA	Genetic Algorithm
GAMS	General Algebraic Modeling System
OEM	Original equipment manufacturer
EoL	End of Life
WoS	Web of Science
DfE	Design for Environment

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

RDPM	Remanufacturing Design Platform Model
DFR	Design for Remanufacture
REE	Rare Earth Elements
DFD	Design for Disassembly
GSCM	Green Supply Chain Management
R / R	Refurbishment and Remanufacturing
CLSC	Closed Loop Supply Chain
CED	Cumulative Energy Demand
RPP	Remanufacturable Product Profile
DfR	Design for Environment
PfR	Preparation for Reuse

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή άρχισε να εκπονείται το Φεβρουάριο του 2020 και ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2023, στον Τομέα Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, υπό την επίβλεψη του Αν.Καθηγητή κ. Νικόλαου Μ.Μανουσάκη.

Ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Π. Σινιόρο καθώς και τον Καθηγητή κ. Κ. Ψωμόπουλο, όπως και τα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητή κ. Σ. Καμινάρη, Καθηγητή κ. Γ. Ιωαννίδη, Καθηγητή κ. Εμμ. Καραπιδάκη, Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Χ. Χρόνη, για το ενδιαφέρον τους και τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Νικόλαο Μανουσάκη, Αν. Καθηγητή, έναν σπάνιο άνθρωπο και δάσκαλο, ο οποίος στάθηκε αρωγός μου στην σύνταξη της παρούσας διατριβής, επιβλέποντας την πρόοδό της και συμβάλλοντας αποφασιστικά στην ολοκλήρωσή της με τη συνεχή και αδιαμαρτύρητη καθοδήγηση, ενθάρρυνση και συμπαράστασή του.

Η ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής, βεβαίως, θα ήταν κυριολεκτικά αδύνατη χωρίς την υλική, ηθική και έμπρακτη συμπαράσταση της οικογένειάς μου. Οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου οι οποίοι μεν, με τη καθοδήγηση τους στα παιδικά χρόνια μου έδειξαν το δρόμο και στους δε, για τη συμπαράσταση αυτά τα 3 έτη. Επίσης, αφιερώνεται στη γυναίκα μου Αικατερίνη-Ιωάννα και στα παιδιά μου, για όλα όσα κάνουν για μένα καθημερινά και κυρίως για την αδιαπραγμάτευτη αγάπη, βαθιά τους πίστη και υπερηφάνεια προς το πρόσωπο μου.

Τέλος, αλλά εξίσου ευγνώμων θα είμαι πάντοτε προς τον παιδικό μου φίλο και ερευνητή Δρ. Βασίλη Π.Καπετανίδη, ο οποίος μου έχει προσφέρει απλόχερα υποστήριξη σε όλα τα επίπεδα με τις γνώσεις του και το ταλέντο του να σπανίζουν.

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ηλεκτρική ενέργεια, κατά τη διάρκεια της 2<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης, αποτέλεσε έναν από τους κυριότερους μοχλούς προόδου. Οι επιστήμονες διεξήγαγαν απλά πειράματα τα οποία οδήγησαν σε πρωτοποριακές ανακαλύψεις. Δεν είχαν ιδέα ότι κάποιες απλές κατασκευές θα πυροδοτούσαν μια επανάσταση και θα βελτίωναν την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Το 1831, ο Άγγλος επιστήμονας Michael Faraday έκανε μια πρωτοποριακή ανακάλυψη για το ηλεκτρικό ρεύμα, η οποία είχε καθοριστικό αντίκτυπο στον τομέα της επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, ανακάλυψε ότι η κίνηση ενός σιδηρομαγνήτη στο εσωτερικό ενός πηνίου οδηγεί στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο αποτέλεσε μια από τις σημαντικότερες τεχνολογικές τομές προόδου σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Μέχρι το έτος 1832, κατασκευάστηκε επιτυχώς η ηλεκτρική γεννήτρια. Η διαθεσιμότητα μιας νέας και ενισχυμένης πηγής ενέργειας δημιούργησε ένα αίσθημα εμπιστοσύνης στους καταναλωτές και βελτίωσε τη συνολική ποιότητα ζωής τους. Κατ' αντιστοιχία, σήμερα, οι καταναλωτές αναμένουν με ανυπομονησία την κυκλοφορία ενός νέου μοντέλου συσκευής μαζικής παραγωγής, καθώς επιδιώκουν βέλτιστη λειτουργικότητα. Γυρνώντας πίσω, με την πάροδο του χρόνου, η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει επεκταθεί σταδιακά, πέρα από την αρχική εφαρμογή της στον επιστημονικό πειραματισμό, σε κάθε πεδίο, εξασφαλίζοντας έτσι έναν πιο σύγχρονο τρόπο ζωής. Κατά τη δεκαετία του 1870 και παρά τη συνεχή χρήση των μηχανημάτων ατμού σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς, αναπτύχθηκε ο ηλεκτρικός κινητήρας. Η άνοδος της δημοτικότητας των ηλεκτρικών μηχανημάτων έναντι των ατμομηχανών στον βιομηχανικό τομέα έγινε σταδιακά. Ο πληθυσμός χρειάστηκε μεγάλο χρονικό διάστημα για να προσαρμοστεί στην πρόοδο του ηλεκτρικού φωτισμού, συγκριτικά με το φυσικό αέριο ή το πετρέλαιο. για παράδειγμα, έναντι του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου. Αρχικά, ο φωτισμός μέσω ηλεκτρικής ενέργειας ήταν σημαντικά κατώτερος από εκείνον μέσω αερίου ή πετρελαίου, εμποδίζοντας έτσι την άμεση υιοθέτησή του ως βιώσιμο υποκατάστατο.

Βάσει των παραπάνω, παρουσιάστηκαν σημαντικές πρόοδοι σε αυτό τον τομέα, με την προσφορά επίσης του Thomas Edison το 1879, να ανακαλύπτει τον λαμπτήρα πυρακτώσεως και να αποτελεί μια κρίσιμη στιγμή στην ιστορία της κατασκευαστικής τεχνολογίας, ανοίγοντας τον δρόμο για σημαντική επέκταση στις επόμενες δεκαετίες. Η Τεχνολογική Επανάσταση, χαρακτηρίστηκε από σημαντική τεχνολογική πρόοδο σε πολλούς άλλους τομείς, όπως η επικοινωνία και η παραγωγή. Πρόσθετα σημαντικά στοιχεία από μηχανικής απόψεως είναι η πρόοδος στην κατασκευή χάλυβα και η καινοτομία του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η εμφάνιση νέων τεχνολογιών οδήγησε σε αξιοσημείωτη άνοδο της παραγωγής αγαθών σε μεγάλη κλίμακα και σε ταυτόχρονη μείωση των δαπανών. Επίσης, το προαναφερθέν μοντέλο διευκόλυνε την ταχεία επέκταση των εμπορικών επιχειρήσεων, με αποτέλεσμα σημαντικούς κοινωνικούς μετασχηματισμούς. Στο κομμάτι των εμπορικών επιχειρήσεων υπήρξε μια αλματώδης ζήτηση σε όλες τις συσκευές που κατασκευάζονταν και οδηγούνταν προς διοχέτευση στην αγορά. Οι συσκευές αυτές, επονομαζόμενες ως οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, κατέκλεισαν την αγορά. Οι οικιακές αυτές συσκευές, γνωστές και ως ηλεκτρικές, είναι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να βοηθήσουν στην συντήρηση των τροφίμων, στον καθαρισμό και στο μαγείρεμα. Οι συσκευές χωρίζονται σε τρεις τύπους: τις μικρές, τις μεγάλες (λευκές συσκευές) και τις ηλεκτρονικές (καφέ συσκευές). Η εγχώρια εφαρμογή των οικιακών συσκευών συνδέεται εγγενώς με τον ορισμό μιας τέτοιας συσκευής ως μια εξειδικευμένη διάταξη ή μηχανήμα που προορίζεται για συγκεκριμένο σκοπό. Το εκτεταμένο πεδίο εφαρμογής τους επιτρέπει την κατηγοριοποίηση ενός ευρέος φάσματος συσκευών που έχουν σχεδιαστεί για οικιακούς σκοπούς σε οικιακές συσκευές, οι οποίες περιλαμβάνουν

όχι μόνο ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης αλλά και συσκευές όπως φούρνοι, κεραμικές εστίες, ηλεκτρικά πλυντήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, ψυγεία, τοστιέρες, φούρνους μικροκυμάτων καθώς και συστήματα κλιματισμού. Παρόλο που διάφοροι τύποι συσκευών έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και αιώνες, η εμφάνιση των αυτόνομων ηλεκτρικών συσκευών είναι μια ξεχωριστή αμερικανική εφεύρεση που εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα. Η παραγωγή και εξάπλωση αυτών των οικιακών συσκευών συνδέεται με τη μείωση του προσωπικού και των υποχρεώσεων για το νοικοκυριό. Στις αρχές της δεκαετίας του 1900, υπήρχε μια ποικιλία ηλεκτρικών συσκευών, όπως πλυντήρια ρούχων, θερμοσίφωνες, ψυγεία, λέβητες και μηχανές ραφής. Η δημιουργία ενός συμπαγούς ηλεκτρικού σιδήρου το 1903 έδωσε ώθηση στον τομέα των οικιακών συσκευών. Κατά την περίοδο της οικονομικής ανάπτυξης μετά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, υπήρξε μια αξιοσημείωτη τάση προς την ευκολία, η οποία περιελάμβανε την απόκτηση πλυντηρίων πιάτων και στεγνωτηρίων ρούχων για οικιακή χρήση, στοιχείο μάλιστα το οποίο ήταν ένδειξη αύξησης του εισοδήματος.

## 1.2 Βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, ο βιομηχανικός τομέας στις Ηνωμένες Πολιτείες παρουσίασε ετήσια κέρδη της τάξης των 1,5 δις. δολαρίων και παρείχε ευκαιρίες απασχόλησης σε περισσότερα από 1.400.000 άτομα. Τα έσοδα αυτού του τομέα σημείωσαν υπερδιπλασιασμό από 1,5 δις. δολάρια το 1982 σε 3,3 δις. το 1990. Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, οι εταιρείες ασχολούνταν με συγχωνεύσεις και εξαγορές ως μέσο μείωσης των δαπανών για έρευνα, παραγωγή και εξάλειψη των ανταγωνιστών, οδηγώντας τελικά στη θέσπιση αντιμονοπωλιακών νόμων. Ο Εθνικός Νόμος για τη Διατήρηση της Ενέργειας Συσκευών του 1987 υποχρέωσε τους κατασκευαστές σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των συσκευών κατά 25% κάθε πέντε χρόνια. Το Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών είναι υπεύθυνο για την επανεξέταση της συμμόρφωσης με αυτή τη νομοθεσία. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, η βιομηχανία των συσκευών παρουσίασε υψηλό βαθμό ενοποίησης, με μόλις πέντε εταιρείες να αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 90% του συνολικού όγκου πωλήσεων. Το 1991, το μερίδιο αγοράς για την κατασκευή πλυντηρίων πιάτων διανεμήθηκε μεταξύ αρκετών εταιρειών. Η General Electric κατείχε το μεγαλύτερο μερίδιο με ποσοστό 40%, ακολουθούμενη από την Whirlpool με 31%, την Electrolux με 20%, την Maytag με 7% και την Thermador με συγκριτικά μικρότερο ποσοστό 2%.

Ιστορικά, τα λευκά αγαθά είχαν επικαλυφθεί με λευκό χρώμα ή σμάλτο, και αυτή η πρακτική παραμένει διαδεδομένη στη σύγχρονη εποχή. Οι μικρές λοιπόν συσκευές αναφέρονται σε συμπαγείς ηλεκτρικούς εξοπλισμούς σχεδιασμένους για οικιακή χρήση, οι οποίοι είναι εξαιρετικά πρακτικοί και φορητοί, διευκολύνοντας την εύκολη εγκατάσταση. Επίσης στις πιο μικρές συσκευές συμπεριλαμβάνονται τα ηλεκτρικά μίξερ, οι τεμαχιστές κρέατος, οι μηχανές κοπής καφέ, οι επεξεργαστές τροφίμων, οι ηλεκτρικοί μικροσκοπικοί λέβητες και καφετιέρες. Ορισμένοι τύποι συσκευών ήταν ιστορικά διακοσμημένοι με πραγματικό ή τεχνητό ξύλο, διαμορφώνοντας υπεραξία. Σήμερα, με συνδυασμένο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 10%, η παγκόσμια αγορά οικιακών συσκευών έχει αυξηθεί από 551,29 δισεκατομμύρια δολάρια το 2022 σε 606,58 δις. το 2023. Το Σχήμα 1.1 παρουσιάζει τις συνηθέστερες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [2].

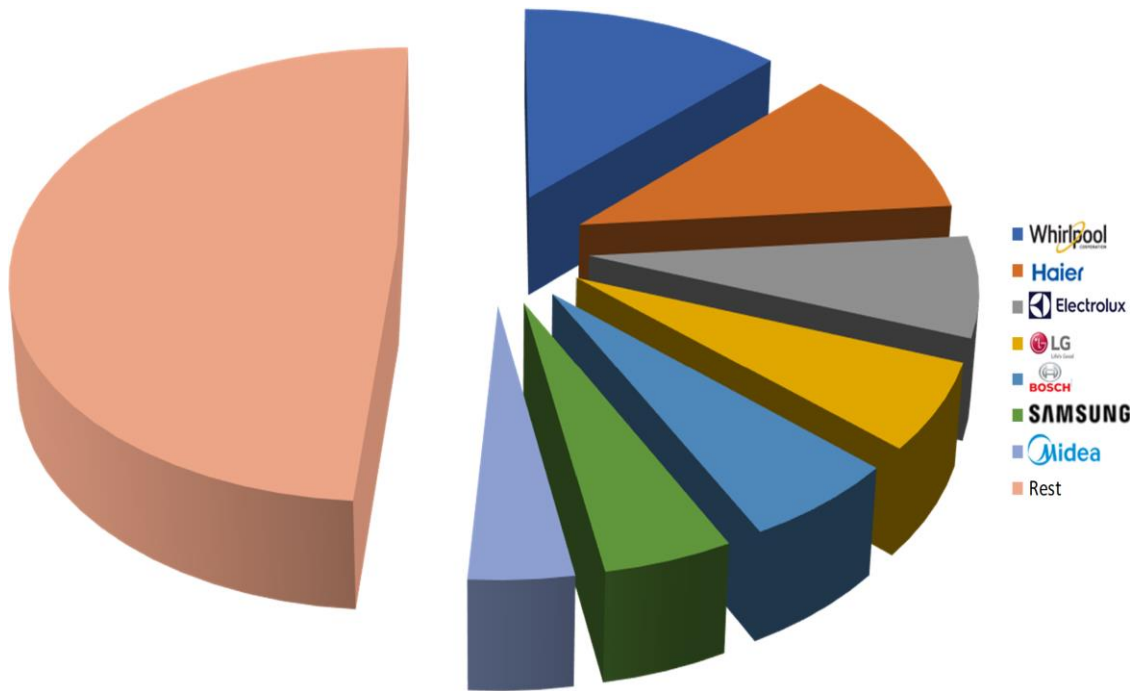




Σχήμα 1.1. Ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [2]

Ο γνωστός λοιπόν τομέας λευκών ειδών, από τον κλάδο των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, κατέχει και σήμερα κυρίαρχη θέση στην αγορά. Μεταξύ αυτών των συσκευών, τα ψυγεία αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 21% του μεριδίου του κλάδου. Ακολουθούν οι μικροσυσκευές, οι οποίες συνεισφέρουν περίπου το 18% στη συνολική αγορά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η άνοδος του ηλεκτρονικού εμπορίου έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των προτιμήσεων των καταναλωτών, καθώς προσφέρει ευκολία και ευρύ φάσμα επιλογών. Κατά συνέπεια, η αγορά ηλεκτρικών οικιακών συσκευών έχει καθιερώσει μια ουσιαστική παρουσία σε αυτόν τον ψηφιακό τομέα.

Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί ένας σημαντικός μετασχηματισμός στη βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών, λόγω πολυάριθμων συγχωνεύσεων και εξαγορών μεταξύ μεγάλων κατασκευαστών επώνυμων εμπορικών σημάτων. Το Σχήμα 1.2 δείχνει τους σημαντικότερους κατασκευαστές στην παγκόσμια αγορά με βάση τις συνολικές πωλήσεις τους [1]. Η Whirlpool έχει αναδειχθεί ως ο κορυφαίος κατασκευαστής, δημιουργώντας σημαντικά έσοδα 19 δισεκατομμυρίων δολαρίων το έτος 2020. Να σημειωθεί ότι η Whirlpool ενεργεί ως μητρική εταιρεία για επτά εμπορικές οντότητες, συμπεριλαμβανομένων γνωστών εμπορικών σημάτων όπως η KitchenAid, η Maytag και η Bauknecht, οι οποίες μεμονωμένα επιτυγχάνουν ετήσιες πωλήσεις που ξεπερνούν το 1 δισεκατομμύριο δολάρια. Επιπλέον, η Bosch, που λειτουργεί μέσω του τμήματος οικιακών συσκευών BSH, κατέχει το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς με συνολικά έσοδα 15,6 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Εν τω μεταξύ, η Haier Electronics, μια εξέχουσα κινεζική εταιρεία, έχει να επιδείξει αξιοσημείωτους ρυθμούς ανάπτυξης στον κλάδο των συσκευών, ξεπερνώντας σε απόδοση άλλους αξιόλογους ανταγωνιστές, επιτυγχάνοντας ανάπτυξη έως και 50% σε ορισμένα τμήματα της αγοράς [3].



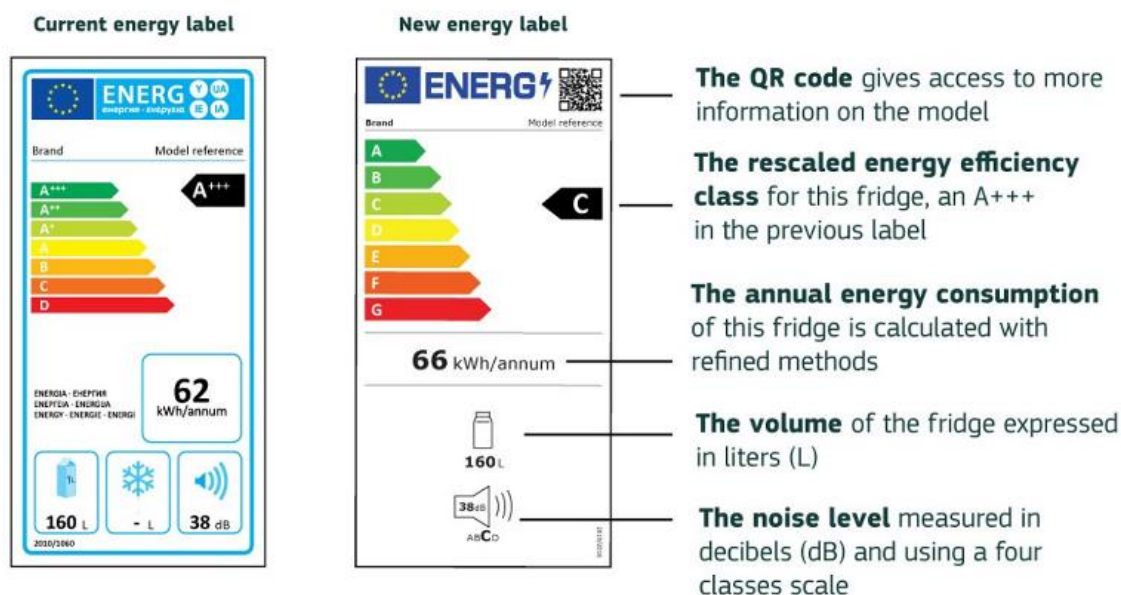
Σχήμα 1.2. Παγκόσμια βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [1]

### 1.3 Ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο οικολογικού σχεδιασμού

Η ανάγκη διασφάλισης περιβαλλοντικά βιώσιμων προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία μεταξύ των διαφόρων κοινωνικών παραγόντων, όπως είναι οι πρωτογενείς βιομηχανίες, οι πολίτες, οι επιχειρήσεις και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής. Η ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας έχει αναδειχθεί καταλυτική για την καινοτομία σε διάφορες εταιρικές στρατηγικές. Επιπλέον, είναι γνωστό πως οι καταναλωτές αναζητούν όλο και περισσότερες συμπληρωματικές μετρήσεις βιωσιμότητας των προϊόντων για να διευκολυνθούν στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Η επίτευξη του 12<sup>ου</sup> Στόχου Βιώσιμης Ανάπτυξης, ο οποίος σκοπεύει στην προώθηση βιώσιμων προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης, απαιτεί την υιοθέτηση ενός πλαισίου για την κυκλική οικονομία. Αυτό το μοντέλο επιδιώκει να εξαλείψει τα απόβλητα και τη ρύπανση, να διευκολύνει την κυκλοφορία των πόρων, των υλικών και των προϊόντων και να προωθήσει την αναγέννηση των φυσικών συστημάτων. Η διαδικασία της επαναχρησιμοποίησης αγαθών και εξαρτημάτων θεωρείται ευρέως ως κρίσιμη δράση στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, καθώς στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενών πόρων και στην πρόληψη εμφάνισης νέων ροών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για να δοθεί προτεραιότητα στην πρακτική της επαναχρησιμοποίησης έναντι εναλλακτικών στρατηγικών, συμπεριλαμβανομένης της επισκευής, της ανακαίνισης, της επαναπαραγωγής και τελικά της ανακύκλωσης. Στο πλαίσιο των αγαθών που σχετίζονται με την ενέργεια, η κατανάλωση τους κατά τη χρήση, είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τον προσδιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε όλο τον κύκλο ζωής. Σύμφωνα με έρευνα [4], υπήρξε σημαντική αύξηση της χρήσης οικιακών συσκευών παγκοσμίως κατά 37% την περίοδο 2013–2020. Αυτό δείχνει ότι οι οικιακές συσκευές έχουν γίνει μια κρίσιμη πτυχή της κατανάλωσης και η χρήση τους αναμένεται να σημειώσει σημαντική αύξηση τα επόμενα χρόνια. Τα οικοδομικά συγκροτήματα αντιπροσώπευαν το 27,2% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2017 [4]. Το ποσοστό αυτό

ήταν ακόμη υψηλότερο στη Γκάνα, όπου για παράδειγμα αντιπροσώπευαν το 40%. Τα προϊόντα που σχετίζονται με την ενέργεια, όπως είναι οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, παράγουν εκπομπές CO<sub>2</sub> καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Η φάση της αξιοποίησης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων συμβάλλει σημαντικά στον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό (2009/125/EK), καθιέρωσε ένα πλαίσιο στο οποίο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή περιέγραψε ένα προϊόν που σχετίζεται με την ενέργεια ως προϊόν το οποίο την χρησιμοποιεί ή την εξοικονομεί και έτσι διαφοροποιεί την κατανάλωσή της κατά τη χρήση του. Η συγκεκριμένη Οδηγία θεσπίζει ενιαία ελάχιστα πρότυπα για την εφαρμογή μέτρων που αφορούν τα ενεργειακά προϊόντα που διατίθενται στην αγορά εντός των συνόρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και καλύπτει περισσότερες από 40 κατηγορίες προϊόντων, όπως μονάδες κλιματισμού, τηλεοράσεις, φούρνους μικροκυμάτων και ψυγεία. Τα προϊόντα που συμμορφώνονται με την παρούσα οδηγία μπορούν να ταυτοποιηθούν με τη σήμανση ΕΕ και είναι επιλέξιμα για εμπορία. Η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας και της διαχείρισης στον τομέα των κατοικιών κερδίζει δυναμική στους τομείς των ενεργειακών συστημάτων και των έξυπνων δικτύων. Η τάση προς αξιολόγηση των συσκευών βάσει ενεργειακής κλάσης σε A+, A++, ή A+++, καθιστά αναγκαία τη στροφή προς μια απλοποιημένη κλίμακα ενεργειακής κλάσης. Πιο συγκεκριμένα, η οδηγία 2009/125/EK, σε συνδυασμό με την οδηγία για την ενεργειακή σήμανση 2010/30/ΕΕ, επιδιώκει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, συνδέοντας την ενεργειακή απόδοση με την ενέργεια και την ταξινόμηση των προϊόντων σε κλίμακα που κυμαίνεται από Α (πράσινο) έως G (κόκκινο). Η κλίμακα έχει σχεδιαστεί για να είναι αυστηρή, επιτρέποντας μόνο σε μικρό αριθμό προϊόντων να επιτύχουν αρχικά αξιολόγηση «Α». Αυτό επιτρέπει τη συμπερίληψη πιο αποτελεσματικών προϊόντων. Τα ενεργειακά αποδοτικά προϊόντα που διατίθενται σήμερα στην αγορά ονομάζονται κοινώς «B», «C» ή «D» για να δηλώσουν την υψηλή ενεργειακή απόδοσή τους. Οι ετικέτες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.3 περιλαμβάνουν πρόσθετα στοιχεία, όπως σύνδεση QR σε βάση δεδομένων σε επίπεδο ΕΕ, επιτρέποντας στους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση σε περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το προϊόν [5]. Εφαρμόζονται αρκετοί κανόνες οικολογικού σχεδιασμού, ιδίως όσον αφορά στην επισκευασιμότητα και στην απαίτηση για τους κατασκευαστές να διατηρούν την προμήθεια ανταλλακτικών για ορισμένο χρονικό διάστημα μετά τη διακοπή παραγωγής των προϊόντων, σύμφωνα με τις νέες ενεργειακές ετικέτες της ΕΕ που τέθηκαν σε ισχύ από την 1<sup>η</sup> Μαρτίου 2021.



Σχήμα 1.3 Σύγκριση παλαιάς και νέας ενεργειακής ετικέτας ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [5]

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

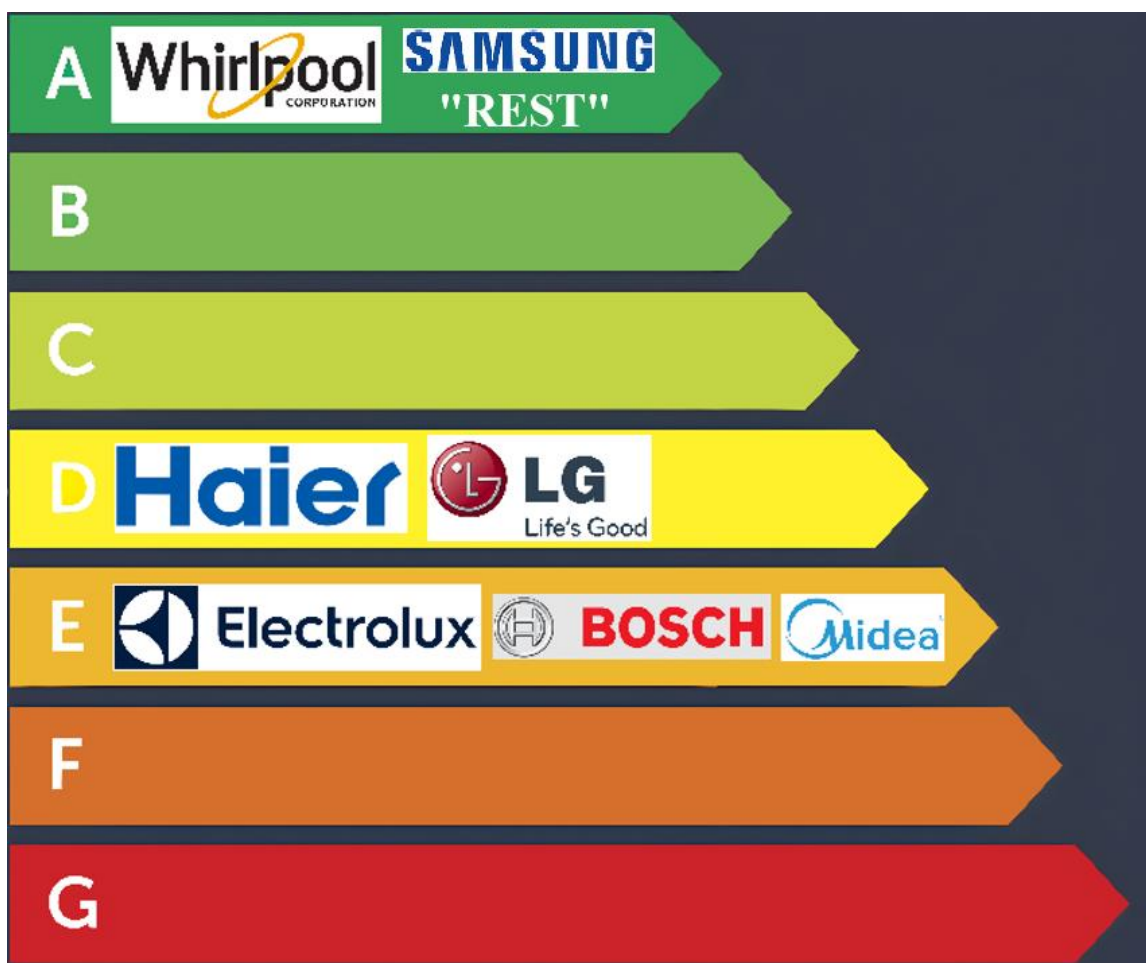
Προκειμένου να καθοριστεί ποιες συσκευές είναι οι πιο φιλικές προς το περιβάλλον για τους καταναλωτές, πραγματοποιήθηκε εκτενής αναζήτηση σε πολλούς ιστότοπους πώλησης συσκευών [1]. Πραγματοποιήθηκε ενδελεχής εξέταση σε συνολικά 1511 ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων πλυντηρίων πιάτων, ηλεκτρικών φούρνων και ψυγείων, για να διαπιστωθεί η ενεργειακή κλάση που τους έχει αποδοθεί από τους κατασκευαστές. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν αφορούν στις κλάσεις ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν ανά κατασκευαστή. Στη συνέχεια, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για κάθε τύπο συσκευής συνδυάστηκαν ανά κατασκευαστή και ενεργειακή κλάση, με αποτέλεσμα να συνταχθεί ο Πίνακας 1.1.

**Πίνακας 1.1. Ανηγγεμένη τιμή ανά κατασκευαστή & κλάση ενεργειακής απόδοσης [1]**

Παγκόσμιοι κατασκευαστές	Κλάσεις ενεργειακής απόδοσης						
	A	B	C	D	E	F	G
Whirlpool Corp	1,14	0,28	0,33	0,76	0,85	0,64	–
Haier Smart Home Co. Ltd.	1,67	1,33	2,00	7,00	6,00	3,00	–
Electrolux AB	0,67	0,18	0,48	0,88	1,06	0,73	–
LG Electronics	0,65	0,65	0,56	1,27	0,59	0,29	–
Robert Bosch GmbH	0,94	0,39	0,82	0,60	0,99	0,26	–
Samsung Electronics Co. Ltd.	0,96	0,59	0,28	0,59	0,87	0,70	0,01
Midea Group co Ltd.	1,05	0,72	0,33	0,41	1,32	0,17	–
Rest	1,15	0,30	0,33	0,66	0,92	0,63	–

Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα εμφανίζουν τη μέση ποσότητα ηλεκτρικών οικιακών συσκευών που παράγονται από διαφορετικούς κατασκευαστές, μαζί με τις αντίστοιχες βαθμολογίες ενεργειακής απόδοσης τους. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η Whirlpool Corp και η Samsung Electronics Co. Ltd. ξεχωρίζουν ως οι κορυφαίες επιλογές για καταναλωτές που ευαισθητοποιούνται για το περιβάλλον. Επιπλέον, το Σχήμα 1.4, το οποίο προέκυψε από τα δεδομένα του Πίνακα 1.1, αναπαριστά οπτικά τους δείκτες ενεργειακής απόδοσης των επτά μεγαλύτερων κατασκευαστών.



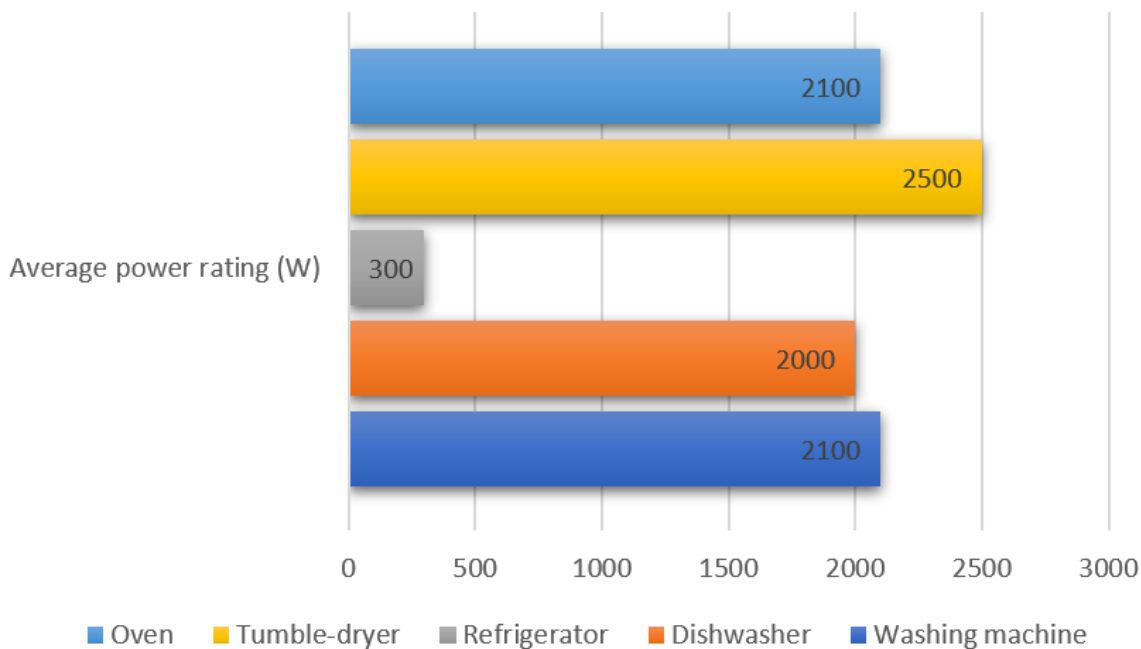


Σχήμα 1.4. Ταξινόμηση των μεγαλύτερων κατασκευαστών βάσει κλάσης ενεργειακής απόδοσης [1]

Ο πρωταρχικός παράγοντας που συμβάλλει στις οικονομικές δαπάνες των νοικοκυριών, είναι η κατανάλωση ενέργειας από διάφορες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές όπως πλυντήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, ψυγεία και ηλεκτρικούς φούρνους. Αυτές οι συσκευές χαρακτηρίζονται με την ονομαστική ισχύ τους, συνήθως μετρούμενη σε Watt (W), η οποία υποδεικνύει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται για να λειτουργήσουν. Η διάρκεια λειτουργίας αυτών των συσκευών επηρεάζει άμεσα την κατανάλωση ενέργειας. Είναι ενδιαφέρον ότι, παρόλο που τα ψυγεία έχουν σχετικά χαμηλή ισχύ, η συνεχής χρήση τους οδηγεί σε σημαντική κατανάλωση ενέργειας.

Παράλληλα, οι ηλεκτρικοί φούρνοι, παρόλο που δεν χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, εξακολουθούν να καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μιας και απαιτούν πολλή ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας. Στο Σχήμα 1.5, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ισχύος για διαφορετικούς τύπους ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [6]. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ονομαστική ισχύς κάθε συσκευής μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος και τις δυνατότητές της, αλλά υπάρχει μια μέση τιμή ισχύος για κάθε συσκευή.

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 1.5. Ανηγγεμένη τιμή ισχύος για τις κυριότερες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [1]

Η αντικατάσταση των σημερινών ηλεκτρικών συσκευών με άλλες, ενεργειακά αποδοτικές, είναι ένα ευρέως συζητημένο θέμα, με πολλούς εμπειρογνώμονες να προτείνουν ότι θα μπορούσε να οδηγήσει όντως σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Πολλές πρωτοβουλίες έχουν τεθεί σε εφαρμογή για να ενθαρρύνουν τις επιχειρήσεις και τα άτομα να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες ηλεκτρικές συσκευές τους με πιο αποδοτικές, διευκολύνοντας έτσι τη μετάβαση προς πιο βιώσιμα πρότυπα κατανάλωσης που μετριάζουν την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Πρόσφατες μελέτες [5] έχουν δείξει την εμφάνιση νέων κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων που επικεντρώνονται στην μίσθωση συσκευών ή στην πληρωμή ανά χρήση, ως μέσο για την αποκόμιση πλεονεκτημάτων ως προς την υλική αξιοποίηση. Η ενεργειακή ετικέτα A–G έχει αποδειχθεί αποτελεσματική, καθώς έχει κερδίσει την αναγνώριση και τη χρήση από περίπου το 85% των Ευρωπαίων καταναλωτών κατά τη λήψη αποφάσεων αγοράς. Επιπλέον, έχει διεγείρει την ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανιών.

Η εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης αναμένεται να οδηγήσει σε ετήσια μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 38 TWh έως το 2030 στην Ευρώπη. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι νέες ετικέτες εισάγονται τόσο σε φυσικά καταστήματα όσο και σε διαδικτυακές πλατφόρμες από την 1<sup>η</sup> Μαρτίου 2021. Η συζήτηση γύρω από την ισορροπία μεταξύ της βελτιωμένης ενεργειακής απόδοσης μιας συσκευής και των απαραίτητων υλικών και ενεργειακών εισροών για την παραγωγή της, παραμένει ένα συνεχές θέμα συζήτησης. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες και σε σχέση με το περιβάλλον, μπορεί να είναι πιο επωφελές να επιμείνουμε στη χρήση μηχανημάτων με υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, αντί να τα αντικαταστήσουμε με καινοτόμα μηχανήματα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

**Στο πλαίσιο αυτό, προκύπτουν ερωτήματα σχετικά με το χρονικό διάστημα για το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια συσκευή με καθορισμένο όριο ενεργειακής απόδοσης, πριν από την απόρριψη, με γνώμονα την περιβαλλοντική ευθύνη. Ποιο είναι το ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης που απαιτείται για να αποφέρει περιβαλλοντικά οφέλη μια συσκευή κατά την αντικατάσταση μιας ήδη υπάρχουσας; Διαφαίνεται, λοιπόν, ότι είναι επιτακτική ανάγκη να εκτιμηθεί το αποτύπωμα άνθρακα των ηλεκτρικών συσκευών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους για να καταστεί δυνατή η λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη βέλτιστη διάρκεια χρήσης τους. Η υιοθέτηση βιώσιμων επιχειρηματικών μοντέλων θα μπορούσε να ενισχυθεί με τη διασφάλιση ότι ο**

ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός χρησιμοποιείται και αντικαθίσταται στην κατάλληλη στιγμή. Αυτά τα δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να προωθήσουν την ανάπτυξη περιβαλλοντικά βιώσιμων και ανθεκτικών κοινωνιών, παρέχοντας καθοδήγηση στους καταναλωτές και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στο να δώσουν εύστοχες παρατηρήσεις σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και τη βιωσιμότητα.

**Για την ποσοτικοποίηση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας, επεκτείναμε την ανάλυση [7] ενσωματώνοντας επίσης δεδομένα που σχετίζονται με τις ενεργειακές κλάσεις των συσκευών [8] για τον τομέα των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, ειδικά των πλυντηρίων πιάτων, των ηλεκτρικών φούρνων και των ψυγείων.**

Υπολογίστηκε η μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση (MECPAEC), μετρούμενη σε κιλοβατώρες (kWh). Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με την επικρατέστερη κλάση ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών ανά κατασκευαστή, καθώς και τον αντίστοιχο μέσο αριθμό συσκευών (MNA).

**Πίνακας 1.2. Ανηγγμένη τιμή, ενεργειακή κλάση και μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση [1]**

Κατασκευαστής	Μέσος αριθμός συσκευών	Ενεργειακή κλάση	Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση
Whirlpool Corp	1,14	A	110,84
Haier Smart Home Co. Ltd.	7,00	D	175,00
Electrolux AB	1,06	E	219,00
LG Electronics	1,27	D	159,20
Robert Bosch GmbH	0,99	E	164,81
Samsung Electronics Co. Ltd.	0,96	A	75,23
Midea Group co Ltd.	1,32	E	219,00
Rest	1,15	A	100,49

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 1.2 και του Σχήματος 1.5, μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι, βάσει ενεργειακής κατανάλωσης ανά ενεργειακή κλάση και κατασκευαστή, ο φιλικότερος προς το περιβάλλον κατασκευαστής, όπως αποτυπώνεται και στο Σχήμα 1.6, είναι η Samsung Electronics Co., Ltd. με 75,23 kWh στην ενεργειακή κλάση

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

A, η LG Electronics με 159,20 kWh στην ενεργειακή κλάση D, και η Robert Bosch GmbH με 164,81 kWh στην ενεργειακή κλάση E.



Σχήμα 1.6. Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή και ενεργειακή κλάση [1]

#### 1.4 Κυκλική Οικονομία και βραχυβιότητα ηλεκτρικών οικιακών συσκευών

Η χρήση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) έχει γίνει η προτιμητέα προσέγγιση για την αξιολόγηση των οικολογικών συνεπειών ενός δεδομένου προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Η μεθοδολογία LCA διευκολύνει την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της κατανάλωσης πόρων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, ξεκινώντας από την προμήθεια πρώτων υλών, μέσω της παραγωγής και της χρήσης και καταλήγοντας με τη διαχείριση των αποβλήτων. **Η σημαντικότητα της LCA σε σχέση με την οικολογική βιωσιμότητα διαφόρων υλικών, διαδικασιών και τεχνολογιών αποτελεί παράδειγμα της αυξανόμενης σχετικότητάς της σε διάφορους τομείς, όπως η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ).** Η διαδικασία ποσοτικοποίησης των ηλεκτρικών συσκευών μπορεί να «ρίξει φως» στη βέλτιστη διάρκεια ζωής τέτοιων συστημάτων από την άποψη της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Σύμφωνα με έρευνα [63], η πλειονότητα των πλυντηρίων ρούχων στη Γερμανία, συγκεκριμένα το 90%, έχουν διάρκεια ζωής μικρότερη των 7 ετών και μέση διάρκεια ζωής τα 12 έτη. Για την ολλανδική αγορά, υπήρξε μείωση της μέσης διάρκειας ζωής των πλυντηρίων ρούχων, από 12,1 χρόνια το 2000 σε 11,7 χρόνια το 2005. Τα πλυντήρια ρούχων έχουν μέση διάρκεια ζωής 12,6 έτη, όπως αναφέρει επαγγελματικός φορέας επισκευών στην Αυστρία. Η τυπική διάρκεια ζωής ενός πλυντηρίου ρούχων στην κινεζική αγορά, η οποία είναι μη ευρωπαϊκή, είναι τα 10 έτη. Η σημασία αυτών των ευρημάτων έγκειται στη συμβολή τους στην ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων.

**Η κυκλική οικονομία (CE) έχει αναδυθεί πρόσφατα ως ένα βιώσιμο πρότυπο που στοχεύει στην αντιμετώπιση των θεμάτων της έλλειψης πόρων και της κλιματικής αλλαγής. Έχει προταθεί ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στο υφιστάμενο μοντέλο γραμμικής οικονομίας, αποσυνδέοντας την οικονομική ανάπτυξη από την εξάντληση των πόρων.** Η υιοθέτηση συστημάτων εφοδιασμού κλειστού κύκλου που περιλαμβάνουν επαναχρησιμοποίηση, αναπαραγωγή και ανακύκλωση προϊόντων με συνεργατικά και κοινά επιχειρηματικά μοντέλα, είναι μεταξύ των στρατηγικών που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της CE.



Στα πλαίσια της CE, η αξία ενός συστήματος δεν εξαρτάται από την ικανότητά του να αυξάνει τις πωλήσεις ή τις υλικές ροές. Αντίθετα, καθορίζεται από την ικανότητά του να αξιοποιεί τους πόρους σε πολλαπλούς κύκλους και να ελαχιστοποιεί τα απόβλητα μέσω της διαδικασίας μείωσης, επιβράδυνσης ή τερματισμού του κύκλου. Παρά το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την έννοια της CE, η εφαρμογή της στις κατασκευαστικές εταιρείες βρίσκεται ακόμα στα αρχικά της στάδια. Ωστόσο, για την επιτυχή μετάβαση σε ένα μοντέλο CE, οι βιομηχανίες και οι αλυσίδες εφοδιασμού πρέπει να ξεπεράσουν αρκετές προκλήσεις. **Ο τομέας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών αποτελεί έναν ελπιδοφόρο τομέα για τη διερεύνηση της υιοθέτησης αυτής, λόγω του σημαντικού δυναμικού και των επακόλουθων περιβαλλοντικών συνεπειών.**

Οι οικιακές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των πλυντηρίων ρούχων, των ψυγείων και των φούρνων, επιφέρουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Ενδεικτικά:

- Κάθε χρόνο, η ευρωπαϊκή βιομηχανία χρησιμοποιεί περίπου 500.000 τόνους χάλυβα, 200.000 τόνους πλαστικών, 60.000 τόνους χαλκού και 40.000 τόνους αλουμινίου για την κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών.
- Όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας και νερού, η ΕΕ χρησιμοποιεί συνολικά 25 TWh και σχεδόν 2 km<sup>3</sup> νερού κατά τη φάση χρήσης.
- Στο τέλος της διάρκειας ζωής τους, μόνο το 35% των συσκευών συλλέγονται και ανακυκλώνονται ετησίως στην ΕΕ.

**Η πλειοψηφία των επιστημονικών ερευνών έχει εξετάσει στρατηγικές για την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση, αλλά δεν έχει λάβει υπόψη τις απαραίτητες αλλαγές στα επιχειρηματικά μοντέλα και στον σχεδιασμό των προϊόντων [63].** Ορισμένοι μελετητές έχουν προτείνει βιώσιμες στρατηγικές για τη χρήση των οικιακών συσκευών, με σκοπό την παράταση της διάρκειας ζωής τους, τη διασφάλιση ισορροπίας μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη χρήση και τη διατήρηση των πόρων κατά τη φάση παραγωγής. Στις μελέτες αυτές περιλαμβάνεται η αξιολόγηση της οικολογικής απόδοσης ενός κλειστού συστήματος για οικιακές συσκευές, χρησιμοποιώντας την εκτίμηση κύκλου ζωής και την ανάλυση ροής υλικών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η στρατηγική της αύξησης της διάρκειας ζωής των προϊόντων μέσω της επαναπαραγωγής αποτελεί μια πλεονεκτικότερη προσέγγιση σε σύγκριση με την συμβατική μέθοδο αντικατάστασης και ανακύκλωσης.

Η «βραχυβιότητα» αναφέρεται στο φαινόμενο κατά το οποίο ένα προϊόν γίνεται παλιό ή παύει να χρησιμοποιείται. Εναλλακτικά, ο όρος μπορεί να αναφέρεται στο γεγονός ότι ένα προϊόν παρουσιάζει βέλτιστη λειτουργικότητα, αλλά δεν είναι πλέον επιθυμητό προς λειτουργία. Η αξία και σκοπιμότητα ενός συστήματος ή συσκευής γενικότερα μειώνονται με την πάροδο του χρόνου [9], είτε ως αποτέλεσμα της ίδιας της γήρανσης είτε λόγω της εισαγωγής νέων τεχνολογιών, βελτιώσεων στο σχεδιασμό ή άλλων εξωτερικών παραγόντων. Βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των ανεπίσημων συζητήσεων με επαγγελματίες και συμβούλους σε διάφορους τομείς στην βιομηχανία παραγωγής, είναι προφανές ότι ο όρος «βραχυβιότητα» σπάνια χρησιμοποιείται ή κατανοείται πλήρως, παρά τις πολύπλευρες επιπτώσεις του. Ειδικά, στο πλαίσιο των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, αυτός ο όρος είναι σχετικά άγνωστος. Μέσω διαφόρων μελετών παρέχεται ανάλυση των επιπτώσεων που συνδέονται με τον όρο "βραχυβιότητα", παρουσιάζοντας ορισμούς και κατηγοριοποιήσεις από πολλαπλές οπτικές, όπως αυτές που αφορούν το δομημένο περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή. Παρέχεται ωστόσο, μια συνοπτική εξήγηση της πολύπλευρης φύσης του και τονίζεται η σημασία της κατανόησης της έννοιας της βραχυβιότητας και των επιπτώσεών της, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και με βιώσιμο τρόπο η οποιαδήποτε παράμετρος για το δομημένο

περιβάλλον, ιδίως ως απάντηση στις προκλήσεις που θέτει η κλιματική αλλαγή. Έτσι, η ακαδημαϊκή κοινότητα παρακινείται να αναπτύξει επιστημονικά επιχειρήματα και να στραφεί στην επιστημονική έρευνα των τομέων της βιομηχανίας.

### 1.5 Πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος (PCB)

Οι πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος, ή PCB, είναι οι πιο σημαντικές στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Οποιαδήποτε ηλεκτρική οικιακή συσκευή καθημερινής χρήσεως περιλαμβάνει τουλάχιστον μια PCB, μορφής παρόμοιας ή ίδιας με αυτής που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.7. Σκοπεύοντας στην κατανόηση της επιστήμης και της τεχνολογίας πίσω από τις συσκευές, είναι απαραίτητο να κατανοήσει κανείς τα βασικά μέρη μιας PCB. Πρόκειται για μία δομή που αποτελείται από αγωγίμα και μονωτικά στρώματα που εναλλάσσονται μεταξύ τους. Τα αγωγίμα στρώματα είναι δομημένα με ένα μοτίβο που περιλαμβάνει ίχνη, επίπεδα και άλλα χαρακτηριστικά, παρόμοια με την καλωδίωση σε ένα επίπεδο κύκλωμα. Αυτά τα μοτίβα είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα από ένα ή περισσότερα στρώματα φύλλων χαλκού πάνω και/ή μεταξύ στρωμάτων φύλλων ενός μη αγωγίμου υποστρώματος. Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα μπορούν να στερεωθούν με αγωγούς που βρίσκονται στα εξωτερικά στρώματα. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως μέσω της διαδικασίας συγκόλλησης, η οποία χρησιμεύει για την εξασφάλιση τόσο της ηλεκτρικής σύνδεσης όσο και της μηχανικής στερέωσης μεταξύ του εξαρτήματος και υποστρώματος. Τα βασικότερα εξαρτήματα μιας PCB είναι οι πυκνωτές, οι αντιστάσεις, οι δίοδοι, οι μετασχηματιστές, τα θυρίστορ, τα ρελέ ισχύος και πολλά άλλα. Κάθε ένα από αυτά έχει τη δική του λειτουργία. Πιο συγκεκριμένα, ο πυκνωτής χρησιμοποιείται για να διατηρήσει το ηλεκτρικό φορτίο στο εσωτερικό του με σκοπό τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Ο αισθητήρας υποδεικνύει τις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό σήμα που ανταποκρίνεται στα ερεθίσματα που «αισθάνεται» και στη συνέχεια αποστέλλεται σε διαφορετικά στοιχεία της PCB. Η αντίσταση ενεργοποιεί τη μετάδοση ηλεκτρικού ρεύματος με σκοπό να παράξει θερμότητα μέσω κίνησης των φορέων του ρεύματος. Το πηνίο, με παρόμοια λογική αυτής του πυκνωτή, διατηρεί την ενέργεια μέσω μαγνητικού πεδίου όταν υπάρχει ροή ρεύματος. Η δίοδος επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, ενώ το τρανζίστορ λειτουργεί ως ενισχυτής που ελέγχει τα ηλεκτρικά σήματα στην PCB.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή και συναρμολόγηση μιας PCB είναι ο χαλκός, τα υποστρώματα από ρητίνη και οι μάσκες συγκόλλησης. Ο χαλκός βρίσκεται σε στρώμα ή φύλλο, σε μία ή και στις δύο πλευρές των τυπωμένων κυκλωμάτων. Ο σκοπός αυτών των επικαλύψεων με τις παραπάνω μορφές, είναι να παρέχουν ηλεκτρικά σήματα μεταξύ των εξαρτημάτων της PCB. Αναφορικά με τα υποστρώματα, κάθε PCB αποτελείται από πολυαμίδιο και επιπροσθέτως, μερικές φορές, από φλογοανθεκτικά υλικά (FR4). Η μάσκα συγκόλλησης είναι ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται για προστασία. Πλεονεκτήματα της PCB αποτελούν το συγκεντρωτικό μέγεθος, το γεγονός πως όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα τοποθετούνται επ' αυτής και η παρουσία χάλκινων διαδρομών αντί συμβατικών αγωγών διασύνδεσης των εξαρτημάτων. Ως εκ τούτου, η διάγνωση των επικείμενων βλαβών, καθώς και η επισκευή και η συντήρηση όλων των παραπάνω ηλεκτρονικών εξαρτημάτων καθίστανται ευκολότερες.

Συνεπώς, οι PCB αποτελούν το θεμελιώδες στοιχείο των ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών συσκευών και η χρήση τους για τη μαζική παραγωγή είναι μια οικονομικά αποδοτική και ταχεία εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλες τεχνικές καλωδίωσης, καθώς επιτρέπει τη συναρμολόγηση και τη διασύνδεση των εξαρτημάτων με μία μόνο διαδικασία. Ενδεικτικά, η παγκόσμια αγορά για PCB ξεπέρασε τα 60.2 δισεκατομμύρια δολάρια το 2014 και προβλέπεται να φτάσει τα 79 δισ. δολαρίων μέχρι το 2024 [63].



Σχήμα 1.7. Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB) ηλεκτρικού πλυντηρίου πιάτων [9]

## 1.6 Φυσικομηχανική διαδικασία ανακύκλωσης των PCB

Η αύξηση του πληθυσμού και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, ιδιαίτερα στις βιομηχανικές χώρες, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση χρήσης των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, καθώς και την αύξηση της μέσης παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και των

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

κατά κεφαλήν εκπομπών CO<sub>2</sub>. Οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο της κυκλική οικονομίας για τη μείωση της χρήσης μη επαναχρησιμοποιούμενων υλικών και της ποσότητας των απορριμμάτων που πρέπει να μεταφέρονται στο τέλος του κύκλου ζωής του προϊόντος. **Τα απόβλητα από PCB αντιπροσωπεύουν περίπου το 3% του συνολικού βάρους των ΗΗΕ.** Η ανακύκλωση αποβλήτων από PCB οδηγεί στην παραγωγή ενός ευρέος φάσματος υλικών για τη συναρμολόγηση, με το οποίο μπορεί να μειωθεί η περιβαλλοντική επίπτωση από τη χρήση αυτών των πόρων. Ένα σημαντικό ποσοστό των ενσωματωμένων υλικών αποτελείται από πολύτιμα μέταλλα που μπορούν να ανακυκλωθούν, όπως αλουμίνιο, χαλκό, σίδηρο/ατσάλι, μόλυβδο, ψευδάργυρο κ.α. Η πολύτιμη φύση των PCB και οι δυνητικοί κίνδυνοι για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία απαιτούν την περιβαλλοντικά υπεύθυνη επεξεργασία των αποβλήτων PCB που προέρχονται από ΗΗΕ. **Η ανακύκλωση των ΗΗΕ αποτελεί σημαντική πρόκληση, λόγω των ποικίλων συστατικών τους, της πολυπλοκότητας των υλικών και των διεργασιών κατασκευής που εμπλέκονται.**

**Η διαδικασία μηχανικής ανακύκλωσης των αποβλήτων από PCB μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ευρέως σε δύο κύρια στάδια.**

Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει την αποσυναρμολόγηση ή/και τον διαχωρισμό διαφόρων συστατικών και στοιχείων, μέσω μηχανικών είτε μεταλλουργικών διαδικασιών που αποσκοπούν στην ενίσχυση της επιθυμητής σύνθεσης υλικών. Οι κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο είναι η θραύση, ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός και η υπερκρίσιμη εκχύλιση.

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει τον πρόσθετο διαχωρισμό και την ενδελεχή μελέτη των μεταλλικών ροών, που είναι αναμφισβήτητα η πιο κρίσιμη φάση, τόσο από οικολογικής όσο και από οικονομικής άποψης.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την εξαγωγή μετάλλων από απόβλητα PCB που προέρχονται από ΗΗΕ. Η ανακύκλωση πολύτιμων μετάλλων από απορριφθείσες PCB είναι πιο κερδοφόρα διαδικασία και από την μεταλλευτική εξόρυξη, λαμβάνοντας υπ' όψιν την περιβαλλοντική και εμπορική σημασία τους. Είναι σαφές ότι η οικονομική υλική αξία των απορριφθεισών PCB προέρχεται από τις ποσότητες Au, Cu, Pd και Ag. Για την εξασφάλιση της απαίτησης απουσίας μολύβδου (RoHS), για την κατασκευή ορισμένων PCB χρησιμοποιείται χρυσός. Πριν από την χρυσή επικάλυψη, ένα στρώμα φραγμού νικελίου βοηθά τα ίχνη χαλκού να κολλήσουν. Ο χρυσός δεν πρέπει να εισέρχεται στο χαλκό, ενώ η κακή χρήση του νικελίου μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απώλειες λόγω υψηλής αντίστασης. Έτσι, καθίσταται σαφές ότι η ανακύκλωση αποβλήτων από PCB δίνει προτεραιότητα στην ανάκτηση μετάλλων περισσότερο από οτιδήποτε άλλο. Ωστόσο, η οικονομική σκοπιμότητα, η αποδοτικότητα ανάκτησης και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος αυτών των τεχνολογιών μπορεί να παρουσιάσουν μεταβλητότητα. Η επιλεκτική αποσυναρμολόγηση είναι ένα κρίσιμο βήμα στην ανακύκλωση των αποβλήτων από PCB. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, πρώτον, η επαναχρησιμοποίηση των εξαρτημάτων έχει γίνει ο πρωταρχικός στόχος και δεύτερον, είναι επιτακτική ανάγκη να αποσυναρμολογηθούν τα επικίνδυνα συστατικά. Επίσης, ιδιαίτερης ζωτικής σημασίας είναι η ανάκτηση πολύτιμων εξαρτημάτων και υλικών υψηλής ποιότητας, όπως οι μπαταρίες, με σκοπό την διευκόλυνση της διαδικασίας ανάκτησης υλικού. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης χρησιμοποιούν χειροκίνητες διαδικασίες αποσυναρμολόγησης. Ένα εργαλείο πολλαπλών χρήσεων χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης για την εξάλειψη επικίνδυνων συστατικών και την ανάκτηση πολύτιμων εξαρτημάτων και επαναχρησιμοποιούμενων υλικών.

## 1.7 Σκοπός της διδακτορικής διατριβής

Η παρούσα διατριβή επικεντρώνεται σε σύγχρονα θέματα που αφορούν στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών και την κυκλική οικονομία, εξετάζοντας τρόπους με τους οποίους ενσωματώνονται οι αρχές της πρωτοβουλίας "3R" (Reduce–Reuse–Recycle), του πράσινου, υπεύθυνου καταναλωτισμού και του «δικαιώματος για επισκευή». Δίνεται έτσι ιδιαίτερη έμφαση στην υιοθέτηση συγκεκριμένων διαδικασιών και τεχνικών που βασίζονται στις αρχές και ενισχύουν τις δράσεις της πρωτοβουλίας "3R", με στόχο τον περιορισμό του περιβαλλοντικού αντίκτυπου. Επιπλέον εξετάζονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο συγκεκριμένος τομέας όπως, τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης, ο περιβαλλοντικός κανονισμός και οι κανονισμοί οικολογικού σχεδιασμού των συσκευών, η διαχείριση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, η κατανάλωση πόρων και παραγωγή αποβλήτων και τέλος η ευαισθητοποίηση και συνειδητοποίηση των καταναλωτών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη και εισαγωγή στη βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών νέων καινοτόμων δεικτών που αφορούν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και επισκευής τους με στόχο αυτοί οι δείκτες να αποτελέσουν κριτήρια για την παράταση διάρκειας ζωής των συσκευών. Παράλληλα, προτείνονται καινοτόμες εφαρμογές οι οποίες επιτρέπουν τον αιωφόρο σχεδιασμό των συσκευών υπό το πρίσμα της συντήρησης και ανακύκλωσης τόσο των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, όσο και των πλακετών των συσκευών.

Στο πλαίσιο της διατριβής, πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα:

- Προσδιορισμός των κυρίαρχων εταιριών στον κλάδο της βιομηχανίας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών λαμβάνοντας υπ' όψιν τον αριθμό των λιανικών τους πωλήσεων.
- Κατάταξη των κατασκευαστών εξετάζοντας το πλήθος των συσκευών ανά ενεργειακή κλάση και λαμβάνοντας υπ' όψιν την ετικέτα σήμανσης ενεργειακής απόδοσης.
- Εντοπισμός των σημαντικότερων φιλικών προς το περιβάλλον κατασκευαστών.
- Βιβλιογραφική ανάλυση των σημαντικότερων ερευνητικών εργασιών με σκοπό τον προσδιορισμό των κυρίαρχων διαδικασιών και αρχών της πρωτοβουλίας «3R».
- Εντοπισμός και ανάλυση των τεχνικών διαστάσεων της πρωτοβουλίας «3R».
- Προσδιορισμός και ανάλυση των προκλήσεων που μπορεί να αντιμετωπίσει η βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών κατά την υιοθέτηση του πράσινου καταναλωτισμού.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που απαντά η παρούσα διατριβή, είναι τα ακόλουθα:

1. Θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια αλγοριθμική διαδικασία με στόχο την αξιολόγηση της δυνατότητας επισκευασιμότητας με όρους κυκλικής οικονομίας;
2. Είναι εφικτή η ανάπτυξη δεικτών επισκευασιμότητας σε οικιακές συσκευές, οι οποίοι θα αποτελούν ένα είδος αντικειμενικών κριτηρίων στο πλαίσιο του οικολογικού σχεδιασμού τους;
3. Υπάρχουν δυνατότητες ανακυκλωτικών διαδικασιών με σκοπό την ανάκτηση πολύτιμων και μη μετάλλων;
4. Ποιες είναι οι προοπτικές για τη βιομηχανία των ηλεκτρικών συσκευών, στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας «3R»;

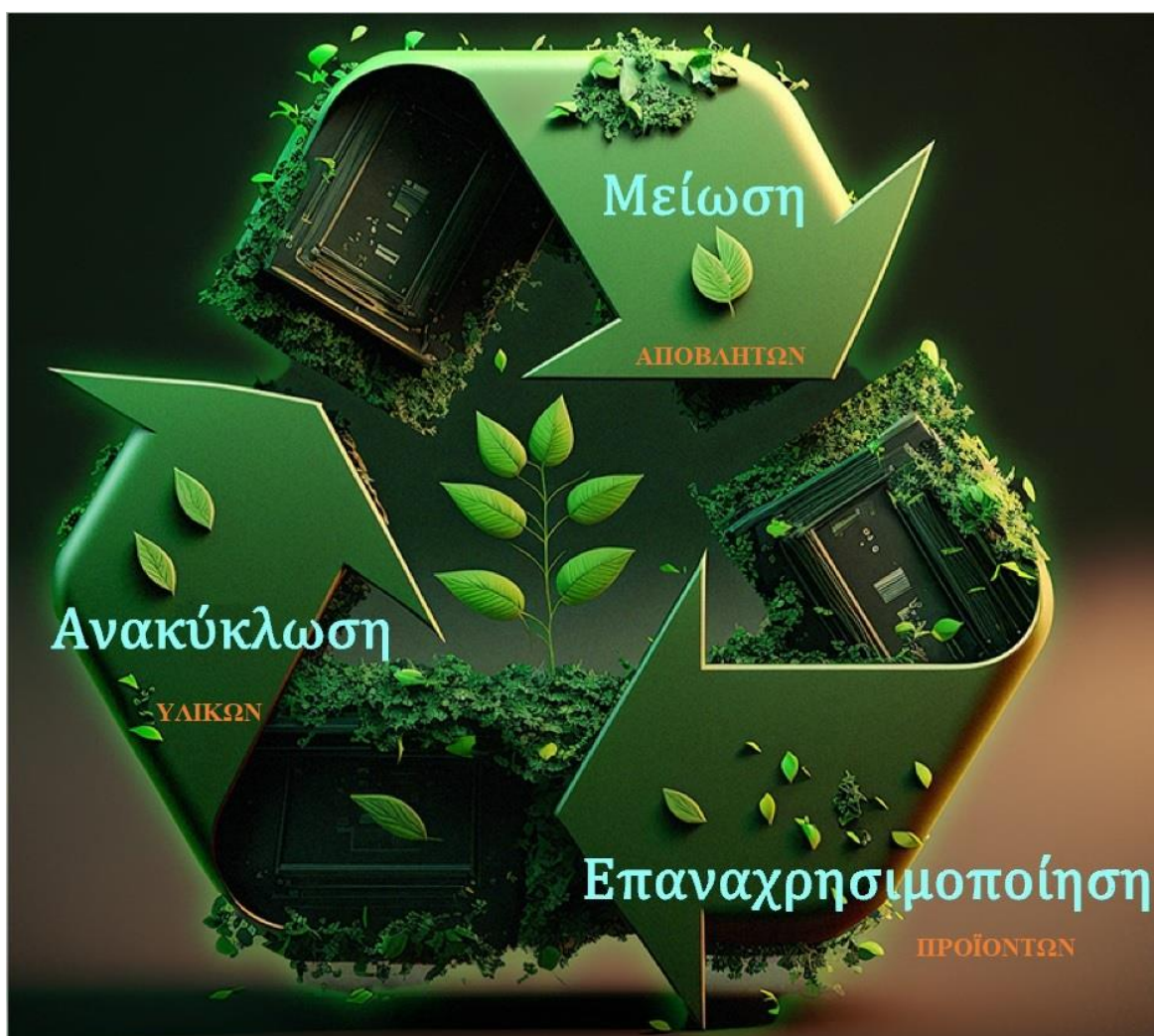
**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**



## 2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

### 2.1 «3R» πρωτοβουλία – Αρχές, κύριες διαδικασίες και τεχνικές διαστάσεις

Οι αρχές της πρωτοβουλίας «3R» αναφέρονται συνήθως σε πρακτικές όπως η μείωση αποβλήτων, η επαναχρησιμοποίηση προϊόντων και η ανακύκλωση υλικών. Αυτές οι αρχές έχουν ως στόχο τη μείωση της ποσότητας των παραγόμενων ηλεκτρονικών αποβλήτων, τη μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης ηλεκτρικών συσκευών και τη διασφάλιση της ορθής ανακύκλωσης των παραγόμενων υλικών από τις συσκευές αυτές. Το σχήμα 2.1 απεικονίζει τις θεμελιώδεις αρχές της πρωτοβουλίας «3R» και τα βασικά στοιχεία που υιοθετούνται σε σχέση με τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [1].



Σχήμα 2.1. Θεμελιώδεις αρχές της «3R» πρωτοβουλίας [1]

### 2.2 «Πράσινος καταναλωτισμός»

Η κοινωνία αντιμετωπίζει επί του παρόντος σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και την εκτεταμένη αποψίλωση των δασών. Αυτά τα προβλήματα οδηγούν στην αυξημένη ευαισθητοποίηση των ανθρώπων ως μελών της κοινωνίας. Επιπλέον, οι πολίτες έχουν τη δύναμη να υποστηρίξουν περιβαλλοντικά βιώσιμες πρακτικές παραγωγής μέσω των αγοραστικών τους επιλογών. Η πρακτική της υιοθέτησης περιβαλλοντικά συνειδητής

συμπεριφοράς μπορεί να ανιχνευθεί στις αρχές της δεκαετίας του 1960 και συνοδεύεται από μια αυξανόμενη παγκόσμια προσπάθεια για την προώθηση της βιωσιμότητας. Σημαντικά ορόσημα σε αυτές τις προσπάθειες αποτελούν η σύσταση της Διακυβερνητικής Ομάδας του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή [10], το Πρωτόκολλο του Κιότο [11] και η Συμφωνία του Παρισιού για το κλίμα [12], που στοχεύουν στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον και γενικότερα στη βελτίωση του ενεργειακού αποτυπώματος [13]. Η έννοια της «βιωσιμότητας» έχει εξελιχθεί από τετριμμένη σε κυρίαρχη νοοτροπία που επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά των καταναλωτών. Η αφθονία των περιβαλλοντικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο και στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης έχει δώσει τη δυνατότητα στους περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένους καταναλωτές, γνωστούς και ως «πράσινους καταναλωτές», να δίνουν προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια «πράσινος καταναλωτισμός», μπορεί να περιγραφεί από ένα σύνολο διακριτών χαρακτηριστικών που πρέπει να διαθέτουν και να αναπτύσσουν οι καταναλωτές, όπως:

- προβληματισμοί τους που σχετίζονται με τις αποφάσεις αγοράς, τη χρήση της συσκευής και τις ενέργειες μετά την κατανάλωση,
- την ενσωμάτωση νοοτροπίας που σχετίζεται με την απόκτηση και χρήση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών με το μικρότερο δυνατό οικολογικό αντίκτυπο (είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται βιολογικά προϊόντα που παράγονται με φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους και μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν, να ανακατασκευαστούν ή να απορριφθούν) και

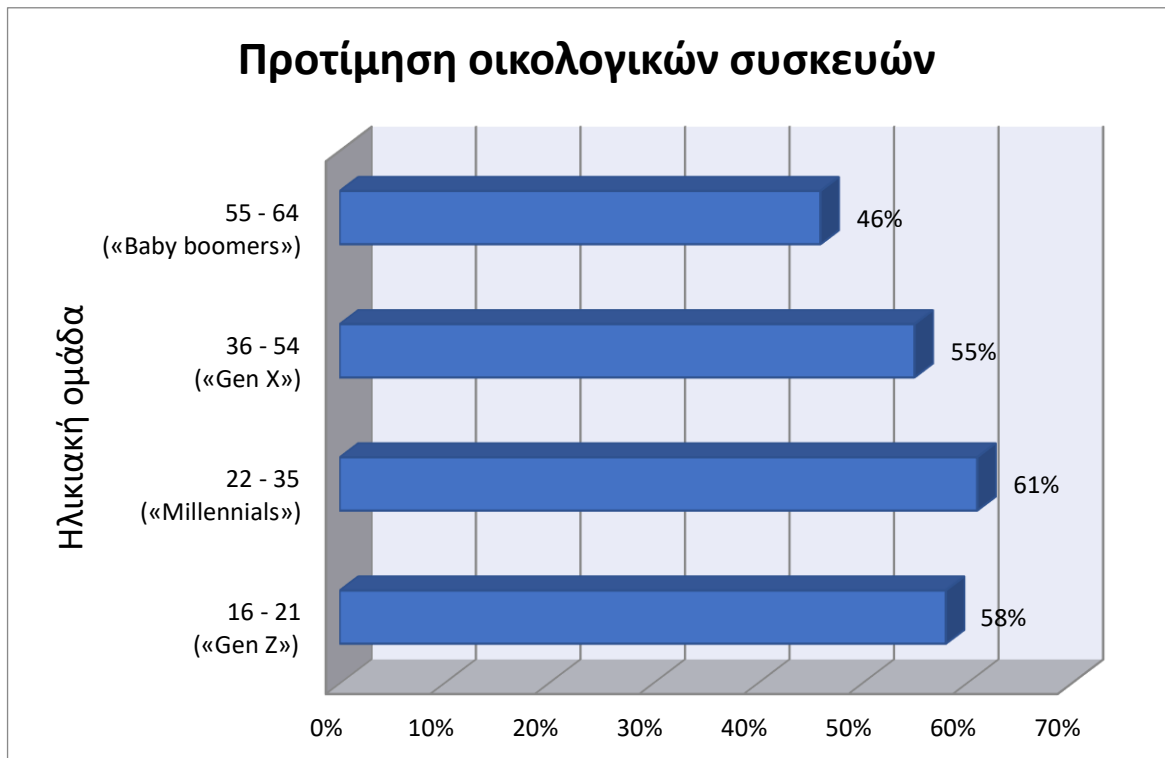
ταυτόχρονα, από πλευράς των κατασκευαστών ΗΗΕ, να ακολουθούνται πρακτικές όπως:

- η μείωση των απορριμμάτων συσκευασίας,
- η ενίσχυση της οδηγίας ενεργειακής απόδοσης και
- ο περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων κατά τις διαδικασίες παραγωγής και μεταφοράς.

Η χρήση βιώσιμων ηλεκτρικών συσκευών έχει μεγαλύτερη σημασία για τις νεότερες γενιές, υποδηλώνοντας αυξημένη συνείδηση σχετικά με τις καταναλωτικές τους αποφάσεις. Στην ηλικιακή ομάδα των «Millennials» (περιλαμβάνει άτομα ηλικίας 22 έως 35 ετών) παρατηρείται μεγαλύτερη τάση, σε σύγκριση με άλλες ηλικιακές ομάδες, εκδήλωσης προθυμίας επένδυσης στην αγορά βιώσιμων ηλεκτρικών συσκευών. Ακολουθούν η ηλικιακή ομάδα «Gen Z» (περιλαμβάνει τις ηλικίες 16–21), η ομάδα «Gen X» (που περιλαμβάνει άτομα ηλικίας 36–54 ετών) και τελικά η ηλικιακή ομάδα «Baby Boomers» (που περιλαμβάνει τους ηλικιωμένους 55–64). Ο «πράσινος καταναλωτισμός» ασκεί σημαντικό αντίκτυπο στη συμπεριφορά των καταναλωτών, οδηγώντας τα άτομα να επιδιώκουν ενεργά την απόκτηση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών οι οποίες παρέχουν ενισχυμένα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα με γνώμονα τη βιωσιμότητα [14].

Το Σχήμα 2.2 δείχνει το ποσοστό ενσωμάτωσης της έννοιας του «πράσινου καταναλωτισμού» μεταξύ των προαναφερόμενων ηλικιακών ομάδων.





Σχήμα 2.2. Ποσοστό πληθυσμιακών ομάδων με προτίμηση σε οικολογικά-φιλικές συσκευές [14]

Ο «πράσινος καταναλωτισμός» επηρεάζει τη συμπεριφορά των καταναλωτών, παρακινώντας τα άτομα να αναζητούν και να αγοράζουν ηλεκτρικές οικιακές συσκευές που προσφέρουν μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη. Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν τόσο στο Ηνωμένο Βασίλειο όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες αποκάλυψαν ένα αυξανόμενο αίσθημα ευθύνης απέναντι στο μέλλον του πλανήτη [14].

Ωστόσο, η πλειοψηφία, ήτοι το 52% των συμμετεχόντων, πίστευε ότι οι κατασκευαστές ή οι βιομηχανίες πρέπει να λογοδοτήσουν για αυτό το ζήτημα. Η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών δεν βασίζεται αποκλειστικά σε καταναλωτές που ενδιαφέρονται για το περιβάλλον, αλλά απαιτεί την ενεργό συμμετοχή διαφόρων εμπλεκόμενων στην αλυσίδα εφοδιασμού αλλά και πέρα από αυτήν, όπως των ρυθμιστικών φορέων και των κυβερνητικών δομών. Ενώ οι «πράσινοι καταναλωτές» μπορούν να διαδραματίσουν μεγαλύτερο ρόλο στην προμήθεια ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, είναι σημαντικό τα προϊόντα αυτά να διέπονται από μια καλά καθορισμένη στρατηγική ορθής απόρριψής τους. Είναι σημαντικό να εφαρμοστούν στρατηγικές που ενθαρρύνουν την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υλικών, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη χρήση χώρων υγειονομικής ταφής. Τόσο οι κατασκευαστές όσο και οι εταιρείες έχουν αναγνωρίσει την παρουσία μιας αυξανόμενης ομάδας καταναλωτών που δίνει προτεραιότητα στην περιβαλλοντική συνείδηση. Ως αποτέλεσμα, έχουν αρχίσει να επενδύονται πόροι για τη δημιουργία πιο βιώσιμων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Επιπλέον, καταβάλλονται προσπάθειες για τη μείωση των αποβλήτων συσκευασίας και την παροχή καλύτερων επιλογών στη φάση της τελικής χρήσης. Συνεπώς, η ζήτηση για φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα καθοδηγείται από καταναλωτές που έχουν περιβαλλοντική συνείδηση. Σε απάντηση, οι εταιρείες αναλαμβάνουν τον ρόλο των εκπαιδευτών προσφέροντας πληροφορίες και καθοδήγηση προς βιώσιμες επιλογές. Οι εταιρείες, ωστόσο, που δε συμμετέχουν ενεργά σε συζητήσεις βιωσιμότητας, αντιμετωπίζουν μειωμένο ενδιαφέρον από τους πελάτες τους. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, οι περισσότερες εξ αυτών ενσωματώνουν όλο και περισσότερο τις ανωτέρω έννοιες και πρακτικές στην πολιτική, στην ταυτότητα και στις αξίες τους. Μελλοντικά, αναμένεται ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί

καθώς οι περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένοι καταναλωτές θα συνεχίσουν να αναζητούν συσκευές που ευθυγραμμίζονται με τις αξίες τους, ιδίως όσον αφορά στη βιωσιμότητα.

## 2.3 Θεμελιώδεις αρχές της «3R» πρωτοβουλίας

### 2.3.1 Μείωση

Ο όρος «μείωση» αναφέρεται στην ελαχιστοποίηση της χρήσης υλικών και ενέργειας προκειμένου να μειωθούν τα απόβλητα και να διατηρηθούν οι φυσικοί πόροι [15].

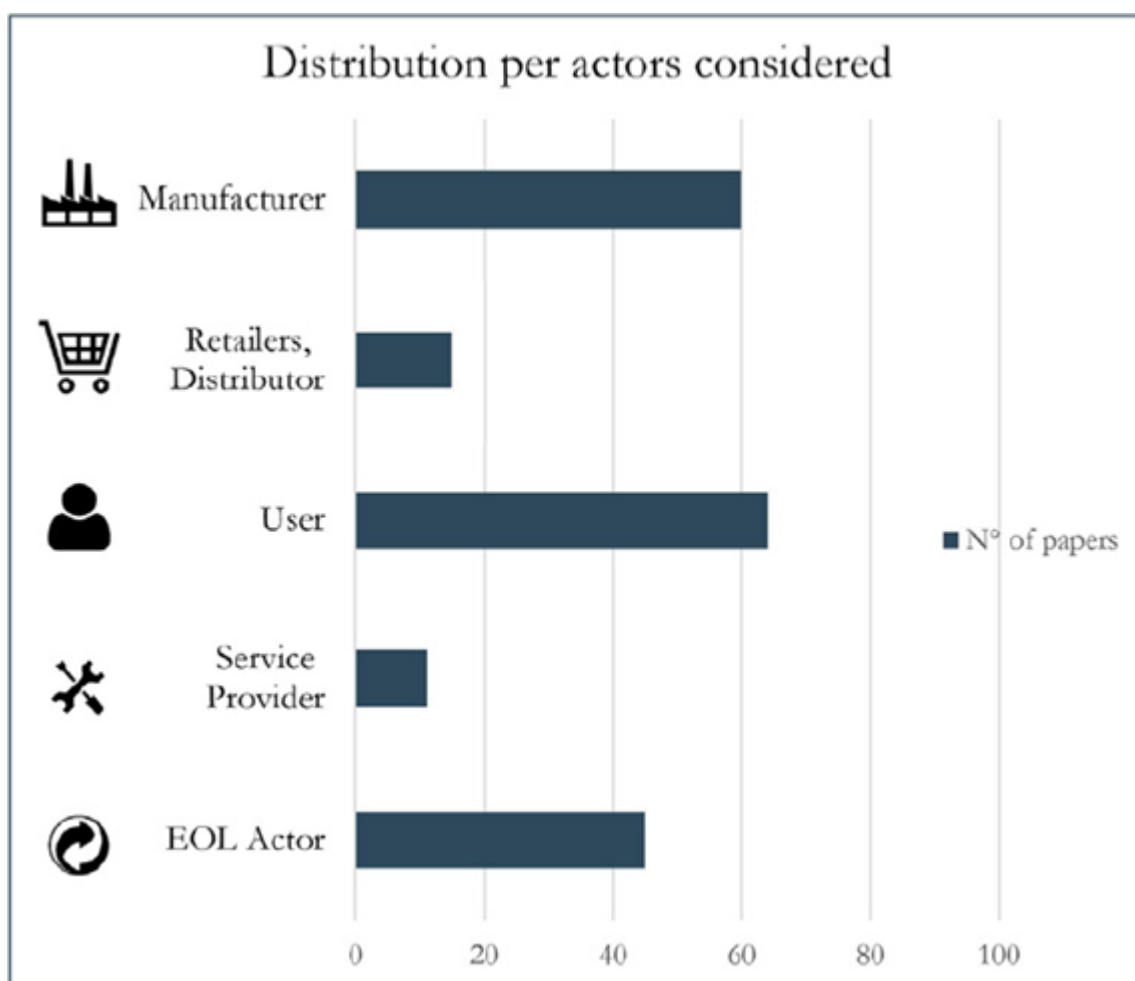
Ο **αιφόρος σχεδιασμός προϊόντων**, ειδικά για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, είναι ζωτικής σημασίας στην κυκλική οικονομία. **Ο σχεδιασμός αυτός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της χρήσης μη ανανεώσιμων υλικών, στη παράταση της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος και στη μείωση των αποβλήτων στο τέλος της ζωής του.**

Επομένως απαιτείται ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη συντήρηση των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) που ευθυγραμμίζεται με την έννοια του «δικαιώματος στην επισκευή». Το πλαίσιο θα εξετάζει τις επιπτώσεις της γήρανσης στις PCB, όπως προσδιορίζονται μέσω μετρήσεων, και το κόστος που σχετίζεται με την επισκευή και την αντικατάσταση εξαρτημάτων. Στην εργασία [16] προτείνεται ένας αλγόριθμος για την αντιμετώπιση της διαχείρισης κόστους, ενώ παραμένει εντός ενός προκαθορισμένου ορίου. Επιπλέον, συζητώνται προσεγγίσεις οικολογικού σχεδιασμού, ιδιαίτερα εκ των υστέρων, για την ενσωμάτωση λύσεων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η κατανόηση της έννοιας του τέλους ζωής μιας ηλεκτρικής οικιακής συσκευής είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων, όταν αυτή απορρίπτεται. Η εξέταση πτυχών του τέλους ζωής κατά την ανάπτυξη της συσκευής μέσω του οικολογικού σχεδιασμού διευκολύνει την ενοποίηση των κύκλων οικολογικού σχεδιασμού. Οι μέθοδοι οικολογικού σχεδιασμού για τη φάση του τέλους ζωής συχνά περιλαμβάνουν πολλαπλές στρατηγικές για τη διαχείριση της απόρριψης της συσκευής. Λόγω της πολυπλοκότητας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, ορισμένα εξαρτήματα είναι πιο εύκολο να ανακυκλωθούν, επαναχρησιμοποιηθούν ή να αναπαραχθούν από άλλα. Η ανακατασκευή είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη διατήρηση των προϊόντων σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με παράλληλη ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής.

Η ερευνητική εργασία [17] εξετάζει τη διαδικασία ανακατασκευής, η οποία προσφέρει οφέλη στην κοινωνία και στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα καταδεικνύει την οικονομική βιωσιμότητα μέσω της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας. Από το 1980 έως το 1997, αναφέρει πως σημειώθηκε σημαντική αύξηση, κατά 40% περίπου, στον όγκο των αστικών αποβλήτων στις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης). Παρέχει μια επισκόπηση των αρνητικών συνεπειών που προκύπτουν από αυτήν την αύξηση, ακολουθούμενη από μια εισαγωγή στις πρωταρχικές πολιτικές που εφαρμόζει η ΕΕ για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, όπως οι οδηγίες για την υγειονομική ταφή και η εκτεταμένη νομοθεσία ευθύνης παραγωγού. Παράλληλα, περιγράφει και παραθέτει τέσσερις εναλλακτικές προσεγγίσεις για τον περιορισμό των αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, όλες στο πλαίσιο της διευρυμένης ευθύνης παραγωγού (EPR). Αυτές οι προσεγγίσεις περιλαμβάνουν την επισκευή, την ανακατασκευή και την ανακύκλωση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Επιπλέον, παρουσιάζει έναν ολοκληρωμένο ορισμό της αναπαραγωγής, διακρίνοντάς την από τις διαδικασίες επισκευής. Μετά από ανάλυση διάφορων παραγόντων, διαπιστώθηκε ότι η ανακατασκευή μπορεί να είναι η βέλτιστη στρατηγική λόγω της ικανότητάς της να διατηρεί την ενσωματωμένη ενέργεια και να υποστηρίζει την πώληση ανακαινισμένων προϊόντων

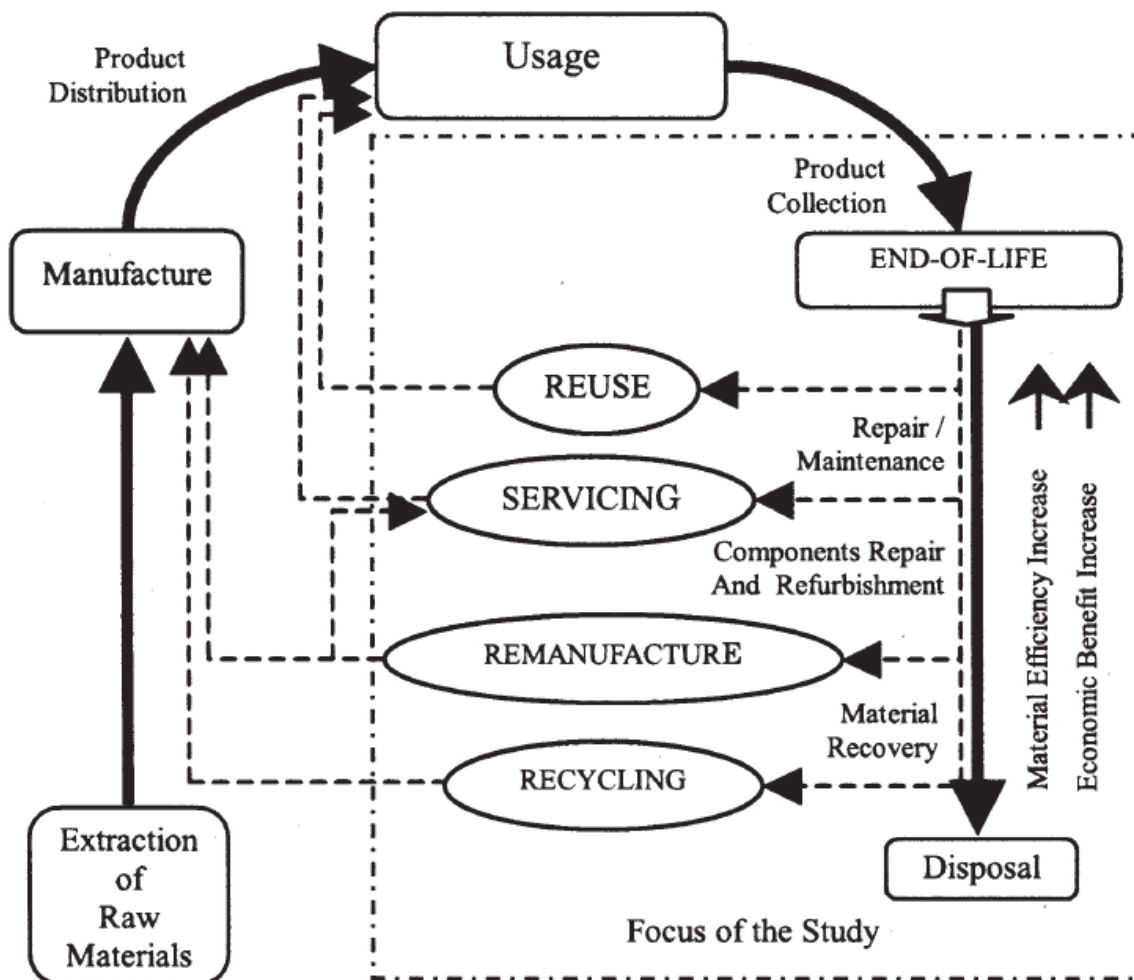
με ενημερωμένα χαρακτηριστικά. Συνάμα, η μελέτη [18] εξετάζει την πρακτική της διατήρησης των πόρων μέσω της επαναχρησιμοποίησης οικιακών συσκευών, η οποία αναγνωρίζεται ευρέως ως βιώσιμη προσέγγιση. Η καθυστέρηση στην εισαγωγή αποδοτικών προϊόντων στην αγορά μπορεί να προκληθεί από την επαναχρησιμοποίηση παλαιότερων προϊόντων, με αποτέλεσμα την ισορροπία μεταξύ της διατήρησης των πόρων κατά την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρήση. Έχοντας ένα σύνολο από οκτώ ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, αναλύονται τα ισοζύγια υλικών και ενέργειας για να αξιολογηθεί η εξοικονόμηση πόρων. Συγκρίνονται δύο σενάρια, ένα χωρίς επαναχρησιμοποίηση και ένα υποθέτοντας ότι όλες οι συσκευές υφίστανται επαναχρησιμοποίηση, με αποτέλεσμα την παράταση της ζωής τους από 50% έως 100%. Αποδεικνύεται ότι η εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση οδηγεί σε οριακή μείωση της συνολικής κατανάλωσης πόρων κάτω του 1% για την προηγμένη βιομηχανία, ενώ διαπιστώνεται ότι οι αποτελεσματικές πρακτικές ανακύκλωσης διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη διατήρηση των πρωτογενών πόρων.

Η ανάλυση διαφόρων πιθανών ερευνητικών κατευθύνσεων που μπορούν να επιδιωχθούν για την υποστήριξη της βιομηχανίας ΑΗΗΕ μελετάται στην εργασία [19]. Αυτές οι κατευθύνσεις περιλαμβάνουν διαφορετικές πτυχές και στοχεύουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων και στην ενίσχυση της βιωσιμότητας. Οι κύριοι τομείς μελέτης περιλαμβάνουν την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των οικιακών συσκευών, τη διερεύνηση του ερευνητικού προγράμματος που σχετίζεται με την κυκλική οικονομία και τη βελτίωση της διοικητικής κατανόησης για τη δημιουργία δομής και ιεραρχίας.



Σχήμα 2.3. Κατανομή εργασιών σε συμμετέχοντες φορείς στη βιομηχανία ΑΗΗΕ [19]

Οι περιβαλλοντικές πιέσεις και η κλιματική αλλαγή έχουν ωθήσει τις εταιρείες και τις αλυσίδες εφοδιασμού να διερευνήσουν νέες φιλικές προς το περιβάλλον προσεγγίσεις. Η έννοια της κυκλικής οικονομίας έχει αναδειχθεί ως μια βιώσιμη λύση που μπορεί να διαχωρίσει την οικονομική ανάπτυξη από την κατανάλωση πόρων και τη δημιουργία αποβλήτων. Στον κλάδο των ΑΗΗΕ, υπάρχει ανάγκη για μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, ειδικά από την οπτική της κυκλικής οικονομίας, ώστε να παρέχεται μια ενδεδειγμένη ανάλυση για τη βιωσιμότητα, με ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της κυκλικής οικονομίας. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εξέταση διαφόρων πτυχών της διαχείρισης ΑΗΗΕ, ιδιαίτερα των στρατηγικών στο τέλος του κύκλου ζωής τους που χρησιμοποιούνται σε ισχυρές βιομηχανίες όπως της Ιαπωνίας, των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρωπαϊκής Ένωσης με στόχο τη συγκριτική ανάλυση αυτών των στρατηγικών για τον εντοπισμό πιθανών υλικοτεχνικών προκλήσεων και τη βελτίωση των πολιτικών διαχείρισης [20]. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι ενώ όλες οι στρατηγικές τηρούν την αρχή της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού, υπάρχουν υλικοτεχνικές αποκλίσεις λόγω διαφορετικών ερμηνειών.



Σχήμα 2.4. Κύκλος ζωής οικιακών συσκευών [20]

Η απευθείας σύγκριση στρατηγικών είναι δύσκολη λόγω των διακυμάνσεων στο νομικό πλαίσιο και της ενσωμάτωσης διαφορετικών τύπων και ποσοτήτων συσκευών. Ως εκ τούτου, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί ποια στρατηγική αποδίδει καλύτερα συνολικά. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών των μοντέλων μπορεί να οδηγήσει σε μια μέτρια αλλά βιώσιμη συμβολή.

Η εργασία [21], διερευνά τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας και τις λειτουργικές βελτιώσεις σε κέντρα επιθεώρησης και εργοστάσια. Η **αντίστροφη εφοδιαστική (RL)** περιλαμβάνει μια σειρά από δραστηριότητες που ξεκινούν σε επίπεδο καταναλωτή και τελειώνουν σε επίπεδο κατασκευαστή. Τα δίκτυα RL, τα οποία περιλαμβάνουν ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση και περαιτέρω επεξεργασία προϊόντων, αυξάνονται λόγω περιβαλλοντικών και κοινωνικών ανησυχιών. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα μοντέλου **μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP)** για τη βελτιστοποίηση της θέσης και της χωρητικότητας των δικτύων αυτών, συμπεριλαμβανομένων των κέντρων επιθεώρησης και των εγκαταστάσεων ανακατασκευής. Επειδή ο καθορισμός της στρατηγικής μεταφοράς, όπως η χρήση εσωτερικών ή εξωτερικών οχημάτων, βασίζεται συχνά στην οικονομική αποδοτικότητα, η έρευνα εξέτασε 68 πόλεις, με αποτέλεσμα πολλές μεταβλητές και περιορισμούς. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, επιλέχθηκε ένας γενετικός αλγόριθμος (GA), που είχε ως αποτέλεσμα την βέλτιστη δυνατή προσέγγιση. Η κύρια συμβολή είναι η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου υψηλής απόδοσης που μπορεί να λύσει προβλήματα μεγάλης κλίμακας μέσα σε περιορισμένο χρονικό πλαίσιο. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την κωδικοποίηση του γενετικού αλγορίθμου μείωσε τον συνολικό αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών κατά 92% και 86%, αντίστοιχα, ενώ τα ευρήματά της προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για τις πρακτικές επιπτώσεις του προβλήματος και χρήσιμα κριτήρια για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της προσέγγισης.

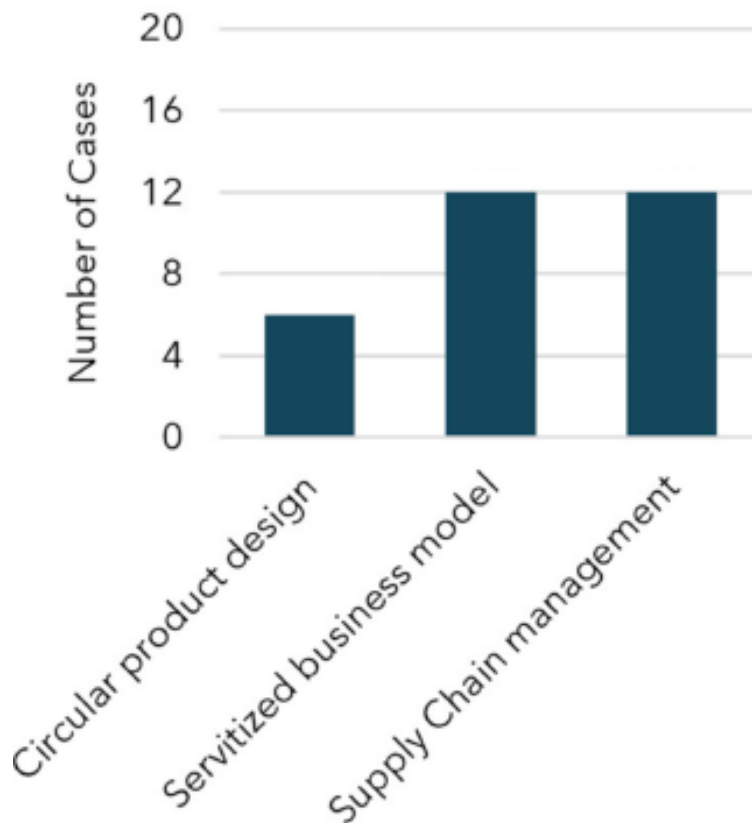
Πολλές φορές οι τομείς των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών χρησιμοποιούν τη βελτιστοποίηση του κύκλου ζωής και την ανάλυση σεναρίων για να εξετάσουν τον αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής του προϊόντος και στην κατανάλωση ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση των επιπτώσεων της μίσθωσης έναντι της πώλησης, στη διάρκεια ζωής του προϊόντος, όπως σημειώνεται στην αναφορά [22]. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός υποστηρικτών που αναφέρουν ότι η μίσθωση είναι μια πιο περιβαλλοντικά βιώσιμη προσέγγιση σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πρακτικές πωλήσεων. Η χρηματοδοτική μίσθωση περιλαμβάνει ουσιαστικά το κόστος που σχετίζεται με τα ΑΗΗΕ και τη διάθεση προϊόντων, μεταθέτοντας την ευθύνη στους κατασκευαστές αρχικού εξοπλισμού (OEM) που επωφελούνται από τις προσπάθειες μείωσης του κόστους σε αυτούς τους τομείς. Η μίσθωση προϊόντων υποστηρίζει τη δημιουργία κλειστών δομών, ενθαρρύνει την ανακατασκευή ή την ανακύκλωση και μερικές φορές συμβάλλει στην υιοθέτηση μικρότερων κύκλων ζωής του προϊόντος. Οι βιομηχανίες ηλεκτρικών οικιακών συσκευών χρησιμοποιούν τη βελτιστοποίηση του κύκλου ζωής και την ανάλυση σεναρίων, για να εκτιμήσουν τον αντίκτυπο της διάρκειας ζωής της συσκευής στην κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, η διερεύνηση για το πώς η επιλογή μεταξύ μίσθωσης και πώλησης συσκευών μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής τους, κατέδειξε ότι οι συσκευές με σημαντικές επιπτώσεις χρήσης και τεχνολογικές προόδους μπορούν να επωφεληθούν από μικρότερους κύκλους ζωής, οι οποίοι επιτυγχάνονται μέσω της μίσθωσης προϊόντων.

Ωστόσο, συσκευές με σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή και χωρίς προηγμένη τεχνολογία, δεν παρουσιάζουν τέτοια οφέλη. Έτσι, το άρθρο [23] εξετάζει τον βαθμό στον οποίο η βιομηχανία πλυντηρίων ρούχων έχει υιοθετήσει τις αρχές ενός μοντέλου κυκλικής οικονομίας. Ενώ η κυκλική οικονομία θεωρείται συχνά ως ένας τρόπος συνδυασμού της οικονομικής ανάπτυξης και της βιωσιμότητας, η υιοθέτηση κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων και σχετικών συστημάτων προϊόντων-υπηρεσιών εξακολουθεί να είναι περιορισμένης κλίμακας. Η παροχή πληροφοριών σχετικά με την ανάπτυξη κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του αναμενόμενου αντικτύπου τους, μπορεί να βοηθήσει τους ενδιαφερόμενους φορείς να υιοθετήσουν αυτή τη μετάβαση. Αποδεικνύεται ότι οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις δαπάνες τους κατά τη φάση χρήσης του πλυντηρίου, κατά περίπου 30%

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

ετησίως. Επιπλέον, η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας θα μπορούσε να μειωθεί κατά περίπου 0,6% και η κατανάλωση νερού κατά περίπου 1%. Αυτά τα ευρήματα είναι επί του παρόντος μόνο προκαταρκτικές εκτιμήσεις και είναι σημαντικό να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα και εμπειρική επικύρωση. Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα προσφέρουν μια ματιά στα πιθανά οφέλη που μπορούν να επιτευχθούν με την υιοθέτηση ενός μοντέλου κυκλικής οικονομίας στον τομέα των μαζικών ανθεκτικών καταναλωτικών συσκευών, με ιδιαίτερη έμφαση στα πλυντήρια ρούχων. Παράλληλα, προτείνεται μια μεθοδολογία που στοχεύει να βοηθήσει τους σχεδιαστές στην αξιολόγηση και στη βελτίωση της απόδοσης του προϊόντος στο τέλος του κύκλου ζωής (EoL). Αυτή η μεθοδολογία ενσωματώνει τέσσερις καινοτόμους δείκτες EoL που επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων για κάθε στοιχείο συσκευής.

Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, είναι σημαντική η διερεύνηση των ιδιομορφιών αυτής της προσέγγισης [24]. Σήμερα, οι εταιρείες που θέλουν να δημιουργήσουν συσκευές με μακροχρόνια βιωσιμότητα εξετάζουν όλο και περισσότερο το ενδεχόμενο σχεδιασμού με περιβαλλοντική συνείδηση και εκτεταμένη ευθύνη του παραγωγού. Ο σχεδιασμός, σε αυτό το πλαίσιο, αναφέρεται σε μια στρατηγική προσέγγιση που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της συσσώρευσης αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής, καθιερώνοντας κύκλους ζωής προϊόντων κλειστού βρόχου.



**Σχήμα 2.5. Παράμετροι κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [26]**

Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα σενάρια παροπλισμού της συσκευής και λήξης του κύκλου ζωής τους κατά την αρχική φάση σχεδιασμού. Ως εκ τούτου, μπορούν να προταθούν μεθοδολογίες με σκοπό να βοηθήσουν τους σχεδιαστές στη βελτιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης, της ανακατασκευής και της ανακύκλωσης υλικών. Αρκετές περιπτώσιολογικές μελέτες παρέχονται ως απόδειξη της αποτελεσματικότητας αυτής της μεθόδου. Λόγω της αυξανόμενης ποσότητας ΑΗΗΕ (Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού), είναι σημαντικό να εξεταστεί διεξοδικά η συμπεριφορά των καταναλωτών σχετικά με την απόρριψη ηλεκτρονικών προϊόντων στο τέλος της χρήσης

τους. Το αρχικό στάδιο της διαδρομής ηλεκτρονικών αποβλήτων περιλαμβάνει τελικούς χρήστες ή καταναλωτές, οι οποίοι μπορούν να επιλέξουν διάφορες οδούς όπως επισκευή, επαναχρησιμοποίηση, αναπαραγωγή και ανακύκλωση. Η ακατάλληλη διάθεση των ΑΗΗΕ από τους καταναλωτές, συχνά μαζί με τα οικιακά απόβλητα, οδηγεί σε υγειονομική ταφή. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό κατάλληλων στρατηγικών για τη συμμετοχή τους στην αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος. Ενώ υπάρχει σημαντικός όγκος επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με τη γνώση, την ευαισθητοποίηση και τη συμπεριφορά των καταναλωτών που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα, υπάρχει έλλειψη κατανόησης σχετικά με τον τρόπο ενσωμάτωσης αυτής της γνώσης στο μοντέλο CE (Circular Economy) [25].

Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός πλαισίου με επίκεντρο τον καταναλωτή ώστε να χαραχτεί μία πολιτική, η οποία θα επιτρέπει την κατανόηση και τη βελτίωση των στρατηγικών που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα, δίνοντας συστάσεις για ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο στον τομέα των οικιακών ηλεκτρικών αποβλήτων, ακολουθούμενων από πρωτοβουλίες πολιτικής και καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα.

Σε αυτή τη βάση, η εργασία [23] παρουσιάζει ένα πλαίσιο για μια κυκλική οικονομία που επικεντρώνεται στον καταναλωτή, εστιάζοντας συγκεκριμένα στα απόβλητα οικιακών ηλεκτρικών συσκευών. Αυτό το πλαίσιο βασίζεται σε μια μελέτη περίπτωσης της μετάβασης της κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία οικιακών συσκευών. Τονίζει τη σημασία της τήρησης των αρχών της κυκλικής οικονομίας για τη διασφάλιση βιώσιμων προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης. Ενώ οι κατασκευαστικές εταιρείες βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια εφαρμογής αυτού του πλαισίου, η αγορά οικιακών συσκευών παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες. Μέσα από μια σειρά περιπτωσιολογικών μελετών, αυτή η έρευνα εξετάζει πώς η κυκλική οικονομία έχει ενσωματωθεί στον τομέα των οικιακών συσκευών. Η μελέτη αναλύει είκοσι περιπτώσεις, εξετάζοντας στρατηγικές για μείωση, επαναχρησιμοποίηση, αναπαραγωγή και ανακύκλωση (οι στρατηγικές 4R), πρωτοβουλίες διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, πρακτικές κυκλικού σχεδιασμού και τον ρόλο των ψηφιακών τεχνολογιών. Η ανάλυση αποκαλύπτει ότι ενώ η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και τα επιχειρηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται συνήθως στην υιοθέτηση της κυκλικής οικονομίας, οι τεχνικές κυκλικού σχεδιασμού για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές δεν δίνουν μεγάλη προσοχή.

Τα Μεγάλα Δεδομένα ή Μεγαδεδομένα (Big Data) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση των επιχειρηματικών μοντέλων. Η υιοθέτηση της κυκλικής οικονομίας στον τομέα των οικιακών συσκευών ακολουθεί δύο βασικά μοτίβα, το προοδευτικό και το ριζοσπαστικό.

**Η προοδευτική προσέγγιση** εστιάζει στη μείωση και στην ανακύκλωση, κυρίως με γνώμονα τους κατασκευαστές, ενώ η **ριζοσπαστική** χρησιμοποιεί ψηφιακές τεχνολογίες για να δώσει έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση, στην αναπαραγωγή, στην εξυπηρέτηση και στην κοινή χρήση.

Αυτή η έρευνα παρέχει τα θεμέλια για την καλύτερη κατανόηση της υιοθέτησης της κυκλικής οικονομίας στον τομέα των οικιακών συσκευών. Στο άρθρο [26] προσφέρεται μια συνοπτική επισκόπηση της βιωσιμότητας και της ανάπτυξης φιλικών προς το περιβάλλον αλυσίδων εφοδιασμού τα τελευταία πενήντα χρόνια. Οι επιχειρήσεις επηρεάζονται ολόενα και περισσότερο από τη βιώσιμη ανάπτυξη και γίνεται πιο δύσκολο να συμμορφωθούν απλώς με τους περιβαλλοντικούς νόμους. Απαιτούνται δημιουργικές λύσεις, όπως η μείωση των αποβλήτων, η εξοικονόμηση ενέργειας και η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Με την υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, η χρήση ενέργειας μπορεί να μειωθεί κατά 30% έως το 2030. Ωστόσο, οι



**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

δυνάμεις της αγοράς από μόνες τους δεν μπορούν να καθορίσουν την πιο βιώσιμη πορεία δράσης χωρίς να λάβουν υπόψη το συνολικό κοινωνικό κόστος. Τα ανώτερα στελέχη και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να βρουν νέες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα, το οποίο θα έχει σημαντικό αντίκτυπο. Οι εταιρείες επαναξιολογούν τις στρατηγικές και τις δομές της εφοδιαστικής αλυσίδας τους για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των καταναλωτών για πιο φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα. Οι πρωτοβουλίες που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα εμπνέουν τη συνεργασία μεταξύ και εντός των εταιρειών. Υπάρχει συχνά μια συζήτηση σχετικά με το πώς οι νέες εταιρικές σχέσεις απαιτούν υψηλότερα πρότυπα επιχειρησιακής ικανότητας και διαφάνειας. Ταυτόχρονα, πολλές επιχειρήσεις συνειδητοποιούν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της αξιολόγησης των αλυσίδων εφοδιασμού τους από μια βιώσιμη προοπτική. Οι δραστηριότητες βιώσιμης διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας στοχεύουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συσκευών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους και μπορούν να εμπνεύσουν πρακτικές που βελτιώνουν την ποιότητα των συσκευών, τη λειτουργική απόδοση και την οργανωτική αποδοτικότητά τους. Οι οργανισμοί που μπορούν να εξασφαλίσουν πόρους και να αναπτύξουν προληπτικά τις απαραίτητες δυνατότητες για την αντιμετώπιση των φυσικών περιβαλλοντικών περιορισμών θα πετύχουν στο μέλλον. Ο στόχος είναι να παρουσιαστεί μια επιχειρηματική υπόθεση για βιώσιμες λειτουργίες μέσω σεμιναρίων, προβληματισμών και εις βάθος εμπειρικής και θεωρητικής έρευνας.

Στο άρθρο [27] εξετάζονται διάφορες προσεγγίσεις, όπως η εκτεταμένη ευθύνη του παραγωγού, ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός και οι λύσεις προσανατολισμένες στον καταναλωτή για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ηλεκτρονικών αποβλήτων από οικιακές συσκευές. Η ταχεία παραγωγή ηλεκτρικών συσκευών οδήγησε σε εκθετική αύξηση των ηλεκτρονικών αποβλήτων, τα οποία είναι πλέον ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος τύπος αποβλήτων στις ανεπτυγμένες χώρες και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα οικιακών ηλεκτρονικών ειδών, συμπεριλαμβανομένων μεγάλων συσκευών όπως ψυγεία, πλυντήρια ρούχων και κλιματιστικά, καθώς και ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης. Αυτές οι συσκευές περιέχουν τοξικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των επικίνδυνων βαρέων μετάλλων, τα οποία βλάπτουν το περιβάλλον και ενέχουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Διερευνώντας αρχές, όπως η εκτεταμένη ευθύνη του παραγωγού, ο σχεδιασμός για το περιβάλλον (DfE) και λύσεις που βασίζονται στον καταναλωτή για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών συνεπειών των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Επίσης, εξετάζονται εκπαιδευτικές μεθοδολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεθνή διδασκαλία πληθυσμών και τονίζονται οι κίνδυνοι των ηλεκτρονικών αποβλήτων, η ανάγκη για σωστή διαχείριση και οι πιθανοί τρόποι δράσης.



**Σχήμα 2.6. Περιβαλλοντικός σχεδιασμός για τη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων [28]**



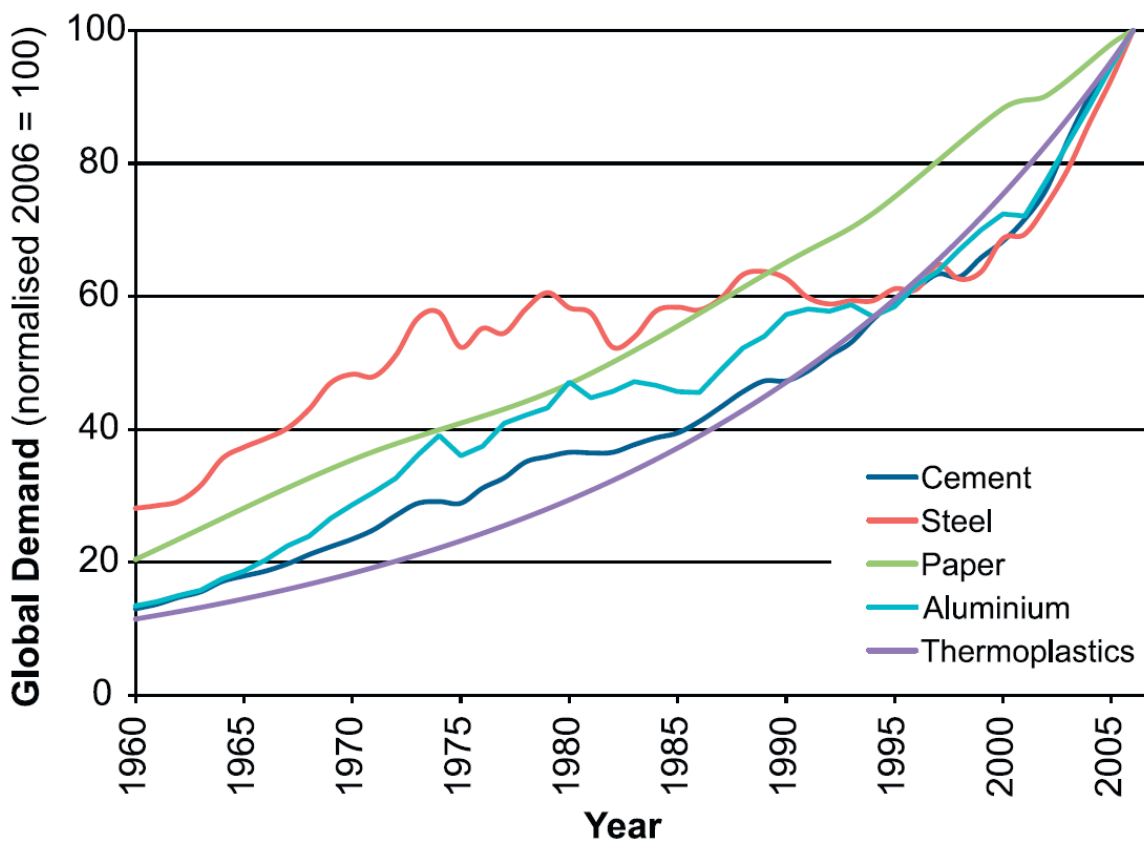
Στη μελέτη [28] προτείνεται ένα μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης για την αντιμετώπιση του ζητήματος της επαναχρησιμοποίησης οικιακών συσκευών. Στόχος ήταν να βοηθηθούν οι δημοτικές αρχές με τη δημιουργία και διαχείριση ενός αποτελεσματικού δικτύου, για την επαναχρησιμοποίηση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Η παγκόσμια ανησυχία για τη μεγάλη ποσότητα ΑΗΗΕ έχει τονίσει την ανάγκη βελτίωσης του συστήματος διαχείρισης για τη συλλογή. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου να καθιερωθεί μια πιο περιβαλλοντικά συνειδητή και οργανωμένη προσέγγιση στην ανακύκλωση. Με βάση μια ενδελεχή ανάλυση μέσω δημόσιας έρευνας, έχουν προταθεί νέες μέθοδοι συλλογής ΑΗΗΕ, μαζί με τη σύγκριση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών, των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους. Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας πληροφοριών και του ηλεκτρονικού εμπορίου στην Κίνα αναμένεται να οδηγήσει στην υιοθέτηση μιας ολοκληρωμένης διαδικτυακής πλατφόρμας για τη συλλογή ΑΗΗΕ με στόχο τη διερεύνηση κατάλληλων και καινοτόμων τρόπων συλλογής ΑΗΗΕ και την παροχή συστάσεων για χώρες ή οικονομίες που αντιμετωπίζουν παρόμοιες συνθήκες ή συστήματα με την Κίνα. Επιπλέον, η προώθηση λύσεων για μεθόδους μεταφοράς ΑΗΗΕ θα πρέπει να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην κρατική υποστήριξη και στην επιβολή του νόμου.

Η ανάλυση της βιομηχανικής πολιτικής και η άντληση πληροφοριών για τη χάραξη πολιτικής και το σχεδιασμό συστημάτων ανάκτησης ΑΗΗΕ είναι ύψιστης σημασίας [29]. Η εξάπλωση των ΑΗΗΕ έχει αυξηθεί σημαντικά παράλληλα με την ταχεία ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας. Παρά τη συνεχή ανάπτυξη της βιομηχανίας αποβλήτων, ο ρυθμός ανάκτησης παραμένει σχετικά χαμηλός σε σύγκριση με τις ανεπτυγμένες χώρες. Η σωστή διαχείριση είναι απαραίτητη για την αξιοποίηση του δυναμικού ανακύκλωσης, τον μετριασμό των περιβαλλοντικών κινδύνων και την εκμετάλλευση πολύτιμων πόρων. Η δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος ανάκτησης, ανακύκλωσης και αξιοποίησης είναι επιτακτική προκειμένου να προωθηθεί η κυκλική οικονομία και να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές προκλήσεις για την αειφόρο ανάπτυξη. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι αρχές της προσαρμοστικής θεωρίας και οι μέθοδοι μοντελοποίησης πολλαπλών παραγόντων εστιάζοντας στην ανακύκλωση, στη μείωση, στην επαναχρησιμοποίηση, στην επισκευή, στην ανακαίνιση, στην επανεπεξεργασία, στην αποκατάσταση και στην ανάκτηση [30]. Ο αντίκτυπος της νομοθεσίας για την ανακύκλωση οικιακών συσκευών στις δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου σε νοικοκυριά είναι άξιος διερεύνησης. Στην Ιαπωνία, από την εφαρμογή του νόμου για την ανακύκλωση οικιακών συσκευών τον Απρίλιο του 2001, τα ποσοστά ανακύκλωσης έχουν δείξει μια σχετικά σταθερή ανοδική τάση. Αυτό υποδηλώνει ότι η εφαρμογή του καθεστώτος διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού ανάγκασε τους κατασκευαστές συσκευών να λάβουν μέτρα για την αποτελεσματική ανακύκλωση των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Τα ευρήματα, βάσει συνεντεύξεων με πέντε εξέχοντες κατασκευαστές οικιακών συσκευών, δείχνουν ότι οι καλά σχεδιασμένοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί έχουν τη δυνατότητα να ενθαρρύνουν καινοτόμες πρακτικές που μειώνουν το συνολικό κόστος μιας συσκευής ή αυξάνουν την αξία της με την πάροδο του χρόνου. Παρά την έλλειψη κερδοφορίας για τους κατασκευαστές οικιακών συσκευών στην Ιαπωνία, άπαντες συμφωνούν ότι η συμμετοχή στην ανακύκλωση προϊόντων είναι υποχρεωτική λόγω της κυβερνητικής νομοθεσίας και των υποχρεώσεων εταιρικής κοινωνικής ευθύνης [30].

### 2.3.2 Επαναχρησιμοποίηση

Ο όρος «επαναχρησιμοποίηση» αναφέρεται στη χρήση προϊόντων για περισσότερες από μια φορές, γεγονός που βοηθά στη διατήρηση της αξίας τους σε σύγκριση με την

ανακύκλωση. Το άρθρο [31] δίνει έμφαση σε τέσσερις στρατηγικές για τη μείωση της ζήτησης υλικών, συμπεριλαμβανομένης της προώθησης μεγαλύτερης διάρκειας ζωής της συσκευής, της τροποποίησης και της ανακατασκευής προϊόντων και της ενθάρρυνσης της επαναχρησιμοποίησης. Υπάρχει αρκετή παγκόσμια προσφορά υλικών και πόρων για την κατασκευή, αλλά οι περιβαλλοντικές συνέπειες της παραγωγής και της επεξεργασίας, ιδίως όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας, μπορεί να γίνουν ανησυχητικές. Οι συνεχείς προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης μπορούν να μετριάσουν εν μέρει αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις, αλλά η ζήτηση αναμένεται να διπλασιαστεί τις επόμενες τέσσερις δεκαετίες, οδηγώντας σε μεγαλύτερο συνολικό αντίκτυπο εκτός εάν υπάρξει μείωση της παραγωγής και της επεξεργασίας υλικών. Εξετάζονται τέσσερις εξέχουσες στρατηγικές για τη μείωση της ζήτησης υλικών με παράλληλη βελτίωση της απόδοσης, όπως η προώθηση μεγαλύτερης διάρκειας ζωής της συσκευής και η ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης εξαρτημάτων. Οι ανεπτυγμένες χώρες αντιμετωπίζουν εμπόδια που σχετίζονται με τα οικονομικά, τους κανονισμούς και κοινωνικούς παράγοντες, περιορίζοντας την έμφαση που δίνουν σε αυτές τις στρατηγικές. Ωστόσο, τα στοιχεία για τη διαχείριση των αποβλήτων και τις προσπάθειες ενεργειακής απόδοσης δείχνουν ότι αυτά τα εμπόδια μπορούν να ξεπεραστούν.



Σχήμα 2.7. Παγκόσμια ετήσια ζήτηση πρώτων υλών βιομηχανίας οικιακών συσκευών [32]

Το άρθρο [32] αναλύει τις ευκαιρίες για αντίστροφη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και υπηρεσιών γενικότερα. Οι κατασκευαστές αντιμετωπίζουν θεσμικές πιέσεις να συμμορφωθούν με περιβαλλοντικούς κανονισμούς και πρότυπα. Η έρευνα επικεντρώνεται σε τρεις βιομηχανίες και τις προσπάθειές τους να ολοκληρώσουν την εφοδιαστική αλυσίδα στον κύκλο ζωής της συσκευής. Αυτό περιλαμβάνει τον εντοπισμό παραγόντων που συμβάλλουν στην αγορά ανακυκλωμένων και ανακατασκευασμένων προϊόντων, τη θέσπιση οικονομικά αποδοτικών στρατηγικών για την επιστροφή και την επαναχρησιμοποίηση/ανακύκλωση συσκευών στο τέλος της ζωής τους και τον συντονισμό της αλυσίδας εφοδιασμού για την προώθηση του επανασχεδιασμού, μεθόδων

αποσυναρμολόγησης και υπηρεσιών συσκευών. Επιπλέον, το άρθρο [33] διερευνά την ενσωμάτωση μεθόδων στο τέλος του κύκλου ζωής τους στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, καθώς και τα κατάλληλα εργαλεία για την εφαρμογή τεχνικών της πρωτοβουλίας «3R». Με αυστηρότερη ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με τον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και τις επικίνδυνες ουσίες, οι κατασκευαστές πρέπει να αναπτύξουν στρατηγικές στο τέλος του κύκλου ζωής τους με ταυτόχρονη αξιολόγηση της κερδοφορίας τους. Επειδή οι περισσότεροι κατασκευαστές επικεντρώνονται στην ανακύκλωση ή στην εξωτερική ανάθεση επεξεργασιών αντίστροφης εφοδιαστικής και διαδικασιών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, αν και αυτή η πρακτική υπολείπεται των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης, προτείνεται η ενίσχυση της ενσωμάτωσης των περιορισμών στο τέλος του κύκλου ζωής από τα αρχικά στάδια σχεδιασμού.

Χωρίς αμφιβολία, υπάρχει επί του παρόντος μια συντονισμένη προσπάθεια για τη δημιουργία πόρων που μπορούν να βοηθήσουν τους σχεδιαστές να κάνουν τις βέλτιστες επιλογές κατά τη διαδικασία σχεδιασμού, εστιάζοντας συγκεκριμένα στις στρατηγικές «3R». Υπάρχουν πολλά εργαλεία που αποσκοπούν στην εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική φύση της αρχιτεκτονικής του προϊόντος και την ενσωμάτωση των διασταυρούμενων πληροφοριών στα κριτήρια σχεδιασμού. Η εργασία [34] εξετάζει την ευρεία παρουσία τεχνολογιών πληροφοριών και δικτύων οικιακών συσκευών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω οδήγησαν σε μείωση της διάρκειας ζωής των συσκευών και αντίστοιχα σε σημαντική αύξηση της ετήσιας παραγωγής ΑΗΗΕ. Αυτή η εξέλιξη οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση χρησιμοποιημένου ή ανακαινισμένου ηλεκτρονικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού, μεγάλο μέρος του οποίου εισάγεται χωρίς να υποβληθεί σε ενδεδειγμένες λειτουργικές δοκιμές. Οι αναπτυσσόμενες χώρες αντιμετωπίζουν πολυάριθμες προκλήσεις στη διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης υποδομής για αποτελεσματική διαχείριση, της απουσίας ειδικής νομοθεσίας για την αντιμετώπιση των ηλεκτρονικών αποβλήτων και της απουσίας πλαισίων για τη συλλογή συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η σωστή διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων απαιτεί την υιοθέτηση εκτεταμένης ευθύνης παραγωγού, την καθιέρωση επαναχρησιμοποίησης προϊόντων μέσω ανακατασκευής και την εφαρμογή αποτελεσματικής υποδομής ανακύκλωσης.

Η ενσωμάτωση ενός ολοκληρωμένου παγκόσμιου πλαισίου για την τυποποίηση, την πιστοποίηση και την επισήμανση των χρησιμοποιημένων συσκευών που προορίζονται για αποστολή σε αναπτυσσόμενες χώρες είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική ρύθμιση των εξαγωγών ηλεκτρονικών αποβλήτων. Η ερευνητική εργασία [35] εξετάζει την εφαρμογή ενός παγκόσμιου συστήματος τυποποίησης και πιστοποίησης/επισήμανσης που στοχεύει στην αποτροπή της εξαγωγής ηλεκτρονικών αποβλήτων ως συσκευών δεύτερης χρήσης στις αναπτυσσόμενες χώρες. Επιπλέον, διερευνά αποτελεσματικές προσεγγίσεις για τη συμμετοχή των νοικοκυριών στην ανακύκλωση ΑΗΗΕ, αντλώντας πληροφορίες από την εφαρμογή της οδηγίας [36]. Τα ΑΗΗΕ έχουν αναγνωριστεί ως η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ροή αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με τις μέσες προβλέψεις να δείχνουν 20 kg/άτομο/έτος. Οι καταναλωτές διαχειρίζονται διάφορους τύπους ΑΗΗΕ χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους ανάλογα με το μέγεθος των ειδών. Τα μικρότερα αντικείμενα, όπως οι μικροσυσκευές, είναι γενικά πιο εύκολο να απορρίπτονται σε σύγκριση με μεγαλύτερα αντικείμενα, όπως τα πλυντήρια ρούχων.

Το Ηνωμένο Βασίλειο δεν θεωρεί τα μικρά ΑΗΗΕ ως κύρια ροή αποβλήτων, λόγω της ανάγκης να δοθεί προτεραιότητα στους πόρους για μεγαλύτερα αντικείμενα, τα οποία έχουν ήδη καθιερωθεί συστήματα συλλογής, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης, όπως υπαγορεύεται από τις οδηγίες για τα ΑΗΗΕ [37]. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αντιμετωπιστεί η διαχείριση των μικρών ΑΗΗΕ για διάφορους λόγους,

συμπεριλαμβανομένης της μακροπρόθεσμης στρατηγικής προόδου των υποδομών. Λαμβάνοντας υπόψη το προαναφερθέν πλαίσιο, αξιολογούνται οι απόψεις των καταναλωτών για τη διάθεση μικρών ΑΗΗΕ και εντοπίζονται σημαντικές προκλήσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή της οδηγίας σε σχέση με αυτές τις συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων. Τα αποτελέσματα προέρχονται από ένα ολοκληρωμένο ερωτηματολόγιο και συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν στο Κάρντιφ της Ουαλίας. Επιπρόσθετα, αξιολογήθηκε η σχετική βιβλιογραφία και η υπάρχουσα έρευνα για τη διάθεση των ΑΗΗΕ, καθώς και οι απόψεις των νοικοκυριών σχετικά με τη διαχείριση και την ανακύκλωση. Παράλληλα, εξετάστηκε η ευθυγράμμιση μεταξύ της εφαρμογής οδηγιών για ΑΗΗΕ και της συνεχιζόμενης στροφής προς τις πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων σε επίπεδο νοικοκυριών στην περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου. Διερευνήθηκαν οι πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για την ενθάρρυνση των νοικοκυριών να συμμετέχουν στην ανακύκλωση μικρών ΑΗΗΕ.

Στην ερευνητική εργασία [38] διεξάγεται μια ενδελεχής ανάλυση για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της επαναχρησιμοποίησης. Εξετάζεται η υπάρχουσα βιβλιογραφία και αξιολογούνται τα πλεονεκτήματα και οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης. Επιπλέον, προτείνει ένα δομημένο πλαίσιο που θα καθοδηγεί τη μελλοντική έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

Η ανησυχία για τον ρόλο της ανθρώπινης κατανάλωσης στην κλιματική αλλαγή, στην απώλεια βιοποικιλότητας και στη σπανιότητα ορυκτών έχει προκαλέσει αυξημένο ενδιαφέρον για την έννοια της επαναχρησιμοποίησης. Πολλοί πιστεύουν ότι οι πρακτικές επαναχρησιμοποίησης έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν αυτά τα προβλήματα μειώνοντας την ανάγκη για νέα παραγωγή. Ωστόσο, υπάρχει περιορισμένη κατανόηση των οφελών και των συνολικών επιπτώσεων της επαναχρησιμοποίησης, λόγω της έλλειψης εκτεταμένης έρευνας σχετικά με τις περιβαλλοντικές της συνέπειες. Καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις στη φάση χρήσης πολλών προϊόντων μειώνονται, αυξάνεται η σημασία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την αρχική παραγωγή. Αυτό υποδηλώνει ότι η ενσωμάτωση της επαναχρησιμοποίησης ως στρατηγική μείωσης θα γίνει όλο και πιο σημαντική στο μέλλον. Επίσης, παρέχονται πολλά παραδείγματα που καταδεικνύουν την ευεργετική επαναχρησιμοποίηση τυπικών, μη ενεργειακών ηλεκτρικών οικιακών συσκευών και αξεσουάρ. Παρατηρείται ότι η επισκευή αυτών των συσκευών καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με την παραγωγή νέων. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση μιας συσκευής δεν έχει πάντα περιβαλλοντικό πλεονέκτημα. Είναι σημαντικό να δοθεί προτεραιότητα στην ανάκτηση και ενίσχυση αποτελεσματικών μεν ακόμα, αλλά απαρχαιωμένων συσκευών, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιττές ενεργειακές προδιαγραφές. Είναι επίσης σημαντικό να αξιολογηθεί εάν υπάρχουν πιο αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις στην αγορά. Ενώ η διαθεσιμότητα φθηνών και μεταχειρισμένων συσκευών επιτρέπει σε περισσότερους καταναλωτές να έχουν πρόσβαση σε αγαθά που διαφορετικά θα ήταν οικονομικά απρόσιτα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι πωλήσεις μπορούν ενδεχομένως να συμβάλουν στην αύξηση της κατανάλωσης αντί να παρέχουν καθαρό περιβαλλοντικό όφελος. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας να ληφθούν υπόψη οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των πωλήσεων, παρόλο που μπορεί να συμβάλουν στη μείωση των ΑΗΗΕ βραχυπρόθεσμα.

Στην εργασία [39] διερευνώνται οι βέλτιστες λύσεις στο τέλος του κύκλου ζωής τους για κατασκευασμένα εξαρτήματα, λαμβάνοντας υπόψη τους συχνά αντικρουόμενους στόχους στην επιλογή βιώσιμων επιλογών. Υπάρχει μια αυξανόμενη παγκόσμια τάση προς τη βιώσιμη παραγωγή και οι κατασκευαστές συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο την ανάγκη υιοθέτησης υπεύθυνων πρακτικών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας συσκευής, με έμφαση στο στάδιο του τέλους ζωής. Οι κοινές επιλογές διαχείρισης στο τέλος του κύκλου ζωής περιλαμβάνουν την επαναχρησιμοποίηση, την αναπαραγωγή, την

ανακύκλωση, την υγειονομική ταφή και την καύση. Παρουσιάζεται μια πολύπλευρη προσέγγιση για τον εντοπισμό κατάλληλων στρατηγικών, λαμβάνοντας υπόψη τους συχνά αντικρουόμενους στόχους της περιβαλλοντικής ελαχιστοποίησης, ενώ εξετάζονται τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, με ιδιαίτερη έμφαση στην οικονομική αξία των συσκευών και των εξαρτημάτων τους. Εφαρμόζεται η υιοθέτηση ενός οικολογικού δείκτη ως αριθμητικού μέτρου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός υλικού ή μιας διαδικασίας. Εκτός από την υγειονομική ταφή και την καύση, η εξόρυξη εξαρτημάτων για επαναχρησιμοποίηση, αναπαραγωγή ή ανακύκλωση είναι απαραίτητη πριν από την εφαρμογή τους. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η πιο ευνοϊκή φάση αποσυναρμολόγησης όπου όλα τα οικονομικά πολύτιμα στοιχεία μπορούν να ανακτηθούν επιτυχώς. Παράγοντες όπως η περιβαλλοντική συνείδηση, ο μετριασμός του κόστους και η βελτιστοποίηση του ρυθμού απόδοσης μπορούν να ληφθούν υπόψη για να καθοριστεί το κατάλληλο επίπεδο αποσυναρμολόγησης κατά τη φάση του τέλους ζωής. Επίσης, αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το σωρευτικό κόστος που σχετίζεται με τη διαδικασία αποσύνθεσης στο τέλος της ζωής μιας συσκευής. Μια λογική προσέγγιση είναι η διευκόλυνση της διαδικασίας σχεδιασμού ή επανασχεδιασμού της συσκευής, ενώ μια άλλη πρακτική είναι να καθοριστεί η πιο ευνοϊκή χρονική στιγμή για αποσυναρμολόγηση μετά το τέλος της ζωής της. Για παράδειγμα, εάν μια μηχανή καφέ αποσυναρμολογηθεί πλήρως και υποβληθούν σε επεξεργασία όλα τα εξαρτήματά της, θα χρειαστούν 97 δευτερόλεπτα για αποσυναρμολόγηση και θα δημιουργήσει πλεόνασμα 0,1918 \$. Ωστόσο, η ερευνητική διαδικασία απέδειξε ότι η καφετιέρα σχεδιάστηκε με σκοπό να απενεργοποιηθεί στο τέλος της ζωής της.

Η εργασία [19] διερευνά την ιδέα της παράτασης της διάρκειας ζωής των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών μέσω της επαναχρησιμοποίησης. Αυτή η προσέγγιση αναγνωρίζεται ως αποτελεσματική στρατηγική για την εξοικονόμηση πόρων, ιδίως όσον αφορά στα υλικά και στην ενέργεια. Η επαναχρησιμοποίηση υπαρχουσών συσκευών μειώνει την ανάγκη παραγωγής πρόσθετων εξαρτημάτων και συσκευών για την κάλυψη της ζήτησης των καταναλωτών. Από την άλλη πλευρά, τα νέα προϊόντα τείνουν να έχουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας κατά τη φάση λειτουργίας τους. Ωστόσο, η χρήση μεταχειρισμένων συσκευών μπορεί να καθυστερήσει την εισαγωγή στην αγορά πιο προηγμένων και αποτελεσματικών νέων συσκευών. Επομένως, υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ της εξοικονόμησης πόρων κατά την παραγωγή και της ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη χρήση, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να μην αποτελεί πάντα προτεραιότητα. Η μελέτη επικεντρώνεται σε οκτώ σχετικά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων ψυγείων, πλυντηρίων ρούχων, προσωπικών υπολογιστών, οθονών και παρόμοιων ειδών.



Σχήμα 2.8. Ηλεκτρικές συσκευές μετά το τέλος ζωής τους [42]

Η αξιολόγηση της συμβολής στην εξοικονόμηση πόρων απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση των ισοζυγίων υλικών και ενέργειας. Η ερευνητική ανάλυση συγκρίνει δύο αντίθετα σενάρια: ένα όπου η συσκευή δεν επαναχρησιμοποιείται και αντιπροσωπεύει τον τυπικό κύκλο ζωής της και ένα άλλο όπου όλες οι επιλεγμένες συσκευές επαναχρησιμοποιούνται, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους κατά 50% έως 100%. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μειώνει οριακά μόνο τη συνολική κατανάλωση πόρων (συμπεριλαμβανομένων των υλικών και της ενέργειας) σε μια εξαιρετικά προηγμένη βιομηχανική οικονομία, κατά λιγότερο από 1%. Η έρευνα έχει δείξει ότι οι αποτελεσματικές πρακτικές ανακύκλωσης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση των πρωτογενών υλικών και πόρων.

Στην εργασία [40] διερευνώνται οι δυνατότητες της κυκλικής οικονομίας στη διαχείριση των οικιακών ΑΗΗΕ. Η κυκλική οικονομία προσφέρει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στο κυρίαρχο γραμμικό επιχειρηματικό μοντέλο, προωθώντας τη βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση. Ωστόσο, η εφαρμογή της παραμένει πρόκληση σε πολλούς τομείς λόγω της έλλειψης κατανόησης των πραγματικών δυνατοτήτων της.

Παράλληλα, εξετάζονται οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης ως βασικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, οι οποίες είναι ευθυγραμμισμένες με την έννοια της κυκλικής οικονομίας. Επίσης, αναλύεται εμπειρικά η ροή των οικιακών ΑΗΗΕ, αξιολογώντας την υπολειπόμενη λειτουργικότητα και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες συνθήκες της αγοράς και αξιολογώντας την ανακυκλωσιμότητα των συσκευών με βάση τα υλικά κατασκευής τους και την υπάρχουσα αλυσίδα επεξεργασίας ΑΗΗΕ. Αρχικά, συλλέχθηκαν 4.704 κιλά ΑΗΗΕ από οκτώ σημεία δημόσιας υπηρεσίας στο Odense της Δανίας, συμπεριλαμβανομένων μικρών ανταλλακτικών συσκευών που ήταν αποθηκευμένα σε 16 κιβώτια συλλογής. Μετά την κατηγοριοποίηση της διανομής, πραγματοποιήθηκαν μεμονωμένοι έλεγχοι συσκευών για να ελεγχθεί η λειτουργικότητά τους. Ορισμένα προϊόντα αποσυναρμολογήθηκαν επίσης για να προσδιοριστεί η σύσταση του υλικού τους. Επιπλέον, έγινε εκτίμηση των πιθανών εσόδων από μεταπωλήσεις και ανάκτηση υλικών. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι το 22% των μικροσυσκευών είναι πλήρως λειτουργικές συσκευές. Το τρέχον σύστημα διαχείρισης ΑΗΗΕ εστιάζει κυρίως στην ανάκτηση υλικού και παραβλέπει άλλες επιλογές στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Ένα βελτιωμένο σύστημα που δίνει προτεραιότητα στη λειτουργικότητα και την ανάκτηση υλικών θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά τα έσοδα.

Επιπλέον, έχει διεξαχθεί έρευνα για τη διερεύνηση ζητημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα, την αξιοπιστία, τη συντήρηση και την εγγύηση αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου, εστιάζοντας ειδικά σε χρησιμοποιημένες συσκευές [41]. Επί του παρόντος, πολλές εταιρείες δίνουν προτεραιότητα στη συμμετοχή τους σε βιώσιμες περιβαλλοντικές πρακτικές. Η εκθετική ανάπτυξη των βιομηχανικών παραγώγων και η απεριόριστη χρήση των φυσικών πόρων έχουν οδηγήσει σε περιβαλλοντικά προβλήματα. Είναι ευθύνη των επιχειρήσεων να αναδιαρθρώσουν τις δραστηριότητές τους για να μετριάσουν αυτά τα προβλήματα. Οι εταιρείες αντιμετωπίζουν πιέσεις τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από τους καταναλωτές να αναδιαρθρώσουν επιχειρηματικές δραστηριότητες, όπως η προμήθεια πρώτων υλών, η διανομή και η παραγωγή, με περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο. Έτσι, παρέχεται μια εξήγηση της αντίστροφης εφοδιαστικής μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο και εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίστροφη εφοδιαστική από την οπτική γωνία των παραγωγών στον τομέα των οικιακών συσκευών.

Πραγματοποιήθηκαν μελέτες σε δύο μεγάλες εταιρείες στον κλάδο των οικιακών συσκευών. Τα αποτελέσματα ελήφθησαν μέσω ενός ερωτηματολογίου που δόθηκε σε διευθυντές και μηχανικούς που εργάζονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής πλυντηρίου

πίατων, ψυγείου και φούρνου. Μια ιεραρχική δομή αναπτύχθηκε με βάση μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αντίστροφης εφοδιαστικής για τον εντοπισμό των παραγόντων που επηρεάζουν αυτές τις δραστηριότητες. Τα δεδομένα αναλύθηκαν και τα ευρήματα της έρευνας αποκαλύπτουν σημαντικές διακυμάνσεις στους παράγοντες που επηρεάζουν τις δραστηριότητες αντίστροφης εφοδιαστικής μεταξύ διαφορετικών εταιρειών.

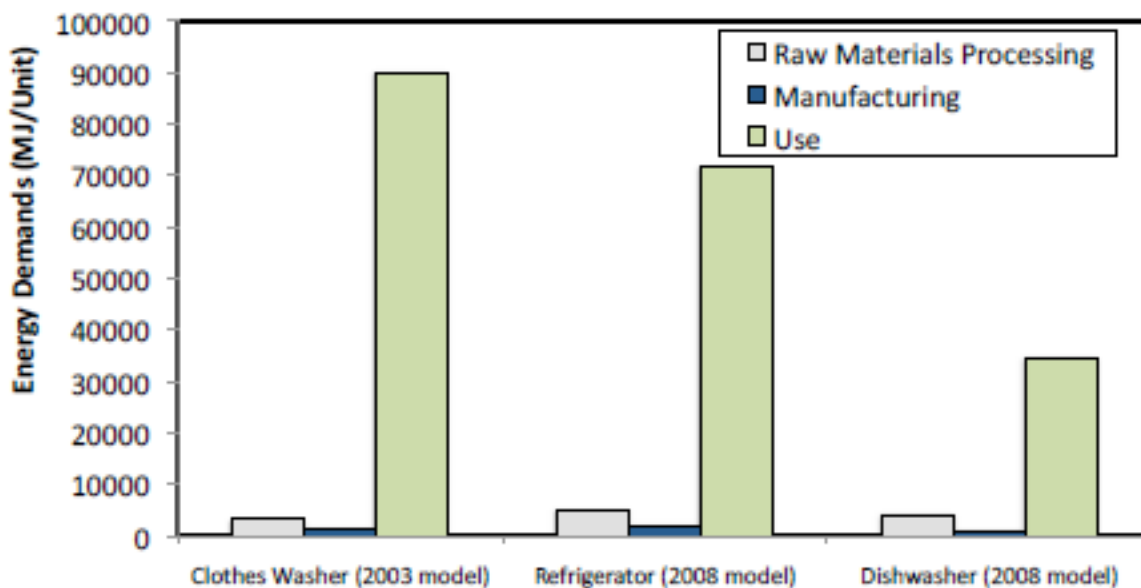
Οι αυξανόμενες περιβαλλοντικές πιέσεις και η εμφάνιση της κλιματικής αλλαγής ωθούν τις επιχειρήσεις και τις αλυσίδες εφοδιασμού να εξερευνήσουν νέες προσεγγίσεις για την προστασία του περιβάλλοντος [23]. Η έννοια της κυκλικής οικονομίας έχει αναδειχθεί ως ένα βιώσιμο μοντέλο που έχει τη δυνατότητα να διαχωρίσει την οικονομική ανάπτυξη από την κατανάλωση πόρων και την παραγωγή αποβλήτων. Ειδικά στον κλάδο των ΑΗΗΕ, υπάρχει ανάγκη για μια ολοκληρωμένη και συστηματική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, με ιδιαίτερη έμφαση στα ευρήματα που σχετίζονται με το πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. Με σκοπό την αειφορία στη βιομηχανία ΑΗΗΕ, αξιοποιώντας την προοπτική της κυκλικής οικονομίας, εντοπίστηκαν διάφορα ερευνητικά κενά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, τα οποία η ακαδημαϊκή κοινότητα καλείται να αντιμετωπίσει και παρουσιάστηκαν οι ερευνητικές κατευθύνσεις που αποτελούν τα θεμελιώδη στοιχεία μιας ερευνητικής ατζέντας για την κυκλική οικονομία στον κλάδο των ΑΗΗΕ. Ο αντίκτυπος της κατανάλωσης στο περιβάλλον έχει γίνει μια σημαντική ανησυχία στις ανεπτυγμένες χώρες όπως τονίζεται στην εργασία [42]. Σε απάντηση, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θεσπίζουν ολοένα και περισσότερη νομοθεσία που καθιστά τους ρυπαίνοντες οικονομικά υπεύθυνους για την περιβαλλοντική ζημιά που προκαλούν. Η εφαρμογή της νομοθεσίας για την «ευθύνη παραγωγού» αποτελεί παράδειγμα προσέγγισης που καθιστά τους παραγωγούς υπεύθυνους για τη διαχείριση και την ανακύκλωση συσκευών. Πρωταρχικός στόχος αυτής της νομοθεσίας είναι η προώθηση της μείωσης των απορριμμάτων μέσω χρηματοδοτικών μέτρων. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας εμπειρικής έρευνας που εξετάζει τα πρότυπα απόκτησης, χρήσης και απόρριψης οικιακών συσκευών, τα οποία θα συμβάλουν στην πρόοδο της γνώσης σχετικά με την ανθεκτικότητα των οικιακών συσκευών και θα διευκολύνουν την αποτελεσματικότητα των κυβερνητικών μέτρων που σχετίζονται με τη διαχείριση των ΑΗΗΕ [43].

Οι διαφορές της αντίστροφης εφοδιαστικής, η οποία ξεκινά από τον καταναλωτή και τελειώνει με τον κατασκευαστή, σε σχέση με την αλυσίδα εφοδιασμού εξετάζονται στην εργασία [44]. Λόγω των αυξανόμενων περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών ανησυχιών, τα δίκτυα που εμπλέκονται στην αντίστροφη εφοδιαστική πρέπει να ανακυκλώνουν και να επαναχρησιμοποιούν συσκευές για να βελτιώσουν την απόδοση. Η έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μοντέλων βέλτιστης τοποθέτησης και χωρητικότητας σημαντικών κόμβων του δικτύου. Η οικονομική απόδοση συχνά καθορίζει τις στρατηγικές μεταφορών, όπως η χρήση εσωτερικών ή εξωτερικών οχημάτων. Η ενασχόληση με πολλές πόλεις δημιουργεί πολυάριθμες μεταβλητές και περιορισμούς, οπότε ένας αλγόριθμος με πολλές συνεχείς μεταβλητές και αντίστοιχους περιορισμούς επιλέγεται για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, ενώ η χρήση ενός γενετικού αλγόριθμου μειώνει τις μεταβλητές και τους περιορισμούς. Στην αναφορά [45] συγκρίνονται στρατηγικές στο τέλος του κύκλου ζωής του ηλεκτρονικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού για χώρες με βαριά βιομηχανία, προκειμένου να εντοπιστούν υλικοτεχνικές προκλήσεις που μπορεί να επηρεάσουν τους κανονισμούς διαχείρισης αποβλήτων. Διερευνώνται οι προοπτικές των πελατών σχετικά με τα σενάρια τέλους ζωής και απόρριψης οικιακών συσκευών. Πολλές εταιρείες λαμβάνουν υπ' όψιν περιβαλλοντικούς παράγοντες κατά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, καθώς αυτές οι στρατηγικές μπορούν να βοηθήσουν στη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία.



## Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Ωστόσο, είναι αβέβαιο εάν οι τελικοί χρήστες θα ακολουθήσουν τις οδηγίες χρήσης που βασίζονται σε αυτές τις στρατηγικές. Αυτή η μελέτη εξετάζει τις αντιλήψεις του τελικού χρήστη για τρία σενάρια τέλους ζωής (επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανακατασκευή) και δύο μεθόδους διανομής (συλλογή από πόρτα σε πόρτα και παράδοση από το σημείο αγοράς) για ηλεκτρικές και μικρές συσκευές σε διάφορες κατηγορίες. Ακόμη, διεξήχθη μια ποσοτική έρευνα στην οποία συμμετείχαν πολλοί ενδιαφερόμενοι με στόχο την κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών της συσκευής στο τέλος του κύκλου ζωής τους και τις μεθόδους απόρριψης, βάσει της προτίμησης των πελατών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια συσκευή με επιλογή σωστής μεθόδου απόρριψης στο τέλος του κύκλου ζωής της, είναι πιθανό να ικανοποιήσει τους χρήστες, ανεξάρτητα από τις προσδοκίες τους όταν αγοράζουν μια νέα. Το προτιμώμενο σενάριο τέλους ζωής για τους χρήστες είναι η επαναχρησιμοποίηση, υποδεικνύοντας υποστήριξη για την κυκλική οικονομία. Οι γυναίκες, γενικά, προτιμούν όλα τα σενάρια τέλους ζωής και είναι πρόθυμες να πληρώσουν περισσότερα για φιλικές προς το περιβάλλον ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Αυτή η έρευνα υποδηλώνει ότι το φύλο μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κατανομή των χρηστών στην ανάπτυξη οικιακών συσκευών και ότι οι συσκευές που προτιμούν οι γυναίκες, τείνουν να έχουν καλύτερα αποτελέσματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Επιπλέον, η μελέτη [46] υπογραμμίζει τη σημασία της εξέτασης μακροσκοπικών παραγόντων, όπως η τεχνολογική πρόοδος, τα νομοθετικά αποτελέσματα και τα οικονομικά κίνητρα κατά την κατανόηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας και οικονομίας στη μετασκευή οικιακών συσκευών. Συγκρίνει την ανακαίνιση οικιακών συσκευών με την αγορά νέων από ενεργειακή και οικονομική άποψη, εστιάζοντας συγκεκριμένα σε ψυγεία, πλυντήρια πιάτων και πλυντήρια ρούχων.



Σχήμα 2.9. Ζήτηση ενέργειας κατά τις φάσεις του κύκλου ζωής των συσκευών [49]

Παρά τη μείωση του κόστους κατασκευής, οι συσκευές που παράγονται για δεύτερη φορά καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ενέργειας προς το τέλος του κύκλου ζωής τους. Τα οικονομικά κίνητρα επηρεάζουν επίσης την παραγωγή και χρήση τεχνολογικά απαρχαιωμένων συσκευών.

Η εργασία [47] διερευνά τον αντίκτυπο της αντίστροφης εφοδιαστικής στις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές και στη βιομηχανία που χρησιμοποιεί συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης όπως το ISO 14000. Μελετάται επίσης, το πώς η επισκευή, η ανακατασκευή, η αναπαραγωγή, η ανάκτηση και η απόρριψη επηρεάζουν την απόδοση της επιχείρησης. Προκειμένου να καθοριστεί η σκοπιμότητα της ανάκτησης προϊόντων, οι επιχειρήσεις πρέπει να εξετάσουν τα πλεονεκτήματά της στις συσκευές και τα εξαρτήματά τους. Τα



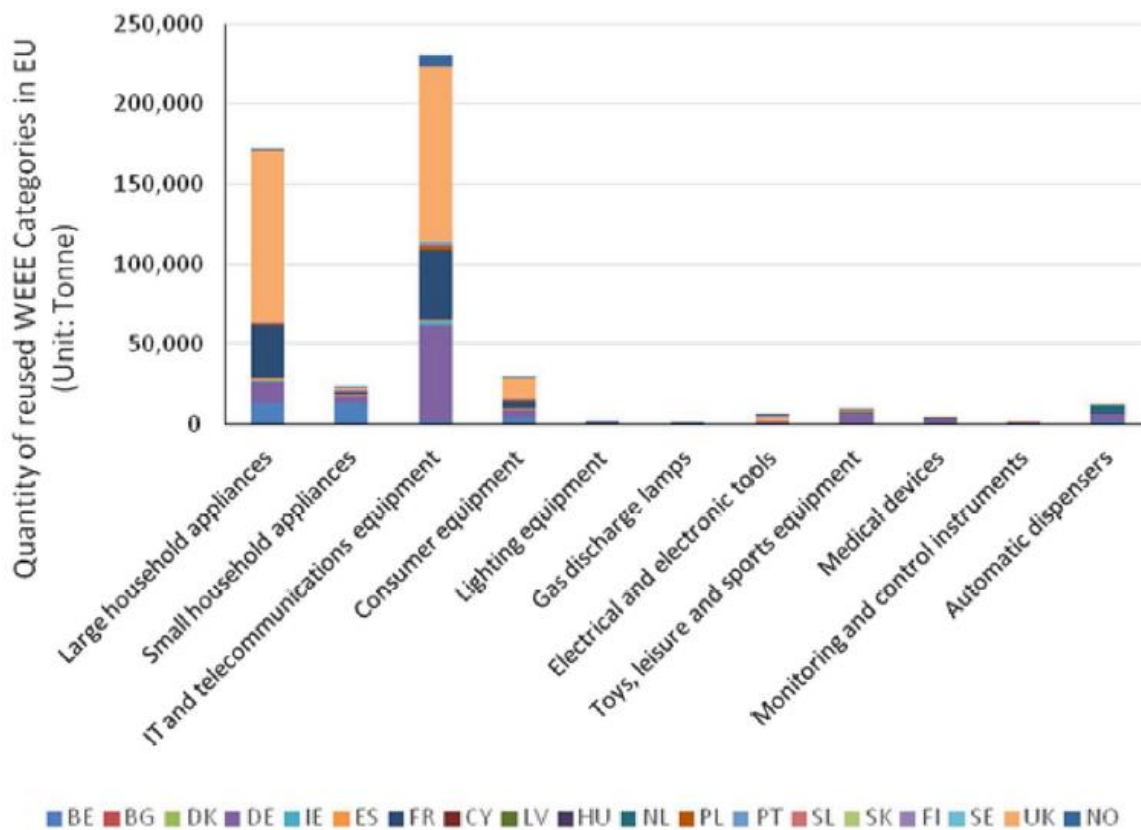
αποτελέσματα βοηθούν τους διαχειριστές στη μεγιστοποίηση της ανάκτησης συσκευών και εξαρτημάτων για επαναχρησιμοποίηση ή εξόρυξη ανακυκλώσιμων υλικών και ενεργειακών πόρων και παρέχουν μια εικόνα για το πώς αυτές οι μέθοδοι μπορούν να είναι κερδοφόρες. Η μελέτη [48] εξετάζει προηγμένα συστήματα για την ανακύκλωση ηλεκτρικών οικιακών συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, καθώς και μεθόδους για την αξιολόγηση της οικολογικής τους απόδοσης. Η βιομηχανική οικολογία στοχεύει να ολοκληρώσει τον κύκλο των οικιακών συσκευών όσον αφορά την περιβαλλοντική συνείδηση. Αυτή η προσέγγιση εστιάζει στην ενσωμάτωση ανακυκλωμένων υλικών, εξαρτημάτων και συσκευών στην πρωτογενή παραγωγική διαδικασία διατηρώντας παράλληλα την αρχική τους λειτουργικότητα. Η οικολογική απόδοση των προηγμένων στρατηγικών τέλους ζωής για τις συσκευές προσδιορίζεται μέσω ανάλυσης ροής εξαρτημάτων και συσκευής, καθώς και αξιολογήσεων του κύκλου ζωής. Ένα βιομηχανικό συγκρότημα και ένα προηγμένο σύστημα ανακύκλωσης, στο τέλος του κύκλου ζωής συσκευών κερδίζουν 114% αύξηση της συνολικής χρηματικής αξίας σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Η άμεση μείωση της εισροής υλικών και εξαρτημάτων ενισχύει την οικολογική απόδοση κατά 57%. Αυτό το σύστημα ενσωματώνει βιομηχανικά υποπροϊόντα, εξαρτήματα, απόβλητα και ανακυκλωμένα υλικά στις διαδικασίες παραγωγής. Μια προηγμένη στρατηγική στο τέλος του κύκλου ζωής που επαναχρησιμοποιεί εξαρτήματα βελτιώνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές που έχουν φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους κατά 4%. Στην εργασία [49] προσδιορίζονται τα εμπόδια στην πολλαπλή χρήση συσκευών και στην επίτευξη μηδενικών αποβλήτων σε κύκλους βιώσιμης ροής συσκευών και υλικών λαμβάνοντας υπόψη χώρες πλήρως βιομηχανοποιημένες όσο και αναπτυσσόμενες, οι οποίες καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας και υλικών. Για να διατηρηθεί αυτή η ανάπτυξη με παράλληλη διατήρηση και εξασφάλιση πόρων για τις μελλοντικές γενιές, οι συσκευές πρέπει να είναι εύκολα ανακυκλώσιμες και να επαναχρησιμοποιούνται για πολλαπλούς κύκλους χρήσης. Η επίτευξη πολλαπλής χρήσης απαιτεί φυσικά διαδικασίες χωρίς απόβλητα. Ένα από τα εμπόδια για την επίτευξη πολλαπλής χρήσης μηδενικών αποβλήτων είναι η δημιουργία μιας υποδομής ανάκτησης συσκευών που ελαχιστοποιεί τον βραχυπρόθεσμο αντίκτυπο των υπαρχόντων και είναι αρκετά ισχυρή για να χειρίζεται μελλοντικές συσκευές. Έτσι, εξετάζονται τα εμπόδια στην ανάπτυξη υποδομών αποκατάστασης και επαναχρησιμοποίησης με στόχο την πολλαπλή χρήση και τη μηδενική σπατάλη.

Στη συνέχεια, η εργασία [50] προτείνει βελτιώσεις σχεδιασμού για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και την επέκταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος μέσω αυτής. Η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού (EPR) ισχύει πλέον για τα ΑΗΗΕ. Η Ιαπωνία έχει εφαρμόσει ένα σύστημα κουπονιών για την ανακύκλωση οικιακών συσκευών, ενώ η Γερμανία διαχειρίζεται ένα ενιαίο ταμείο μέσω του εθνικού μητρώου ηλεκτρονικού εξοπλισμού και των δημόσιων φορέων διαχείρισης απορριμμάτων. Οι Ελβετοί καταναλωτές πληρώνουν ένα τέλος ανεφοδιασμού που ακολουθεί το τιμολόγιο του προϊόντος μέσω πολλών μεταπωλητών. Εξετάζονται οι παραλλαγές και τα δυνατά σημεία/κενά μεταξύ των χωρών καθώς και οι πρακτικές τους. Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι ο οικολογικός σχεδιασμός των συσκευών, η χρήση των ΑΗΗΕ και η χρήση πληροφοριών ως δεδομένων σε υπολογιστικές βάσεις είναι κοινά ζητήματα σε όλες τις χώρες, παρά τις διαφορές στους μηχανισμούς λειτουργίας των συστημάτων EPR. Αυτό το επιστημονικό άρθρο αναλύει την ανάπτυξη της ανάκτησης και χρήσης ΑΗΗΕ σε ένα σύστημα EPR. Είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση της σύνδεσης μεταξύ του ταμείου EPR και άλλων εργαλείων πολιτικής, όπως η ενθάρρυνση των κατασκευαστικών εταιρειών να χρησιμοποιούν προϊόντα οικολογικού σχεδιασμού. Επιπλέον, το σύστημα EPR θα πρέπει να περιλαμβάνει τη δευτερογενή αγορά και τις επιχειρήσεις ανακαίνισης για τη δημιουργία συστήματος για τον διαχωρισμό και τη χρήση των ΑΗΗΕ. Είναι

σημαντικό να σημειωθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αξιολόγηση του κύκλου ζωής για να συγκριθεί η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση των λευκών συσκευών με άλλες στρατηγικές διαχείρισης απορριμμάτων από έναν κατασκευαστή [51]. Η ιεραρχία των αποβλήτων της ΕΕ δίνει προτεραιότητα στην προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση έναντι της ανακύκλωσης. Η επαναχρησιμοποίηση συσκευών είναι επωφελής για το περιβάλλον όταν ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος στη διάρκεια ζωής τους είναι χαμηλότερος από αυτόν των νέων προϊόντων. Η επαναχρησιμοποίηση δεν είναι πλεονεκτική έναντι της ανακύκλωσης, εάν δεν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Μια αξιολόγηση του κύκλου ζωής χρησιμοποιείται για τη σύγκριση στρατηγικών διαχείρισης αποβλήτων για λευκές συσκευές (πλυντήριο ρούχων, ψυγείο, φούρνος, πλυντήριο πιάτων) και μικρές ηλεκτρικές συσκευές. Η Γερμανία συλλέγει το 68% των ΑΗΗΕ από αυτές τις οκτώ συσκευές που μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επαναχρησιμοποίηση δεν είναι πάντα ανώτερη από την ανακύκλωση. Η χρήση λευκών συσκευών επηρεάζει την υπερθέρμανση του πλανήτη, την κατανάλωση νερού και τη σωρευτική ζήτηση ενέργειας. Οι αναποτελεσματικές συσκευές δεν πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, ενώ αυτές με βαθμολογία ενεργειακής απόδοσης D και C θεωρούνται ακατάλληλες για επαναχρησιμοποίηση. Η παραγωγή έχει μεγαλύτερη επίδραση στις μικρές συσκευές σε σχέση με την κατανάλωση που προκύπτει από τη χρήση τους. Επομένως, η επαναχρησιμοποίηση αυτών των συσκευών παρέχει σημαντική εξοικονόμηση σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων. Η σύγκριση κλάσεων ενεργειακής απόδοσης, επιτρέπει στους χρήστες να λαμβάνουν συγκεκριμένες αποφάσεις σχετικά με το προϊόν, ενώ η χρήση προσέγγισης αξιολόγησης με βάση τη μέση συσκευή παρέχει πιο γενικές πληροφορίες. Αυτά τα ευρήματα υποστηρίζουν τις περιβαλλοντικά συνειδητές επιλογές των καταναλωτών μεταξύ νέων και μεταχειρισμένων συσκευών. Βοηθούν επίσης στον εντοπισμό και στην ταξινόμηση επαναχρησιμοποιήσιμων εξαρτημάτων σε χώρους συλλογής, συμβάλλοντας στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την τελική διάθεση των συσκευών.

Στην εργασία [52] μελετάται ο τρόπος με τον οποίο η κυκλική οικονομία μπορεί να ενισχύσει την οικονομική ανάπτυξη και να μειώσει τη ζημιά στο περιβάλλον. Η προώθηση της επαναχρησιμοποίησης, της ανακαίνισης και της ανακατασκευής μπορεί να αυξήσει την επάρκεια των πόρων διατηρώντας την αξία της συσκευής, του εξαρτήματος και των υλικών. Ωστόσο, οι προσπάθειες να ποσοτικοποιηθούν αυτές οι κυκλικές επιδράσεις έχουν αποφέρει ασαφή αποτελέσματα. Αυτή η ερευνητική προσέγγιση εστιάζει στις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις συσκευών στη λογική σχεδιασμού της κυκλικής οικονομίας και των επιχειρηματικών μοντέλων. Η έμφαση δίνεται στην επαναχρησιμοποίηση, στην ανακαίνιση και στην αναπαραγωγή. Η χαρτογράφηση έχει χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν αυτές τις συσκευές. Οι περισσότερες μελέτες εξετάζουν μόνο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανακατασκευής νέων συμβατικών συσκευών. Η ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων της ανασυγκρότησης είναι ζωτικής σημασίας. Οι μελέτες LCA σπάνια περιλαμβάνουν στρατηγικές σχεδιασμού συσκευών υπό το πρίσμα της κυκλικής οικονομίας με πρακτικές όπως η ανακατασκευή, η αναβάθμιση συστημάτων προϊόντων και υπηρεσιών ούτε υπό το πρίσμα άλλων κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων. Τα προϊόντα κυκλικού επιχειρηματικού μοντέλου έχουν λάβει μικρή ερευνητική προσοχή. Πολλές εκτιμήσεις χρησιμοποιούν στατικές αναλύσεις, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψη τη μελλοντική ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επομένως, οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις ενδέχεται να μην αξιολογούν με ακρίβεια την πραγματική αξία των κυκλικών προϊόντων και υπηρεσιών και τα πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη τους σε έναν μόνο κύκλο. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι χρειάζονται περισσότερες αξιολογήσεις LCA για την καλύτερη αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των κυκλικών συσκευών. Πρόοδος μπορεί να σημειωθεί μόνο όταν οι κυκλικές συσκευές, τα επιχειρηματικά μοντέλα και η κυκλική οικονομία μπορούν να

κάνουν ισχυρούς περιβαλλοντικούς ισχυρισμούς. Η αναφορά [53] συγκρίνει πολιτικές και πρακτικές που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση ΑΗΗΕ στην ΕΕ και την Κίνα. Η επαναχρησιμοποίηση θεωρείται ευρέως πιο συμφέρουσα από την ανάκτηση υλικών και ενέργειας στην ιεραρχία των αποβλήτων, ειδικά για τα ΑΗΗΕ. Ωστόσο, η πρακτική χρήση της επαναχρησιμοποίησης ως λύσης στο τέλος του κύκλου ζωής των συσκευών δεν έχει υιοθετηθεί ευρέως. Αυτή η συγκριτική ανάλυση μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό των κενών γνώσης και των απαιτήσεων πολιτικής για επαναχρησιμοποίηση, καθώς και στην επιλογή των κατάλληλων στρατηγικών.



Σχήμα 2.10. Ποσότητα επαναχρησιμοποιούμενων ΑΗΗΕ στην EU28 [56]

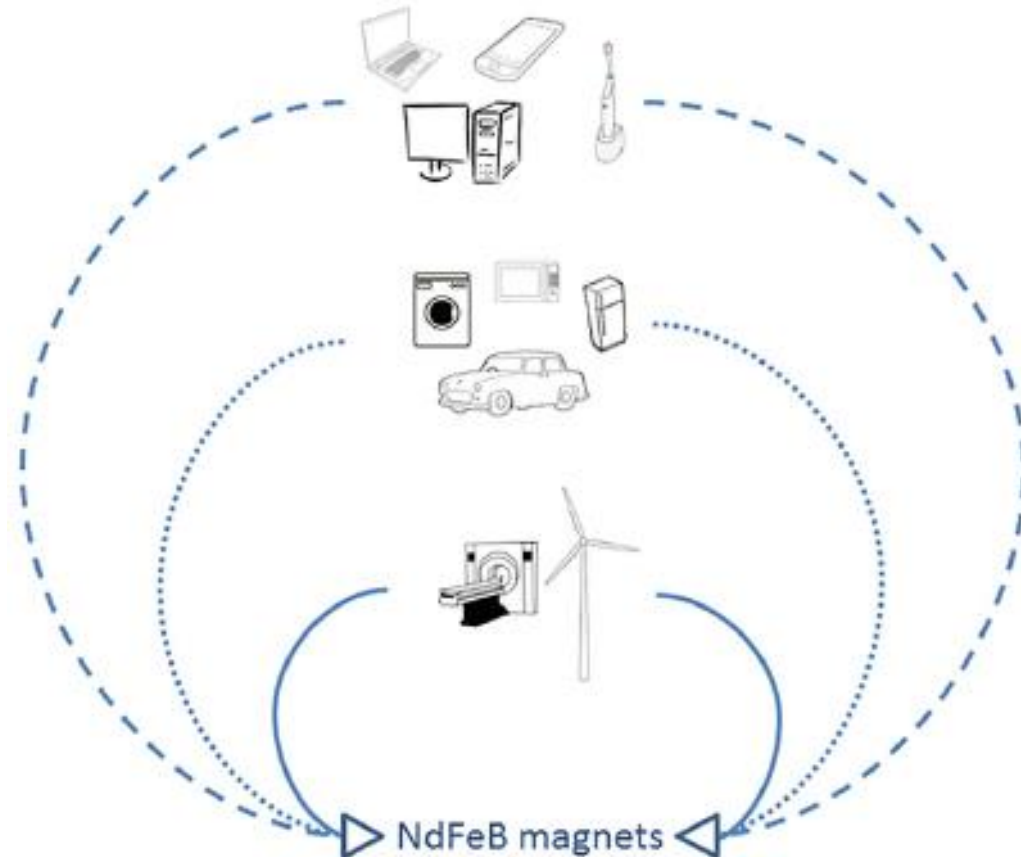
Επιπλέον, αυτή η έρευνα αποκαλύπτει ότι ενώ υπάρχουν κατάλληλες οδηγίες και πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση, υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη συστηματοποίηση. Αυτές οι πολιτικές πρέπει να προσαρμοστούν για την αντιμετώπιση των υφιστάμενων προκλήσεων. Επίσης παρουσιάζεται μια σειρά συστάσεων πολιτικής με στόχο την προώθηση της βιώσιμης διαχείρισης των ΑΗΗΕ. Αυτές οι συστάσεις επικεντρώνονται στην ενσωμάτωση της στρατηγικής επαναχρησιμοποίησης στις υπάρχουσες πολιτικές διαχείρισης και στην προώθηση της συμμετοχής εξωτερικών παραγόντων στην επαναχρησιμοποίηση. Είναι προφανές ότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη διερεύνηση των παραγόντων που συμβάλλουν ή εμποδίζουν την πρακτική της επαναχρησιμοποίησης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας στη μελέτη [54] καταδεικνύουν ότι οι πηγές μεταλλικών πόρων είναι υλικά ζωτικής σημασίας σε πολλές οικιακές συσκευές και ΑΗΗΕ, αλλά από την άλλη, η εξόρυξη, η προμήθεια και η διάθεση μετάλλων έχουν συχνά αρνητικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να βελτιωθεί η βιωσιμότητα της παραγωγής και χρήσης τους. Η συζήτηση για την κυκλική οικονομία αποτελεί μέρος μιας σειράς στρατηγικών και μέτρων που στοχεύουν στην ενίσχυση της βιωσιμότητας των πόρων. Για την αξιολόγηση της δυνατότητας βελτίωσης της βιωσιμότητας των μετάλλων στις ηλεκτρικές συσκευές, χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο θεωρητικό πλαίσιο. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να εξεταστούν οι ευκαιρίες και τα εμπόδια

που σχετίζονται με την εφαρμογή στρατηγικών για την επιβράδυνση και τον περιορισμό της κίνησης των υλικών μέσα σε κύκλους. Σε μια κυκλική οικονομία, η έρευνα αειφορίας επικεντρώνεται κυρίως στις στρατηγικές εξόρυξης, παραγωγής, ανακύκλωσης και διανομής, ενώ η πώληση και η χρήση συσκευών θεωρούνται λιγότερο σημαντικές. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η σημασία αυτών των στρατηγικών στην οδήγηση αλλαγών στα πρότυπα κατανάλωσης. Η ανάλυση διερευνά διάφορες στρατηγικές που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής και τη βιωσιμότητα των συσκευών, όπως η επέκταση της διάρκειας ζωής, η αύξηση της ανθεκτικότητας, η δυνατότητα επισκευής και μεταπώλησης, η επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων και η υιοθέτηση μεθόδων που απαιτούν λιγότερο υλικό, όπως η ψηφιοποίηση και η παροχή υπηρεσιών. Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να εξετάσει τις στρατηγικές με τις μεγαλύτερες δυνατότητες βελτίωσης της αποδοτικότητας των υλικών σε συσκευές που περιέχουν ορυκτά. Αυτό επιτυγχάνεται με την αξιολόγηση της τρέχουσας εφαρμογής αυτών των στρατηγικών και τον εντοπισμό των φραγμών και των ευκαιριών που συνδέονται με την επέκτασή τους. Πολλές στρατηγικές έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε αυτόν τον τομέα, με την παράταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος να είναι η στρατηγική με τις περισσότερες δυνατότητες για περαιτέρω εφαρμογή.

Ο αντίκτυπος των επιτυχημένων διαδικασιών ανασυγκρότησης, ιδιαίτερα η επιρροή του αρχικού κατασκευαστή και των ανεξάρτητων φορέων, εξετάζεται στην έρευνα [55]. Η ανασυγκρότηση, ως μέθοδος διάθεσης απορριμμάτων, έχει γίνει σημαντική λόγω των περιβαλλοντικών και οικονομικών πιέσεων που αντιμετωπίζουν οι βιομηχανίες. Η διερεύνηση εμποδίων στην ευρεία υιοθέτηση της ανακατασκευής και του αντικτύπου τους στη διαδικασία σχεδιασμού για αναπαραγωγή χρήζουν μελέτης. Έτσι θα αντιμετωπιστούν τεχνικά και μηχανικά εμπόδια, ενώ θα εντοπιστούν λειτουργικές και παραγωγικές προκλήσεις. Μία έρευνα σχετικά με αυτές τις προκλήσεις και τον πιθανό αντίκτυπό τους στην αποτελεσματικότητα της ανασυγκρότησης, ειδικά στο πλαίσιο της σύνδεσης μεταξύ OEM και ανεξάρτητων φορέων, παρουσιάζεται στην [56]. Η μελέτη που διεξήχθη στην εργασία [57] εξετάζει τη διαδικασία ανακατασκευής των συσκευών και διερευνά τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Αξιολογούνται οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις της ανακατασκευής συσκευών σε σύγκριση με την αγορά νέων, εστιάζοντας σε ηλεκτρικά ψυγεία, πλυντήρια πιάτων και πλυντήρια ρούχων. Τα ευρήματα δείχνουν ότι, ενώ επιτυγχάνεται εξοικονόμηση κόστους κατά την παραγωγή, η ανακατασκευή της συσκευής τελικά καταναλώνει περισσότερη ενέργεια. Τα οικονομικά κίνητρα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενθάρρυνση των καταναλωτών να αναπαράγουν και να επαναχρησιμοποιούν απαρχαιωμένες συσκευές. Η αναφορά [58] επικεντρώνεται στην κατηγοριοποίηση συσκευών με βάση τη βέλτιστη κυκλική χρήση κρίσιμων πόρων όπως το νεοδύμιο (Nd) και το δυσπρόσιο (Dys), που είναι βασικά συστατικά των μαγνητών νεοδυμίου. Η μελέτη αναλύει διάφορες επιλογές για την κυκλική κυκλοφορία των πόρων, συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησης, της ανακαίνισης, της αναπαραγωγής και της ανακύκλωσης. Εισάγεται μια μέθοδος ταξινόμησης για τα προϊόντα για τη βελτίωση της κατανόησης της κυκλικής χρήσης πόρων. Μια μελέτη περίπτωσης για μαγνήτες νεοδυμίου καταδεικνύει αυτήν την προσέγγιση. Η προτεινόμενη μεθοδολογία διευκολύνει την κατηγοριοποίηση των συσκευών με βάση τη βέλτιστη κυκλική χρήση των πόρων. Για την περαιτέρω εφαρμογή αυτής της προσέγγισης ταξινόμησης συσκευών, απαιτείται ένα θεωρητικό πλαίσιο για την ταξινόμηση των ανθρωπογενών πόρων, εμπνευσμένο από το σύστημα ταξινόμησης που χρησιμοποιείται για τους φυσικούς ορυκτούς πόρους από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Ηνωμένων Πολιτειών. Το πλεονέκτημα της ταξινόμησης των ανθρωπογενών πόρων είναι η ικανότητά του να αναγνωρίζει και να κατηγοριοποιεί τις συσκευές με βάση την οικονομική και τεχνική σκοπιμότητά τους σε διαφορετικές συνθήκες και πλαίσια. Η υιοθέτηση της ανακατασκευής ως μεθόδου διάθεσης απορριμμάτων έχει

γίνει σημαντική λόγω των αυξανόμενων οικολογικών και οικονομικών πιέσεων που αντιμετωπίζουν οι βιομηχανίες. Ως μέρος μιας ερευνητικής προσπάθειας που επικεντρώθηκε στην κατανόηση του μοντέλου πλατφόρμας σχεδίασης αναπαραγωγής (RDPM), πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση για τον εντοπισμό των φραγμών που εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτηση της ανακατασκευής και τον αντίκτυπό τους στη διαδικασία σχεδιασμού για αναπαραγωγή (DFR).



Σχήμα 2.11. Προϊόντα που περιλαμβάνουν σπάνιες γαίες [61]

Εκτός από την αντιμετώπιση τεχνικών και μηχανικών εμποδίων, η έρευνα αποκάλυψε, επίσης, λειτουργικές και παραγωγικές προκλήσεις που χρήζουν προσοχής. Επιπλέον, διεξάγεται συνεχής έρευνα για τη διερεύνηση του αντίκτυπου αυτών των προκλήσεων στην αποτελεσματικότητα των εργασιών ανακατασκευής, ειδικά στο πλαίσιο της σχέσης μεταξύ OEM και ανεξάρτητων φορέων στον χώρο της ανακατασκευής.

Η εργασία [59] επικεντρώνεται στη μελέτη της χρήσης ενός εργαλείου σχεδιασμού για την αξιολόγηση της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης προκειμένου να βελτιωθούν τα σενάρια κλειστού κύκλου για συσκευές που δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί αυξανόμενη έμφαση στην ενσωμάτωση αρχών σχεδιασμού με περιβαλλοντική συνείδηση σε διάφορους κλάδους, ιδιαίτερα σε αυτούς που εξετάζουν τη δυναμική. Η αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής και την προώθηση του βιώσιμου πλαισίου «3R» για την ανακύκλωση και την αναπαραγωγή. Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης μιας συσκευής είναι ένα κρίσιμο στάδιο στον κύκλο ζωής της, καθώς περιλαμβάνει την αξιολόγηση στρατηγικών για τη διαχείριση του τέλους ζωής (EoL) και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η εξέταση σεναρίων EoL κατά τη φάση σχεδιασμού είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τους σχεδιαστές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη δομή της συσκευής και στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων. Ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση (DFD) είναι μια

αποτελεσματική προσέγγιση για τη μείωση του χρόνου και του κόστους που σχετίζεται με την αποσυναρμολόγηση. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη πρακτικών πόρων για την καθοδήγηση της αποσυναρμολόγησης συσκευών και την προώθηση σεναρίων EoL. Αυτή η έρευνα παρουσιάζει μια νέα προσέγγιση DFD που βοηθά τους σχεδιαστές να αξιολογήσουν την αποσυναρμολόγηση της συσκευής. Το εργαλείο χειρίζεται αποτελεσματικά σενάρια EoL που σχετίζονται με βιομηχανικά απόβλητα νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού και διευκολύνει τη συνεργασία. Η αξιολόγηση των σεναρίων EoL δίνει ιδιαίτερη σημασία στο κόστος αποσυναρμολόγησης. Έξι δείκτες χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της οικονομικής και περιβαλλοντικής σκοπιμότητας των στρατηγικών EoL, επιτρέποντας τη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων και προωθώντας την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση ή την αναπαραγωγή. Αυτές οι αξιολογήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη ενός συγκεκριμένου σεναρίου EoL κατά τη φάση σχεδιασμού. Η αρχική εξέταση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης εργαλείων λογισμικού και δεικτών. Η εφαρμογή αυτής της προσέγγισης στον επανασχεδιασμό τους έχει δείξει σημαντικές μειώσεις τόσο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσο και στο κόστος αποσυναρμολόγησης. Κατά συνέπεια, το νέο προϊόν περιλαμβάνει σημαντικό ποσοστό εξαρτημάτων που τηρούν έναν κύκλο ζωής κλειστού κύκλου. Παράλληλα, η ερευνητική προσέγγιση [60] εξετάζει τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη από την επαναχρησιμοποίηση ΑΗΗΕ στην Ελβετία. Χρησιμοποιείται μια απλοποιημένη αξιολόγηση του κύκλου ζωής και του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Η επαναχρησιμοποίηση είναι μια πρωταρχική προσέγγιση για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον ΑΗΗΕ λόγω της μικρής διάρκειας ζωής και της εντατικής παραγωγής πόρων. Μια βελτιωμένη μεθοδολογία αξιολόγησης του κύκλου ζωής έχει ενσωματωθεί για την εκτίμηση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο ακίνητο. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για διαφορετικούς τύπους συσκευών, όπως πλυντήρια ρούχων και ψυγεία. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η ηλικία της συσκευής παίζει κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησής της. Από οικονομική άποψη, η ενσωμάτωση πρακτικών επαναχρησιμοποίησης οδηγεί σε μειώσεις κόστους. Ως εκ τούτου, από οικονομική άποψη, όλες οι συσκευές, εκτός από τα ψυγεία, μπορούν να μεταφερθούν χωρίς καμία οικονομική ανταλλαγή για να είναι οικονομικά βιώσιμες. Επιπλέον, είναι σημαντικό να εξεταστεί εάν η αγορά μεταχειρισμένου εξοπλισμού αντικαθιστά μια νέα συσκευή ή συμβάλλει στην αύξηση του συνολικού αποθέματος συσκευών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ένα συλλογικό σενάριο βελτίωσης. Είναι ζωτικής σημασίας να υιοθετηθεί μια προορατική προσέγγιση για τη διάδοση πληροφοριών και την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις δυνατότητες επισκευής και επαναχρησιμοποίησης.

### 2.3.3 Ανακύκλωση

Ο όρος «ανακύκλωση» αναφέρεται στην πρακτική της χρήσης αποβλήτων ως πολύτιμοι πόροι. Για την αποτελεσματική ελάττωση των αποβλήτων, θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στο πρώτο βήμα του πλαισίου «3R», τη μείωση μετά την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση. Η πρωτοβουλία «3R» στοχεύει στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών στη διαχείριση αποβλήτων. Η υλοποίηση που περιγράφεται στην αναφορά [61] περιλαμβάνει τη χρήση μικτού ακέραιου προγραμματισμού για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της υποδομής και της αντίστροφης εφοδιαστικής δικτύου, με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, συμπεριλαμβανομένου του κόστους μεταφοράς, λειτουργίας, σταθεροποίησης, διάθεσης, υγειονομικής ταφής και εσόδων από την πώληση ανακτημένων υλικών. Πρόσφατα εκδόθηκε ένας κανονισμός στην Ταϊβάν που απαιτεί από τους κατασκευαστές και τους

εισαγωγείς οικιακών συσκευών να αναλάβουν την ευθύνη για την ανάκτηση–επιστροφή τους. Καθώς η περιοχή εξυπηρέτησης επεκτείνεται, η σημασία του σχεδιασμού συστημάτων αντίστροφης εφοδιαστικής θα ενταθεί. Η εργασία [62] εξετάζει τον ταχέως αναπτυσσόμενο παγκόσμιο βιομηχανικό τομέα παραγωγής ΗΗΕ, ο οποίος έχει οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής αποβλήτων. Για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την ανεπαρκή διαχείριση των ΑΗΗΕ, πολλές χώρες και οργανισμοί έχουν θεσπίσει νόμους για τη βελτίωση της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης υλικών. Τα μέτρα αυτά στοχεύουν στη μείωση της αποθήκευσης στις χωματερές. Η ανακύκλωση των αποβλήτων, ιδιαίτερα του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του όγκου γενικά των αποβλήτων και την ανάκτηση πολύτιμων υλικών. Ο τομέας των ηλεκτρονικών είναι ποικίλος και πολύπλοκος και απαιτεί ένα οικονομικά αποδοτικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο σύστημα ανακύκλωσης.



Σχήμα 2.12. Στάδιο χειροκίνητης διαδικασίας διαχωρισμού ηλεκτρονικών αποβλήτων [63]

Αυτή η ερευνητική εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των διαδικασιών ανακύκλωσης για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ηλεκτρονικών αποβλήτων, της διαλογής και των διαφόρων στρατηγικών και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση υλικών. Διερευνώνται, επίσης, οι πρόσφατες επιστημονικές εξελίξεις στη βιομηχανία ανακύκλωσης στην Ινδία, εστιάζοντας στην έρευνα παραγωγής, στην κατηγοριοποίηση τεχνικών ανάκτησης και στις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των ΑΗΗΕ. Στην ερευνητική εργασία [64] εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της απόσυρσης παραγωγής από τρίτους. Στόχος είναι να δημιουργηθεί ένας ισχυρός τομέας ανακύκλωσης τρίτων με την εφαρμογή ενός πληροφοριακού συστήματος ανακύκλωσης και ενός μηχανισμού χρηματοδότησης. Συγκεκριμένα, αναλύονται τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για την υλοποίηση της ΕΡΡ με διαφορετικούς τύπους ως σύστημα απόσυρσης: άμεση ευθύνη από τους κατασκευαστές, κοινοπραξία παραγωγών που μοιράζονται την ευθύνη και συμβάσεις με εξωτερικές οντότητες γνωστές ως "παραγωγοί ευθύνης προϊόντος". Αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι η πιο αποτελεσματική για την επίτευξη στόχων εκτεταμένης ευθύνης με πρωτοβουλία του



παραγωγού για πολλές κατηγορίες συσκευών. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, η μελέτη διεξάγει διεξοδική ανάλυση των πλεονεκτημάτων και εμποδίων που συνδέονται με τρίτους ανακυκλωτές και προσπαθεί να δημιουργήσει μια δομή για έναν τομέα, ο οποίος περιλαμβάνει τις συγκεκριμένες οντότητες.

Στη συνέχεια, η εργασία [65] εξετάζει την επιρροή και την αποτελεσματικότητα της νομοθεσίας για την «Εκτεταμένη Ευθύνη Παραγωγού» στις παγκόσμιες ροές ΑΗΗΕ και αξιολογεί τον αντίκτυπο πολιτικών, όπως το EPR, στις μελλοντικές παγκόσμιες ροές του ΑΗΕ. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής βασίζονται στην τοπική διάθεση ως επικρατούσα μέθοδο, αλλά εξάγουν μεγαλύτερες ποσότητες αποβλήτων στην Κίνα και στην Ινδία. Αυτό αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Η ανακύκλωση υλικών σε μια παγκοσμιοποιημένη οικονομία είναι ένα πρόσφατο φαινόμενο που υποστηρίζεται ενεργά στην ΕΕ. Ενώ αναγνωρίζεται ότι η ανακύκλωση υλικών είναι μια προτιμώμενη προσέγγιση σε σύγκριση με τις εξαγωγές, απαιτείται περαιτέρω πρόοδος στην επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων, ιδίως με τη μορφή υψηλού επιπέδου περιφερειακής ανάκτησής τους, στοχεύοντας στη βιώσιμη ανάπτυξη. Στην αναφορά [66] χρησιμοποιείται ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού για την ελαχιστοποίηση του κόστους επεξεργασίας, σχετιζόμενο με διάφορα ηλεκτρικά οικιακά απόβλητα. Αυτό στοχεύει κυρίως στον προσδιορισμό της βέλτιστης τοποθέτησης των εγκαταστάσεων δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής και των αντίστοιχων ροών υλικών. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί αξιοσημείωτη βελτίωση στην αντιμετώπιση του ζητήματος των αποβλήτων που παράγονται από ΑΗΗΕ, χάρη στις ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία και στην ανάπτυξη της αγοράς σε αυτόν τον κλάδο. Για να μετριαστούν οι αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία, σημαντικό είναι να διασφαλιστεί η σωστή διαχείριση, η επεξεργασία και η διάθεση των αποβλήτων που παράγονται από αυτές τις συσκευές στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Επίσης, απαιτείται περαιτέρω πρόοδος στην επαναχρησιμοποίηση και στην περιφερειακή ανάκτηση αποβλήτων για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.

Επιπλέον, η μελέτη [67] εξετάζει την αυξανόμενη χρήση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας που απαιτεί τη συλλογή και την ανακύκλωση χρησιμοποιημένων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Η μελέτη δείχνει ότι υπάρχει σημαντική ανάγκη για επιστημονική έρευνα σχετικά με τις λειτουργικές επιπτώσεις αυτής της νομοθεσίας με βάση τις παρατηρήσεις του τρόπου με τον οποίο οι παραγωγοί ανταποκρίνονται στους νόμους για τα ηλεκτρονικά απόβλητα. Ακόμη, συνδυάζει τον σχεδιασμό συστημάτων και την οικονομική μοντελοποίηση, έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει αποτελεσματικές στρατηγικές ανάκτησης ηλεκτρονικών αποβλήτων για διαφορετικές καταστάσεις και να παρέχει καθοδήγηση για τις βιομηχανίες στη διαδικασία παραγωγής. Η ανάλυση της νομοθεσίας για την ανάκτηση συσκευών ηλεκτρονικών αποβλήτων αποκαλύπτει σημαντικές ανησυχίες και ερευνητικές ανάγκες, καθώς διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας των δεσμεύσεων μέσω νόμων.

Η εργασία [68] εστιάζει στην κατανόηση της περίπλοκης φύσης της αλυσίδας εφοδιασμού οικιακών συσκευών της Βραζιλίας και των σχετικών πράσινων πρακτικών της. Ενώ οι κατασκευαστές στις αναπτυσσόμενες χώρες υιοθετούν συνήθως περιβαλλοντικά βιώσιμες πρακτικές, η εφαρμογή τέτοιων πρακτικών σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως η Βραζιλία, είναι αβέβαιη. Στόχος είναι να εντοπίσει και να εξετάσει τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές οικιακών συσκευών για την εφαρμογή της πράσινης διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η μελέτη περιλαμβάνει πέντε κατασκευαστές και δύο εμπορικές ενώσεις, ως μελέτες περίπτωσης, συλλέγοντας ολοκληρωμένα δεδομένα μέσω εις βάθος συνεντεύξεων για διάφορες πτυχές, όπως η περιβαλλοντική διαχείριση, η αντίστροφη εφοδιαστική, οι πράσινες προμήθειες, ο οικολογικός σχεδιασμός, η αξιολόγηση του κύκλου ζωής, η διαχείριση απορριμμάτων και



η πράσινη συνείδηση. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα εστίασαν κυρίως στη διαχείριση αποβλήτων ως κύρια τεχνική τους, με λιγότερες εταιρείες να υιοθετούν πρακτικές πράσινων αγορών και αξιολόγησης του κύκλου ζωής. Διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στην εφαρμογή συγκεκριμένων πτυχών διαχείρισης της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού (GSCM) μεταξύ εταιρειών με ή χωρίς πιστοποίηση ISO 14001. Η εργασία παρέχει επίσης προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού στη βιομηχανία οικιακών συσκευών.

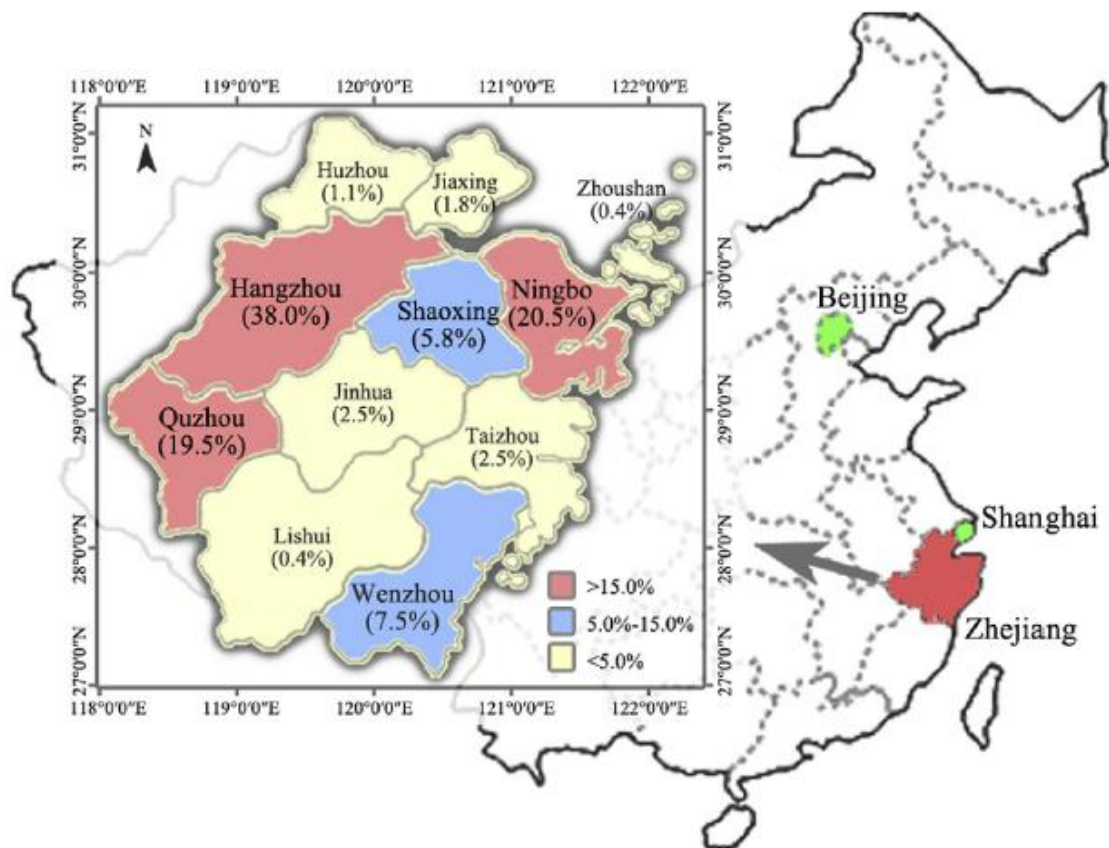
Παράλληλα, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, προκύπτει ότι η ταξινόμηση της αναπαραγωγής συσκευών ήταν στο επίκεντρο των προτεινόμενων πρακτικών. Εξετάζοντας περιπτώσιολογικές μελέτες εταιρειών ανακατασκευής στο Ηνωμένο Βασίλειο, εντοπίστηκαν σημαντικοί παράγοντες και εμπόδια [69]. Η μεταποιητική βιομηχανία είναι ένας κρίσιμος οικονομικός τομέας που καλύπτει διαφορετικά τμήματα της αγοράς και παρέχει κοινωνικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Οι ανακατασκευασμένες συσκευές περνούν από διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες, όπως αποσυναρμολόγηση, καθαρισμό, επιθεώρηση, ανακατασκευή και επανατοποθέτηση. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία για αυτό το θέμα προσφέρει διάφορες προοπτικές, ερμηνείες, ορισμούς και περιγραφές της έννοιας της αναπαραγωγής. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι να πραγματοποιήσει μια διεξοδική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και να αναλύσει την ορολογία που σχετίζεται με την ανακατασκευή. Συνήθως χρησιμοποιούνται σαφείς ορισμοί για διαδικασίες όπως η ανακύκλωση, η ανακαίνιση και η αναδιαμόρφωση. Αυτοί οι ορισμοί παρέχουν ένα σταθερό ερευνητικό πλαίσιο για περαιτέρω εξέταση των διαδικασιών. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι βασικοί επιχειρηματικοί παράγοντες που αντιμετωπίζει η βιομηχανία αναπαραγωγής μέσω της εξέτασης σχετικών πρακτικών και περιπτώσιολογικών μελετών. Η εφαρμογή πρακτικών αντίστροφης εφοδιαστικής και ο οικολογικός σχεδιασμός συσκευών στη διαχείριση της πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας επιτρέπει στις εταιρείες να επιδείξουν τη δέσμευσή τους στο περιβάλλον. Το ζήτημα της δημιουργίας ΑΗΗΕ εγείρει το ζήτημα των συσκευών ανάκτησης για την εξοικονόμηση υλικών και ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην αρχική τους παραγωγή. Οι επιλογές για την απόρριψη συσκευών βάσει αντίστροφης σχεδιαστικής εξαρτώνται από την υπολειπόμενη αξία τους και τον βαθμό στον οποίο το επαναχρησιμοποιήσιμο περιεχόμενο μπορεί να εισέλθει ξανά στην αλυσίδα. Επίσης, διερευνάται ο αντίκτυπος του σχεδιασμού της οικολογικής συσκευής και της δέσμευσης πόρων στην απόρριψη στην αντίστροφη εφοδιαστική, ενώ πραγματοποιείται μια εμπειρική ανάλυση που βασίζεται σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με πιστοποιημένες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κατά ISO14001 στη Μαλαισία. Τα ευρήματα δείχνουν ότι ο σχεδιασμός κατά την αποσυναρμολόγηση είναι κρίσιμος για την αποτελεσματική εξαγωγή πολύτιμων πόρων κατά την απόρριψη της συσκευής. Ωστόσο, ο αντίκτυπος του περιβαλλοντικού σχεδιασμού και της δέσμευσης πόρων στις δραστηριότητες επισκευής και διάθεσης είναι σχετικά μικρός. Τα δεδομένα υποδεικνύουν μια ισχυρή σύνδεση μεταξύ του σχεδιασμού της πράσινης συσκευής και της διανομής τους στην αντίστροφη εφοδιαστική. Ως εκ τούτου, είναι σκόπιμο για τις εταιρείες να υιοθετήσουν περιβαλλοντικές προληπτικές στρατηγικές για να επωφεληθούν από τα πιθανά οφέλη από τη χρήση πόρων που επί του παρόντος διατίθενται ακατάλληλα.

Η μελέτη [70] εξετάζει τη σημασία της ενσωμάτωσης του περιβαλλοντικού σχεδιασμού στις εργασίες επισκευής και ανακύκλωσης οικιακών συσκευών, καθώς και τον αντίκτυπο του οικολογικού σχεδιασμού στην αντίστροφη εφοδιαστική. Βασίζεται σε εμπειρική ανάλυση μελετών που έγιναν σε πιστοποιημένες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Επεκτείνοντας την ανάλυση, η αναφορά [71] παρουσιάζει μια προτεινόμενη δομή που βασίζεται στη βιβλιογραφία για την αντίστροφη εφοδιαστική για τον εντοπισμό των διαφόρων πτυχών που επηρεάζουν τη δραστηριότητα της αντίστροφης διαδικασίας για τους κατασκευαστές οικιακών συσκευών. Έχει διεξαχθεί εκτενής έρευνα

στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία σχετικά με τις διαδικασίες αντιστροφής στην εφοδιαστική, στην αναπαραγωγή, στην ανάκτηση συσκευών και στην ανακύκλωση μετά το πέρας του κύκλου ζωής τους. Οι ανησυχίες στην αντίστροφη εφοδιαστική περιλαμβάνουν την ποιότητα, την αξιοπιστία, τη συντήρηση, την εγγύηση των ανακτημένων συσκευών και τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την ανακατασκευή παρέχοντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση σχετικά με τις προκλήσεις και τις αξιολογήσεις που σχετίζονται με τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού κυκλώματος, καθώς και την ανακατασκευή ή τη χρήση χρησιμοποιημένων συσκευών.

Επιπλέον, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην εργασία [72] που παρουσιάζει ένα εφαρμοσμένο μοντέλο ενός συστήματος αντίστροφης εφοδιαστικής για ΑΗΗΕ. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει έναν έμπορο και ένα κατάστημα λιανικής πώλησης και στοχεύει στην παρακολούθηση των λειτουργιών και των σχέσεων μεταξύ αυτών των οντοτήτων. Επιπλέον, η μελέτη παρέχει μια επισκόπηση των κατευθυντήριων γραμμών ως προς τα ΑΗΗΕ που πρέπει να ληφθούν από τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές. Ενώ η επιθυμία να επεκταθεί η αντοχή των συσκευών είναι ευρέως αναγνωρισμένη στον ακαδημαϊκό κόσμο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή μπορεί να μην είναι πάντα η πιο ωφέλιμη προσέγγιση για συσκευές που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Η αποτελεσματικότητά τους συνήθως μειώνεται όσο παρουσιάζουν φθορά, επομένως η αντικατάστασή τους με εναλλακτικές λύσεις, ενεργειακά αποδοτικότερες, θα μπορούσε ενδεχομένως να αποφέρει μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, επί του παρόντος υπάρχει έλλειψη μιας καθολικά αποδεκτής και τυποποιημένης μεθοδολογίας για την αντιμετώπιση και την επίλυση συγκρούσεων στις πρακτικές διαχείρισης συσκευών. Αυτό το έγγραφο παρουσιάζει μια καινοτόμο προσέγγιση για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παράταση της διάρκειας ζωής των συσκευών που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Η μεθοδολογία αξιολογεί δύο σενάρια με διαφορετική διάρκεια ζωής για τη συσκευή, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής, για να συγκρίνει την απόδοση της συσκευής-στόχου με πιθανές εναλλακτικές λύσεις.

Η αξιολόγηση λαμβάνει υπ' όψιν κρίσιμους παράγοντες όπως η αντοχή, η κατανάλωση ενέργειας, τα αποτελέσματα της παράτασης της διάρκειας ζωής της συσκευής και τα χαρακτηριστικά της συσκευής που αντικαταστάθηκε. Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς οικολογικού σχεδιασμού από κατασκευαστές ή υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Επίσης, εξετάζεται η δυνατότητα εφαρμογής και η επιτυχία της μεθόδου, λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς, προκλήσεις και πιθανούς τομείς για βελτίωση. Χρησιμοποιούνται τόσο γενικοί όσο και απλοποιημένοι δείκτες. Οι περιπτώσιολογικές μελέτες που παρουσιάστηκαν καταδεικνύουν τη δυνατότητα εφαρμογής και τη συνάφεια του απλοποιημένου δείκτη ανθεκτικότητας στο πλαίσιο των πλυντηρίων ρούχων, καταδεικνύοντας πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη από την παράταση της διάρκειας ζωής των συσκευών σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Η Κίνα αντιμετωπίζει επί του παρόντος τη σημαντική πρόκληση της διαχείρισης της μεγάλης ποσότητας ΑΗΗΕ που παράγεται στη χώρα. Σε απάντηση, οι κρατικές υπηρεσίες έχουν εφαρμόσει νομοθεσία και κανονισμούς που εστιάζουν στην εκτεταμένη ευθύνη του παραγωγού.



Σχήμα 2.13. Ποσοστό ανακυκλωτικής δραστηριότητας σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς στην επαρχία Zhejiang [76]

Αυτά τα μέτρα στοχεύουν στην ενοποίηση πρακτικών σε εταιρείες που ασχολούνται με ΑΗΗΕ, συμπεριλαμβανομένου ενός ολοκληρωμένου δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής που περιλαμβάνει καταναλωτές, συλλέκτες, αποσυναρμολογητές, ανακυκλωτές, παραγωγούς και ανακατασκευαστές. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τυχόν προβλήματα σε οποιαδήποτε από αυτές τις οντότητες μπορεί να παρεμποδίσουν τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Η εργασία [73] παρουσιάζει μια ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης της επεξεργασίας ΑΗΗΕ στην Ινδία. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι να προτείνει πρακτικές συστάσεις για τη βελτίωση της επαναχρησιμοποίησης των ΑΗΗΕ. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμη αναφορά για χώρες που αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις στον κλάδο της ανακύκλωσης. Επίσης εξετάζει την τρέχουσα κατάσταση παραγωγής, συλλογής και ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, καθώς και το επίπεδο ευαισθητοποίησης του κοινού σχετικά με την επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι, ενώ οι κάτοικοι γενικά κατανοούν τους κινδύνους που συνδέονται με τα ΑΗΗΕ, μόνο μια μειοψηφία μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ επίσημων και άτυπων μεθόδων διαχείρισης. Πολλοί άνθρωποι επιλέγουν ανεπίσημα κανάλια συλλογής. Επιπλέον, προτείνεται ένα εννοιολογικό πλαίσιο για το σύστημα αντίστροφης εφοδιαστικής, το οποίο περιλαμβάνει διάφορες οντότητες, όπως ιδιώτες εμπόρους, καταστήματα δεύτερης χρήσης, λιανοπωλητές, ανεπίσημες ανακυκλώσεις και επίσημες επιχειρήσεις ανακύκλωσης. Στόχος είναι να αναλυθεί διεξοδικά η επιχειρησιακή δυναμική και οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ αυτών των οντοτήτων. Εισάγεται μια καινοτόμος μεθοδολογία για τη διεξαγωγή μιας περιβαλλοντικά εστιασμένης ανάλυσης που σχετίζεται με τη ζωή των προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια. Ο στόχος είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα και το εύρος παράτασης της διάρκειας ζωής αυτών των συσκευών. Στην περίπτωση της Φινλανδίας, το άρθρο [74] εξετάζει την εφαρμογή της οδηγίας ΑΗΗΕ, αξιολογώντας συγκεκριμένα το

δίκτυο συλλογής και τις προκλήσεις της αποτελεσματικής διαχείρισης των ΑΗΗΕ. Η ευρωπαϊκή οδηγία για τα ΑΗΗΕ τονίζει την ανάγκη για αποτελεσματικά συστήματα συλλογής για την επίτευξη των στόχων ανάκτησης, αλλά τα επιμέρους κράτη μέλη έχουν ευελιξία στον καθορισμό των υλικοτεχνικών και οργανωτικών μεθόδων για τα καθεστάτα εξαγοράς. Αυτή η εργασία περιγράφει πώς η Φινλανδία εφάρμοσε με επιτυχία την οδηγία ΑΗΗΕ και ανέπτυξε μια ισχυρή υποδομή ανάκτησης.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες αναποτελεσματικές πρακτικές, ιδιαίτερα στα στάδια απόθεσης και συλλογής των ΑΗΗΕ. Η ευαισθητοποίηση των ατόμων προτείνεται ως ένας τρόπος προώθησης περιβαλλοντικά υπεύθυνης συμπεριφοράς και βελτίωσης της απόδοσης των ΑΗΗΕ. Απαιτούνται αποτελεσματικές και αποδοτικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση του ταχέως αναπτυσσόμενου παγκόσμιου ζητήματος των ΑΗΗΕ. Η Κίνα έχει καταβάλει σημαντικές προσπάθειες για την ενίσχυση της ανακύκλωσης τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η πρόοδος στην ανακύκλωση ΑΗΗΕ, συμπεριλαμβανομένων των νομικών, ανακυκλώσιμων και τεχνικών διαδικασιών χρήζει περαιτέρω εξέτασης. Θα πρέπει να υιοθετηθούν προτάσεις για ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανακύκλωσης για την επίτευξη υψηλού ποσοστού επαναχρησιμοποίησης των ΑΗΗΕ σε μελλοντικές προσπάθειες ανάκτησης. Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται σημαντική αύξηση στις παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, ενώ η διάρκεια ζωής αυτών των συσκευών έχει μειωθεί. Η αυξανόμενη παραγωγή ΑΗΗΕ θέτει σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις που απαιτούν προσοχή από μεμονωμένα έθνη. Η εφαρμογή της πολιτικής του ταμείου επεξεργασίας ΑΗΗΕ της Κίνας στην οικονομική και περιβαλλοντική διαχείριση των ΑΗΗΕ, η οποία περιλαμβάνει την εφαρμογή τελών ή επιδοτήσεων σε σχετικούς φορείς, μπορεί να βελτιώσει την οικονομική κατάσταση των δικαιούχων της επιχορήγησης, διατηρώντας παράλληλα τα έσοδα που προέρχονται από τις οικονομικές αμοιβές. Επιπλέον, αυτή η πολιτική έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος ανάκτησης και επεξεργασίας αποβλήτων εξοπλισμού. Προκειμένου να επιτευχθούν οι καθορισμένοι στόχοι ανάκτησης, είναι ζωτικής σημασίας να δημιουργηθούν αποτελεσματικά συστήματα συλλογής, όπως αναφέρεται στην Ευρωπαϊκή οδηγία ΑΗΗΕ. Ωστόσο, η οδηγία προβλέπει μόνο γενικά κριτήρια για τους υποχρεωτικούς στόχους συλλογής και ανακύκλωσης, αφήνοντας τον καθορισμό των μεθόδων υλικοτεχνικής υποστήριξης και οργάνωσης στα επιμέρους κράτη μέλη. Αυτό το έγγραφο επικεντρώνεται στην εφαρμογή της οδηγίας ΑΗΗΕ και στην επακόλουθη ανάπτυξη της υποδομής ανάκτησης στη Φινλανδία. Συζητά επίσης τις προκλήσεις που σχετίζονται με την αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος ανάκτησης ΑΗΗΕ. Η επιτυχής εφαρμογή της οδηγίας ΑΗΗΕ στη Φινλανδία οδήγησε στη δημιουργία ενός νομοθετικού πλαισίου και μιας ισχυρής υποδομής για την ανάκτηση ΑΗΗΕ. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες αναποτελεσματικές πρακτικές, ιδιαίτερα κατά τα στάδια καταγραφής και συλλογής των ΑΗΗΕ. Η αύξηση της ευαισθητοποίησης μεταξύ των ατόμων μπορεί να οδηγήσει σε πιο υπεύθυνη περιβαλλοντικά συμπεριφορά και να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της ανάκτησης ΑΗΗΕ. Δεδομένης της ταχείας παγκόσμιας ανάπτυξης των ΑΗΗΕ, απαιτούνται αποτελεσματικές και αποδοτικές προσεγγίσεις για τη διαχείρισή τους.

Αντιστοίχως, τα άρθρα [75] και [76] αναλύουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με την κινεζική νομοθεσία, τις πρακτικές ανακύκλωσης και το τεχνικό σύστημα για τα ΑΗΗΕ στην Κίνα. Αξιολογούν επίσης το κινεζικό σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων για τον εν λόγω εξοπλισμό, λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική κερδοφορία και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

## 2.4 Κύριες διαδικασίες «3R» πρωτοβουλίας

Οι επόμενες υποενότητες αναλύουν τις βασικές διαδικασίες που υιοθετούνται στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας «3R» υπό το πρίσμα των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.

### 2.4.1 Απαρχαίωση

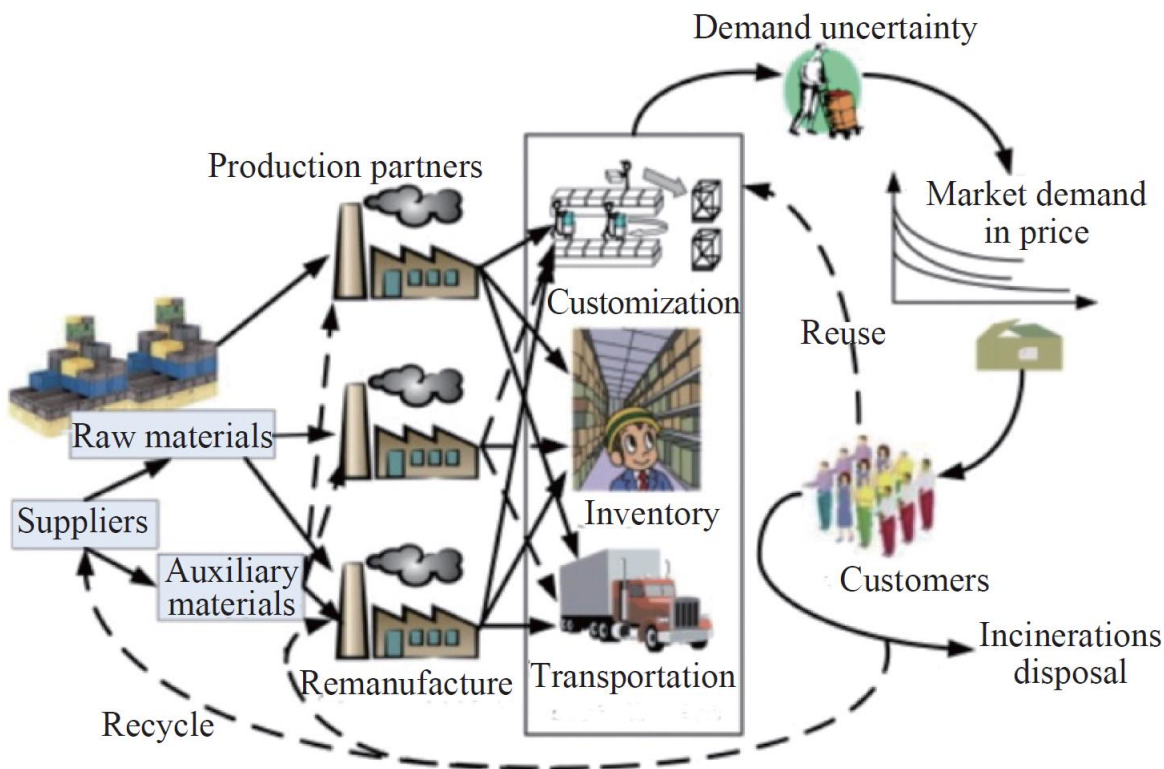
Η απαρχαίωση αναφέρεται στη σταδιακή απώλεια χρησιμότητας ή συνάφειας σε σχέση με νέες σύγχρονες λειτουργίες, η οποία οδηγεί στη διακοπή της χρήσης. Μπορεί επίσης να περιγράψει μια κατάσταση όπου ένα προϊόν είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας αλλά δεν είναι πλέον επιθυμητό. Η αξία και η θέληση για ένα σύστημα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, είτε λόγω της διάρκειας κατοχής του είτε λόγω της εμφάνισης νέων τεχνολογιών ή εξελίξεων στο σχεδιασμό ή άλλων εξωτερικών παραγόντων. Παρά τις πολύπλευρες επιπτώσεις του, ο όρος «απαρχαίωση» σπάνια χρησιμοποιείται ή γίνεται πλήρως κατανοητός, όπως φαίνεται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τις άτυπες συζητήσεις με επαγγελματίες του κλάδου και συμβούλους σε διάφορους τομείς. Ιδιαίτερα στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, αυτός ο όρος χρησιμοποιείται σπάνια.

Πράγματι, στην εργασία [77] διευκρινίζονται οι έννοιες και οι ταξινομήσεις της απαρχαίωσης από πολλαπλές οπτικές γωνίες, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος και της κλιματικής αλλαγής και παρέχοντας μια σύντομη εξήγηση της απαξίωσης ως σύνθετου φαινομένου. Η κατανόηση της ίδιας της έννοιας και των επιπτώσεων της μπορεί να συμβάλει στη βιώσιμη διαχείριση του δομημένου περιβάλλοντος, ειδικά στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής.

Παράλληλα, στην αναφορά [78] περιγράφονται τα οφέλη και υποστηρίζεται η ανακατασκευή συσκευών που προορίζονται για λειτουργικές πωλήσεις. Προκειμένου να βελτιωθεί η διαδικασία ανακατασκευής, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι οι συσκευές που προορίζονται για ανακατασκευή υφίστανται τις απαραίτητες τροποποιήσεις ώστε να ευθυγραμμίζονται, όσο το δυνατόν περισσότερο, με τις απαιτήσεις της διαδικασίας. Τα βήματα καθαρισμού και επισκευής των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών έχουν μεγάλη σημασία στη διαδικασία ανακατασκευής. Για να γίνουν αυτές οι δύο διαδικασίες πιο αποτελεσματικές, είναι ζωτικής σημασίας για τους σχεδιαστές συσκευών να δώσουν προτεραιότητα στην ενσωμάτωση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, όπως η προσβασιμότητα, η δυνατότητα ελιγμών, η ευκολία διαχωρισμού και η ανθεκτικότητα. Στη μελέτη [79] πραγματοποιείται μια στατιστική ανάλυση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών που πρόκειται να ανακυκλωθούν. Γίνεται μια ανάλυση του ζητήματος των ΑΗΗΕ, εστιάζοντας στα οικιακά ηλεκτρονικά απόβλητα και στα εισαγόμενα ηλεκτρονικά είδη λαμβάνοντας υπόψη την ραγδαία εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση της Κίνας, αλλά και εξετάζοντας τα συστήματα ανακύκλωσης, τις πολιτικές και τους κανονισμούς που σχετίζονται με τη διαχείριση ΑΗΗΕ στη χώρα αυτή. Παράλληλα, πραγματοποιείται μια πρόβλεψη των ποσοτήτων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών που πρόκειται να ανακυκλωθούν με βάση στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης και προσφέρεται μια επισκόπηση των νομικών ζητημάτων που σχετίζονται με τα ΑΗΗΕ, τα οποία θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση και επίλυση διαδικαστικών θεμάτων.

Η μελέτη [80] επικεντρώνεται στον σχεδιασμό των διαδικασιών αποσυναρμολόγησης σε βασικούς τομείς, όπως στη μοντελοποίηση της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, στη διαχείριση τεχνητής νοημοσύνης και στην αβεβαιότητα. Οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κακής διαχείρισης ξεπερασμένων ή απορριφθέντων συσκευών είναι ευρέως αναγνωρισμένες. Αυτές οι απορριφθείσες ποσότητες διαθέτουν επαναχρησιμοποιήσιμους πόρους που μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν για οικονομικό όφελος.

Επομένως, η αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση των συσκευών είναι ζωτικής σημασίας για την πράσινη κατασκευή και τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη. Για το σκοπό αυτό παρέχεται μια επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης του σχεδιασμού της ακολουθίας αποσυναρμολόγησης. Η χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου μπορεί να βοηθήσει τους νέους ερευνητές και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να εντοπίσουν αποτελεσματικά την καταλληλότερη προσέγγιση για την επίτευξη επιτυχίας. Επιπλέον, παρέχεται μια επισκόπηση των θεωρητικών θεμελίων και των πρακτικών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την αποσυναρμολόγηση ξεπερασμένων ή απορριφθέντων συσκευών, με έμφαση στην επεξεργασία και με στόχο την ανάπτυξη και την εφαρμογή μεθοδολογιών αποσυναρμολόγησης και ανακατασκευής στο πλαίσιο του 4D. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση κατά 40% στον όγκο των αστικών στερεών αποβλήτων που παράγονται σε χώρες που ανήκουν στον ΟΟΣΑ. Οι προβλέψεις καταδεικνύουν ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί, με πρόσθετη αναμενόμενη αύξηση 40%. Ως απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εφαρμόσει διάφορα μέτρα, συμπεριλαμβανομένης της Οδηγίας ΑΗΗΕ, η οποία επιβάλλει νομικές υποχρεώσεις στους κατασκευαστές και τους εισαγωγείς να διαχειρίζονται και να απορρίπτουν τις συσκευές υπεύθυνα. Στην αναφορά [81] περιγράφονται οι κύριες στρατηγικές για τη μείωση των απορριμμάτων, όπως η επισκευή, η ανακατασκευή, η αναπαραγωγή και η ανακύκλωση. Η ανάλυση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ανακατασκευή αντιπροσωπεύει συχνά μια ισχυρή στρατηγική προσέγγιση λόγω της ικανότητάς της να διατηρεί την ολοκληρωμένη ενέργεια της πρωτογενούς παραγωγής και να μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, επιτρέπει τη διατήρηση της διαδικασίας προστιθέμενης αξίας του παραγωγού, αυξάνοντας την κερδοφορία. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα κύρια τεχνικά εμπόδια στην ανακατασκευή και προτείνονται στρατηγικές σχεδιασμού πλατφόρμας που θα μπορούσαν να μετριάσουν ορισμένα από τα εμπόδια αυτά. Καθορίζεται, επίσης, η έννοια της σχεδίασης πλατφόρμας και η πιθανή εφαρμογή της στο πλαίσιο της ανακατασκευής.



Σχήμα 2.14. Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού κύκλου [83]

Τονίζεται η σημασία της διεξαγωγής συνολικής εξέτασης των προκλήσεων που σχετίζονται με την ανοικοδόμηση, συμπεριλαμβανομένης και της κατασκευής. Συνάμα, μελετάται η



εφαρμογή της πρακτικής «6R» για τη βιωσιμότητα που παρατηρείται εντός του κύκλου λειτουργίας των πλυντηρίων ρούχων, των ψυγείων και των κλιματιστικών σε ένα συγκεκριμένο σενάριο στη Δυτική Αυστραλία. Ταυτόχρονα, στην ερευνητική εργασία [82] πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση του κύκλου ζωής για κάθε ηλεκτρική οικιακή συσκευή. Στη συνέχεια, εισάγονται τρία επιπλέον σενάρια με στόχο την αύξηση του συνδυασμένου ποσοστού επαναχρησιμοποίησης και ανακατασκευής σε ποσοστό 80%, 50% και 30%, αντίστοιχα. Σε κάθε ένα από αυτά τα σενάρια έγιναν συγκεκριμένες εκτιμήσεις σχετικά με την ποσότητα υλικού που θα εξοικονομηθεί από πλυντήρια και ψυγεία. Στο σενάριο 1, υπολογίστηκε ότι θα εξοικονομηθούν 2.487,1 τόνοι υλικού από πλυντήρια ρούχων και 1.594,5 τόνοι από ψυγεία. Στο σενάριο 2, οι εκτιμήσεις ήταν 2.057,5 τόνοι για πλυντήρια ρούχων και 1.044,7 τόνοι για ψυγεία. Στο σενάριο 3, οι εκτιμήσεις ήταν 1.772,2 τόνοι για πλυντήρια ρούχων και 739,9 τόνοι για ψυγεία. Επιπλέον, η επίτευξη ποσοστού ανακύκλωσης 100% για τα κλιματιστικά θα είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση 450,1 τόνων υλικού. Όσον αφορά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η ανακατασκευή πλυντηρίων ρούχων και ψυγείων έχει αποδειχθεί πιο ωφέλιμη σε σύγκριση με την παραγωγή νέων μοντέλων. Συγκεκριμένα, η ανακατασκευή ενός πλυντηρίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά 956,2 κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα, ενώ η ανακατασκευή ψυγείου μειώνει κατά 1.636,3 κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία αναγέννησης και ανακύκλωσης πλυντηρίων ρούχων στα δύο πρώτα σενάρια εξοικονομεί 482.700 MJ και 254.000 MJ ενσωματωμένης ενέργειας, αντίστοιχα. Για τα ψυγεία, οι ποσότητες της ενσωματωμένης ενέργειας που εξοικονομούνται είναι 566.300 MJ στο πρώτο σενάριο, 250.800 MJ στο δεύτερο και 42,29 MJ στο τρίτο. Ωστόσο, παρά τη θετική επίδραση της ανακατασκευής λευκών συσκευών στη μείωση των προκλήσεων για το περιβάλλον, για την πώληση αυτών των ανακαινισμένων συσκευών υπάρχουν, τις περισσότερες φορές, πρακτικές δυσκολίες. Αυτές οι προκλήσεις προκύπτουν από παράγοντες όπως η απαξίωση, οι γρήγορες τεχνολογικές εξελίξεις και η αρνητική αντίληψη που σχετίζεται με τα ανακαινισμένα προϊόντα.

#### 2.4.2 Πλήρης ανακατασκευή

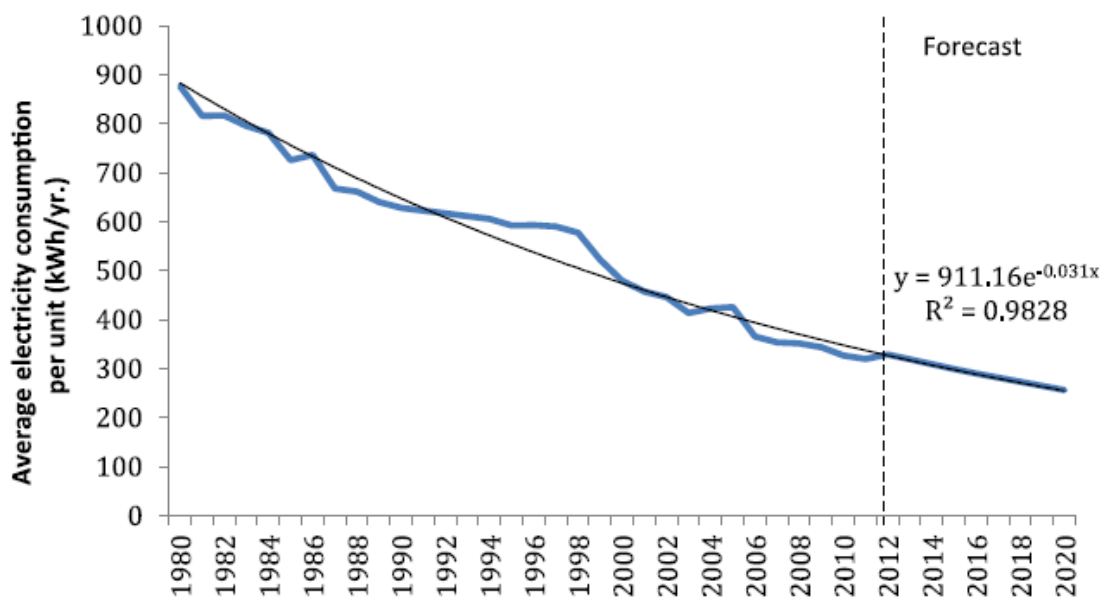
Η πλήρης ανακατασκευή περιλαμβάνει τη συστηματική διαδικασία επισκευής και αποκατάστασης ανταλλακτικών ή συσκευών με σκοπό την επιστροφή τους στην αποθήκη ή στο εμπόριο [83]. Η έννοια της κυκλικής οικονομίας (CE) είναι αρκετά ελκυστική τόσο στην ακαδημαϊκή κοινότητα όσο και στη βιομηχανία λόγω της αυξημένης έμφασης στη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι στρατηγικές παράτασης ζωής της συσκευής έχουν γίνει δημοφιλείς μεταξύ των επαγγελματιών, των ρυθμιστικών αρχών, των υπευθύνων χάραξης πολιτικής και των επιστημόνων σε διάφορους κλάδους στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. Αυτές οι στρατηγικές προσφέρουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα, γι' αυτό η παρούσα μελέτη στοχεύει να διερευνήσει τις τεχνικές που εφαρμόζονται στους κανονισμούς στον κλάδο. Η κύρια εστίαση είναι στην κατανόηση της εφαρμογής των στρατηγικών ανακαίνισης και ανακατασκευής (R/R) σε διαφορετικούς τομείς του κλάδου. Για να επιτευχθεί αυτό, πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, εντοπίζοντας διάφορες εφαρμογές της τεχνολογίας R/R σε βιομηχανίες, όπως οι ηλεκτρικές συσκευές, η αεροδιαστημική/αεροναυπηγική και η αυτοκινητοβιομηχανία. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας σε διαφορετικούς τύπους εξοπλισμού διερευνήθηκε, επίσης, μαζί με πρακτικές, όπως η οικονομική ανάλυση και οι αξιολογήσεις του κύκλου ζωής.

Η μελέτη [84] παρουσιάζει τις παρατηρούμενες και αναμενόμενες επιπτώσεις από την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, συμπεριλαμβανομένης της παράτασης ζωής, της μείωσης του κόστους και της βελτίωσης της αποδοτικότητας. Επιπλέον, παρουσιάζει προτεινόμενες στρατηγικές για την παράταση της διάρκειας ζωής των επισκευασμένων

ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Εξετάζει, ακόμα, τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μειωμένης διάρκειας ζωής σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, εστιάζοντας συγκεκριμένα στα ηλεκτρικά ψυγεία, καθώς και τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης με την πάροδο του χρόνου. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η παράταση της διάρκειας ζωής αυτών των συσκευών είναι η συνιστώμενη προσέγγιση, προτείνοντας διάρκεια 20 ετών αντί των 14 ετών που υπήρχε ως σύσταση προηγουμένως, για ψυγεία που αγοράζονται σε μια δεδομένη στιγμή. Ωστόσο, οι σχεδιαστές δεν διαθέτουν τεχνογνωσία στον σχεδιασμό για παράταση ζωής της συσκευής και για διευκόλυνση της ανακύκλωσης. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητες εξατομικευμένες προσεγγίσεις και ο καθορισμός του κατάλληλου χρόνου για την εφαρμογή συγκεκριμένων στρατηγικών για την επέκταση του κύκλου ζωής, ζήτημα το οποίο αποτελεί ερευνητική πρόκληση.

Η αναφορά [85] παρέχει μια διεξοδική ανάλυση των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι ασιατικές χώρες στη διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Η σωστή διαχείριση και διάθεση των ΑΗΗΕ αποτελεί σημαντική πρόκληση παγκοσμίως, ειδικά για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτές οι χώρες αντιμετωπίζουν διάφορες προκλήσεις όσον αφορά στην παραγωγή, στη μεταφορά και στη διαχείριση ΑΗΗΕ. Οι ασιατικές χώρες συμβάλλουν σε σημαντικό ποσοστό στην εκτιμώμενη ετήσια παγκόσμια παραγωγή από 20 έως 50 εκατομμυρίων τόνους. Η ανεπαρκής διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων μπορεί να βλάψει το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία λόγω της παρουσίας τοξικών συστατικών. Πολλά έθνη σε όλο τον κόσμο αντιμετωπίζουν επί του παρόντος τις προκλήσεις που θέτει αυτή η αυξανόμενη απειλή. Ενώ υπάρχει έντονη εστίαση στη διαχείριση των ΑΗΗΕ στο τέλος του κύκλου ζωής τους μέσω δραστηριοτήτων, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η συντήρηση, η ανακατασκευή, η ανακύκλωση και η απόρριψη, υπάρχει επιπλέον αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση της παραγωγής ηλεκτρονικών αποβλήτων μέσω του πράσινου σχεδιασμού και των καθαρότερων πρακτικών παραγωγής. Οι αναπτυσσόμενες χώρες στερούνται ή έχουν περιορισμένες περιβαλλοντικά βιώσιμες πρακτικές στη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων. Η διασυνοριακή μεταφορά ΑΗΗΕ αποτελεί μείζον μέλημα παγκοσμίως και η διαχείριση του άτυπου τομέα της ανακύκλωσης παρουσιάζει περίπλοκες προκλήσεις από κοινωνική και περιβαλλοντική άποψη. Αυτές οι χώρες αντιμετωπίζουν πολλαπλές προκλήσεις για την αποτελεσματική διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Ο στόχος αυτού του άρθρου είναι να αναλύσει διεξοδικά τις προκλήσεις και τα ζητήματα που αντιμετωπίζουν διάφορα έθνη στις προσπάθειές τους να διαχειριστούν τα ηλεκτρονικά απόβλητα με βιώσιμο τρόπο. Η μεταποιητική βιομηχανία, όπως παρουσιάζεται στην εργασία [69], είναι οικονομικά σημαντική και προσφέρει σημαντικά κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη σε διαφορετικά τμήματα της αγοράς. Τα ανακαινισμένα προϊόντα υποβάλλονται σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες, όπως αποσυναρμολόγηση, καθαρισμός, επιθεώρηση, ανακαίνιση, επανασυναρμολόγηση και δοκιμή. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με αυτό το θέμα παρέχει διαφορετικές προοπτικές, ερμηνείες, ορισμούς και περιγραφές της έννοιας της «ανακατασκευής». Πρωταρχικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η διεξαγωγή μιας διεξοδικής ανασκόπησης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και η ανάλυση της ορολογίας που σχετίζεται με την πρακτική της ανακατασκευής.





Σχήμα 2.15. Μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ένα ηλεκτρικό ψυγείο [87]

Επιπρόσθετα, στοχεύει να καθορίσει σαφείς και ακριβείς ορισμούς για διαδικασίες, όπως η ανακύκλωση, η ανακαίνιση και η ανακατασκευή, οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά σε αυτόν τον τομέα. Αυτοί οι ορισμοί παρέχουν ένα ισχυρό ερευνητικό πλαίσιο για περαιτέρω διερεύνηση αυτών των διαδικασιών. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη ανάλυση πρακτικών και περιπτωσιολογικών μελετών για να τονίσει τους βασικούς επιχειρηματικούς παράγοντες που συναντά η βιομηχανία ανακατασκευής.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει καταστεί ερευνητικά σημαντική η έννοια της βιωσιμότητας. Η αναφορά [83] μελετά τη θέσπιση διαφόρων στόχων για την αντιμετώπιση των τρεχουσών και μελλοντικών περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων. Το παράδειγμα της κυκλικής οικονομίας δίνει έμφαση στους στόχους που σχετίζονται με την επίλυση περιβαλλοντικών ζητημάτων. Ωστόσο, οι οργανισμοί και οι κυβερνητικοί φορείς που στοχεύουν στην εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας ενδέχεται να αντιμετωπίσουν έξι σημαντικά εμπόδια που θα μπορούσαν να περιορίσουν τη συνολική επίδρασή της στη βιωσιμότητα. Η μελέτη λοιπόν εστιάζει στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές όταν υιοθετούν και εφαρμόζουν αυτές τις αρχές στις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες. Για τη μετάβαση σε μια βιώσιμη κυκλική οικονομία, οι κατασκευαστές πρέπει να επικεντρωθούν σε δύο βασικούς παράγοντες που είναι η καινοτομία και ο σχεδιασμός του επιχειρηματικού μοντέλου και των συσκευών τους. Επειδή η υπάρχουσα έρευνα σχετικά με το ρόλο του σχεδιασμού συσκευών στην ανάπτυξη κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων είναι περιορισμένη, εξετάζεται και επεκτείνεται η υπάρχουσα βιβλιογραφία για την κυκλική οικονομία, συμπεριλαμβανομένων των ορισμών, των προκλήσεων και των πλαισίων επιχειρηματικής μοντελοποίησης. Αυτές οι πτυχές είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της σημασίας του σχεδιασμού της συσκευής στο πλαίσιο μιας κυκλικής οικονομίας. Τα αποτελέσματα από τον ακαδημαϊκό χώρο και τη βιομηχανία έχουν ενσωματωθεί στο πλαίσιο του κυκλικού σχεδιασμού και στο πλαίσιο καινοτομίας του κυκλικού επιχειρηματικού μοντέλου. Για να ανακτηθούν πληροφορίες από την πρακτική εφαρμογή, διεξήχθη μια ανάλυση σχετικά με τις συνδέσεις μεταξύ της κυκλικής οικονομίας και των προοπτικών έρευνας και βιομηχανίας για τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Αυτή η ανάλυση επικεντρώθηκε στην κατηγορία των λευκών ειδών και εξέτασε τα 5.960 έγγραφα με τις περισσότερες αναφορές στο πεδίο αυτό. Τα ευρήματα αποκάλυψαν έλλειψη συνολικής κατανόησης και σύνδεσης μεταξύ των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων και της επιρροής του σχεδιασμού συσκευών στην επίτευξη κυκλικής οικονομίας, ειδικά στην υπάρχουσα έρευνα για διάφορες κατηγορίες συσκευών.

Αυτό επιβεβαιώνει την ύπαρξη κενού γνώσης και υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και διερεύνηση των δεικτών που σχετίζονται με τη βιομηχανία. Η ανάλυση αποκάλυψε ενδιαφέροντα γεγονότα, ειδικά για διαφορετικές κατηγορίες συσκευών και βιομηχανίες, οι οποίες οργανώθηκαν με δομημένο τρόπο χρησιμοποιώντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο. Αυτό το πλαίσιο αντιπροσωπεύει οπτικά τα ευρήματα και παρέχει επίσης μια οπτική αναπαράσταση των πιθανών παραλλαγών στα μονοπάτια προς την εταιρική επιτυχία μέσω σκόπιμου σχεδιασμού και λογικής εκτέλεσης στρατηγικών δημιουργίας αξίας προϊόντος. Η εφαρμογή σε κορυφαίες εταιρείες του κλάδου όσο και σε νεοφυείς επιχειρήσεις βοηθά στον εντοπισμό και στην ανάλυση δυνατοτήτων, αδυναμιών, ευκαιριών και απειλών που σχετίζονται με το πλαίσιο. Περαιτέρω έρευνα και εμπειρικές μελέτες είναι απαραίτητες για την εξέταση και επέκταση των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, εστιάζοντας στα συστήματα εξυπηρέτησης συσκευών και στον σχεδιασμό στρατηγικών κυκλικής οικονομίας. Αυτό θα περιλαμβάνει τη διεξαγωγή μελλοντικής έρευνας και βιομηχανικών πειραμάτων για τη δοκιμή και την εφαρμογή του πλαισίου σε μια ποικιλία τάξεων και βιομηχανιών συσκευών.

Επιπλέον, η αναφορά [86] διερευνά τις επιπτώσεις της ποιότητας και της εγγύησης, του χρόνου επεξεργασίας και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τρίτων εταιρειών, κατασκευαστών και λιανοπωλητών για την απόκτηση αξίας από ανακαινισμένες συσκευές. Η σημασία της αντίστροφης εφοδιαστικής έχει αυξηθεί λόγω των περιβαλλοντικών ανησυχιών και της πρόσφατης νομοθεσίας, καταδεικνύοντας ότι η αγορά ανακατασκευασμένων προϊόντων έχει καταστεί αρκετά ελκυστική. Κατασκευαστές, έμποροι λιανικής και άλλοι εμπλεκόμενοι έχουν κάνει βελτιώσεις στην επιστροφή προγραμμάτων και λειτουργιών, αυξάνοντας κατά συνέπεια την αξία της αλυσίδας επιστροφής συσκευών αντί να την αντιλαμβάνονται ως μια απλή υποκείμενη διαδικασία. Για τον σκοπό αυτό προσδιορίζονται οι μεταβλητές που σχετίζονται με την απόκτηση αξίας στην αντίστροφη εφοδιαστική των ηλεκτρικών συσκευών, ιδιαίτερα από την οπτική γωνία τρίτων εταιρειών. Η αντίστροφη εφοδιαστική επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από συγκεκριμένα πλαίσια και τοπικούς κανονισμούς. Και η μελέτη αυτή εξετάζει τον αντίκτυπο πολλών παραγόντων, όπως η ποιότητα και οι εγγυήσεις, ο χρόνος επεξεργασίας και οι συνεργασίες στη δημιουργία αξίας για τα ανακατασκευασμένα προϊόντα. Αυτές οι μεταβλητές συνδέονται με την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων και την ενίσχυση αισιόδοξων προβλέψεων για επέκταση σε τρίτες επιχειρήσεις. Περιλαμβάνοντας εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες, καθώς και χαρτοφυλάκια συσκευών, ενισχύεται η περιεκτική περιγραφή των υπό μελέτη περιπτώσεων.

### 2.4.3 Ανακατασκευή

Η ανακατασκευή, ως η κύρια διαδικασία διαχείρισης για τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, αναφέρεται σε μια πιο βιώσιμη μέθοδο παραγωγής. Η ενσωμάτωση της είναι πιο κερδοφόρα και λιγότερο επιβλαβής για το περιβάλλον, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής [86]. Η ανακατασκευή περιλαμβάνει τη λήψη μεταχειρισμένων προϊόντων και τη διαμόρφωσή τους, ώστε να φαίνονται και να λειτουργούν σαν καινούρια, με εγγύηση. Αυτή η πρακτική χρησιμοποιείται κυρίως για πολύπλοκες οικιακές συσκευές που έχουν σύνθετη δομή. Όταν ανακτώνται αυτές οι συσκευές, έχουν υψηλή προστιθέμενη αξία σε σύγκριση με την αξία τους στην αγορά και το αρχικό τους κόστος. Η ανακατασκευή είναι σε θέση να ανακτήσει σημαντική ποσότητα υλικών και αξίας από μια συσκευή, με αποτέλεσμα τη μειωμένη τιμή. Ωστόσο, η ανακατασκευή δεν είναι καλά κατανοητή λόγω της σχετικής καινοτομίας της στην έρευνα. Στην επόμενη ενότητα, θα διευκρινισθεί ο όρος «ανακατασκευή» και θα διαχωρισθεί από άλλες πρωτοβουλίες πράσινης παραγωγής. Θα

παρασχεθεί, επίσης, μια επισκόπηση της έννοιας, της σημασίας και της πρακτικής της ανακατασκευής.

Σύμφωνα με τις προτάσεις της εργασίας [84], οι ανακατασκευασμένες συσκευές, μπορούν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Προς το παρόν, η διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών έχει μειωθεί, γεγονός που βλάπτει το περιβάλλον. Λόγω των βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση, τα ηλεκτρικά ψυγεία έχουν αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, επομένως υπάρχει ανάγκη να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους. Οι σχεδιαστές δεν διαθέτουν ικανότητες στον σχεδιασμό, στη μακροζωία, στην ανακαίνιση και στην ανακύκλωση συσκευών. Αυτή η μελέτη εξετάζει στρατηγικές για την παράταση της διάρκειας ζωής των συσκευών και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητες εξατομικευμένες προσεγγίσεις. Ο καθορισμός του χρόνου των στρατηγικών επέκτασης του κύκλου ζωής της συσκευής είναι μια σημαντική ερευνητική πρόκληση. Η εργασία [78] υπογραμμίζει τη σημασία του καθαρισμού και της επισκευής στη διαδικασία ανακατασκευής ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Οι σχεδιαστές συσκευών θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στην προσβασιμότητα, στη διαχειρισσιμότητα, στον διαχωρισμό και στην αντοχή στη φθορά κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων. Οι λειτουργικές πωλήσεις και η ανακατασκευή συσκευών μπορούν να ωφελήσουν τόσο το περιβάλλον όσο και την οικονομία. Όμως, για να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία ανακατασκευής, είναι απαραίτητη η επαναδιαμόρφωση, ώστε οι συσκευές να μπορούν να τροποποιηθούν με διάφορους τρόπους στο μέλλον. Οι εγκαταστάσεις ανακαίνισης για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές αποδεικνύουν έμμεσα ότι οι σχεδιαστές πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στην προσβασιμότητα, στην ικανότητα ελιγμών και στην ανθεκτικότητα, προκειμένου να εξορθολογήσουν αυτές τις διαδικασίες.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο άρθρο [87] προτείνεται ένα μαθηματικό μοντέλο για τον σχεδιασμό ενός δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής. Σύμφωνα με το μοντέλο, οι επιστρεφόμενες συσκευές πρέπει να ομαδοποιηθούν σε μια αποθήκη πριν σταλούν σε κέντρα επεξεργασίας για επιθεώρηση και αποσυναρμολόγηση. Τα κέντρα ανακύκλωσης συνήθως ανακυκλώνουν και απορρίπτουν αυτές τις συσκευές σε μονάδες. Επίσης, η σημασία της δημιουργίας δικτύων αντίστροφης εφοδιαστικής για διάφορους OEM αυξάνεται συνεχώς. Αρκετοί περιβαλλοντικοί κανονισμοί απαιτούν από αυτούς τους κατασκευαστές να αναλάβουν την ευθύνη για την ανάκτηση χρησιμοποιημένων συσκευών ή συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, προκειμένου να μειωθούν τα απόβλητα και να εξοικονομηθούν πόροι. Ως αποτέλεσμα, το ενδιαφέρον έχει μετατοπιστεί στον σχεδιασμό συσκευών που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να ανακυκλωθούν πιο αποτελεσματικά. Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί ένα δίκτυο για τη διευκόλυνση της ανάκτησης χρησιμοποιημένων συσκευών για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή ορθή απόρριψη, με στόχο την εξαγωγή της υψηλότερης δυνατής αξίας από αυτά τα προϊόντα. Ο σχεδιασμός των σημείων δικτύου και η κατανομή της χωρητικότητας επηρεάζεται όχι μόνο από την ποσότητα των επιστρεφόμενων συσκευών, αλλά και από τη ζήτηση για ανακατασκευασμένες συσκευές και τα εξαρτήματά τους. Εάν οι OEM δεν μπορούν να προσθέσουν αξία στο προϊόν που χρησιμοποιείται, υπάρχει μικρό κίνητρο για την ανάπτυξη ενός πολύπλοκου δικτύου. Έτσι παρουσιάζεται ένα μαθηματικό μοντέλο για το σχεδιασμό ενός δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής όπου μετά τη μεταφορά των συσκευών σε κέντρα ανακύκλωσης για έλεγχο και αποσυναρμολόγηση, είτε αποστέλλονται για ανακατασκευή είτε διατίθενται στη δευτερογενή αγορά.

Η μελέτη [88] εστιάζει στην ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών σε μοντέλα βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου, αντιμετωπίζοντας συγκεκριμένα τις περιβαλλοντικές πτυχές της εφοδιαστικής αλυσίδας ηλεκτρικών συσκευών. Ο κύριος στόχος των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου είναι να μεγιστοποιήσουν τα οικονομικά οφέλη των συσκευών που δεν χρησιμοποιούνται πλέον.

Ωστόσο, η υπάρχουσα βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η εφαρμογή συστημάτων κλειστού βρόχου μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αλυσίδων εφοδιασμού. Επομένως, οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου μπορούν να θεωρηθούν εγγενώς βιώσιμες. Έτσι αναλύονται και ερευνώνται οι συνθήκες υπό τις οποίες ισχύει αυτή η υπόθεση, με έμφαση στην εφοδιαστική αλυσίδα ΗΗΕ. Η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της χρήσης και της μεταφοράς, διεξάγεται μέσω μιας συστηματικής μεθόδου, γνωστής ως ενιαία περιβαλλοντική μέτρηση (CED), η οποία μετρά και αξιολογεί την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων. Η παρεχόμενη σε αυτά ενέργεια πραγματοποιείται για διάφορους σκοπούς όπως για θέρμανση, εξαερισμό, κλιματισμό, ψυχαγωγία, φωτισμό και τηλεπικοινωνίες. Λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με την αλυσίδα εφοδιασμού ΑΗΗΕ, προτείνεται να ενισχυθούν τα τρέχοντα μοντέλα βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου με πρόσθετα χαρακτηριστικά που προάγουν τόσο τη βιωσιμότητα όσο και την αποδοτικότητα. Η αλυσίδα εφοδιασμού αντίστροφης εφοδιαστικής και η εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης αποβλήτων. Τα ΑΗΗΕ είναι ένα σημαντικό προϊόν στο τέλος του κύκλου ζωής τους που λαμβάνεται υπόψη όσον αφορά στη μεταφορά και στην αντιστροφή της προσφοράς. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης ενός ολοκληρωμένου άρθρου ανασκόπησης για τα συγκεκριμένα θέματα αυτών των συσκευών, για να καλυφθεί αυτό το κενό, έχει αναλυθεί και κατηγοριοποιηθεί μια επιλογή επιστημονικών άρθρων. Έχουν εντοπιστεί και εξεταστεί τέσσερις κύριες κατηγορίες έρευνας στους τομείς της αντίστροφης εφοδιαστικής και της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου ηλεκτρικών οικιακών συσκευών ΑΗΗΕ. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν σχεδιασμό αντίστροφης διανομής, λήψη αποφάσεων και αξιολόγηση απόδοσης, εννοιολογικό πλαίσιο και ποιοτικές μελέτες.

Επιπλέον, η ερευνητική προσέγγιση [89] προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τις δραστηριότητες αντίστροφης εφοδιαστικής στην αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού κυκλώματος (CLSC) που σχετίζονται με τα ΑΗΗΕ. Αυτό ενισχύει την κατανόηση και τη γνώση σε αυτόν τον τομέα και προωθεί την περαιτέρω έρευνα και την πρακτική εφαρμογή. Στη μελέτη [90] εξετάζονται εκτενώς τα βασικά βήματα για τη βελτίωση των τεχνικών σχεδίασης για κατασκευή, λαμβάνοντας υπόψη πρόσφατες περιπτώσιολογικές μελέτες στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι κύριες προκλήσεις στην πρωτογενή παραγωγή περιλαμβάνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος, την εξάντληση των φυσικών πόρων, την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων και την περιορισμένη διαθεσιμότητα χώρων υγειονομικής ταφής. Η ανακατασκευή είναι μια κρίσιμη στρατηγική για τη διαχείριση αποβλήτων και την περιβαλλοντικά συνειδητή κατασκευή, η οποία περιλαμβάνει την επαναφορά των χρησιμοποιημένων συσκευών σε λειτουργική κατάσταση συγκρίσιμη με τις νέες, συνοδευόμενη από περιορισμένη εγγύηση. Ο τομέας της ανακατασκευής, ιδιαίτερα ο σχεδιασμός για ανακατασκευή, στερείται επαρκών γνώσεων λόγω της σχετικά πρόσφατης εμφάνισής του στην έρευνα. Παρέχεται μια επισκόπηση των στοιχείων της ιδέας της μετασκευής, αναλύοντας την υπάρχουσα έρευνα σχετικά με το σχεδιασμό για μετασκευή και παρουσιάζονται πρόσφατα αποτελέσματα περιπτώσιολογικής μελέτης για την επικύρωση και την ενίσχυση των προηγούμενων ερευνητικών ευρημάτων. Επίσης συζητούνται διάφορα βασικά μέτρα που απαιτούνται για την προώθηση της ανθεκτικότητας αυτών των μεθοδολογιών.



Σχήμα 2.16. Ανακατασκευασμένος κινητήρας ηλεκτρικού πλυντηρίου ρούχων [95]

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η έρευνα που διεξήχθη στην [91], επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο οι περιορισμοί ενσωματώνονται στην ανακατασκευή ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Αυτοί οι κανονισμοί εφαρμόζονται αρχικά κατά τη διαδικασία σχεδιασμού, μαζί με τη χρήση ευέλικτων δεδομένων στην παραγωγή για τη βελτίωση του τεχνικού ορισμού των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων. Η αντιμετώπιση των αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής μιας συσκευής είναι μια σημαντική περιβαλλοντική πρόκληση. Ως αποτέλεσμα, η βιομηχανία επικεντρώνεται επί του παρόντος στην ανάπτυξη στρατηγικών για την αποτελεσματική διαχείριση του τέλους ζωής των προϊόντων. Η ανακατασκευή, ως στρατηγική προσέγγιση, στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της χρήσης πρώτων υλών και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτή η διαδικασία στοχεύει στη διατήρηση της αρχικής αξίας όσο το δυνατόν περισσότερο κατά τη διάρκεια των φάσεων σχεδιασμού και κατασκευής. Ωστόσο, είναι συχνά απαραίτητο να τροποποιηθούν οι διαδικασίες ανακατασκευής για την προσαρμογή των υπαρχουσών συσκευών, καθώς δεν σχεδιάστηκαν αρχικά με γνώμονα την ανακατασκευή. Η εφαρμογή διαδικασιών προσαρμογής οδηγεί σε αυξημένο κόστος, γεγονός που απαιτεί επανεκτίμηση των συνολικών οφελών της διαδικασίας ανασυγκρότησης. Ο στόχος της μελέτης είναι να παρουσιάσει μια μεθοδολογία για τους σχεδιαστές ώστε να ενσωματώσουν περιορισμούς ανακατασκευής στη διαδικασία σχεδιασμού, ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια. Η οικολογική μεθοδολογία βοηθά στη διαδικασία σχεδιασμού παρέχοντας καθοδήγηση σε δύο διακριτά στάδια. Αρχικά, η αξιοπιστία μιας στρατηγικής ανακατασκευής στο τέλος του κύκλου ζωής μιας συγκεκριμένης συσκευής βελτιώνεται μέσω της ανάλυσης του πλαισίου εργασίας. Στη συνέχεια, το αντικείμενο μελέτης μετατοπίζεται στον σχεδιασμό μιας συσκευής που είναι ειδικά προσαρμοσμένη για τη διαδικασία ανακατασκευής. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στη χρήση των προφίλ ανασκευασθέντων προϊόντων (RPP), τα οποία παρέχουν ολοκληρωμένες πληροφορίες σχετικά με τα περιβάλλοντα και τις ιδιότητες των ανακαινισμένων συσκευών. Οι συσκευές αναλύθηκαν με τον εντοπισμό οκτώ κατηγοριών κριτηρίων σχεδίασης μέσω μιας έρευνας σε περίπου 30 επιτυχώς ανακατασκευασμένες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για τον εντοπισμό ομάδων συσκευών και τα προφίλ τους συνδυάστηκαν με την ανάλυση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών κριτηρίων σε κάθε ομάδα. Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται σε αυτή την ερευνητική εργασία υποστηρίζεται από τη χρήση του εργαλείου «REPRO2», το οποίο έχει αναπτυχθεί από μια ερευνητική ομάδα για να διευκολύνει μια ολοκληρωμένη και συνεκτική προσέγγιση στο σχεδιασμό των αναπαραγωγικών συσκευών. Οι σχεδιαστές έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη αυτού του εργαλείου, συμβάλλοντας στον πρώιμο σχεδιασμό του μέσω της διαδικασίας δημιουργίας προφίλ συσκευών. Οι πληροφορίες που παρέχονται προσφέρουν ακριβείς

λεπτομέρειες που μπορούν να βελτιώσουν τον εσωτερικό τεχνικό ορισμό του υπό εξέταση προϊόντος, ιδίως όσον αφορά στην ανακατασκευή.

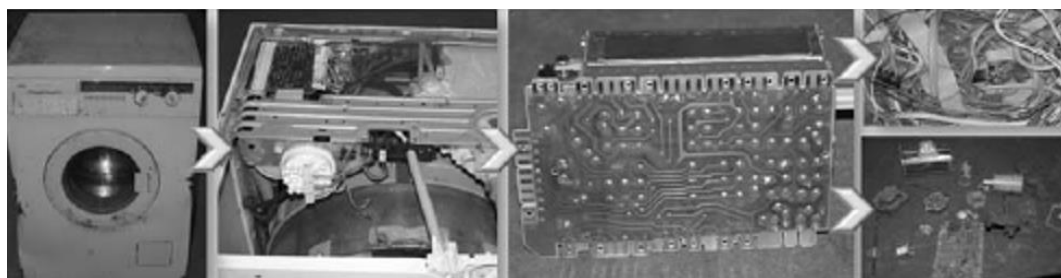
Ταυτόχρονα, η εργασία [92] εξετάζει τη σημασία της βιωσιμότητας στην επεξεργασία και την ανακατασκευή ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Με την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών, είναι δυνατό να μειωθεί η κατανάλωση πόρων, η χρήση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, βελτιώνοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών, συστημάτων, εργαλείων και προσεγγίσεων για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λειτουργιών και υλικών από βιομηχανικά απόβλητα και χρησιμοποιημένες συσκευές, με γνώμονα τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Η εισαγωγή αυτών των νέων δεδομένων μπορεί να παρουσιάσει προκλήσεις βιωσιμότητας για τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Τα προηγμένα συστήματα αποσυναρμολόγησης και ανακατασκευής γίνονται πιο αυτοματοποιημένα, ευέλικτα και προσαρμόσιμα σε διαφορετικά υλικά και αξίες. Ως εκ τούτου, οι τρέχουσες μεθοδολογίες πρέπει να οργανωθούν και να δομηθούν για την υποστήριξη αυτών των συστημάτων. Ο καινοτόμος σχεδιασμός, η διαχείριση και ο έλεγχος των συστημάτων απόσυρσης και ανακατασκευής είναι ζωτικής σημασίας για την κυκλική οικονομία. Οι προηγμένες τεχνολογικές δυνατότητες διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια. Έτσι, αναλύονται και βελτιώνονται θέματα, μεθοδολογίες και εργαλεία σε επίπεδο συστήματος και υπογραμμίζονται οι κύριες προκλήσεις και ευκαιρίες για την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων απογύμνωσης και ανακατασκευής για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές.

Επίσης, στη μελέτη [93] εξετάζεται μια διαδικασία σχεδιασμού ποσοτικής αποσυναρμολόγησης, η οποία στοχεύει στη διευκόλυνση της υλοποίησης εστιάζοντας σε εύκολα αναγνωρίσιμες παραμέτρους εισόδου του μοντέλου. Ο στόχος είναι να σχεδιαστούν αποτελεσματικές διαδικασίες ανάκτησης για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, με ιδιαίτερη έμφαση στις προκλήσεις αποσυναρμολόγησης. Πρωταρχικός στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί η ανάκτηση οικολογικής και οικονομικής αξίας, με παράλληλη ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, καθιερώνοντας ένα σαφή ορισμό του προβλήματος και εισάγοντας έναν καινοτόμο αλγόριθμο δύο φάσεων για μια αλυσίδα RL που δίνει προτεραιότητα στην ανακατασκευή. Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει μια πολυκριτηριακή ανάλυση και σχεδιασμό στόχων για τον εντοπισμό και την επιλογή των πιο ευνοϊκών υποσυστημάτων και εξαρτημάτων για αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση. Επίσης, ερευνώνται διάφορες οικιακές συσκευές στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Στην επόμενη φάση, εισάγεται ένα μοντέλο MILP, το οποίο λαμβάνει υπόψη πολλαπλές συσκευές και χρονικές περιόδους. Το μοντέλο εστιάζει στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών ανάκτησης, ειδικότερα λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που σχετίζεται με τις εργασίες αποσυναρμολόγησης και αποκατάστασης. Επιπλέον, αυτή η μελέτη προτείνει μια προσεγγιστική λύση που χρησιμοποιεί μεθόδους προσομοίωσης για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την αλυσίδα RL. Η συνολική ερευνητική προσέγγιση σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζει μια φιλική προς τον χρήστη μεθοδολογία που διευκολύνει την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της αναπτυγμένης μεθοδολογίας επιβεβαιώνεται μέσω της εφαρμογής της σε συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης.

Βάσει της ερευνητικής εργασίας [54] που επικεντρώνεται στην Αυστραλία, είναι προφανές ότι τα μέταλλα, τα οποία διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε διάφορα καταναλωτικά προϊόντα όπως οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, έχουν επιζήμιες επιπτώσεις στην κοινωνία και στο περιβάλλον κατά τις διαδικασίες εξόρυξης, προμήθειας και απόρριψής τους. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προτεραιότητα στη βιώσιμη παραγωγή και χρήση. Η συζήτηση γύρω από την κυκλική οικονομία επικεντρώνεται κυρίως σε στρατηγικές για τη βιωσιμότητα των πόρων. Έτσι, εξετάζεται η βιωσιμότητα στο πλαίσιο των μετάλλων και

των καταναλωτικών αγαθών στην Αυστραλία με ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη. Η ανάλυση επικεντρώνεται σε στρατηγικές που περιορίζουν και εξορθολογίζουν την κίνηση των υλικών για την προώθηση της βιωσιμότητας. Για τη μείωση της ζήτησης για μέταλλα, η μελέτη χρησιμοποιεί στρατηγικές απόδοσης υλικών. Ενώ η έρευνα αειφορίας στην κυκλική οικονομία έχει επικεντρωθεί κυρίως στην εξόρυξη, στην παραγωγή και στην ανακύκλωση, λιγότερη προσοχή έχει δοθεί στις στρατηγικές διανομής, πώλησης και χρήσης. Είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ο αντίκτυπος αυτών των στρατηγικών στα καταναλωτικά πρότυπα. Η μελέτη διερευνά επίσης στρατηγικές βιωσιμότητας συσκευών, συμπεριλαμβανομένης της παράτασης ζωής, της εντατικής χρήσης, της επισκευής, της μεταπώλησης, της ψηφιοποίησης, της συντήρησης και της μείωσης βάρους, ενώ εξετάζονται στρατηγικές που ενισχύουν την απόδοση των υλικών σε συσκευές που περιέχουν μέταλλα. Η αξιολόγηση της σκοπιμότητας εφαρμογής αυτών των στρατηγικών, εντοπίζει εμπόδια και ευκαιρίες που σχετίζονται με τα υλικά, την οικονομία και την κοινωνία και διερευνά τις δυνατότητες επέκτασής τους, με κύρια πρόκληση την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, πέρα από τον τομέα των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, σε άλλους κρίσιμους τομείς.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η μακροζωία του προϊόντος, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τύπους συσκευών, βελτιώνει την απόδοση του υλικού και προσφέρει πολλές δυνατότητες για περαιτέρω χρήση. Επιπρόσθετα, ορισμένες μελέτες πρότειναν μια ταξινόμηση για ανακατασκευαζόμενες συσκευές και διεξήγαγαν περιπτώσιολογικές αναλύσεις για την ανακατασκευή συσκευών. Αυτές οι αναλύσεις επικεντρώθηκαν σε διαφορετικές περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου και συζητούνται στην ερευνητική εργασία [69]. Η ανακατασκευή είναι ένας σημαντικός κλάδος που έχει οφέλη τόσο για την κοινωνία όσο και για το περιβάλλον. Τα ανακαινισμένα προϊόντα αποσυναρμολογούνται, καθαρίζονται, επιθεωρούνται, επανασυναρμολογούνται και δοκιμάζονται. Η βιβλιογραφία σχετικά με αυτό το θέμα παρέχει διάφορες ερμηνείες, ορισμούς και περιγραφές του όρου «αποκατάσταση». Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η εξέταση της ορολογίας της ανακύκλωσης, της ανακαίνισης και της ανακατασκευής, αφού αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά. Οι σαφείς ορισμοί παρέχουν μια σταθερή βάση για τη μελέτη αυτών των διαδικασιών. Μέσα από πρακτικές του κλάδου και περιπτώσιολογικές μελέτες παρουσιάζονται τα κύρια κίνητρα για τη βιομηχανία ανακατασκευής. Η έρευνα που διεξήχθη στην εργασία [56] εξετάζει τον αντίκτυπο της νομοθεσίας στην ικανοποίηση των καταναλωτών και στα κέρδη των παραγωγών, με ιδιαίτερη έμφαση στη μείωση της ποιότητας ζωής που προκύπτει. Τα τελευταία χρόνια πολλές χώρες έχουν εφαρμόσει νόμους ανάκτησης, οι οποίοι απαιτούν από τους κατασκευαστές ηλεκτρικών οικιακών συσκευών να διασφαλίζουν τη σωστή συλλογή και την περιβαλλοντικά βιώσιμη απόρριψη συσκευών που έχουν φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους. Για τον κλάδο, πραγματοποιήθηκε έρευνα σε έναν κατασκευαστή που πουλά ανακατασκευασμένες συσκευές με τη δική του επωνυμία. Χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο για την ανάλυση των επιπτώσεων τριών διαφορετικών σεναρίων νομοθεσίας με απουσία διατάξεων ανάκτησης, με διατάξεων ανάκτησης και με διατάξεις που αφορούν στόχους συλλογής και επαναχρησιμοποίησης.



Σχήμα 2.17. Φάση της αποσυναρμολόγησης στο πλαίσιο της διαδικασίας ανακατασκευής [63]



Διερευνήθηκε η βέλτιστη λύση για τον κατασκευαστή και αναλύθηκε ο αντίκτυπος των διαφορετικών σεναρίων νομοθεσίας στις αποφάσεις παραγωγής, αναπαραγωγής και συλλογής. Αρχικά, ο πιθανός αντίκτυπος επικεντρώθηκε αποκλειστικά στους στόχους συλλογής και στα επίπεδα αναπαραγωγής. Η ανακύκλωση αναγνωρίζεται ευρέως ως μία από τις πιο περιβαλλοντικά βιώσιμες επιλογές για το χειρισμό συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους όπως η απόρριψη. Αν και η αυξημένη ανακατασκευή θεωρείται γενικά ως μια περιβαλλοντικά θετική πρακτική, μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τόσο των νέων όσο και των ανακατασκευασμένων συσκευών μπορεί να αμφισβητήσει αυτήν την αντίληψη. Για τη διερεύνηση αυτού του ζητήματος, υιοθετήθηκε μια μεθοδολογία που περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών συνεπειών του προϊόντος χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο ανάλυσης κύκλου ζωής. Αυτή η μελέτη στοχεύει να αναλύσει τις συνθήκες υπό τις οποίες η εφαρμογή της νομοθεσίας ανάκαμψης οδηγεί σε συνολική αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, λόγω των αυξημένων δραστηριοτήτων ανάπλασης. Επιπλέον, επιδιώκει να εντοπίσει καταστάσεις όπου η συνολική ευημερία μειώνεται ως αποτέλεσμα νομοθετικών μέτρων. Τα εγκαταλελειμμένα προϊόντα έχουν προφανώς αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, περιέχουν ανακυκλώσιμους πόρους που, εκτός από τα οικολογικά τους οφέλη, προσφέρουν πιθανά οικονομικά οφέλη. Επομένως, η πράσινη παραγωγή και η βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη εξαρτώνται από την αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση των ηλεκτρικών συσκευών.

Παράλληλα, η ερευνητική προσέγγιση [80] εξετάζει τον ρόλο της αποσυναρμολόγησης στη διαδικασία σχεδιασμού. Αυτή η παράμετρος χρησιμεύει ως βοηθητικό εργαλείο για αρχάριους ερευνητές και για όσους λαμβάνουν αποφάσεις για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου σχεδιασμού. Η εργασία αναλύει, επίσης, τη θεωρία της αποσυναρμολόγησης και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία, την επισκευή και τη συντήρηση απαρχαιωμένων ή εγκαταλελειμμένων συσκευών. Επιπλέον, διερευνά τις εξελίξεις στον σχεδιασμό ακολουθιών αποσυναρμολόγησης σε τέσσερις βασικούς τομείς: μοντελοποίηση υποβάθμισης συσκευών, μαθηματικός προγραμματισμός, τεχνητή νοημοσύνη και διαχείριση αβεβαιότητας. Οι αναγνώστες ενθαρρύνονται να συμμετέχουν ενεργά στην έρευνα, στην ανάπτυξη και στην εφαρμογή της «Industry 4.0», για αποσυναρμολόγηση και ανακατασκευή. Η αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές ως καταναλωτικά αγαθά έχει οδηγήσει σε αύξηση των ηλεκτρονικών αποβλήτων, κάτι που αποτελεί σημαντική ανησυχία για τις κυβερνήσεις και τους περιβαλλοντολόγους παγκοσμίως. Αυτή η ανησυχία δεν οφείλεται μόνο στη μεγάλη ποσότητα ηλεκτρονικών αποβλήτων που παράγονται ετησίως, αλλά και στο ότι συχνά αυτά περιέχουν επικίνδυνες ουσίες και περιορισμένους πολύτιμους πόρους. Επί του παρόντος, υπάρχει σημαντική εστίαση στην έρευνα μεθόδων για την ασφαλή, οικονομικά αποδοτική και περιβαλλοντικά βιώσιμη επεξεργασία αυτών των αποβλήτων υλικών. Αυτή η ερευνητική προσέγγιση παρουσιάζει τα ευρήματα από μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση και μια σειρά περιπτωσιολογικών μελετών που διεξήχθησαν ως μέρος του έργου GREENet. Στόχος της πρωτοβουλίας GREENet είναι να διευκολύνει την ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών σχετικά με την επεξεργασία των ηλεκτρονικών αποβλήτων στην Ευρώπη, μελετώντας την κατάσταση στο Ηνωμένο Βασίλειο και στην Κίνα.

Η μελέτη [94] επικεντρώνεται στη διερεύνηση της έννοιας του «σχεδιασμού για ανακατασκευή» και των επιπτώσεών της στη διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων. Ο κύριος στόχος της μελέτης είναι να αξιολογήσει εάν οι κινεζικοί OEM έχουν τις απαραίτητες δυνατότητες για την ανάπτυξη συσκευών φιλικών προς την ανακατασκευή που μπορούν να ενσωματωθούν στην αναδυόμενη βιομηχανία ανακατασκευής. Τα ευρήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη υποδηλώνουν ότι η σημασία του σχεδιασμού για την ανακατασκευή αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στο εγγύς μέλλον. Αυτό



οφείλεται στην πιθανή ενίσχυση των περιβαλλοντικών κανονισμών και στην εφαρμογή ενός κυβερνητικού πιλοτικού προγράμματος μετασκευής. Ωστόσο, τα αποτελέσματα περιπτώσιολογικών μελετών που πραγματοποιήθηκαν σε κινεζικές μηχανές ανακύκλωσης ηλεκτρονικών απορριμμάτων δείχνουν ότι η διαδικασία ανακατασκευής δεν είναι κατάλληλη για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές και ηλεκτρονικές συσκευές γενικά.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στην εργασία [95] αναλύεται διεξοδικά ένα ολοκληρωμένο μοντέλο για το σχεδιασμό μιας αλυσίδας εφοδιασμού RL δύο σταδίων που ενσωματώνει αβεβαιότητες που σχετίζονται με το μέγεθος της αγοράς, τον όγκο επιστροφής και την ποιότητα των οικιακών συσκευών. Η μελέτη διερευνά επίσης πώς οι πελάτες αντιλαμβάνονται την αξία των νέων προϊόντων σε σύγκριση με τα ανακατασκευασμένα. Την τελευταία δεκαετία, η πρακτική της ανακατασκευής γνώρισε σημαντική οικονομική ανάπτυξη λόγω της τεχνολογικής προόδου και της εξελισσόμενης στάσης απέναντι στις οικιακές συσκευές. Ωστόσο, πολλοί εξέχοντες κατασκευαστές σε διαφορετικούς κλάδους εξακολουθούν να διστάζουν να αναπτύξουν τις δικές τους ικανότητες ανακατασκευής και αντ' αυτού βασίζονται σε μεθόδους ανακύκλωσης για να εκπληρώσουν τις εκτεταμένες υποχρεώσεις ευθύνης του παραγωγού, χωρίς να προσθέτουν αξία. Οι κύριες ανησυχίες περιστρέφονται γύρω από την πιθανή αναπαραγωγή των συσκευών και την αβεβαιότητα σχετικά με το μέγεθος της αγοράς, τη ροή επιστροφής και την ποιότητά τους. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να παράσχει καθοδήγηση στους OEM στη διαμόρφωση της στρατηγικής ανακατασκευής τους, με έμφαση στη μόχλευση των οφελών που προκύπτουν από τις αβεβαιότητες σε αυτόν τον τομέα. Εισάγεται ένα νέο μοντέλο σχεδιασμού εφοδιαστικής αλυσίδας δύο σταδίων κλειστού βρόχου, το οποίο ενσωματώνει ουσιαστικά εγγενείς αβεβαιότητες που σχετίζονται με το μέγεθος της αγοράς, τον όγκο απόδοσης και την ποιότητα της αγοράς.

Το προτεινόμενο πλαίσιο περιλαμβάνει επίσης μια σαφή αναπαράσταση της διαφοράς στις αξιολογήσεις πελατών μεταξύ νέων και ανακαινισμένων συσκευών. Ωστόσο, η τρέχουσα υβριδική εικασία και ο προγραμματισμός αέριων αριθμών παρουσιάζουν προκλήσεις όσον αφορά στη φερεγγυότητα, όταν χρησιμοποιείται εμπορικά διαθέσιμο λογισμικό. Ως εκ τούτου, μια διαδικασία λύσης αναπτύσσεται μέσω της μελέτης με την ενσωμάτωση ενός δείγματος με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Για την ενίσχυση των γνώσεων διαχείρισης, διεξάγεται μια περιπτώσιολογική μελέτη για την παγκοσμίως αναγνωρισμένη εταιρεία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών BSH, η οποία είναι επίσης ένας εξέχων κατασκευαστής με έδρα τη Γερμανία. Τα ευρήματα της ανάλυσης αποκαλύπτουν ότι η αντίστροφη διαμόρφωση στο δίκτυο επιδεικνύει υψηλό επίπεδο ανθεκτικότητας. Ωστόσο, ο βαθμός συμμετοχής της εταιρείας στην ανακατασκευή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στο κόστος που σχετίζεται με κάθε επιλογή ανάκτησης συσκευής και στη σχετική εκτίμηση των ανακατασκευασμένων προϊόντων από τους πελάτες. Παρατηρείται επίσης, στην περίπτωση της BSH, ότι το μέγεθος της αγοράς έχει τη σημαντικότερη επίδραση στη συνολική κερδοφορία μεταξύ των διαφόρων πηγών αβεβαιότητας. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμο να ενσωματωθεί επαρκής ευελιξία στην επέκταση της διαμόρφωσης του δικτύου προώθησης. Αυτή η έρευνα προτείνει την ανακατασκευή ως βιώσιμη λύση για τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής των συσκευών, καθώς προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Η μελέτη διακρίνει τα συνολικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνδέονται με την πρακτική της ανακατασκευής στο πλαίσιο περιβαλλοντικών παραμέτρων, αν και διενεργήθηκε περιορισμένος αριθμός περιβαλλοντικών μετρήσεων. Πρακτικά παραδείγματα στις μεταποιητικές βιομηχανίες διευκολύνουν την επίτευξη αυτού του στόχου. Η μελέτη χρησιμοποιεί μεθοδολογία αξιολόγησης κύκλου ζωής για τη διεξαγωγή περιβαλλοντικών επικυρώσεων. Με βάση την ανάλυση βιομηχανικών περιπτώσεων και μια περιεκτική βιβλιογραφική ανασκόπηση, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η ανακατασκευή είναι μια ευνοϊκότερη επιλογή όσον αφορά στους

υλικούς πόρους σε σύγκριση με την κατασκευή νέων συσκευών. Το δεύτερο εύρημα δείχνει ότι, σε ορισμένες από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, η ανακατασκευή είναι πιο ωφέλιμη από μια ευρύτερη προοπτική. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν μπορούν να γίνουν οριστικές γενικεύσεις λόγω του περιορισμένου αριθμού εταιρειών που μελετήθηκαν και της ειδικής φύσης των οφελών που συνδέονται με την ανακατασκευή. Επιπλέον, η μελέτη [96] διερευνά τις περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με τον τομέα της ανακατασκευής. Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι, όσον αφορά στη χρήση υλικών πόρων, η ανακατασκευή είναι μια πιο ευνοϊκή επιλογή σε σύγκριση με την παραγωγή νέων αγαθών, κάτι που ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν.

Η αναφορά [97] διερευνά τη θεώρηση της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού για την ανάπτυξη συστημάτων ανάκτησης και χρήσης ΑΗΗΕ. Η εργασία εξετάζει επίσης τη δυνατότητα μείωσης των ηλεκτρονικών αποβλήτων και προώθησης της επαναχρησιμοποίησης ηλεκτρικών συσκευών, με βάση την ποιότητα και τη λειτουργικότητά τους. Ωστόσο, υπάρχει περιορισμένη γνώση και κατανόηση σε αυτό το θέμα. Τα ευρήματα της εργασίας παρουσιάζουν την απόκτηση, την εξέταση και την κατηγοριοποίηση 198 απορριφθέντων ηλεκτρικών φούρνων. Παρατηρείται ότι πολλά από τα αντικείμενα που εξετάστηκαν είχαν μικρές επιπλοκές, αλλά εξακολουθούσαν να είναι κατάλληλα για μεταγενέστερη χρήση ή/και ανακαίνιση. Οι προσωπικές συνεντεύξεις με 80 άτομα που απέρριψαν αυτές τις συσκευές αποκάλυψαν ότι οι καταναλωτές έχουν περιορισμένη επίγνωση των κατάλληλων μεθόδων απόρριψης, εκτός από τη χρήση δημόσιων εγκαταστάσεων ανακύκλωσης. Επιπλέον, σημαντικός αριθμός καταναλωτών εξέφρασε την πρόθεσή του να αγοράσει ένα παρόμοιο προϊόν, αμφισβητώντας την υπόθεση ότι η διάθεση ηλεκτρονικών αποβλήτων καθοδηγείται αποκλειστικά από την επιθυμία για την τελευταία λέξη της τεχνολογίας. Με βάση αυτά τα ευρήματα, μπορεί να υποστηριχθεί ότι τα κύρια εμπόδια στην επαναχρησιμοποίηση των οικιακών συσκευών δεν οφείλονται κατά κύριο λόγο στην κατώτερη ποιότητα του προϊόντος ή στην οικονομική επιβάρυνση των ηλεκτρικών ανταλλακτικών. Αντίθετα, η υπάρχουσα σχεδίαση των συσκευών και η κατάσταση της δευτερογενούς αγοράς για αυτές τις συσκευές είναι οι κυρίαρχοι παράγοντες που εμποδίζουν την επαναχρησιμοποίηση. Προτείνονται συστάσεις στους OEM για μικρές τροποποιήσεις σχεδιασμού που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την επαναχρησιμοποίηση αυτών των συσκευών. Η βιβλιογραφία διερευνά το ζήτημα της επαναξιολόγησης του σχεδιασμού της συσκευής για την ανακατασκευή και την ενοποίηση υπηρεσιών.

Παράλληλα, η μελέτη [98] δείχνει ότι ένας αυξανόμενος αριθμός κατασκευαστών εμπορεύεται τα προϊόντα τους μέσω ολοκληρωμένων προσφορών σε υπηρεσίες. Στην ιδανική περίπτωση, αυτές οι προσφορές μπορούν να ενσωματωθούν με συστήματα ανακατασκευής. Για να διασφαλιστεί μια επιτυχημένη διαδικασία, είναι ζωτικής σημασίας η εφαρμογή ενός αποτελεσματικού συστήματος ανάκτησης και σωστά σχεδιασμένων προϊόντων.



Σχήμα 2.18. Σχολαστικός έλεγχος των εξαρτημάτων στο πλαίσιο της ανακατασκευής [63]

Εξετάζονται πτυχές σχεδιασμού για την ανακατασκευή που προσδιορίστηκαν σε μια έρευνα εταιρειών ανακατασκευής. Τα αστικά στερεά απόβλητα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αυξηθεί κατά 40% τα τελευταία χρόνια και η επισκευή, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση είναι οι κύριες μέθοδοι αποφυγής των αποβλήτων. Η ανάλυση δείχνει ότι η ανακατασκευή είναι συχνά μια καλή στρατηγική, καθώς διατηρεί την ενσωματωμένη ενέργεια της αρχικής παραγωγής, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αυξάνοντας την κερδοφορία. Επιπλέον, η αναφορά [81] περιγράφει τα κύρια τεχνικά εμπόδια στην ανακατασκευή και στον τρόπο που μια στρατηγική σχεδιασμού πλατφόρμας μπορεί να τα ξεπεράσει, μελετώντας επίσης τον σχεδιασμό της πλατφόρμας και τις δυνατότητες ανακατασκευής της. Στην εργασία [99] εξετάζεται η έννοια της πώλησης υπηρεσιών ή λειτουργιών αντί για φυσικά προϊόντα, μαζί με την πρακτική του σχεδιασμού και της αναπαραγωγής πωλήσεων υπηρεσιών. Αυτή η προσέγγιση, σε συνδυασμό με τις διαδικασίες ανασυγκρότησης, προσφέρει μια πιθανή λύση σε προβλήματα ροής υλικών και πόρων στη σύγχρονη κοινωνία. Όταν μια εταιρεία αποφασίζει να προσφέρει υπηρεσίες, μπορεί να δημιουργήσει μια στενότερη σχέση με τους πελάτες και να αποκτήσει περισσότερο έλεγχο στις συσκευές της. Ο σωστός σχεδιασμός συσκευών για την πώληση υπηρεσιών μπορεί να διευκολύνει την ανακατασκευή και να οδηγήσει σε οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Η μελέτη [100] εστιάζει σε έναν πολυεθνικό κατασκευαστή εξαρτημάτων που ειδικεύεται σε χαλύβδινα εξαρτήματα χαμηλού κόστους, τα οποία χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές. Λόγω ανησυχιών σχετικά με τη σπανιότητα και την αποδοτικότητα των πόρων, πολλές εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα προσπάθησαν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πόρων εφαρμόζοντας στρατηγικές για καλύτερη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής των συσκευών, με έμφαση στην ανακατασκευή και στις βελτιωμένες πρακτικές ανακύκλωσης. Η συγκεκριμένη μελέτη παρέχει πρόσθετη ανάλυση παρουσιάζοντας μια μελέτη περίπτωσης της προαναφερθείσας εταιρείας, εξετάζοντας την παραγωγή εξαρτημάτων και ανταλλακτικών αλουμινίου για συσκευές. Αυτά τα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανίες, όπως οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Παρά το γεγονός ότι γνωρίζει την κατάσταση της ανακύκλωσης και της ανακατασκευής, η εταιρεία συνεχίζει να ερευνά τις βέλτιστες πρακτικές για να αποκτήσει

μια βαθύτερη κατανόηση των ροών υλικών και των σχετικών απωλειών. Η ανάλυση ροής υλικών, η απλοποιημένη αξιολόγηση του κύκλου ζωής και η ανάλυση των δεδομένων πωλήσεων χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των ροών υλικών των εξαρτημάτων. Αυτό επέτρεψε τη χαρτογράφηση αυτών των ροών υλικών και τον ποσοτικό προσδιορισμό των πιθανών περιβαλλοντικών οφελών που σχετίζονται με την αναπαραγωγή και την ανακύκλωση. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν σημαντικές διακυμάνσεις στην ποσότητα των απαιτούμενων υλικών και στο σχετικό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη ανάλογα με τις επιλογές των τελικών χρηστών κατά την απόρριψη εξαρτημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η ανακατασκευή και η λειτουργική ανακύκλωση, ιδιαίτερα η ανάκτηση κραμάτων χάλυβα, έχει βρεθεί ότι βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των υλικών και μειώνει την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας μεγάλος αριθμός συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους καταλήγουν συνήθως σε ανάμεικτα απόβλητα, τα οποία τελικά μετατρέπονται σε ανθρακούχο χάλυβα. Σε αυτή τη διαδικασία, τα στοιχεία κράματος (όπως το νικέλιο, το μολυβδένιο, το χρώμιο και το μαγγάνιο) χάνουν την προβλεπόμενη λειτουργικότητά τους. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία της αντικατάστασης αυτών των εξαντλημένων στοιχείων κράματος για τη μείωση της συνολικής επίδρασης της υπερθέρμανσης του πλανήτη των εξαρτημάτων. Η ανάλυση των δεδομένων των πωλήσεων και των προτιμήσεων ανακατασκευής της εταιρείας δείχνει μια σημαντική ευκαιρία για αύξηση της ανακατασκευής. Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδηλώνουν ότι το τρέχον επίπεδο των δραστηριοτήτων ανασυγκρότησης δεν έχει ακόμη αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές του. Επιπλέον, η αποκλειστική ανακύκλωση εξαρτημάτων χάλυβα χαμηλού κράματος με χάλυβα αλουμινίου, αντί για ανθρακούχο χάλυβα, έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Η ερευνητική προσέγγιση στην εργασία [101] τεκμηριώνει τη σημασία της ενσωμάτωσης, της ανάκτησης και της ανακατασκευής συσκευών στη διαχείριση του κύκλου ζωής τους. Στη σημερινή κοινωνία υπάρχει μια τάση για αυξημένη κατανάλωση και κατοχή συσκευών που αντικαθίστανται τακτικά. Συνήθως, οι αχρησιμοποίητες συσκευές είτε απορρίπτονται σε χωματερές είτε απορρίπτονται για ανάκτηση υλικού. Η αύξηση των αποβλήτων υγειονομικής ταφής και τα συναφή προβλήματα έχουν φέρει την ανακατασκευή στο προσκήνιο ως μια βιώσιμη στρατηγική για την παραγωγή και τη διαχείριση απορριμμάτων. Η ανακατασκευή είναι σημαντική επειδή επιτρέπει στους κατασκευαστές να αντιμετωπίσουν ανταγωνιστικές, περιβαλλοντικές και νομοθετικές προκλήσεις. Εφαρμόζοντας πρακτικές ανακατασκευής, οι κατασκευαστές μπορούν να συμμορφωθούν με τη νομοθεσία για τα απόβλητα, παράγοντας προϊόντα υψηλής ποιότητας και χαμηλότερου κόστους. Επιπλέον, η ανακατασκευή επιτρέπει λιγότερο επιβλαβείς για το περιβάλλον προσεγγίσεις τόσο στο τέλος του κύκλου ζωής όσο και στις διαδικασίες παραγωγής. Ωστόσο, οι παγκόσμιες οικονομίες δεν έχουν αναγνωρίσει πλήρως τη σημασία της αναδιάρθρωσης λόγω της νέας και μη δοκιμασμένης φύσης της. Αυτή η ερευνητική εργασία διευκρινίζει τον μελλοντικό ρόλο των διαδικασιών ανάκτησης συσκευών, ιδιαίτερα της ανακατασκευής, στην αποτελεσματική διαχείριση συσκευών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Αναλύει, επίσης, τη σημασία της ανακατασκευής στον τομέα της μεταποίησης και περιγράφει διάφορα τεχνικά εμπόδια που συναντώνται κατά τον σχεδιασμό συσκευών για ανακατασκευή. Τα τελευταία χρόνια, η αύξηση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) ανάγκασε τους κατασκευαστές οικιακών συσκευών να τροποποιήσουν τις στρατηγικές, τα σχέδια και τους επιχειρηματικούς τους στόχους για να ευθυγραμμιστούν με τις περιβαλλοντικές οδηγίες. Η σημασία της αντίστροφης εφοδιαστικής γίνεται ολοένα και πιο εμφανής όσο εξελίσσονται οι συνθήκες. Το μοντέλο της αποκλειστικής διαχείρισης αποβλήτων αντικαθίσταται από τη διαχείριση, τον σχεδιασμό και τον έλεγχο των ροών επιστροφής για διάφορα στοιχεία, όπως πρώτες ύλες, συσκευασίες, αποθέματα και τελικές οικιακές συσκευές. Αυτό περιλαμβάνει τη σωστή συλλογή, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή αναπαραγωγή αυτών των

αντικειμένων σε καθορισμένα κέντρα. Εκτός από την ερευνητική προσέγγιση που αναφέρθηκε παραπάνω, η επιστημονική εργασία [102] στοχεύει να παρουσιάσει ένα λογικό μοντέλο που αναπαράγει τις ροές διανομής των ΑΗΗΕ, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες λειτουργικές πτυχές. Στη συνέχεια, το μοντέλο εκτελείται χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό προσομοίωσης για τον εντοπισμό λειτουργικών πτυχών. Επιπλέον, μέσω της ανάλυσης των τρεχόντων δεδομένων και των κατάλληλων προσαρμογών στο μοντέλο, θα αξιολογηθούν αρκετά σημαντικά ζητήματα.

Ταυτόχρονα, η ερευνητική προσέγγιση στο άρθρο [103] εξετάζει τη διαδικασία εντοπισμού και κατηγοριοποίησης των βασικών ενδιαφερομένων, καθώς και τον χαρακτηρισμό προγραμμάτων που στοχεύουν στην προώθηση της ανασυγκρότησης για σκοπούς βιομηχανικής ανάπτυξης. Δεδομένων των περιορισμένων πόρων και των αρνητικών οικολογικών και κοινωνικών συνεπειών των γραμμικών μοντέλων, η ανακατασκευή προσφέρει μια βιώσιμη λύση για τη μετατροπή των οικιακών συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, σε συσκευές με ισοδύναμες ή βελτιωμένες προδιαγραφές και διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τις πιο πρόσφατες οικιακές συσκευές. Η αυξανόμενη επιτυχία αυτού του αναδυόμενου βιομηχανικού μοντέλου μπορεί να αποδοθεί στην πιθανή ενσωμάτωση της μείωσης του κόστους στην παραγωγή και στη μεγιστοποίηση του κέρδους, σε συνδυασμό με τις προσπάθειες για ενίσχυση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και τη δημιουργία κοινωνικών οφελών, όπως η δημιουργία θέσεων εργασίας. Ωστόσο, πολλές χώρες αντιμετωπίζουν προκλήσεις όσον αφορά στη δημιουργία ενός ισχυρού πλαισίου, λόγω της ανεπαρκούς επικοινωνίας μεταξύ των δημόσιων και ιδιωτικών φορέων και του μεταποιητικού τομέα. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να εντοπίσει και να κατηγοριοποιήσει τα κύρια ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται στην ανασυγκρότηση, καθώς και να περιγράψει τις συγκεκριμένες ενέργειες που έγιναν σε διάφορες χώρες για την προώθηση αυτής της πρακτικής. Επιπλέον, η εργασία [104] διερευνά πώς μια επιχείρηση μπορεί να προωθήσει αποτελεσματικά την ανάπτυξη αλυσίδων εφοδιασμού ανακύκλωσης και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, διερευνώντας πώς αυτή η λειτουργικότητα μπορεί να παρακάμψει την ανάγκη για συστήματα ανακύκλωσης κατασκευαστών. Ο κλάδος έχει σημειώσει σημαντική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στον τομέα των ηλεκτρονικών οικιακών συσκευών, οδηγώντας σε ταχύ ρυθμό αναβαθμίσεων και αντικαταστάσεων. Πραγματοποιείται μια συγκριτική ανάλυση των εγχώριων και διεθνών πρακτικών ανακύκλωσης, εστιάζοντας στη μελέτη περίπτωσης της Midea Corporation. Κάθε μοντέλο συσκευής κατασκευάζεται και προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο δυναμικής συστήματος σε μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Η έννοια του ποσοστού κάλυψης σημείων συλλογής έχει επίσης ενσωματωθεί για τη δυναμική προσαρμογή του ποσοστού ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων. Η μελέτη εστιάζει κυρίως στην επιρροή τρίτων επιχειρήσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου, καθώς και στο ποσοστό πωλήσεων και στο μερίδιο αγοράς του μοντέλου ανακύκλωσης. Συγκρίνει επίσης τα συνολικά έσοδα που παράγονται από όλες τις αλυσίδες εφοδιασμού. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο μοντέλο είναι εξαιρετικά αποδοτικό και βελτιστοποιημένο σε σύγκριση με το παραδοσιακό μοντέλο ανακύκλωσης. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και οι νέοι κανονισμοί έχουν αυξήσει τη σημασία της αντίστροφης εφοδιαστικής. Οι ανακαινισμένες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές έχουν γίνει δημοφιλείς και οι κατασκευαστές, οι έμποροι λιανικής και τα τρίτα μέρη έχουν βελτιώσει τα προγράμματα και τις λειτουργίες επιστροφής για να βελτιώσουν την αξία της αλυσίδας επιστροφής της συσκευής και να την αντιμετωπίζουν ως κύρια διαδικασία παρά ως δευτερεύουσα. Αυτή η μελέτη εξετάζει επίσης τη δημιουργία αξίας σε ηλεκτρονικά αγαθά αντίστροφης εφοδιαστικής, η οποία επηρεάζεται από το πλαίσιο και τους τοπικούς νόμους. Ωστόσο, υπάρχει ένα σημαντικό ερευνητικό κενό στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η ερευνητική προσέγγιση, όπως περιγράφεται στο άρθρο [86], εξετάζει πώς η ποιότητα, οι εγγυήσεις, ο χρόνος επεξεργασίας και οι συνεργασίες μεταξύ τρίτων εταιρειών,

κατασκευαστών και λιανοπωλητών επηρεάζουν την αξία των ανακατασκευασμένων προϊόντων. Αυτές οι μεταβλητές συμβάλλουν σε βέλτιστα αποτελέσματα και παρέχουν αισιοδοξία για την επέκταση τρίτων επιχειρήσεων. Εσωτερικοί και εξωτερικοί παράγοντες, καθώς και χαρτοφυλάκια συσκευών, ενισχύουν τις υποθέσεις που διερευνώνται.

## 2.5 Τεχνικές διαστάσεις της «3R» στη βιβλιογραφία

Αυτή η ενότητα παρέχει μια περιγραφή των τεχνικών πτυχών και διαστάσεων που σχετίζονται με την πρωτοβουλία «3R», όπως τεκμηριώνεται στην διεθνή βιβλιογραφία.

### 2.5.1 Κυκλική Οικονομία

Η κυκλική οικονομία ως παραγωγικό μοντέλο, δίνει προτεραιότητα στην κοινή χρήση, στην ενοικίαση, στην επαναχρησιμοποίηση, στην επισκευή και στην ανακύκλωση των υπάρχουσών συσκευών, εφόσον εξακολουθούν να έχουν αξία στην αγορά. Αυτή η προσέγγιση επεκτείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής κάθε συσκευής. Επιστημονικά άρθρα που αναφέρονται στην κυκλική οικονομία στον τομέα των ΑΗΗΕ παρέχουν μια διεξοδική ανάλυση. Συγκεκριμένα, τα άρθρα [19], [23], [105] και [25] αφορούν θέματα, όπως την ερευνητική ατζέντα και τη συμπεριφορά των καταναλωτών και προτείνονται συστηματικές και μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων με ταξινόμηση και χαρακτηρισμό τους με βάση τη συσκευή, τη λειτουργικότητα και τη σύνθεση ηλεκτρονικών αποβλήτων [18]. Ο στόχος της έρευνας [106] είναι να επιτύχει σημαντική κυκλικότητα των μαγνητών NdFeB που περιέχουν νεοδύμιο, χρησιμοποιώντας υπάρχουσες ροές αποβλήτων. Η κυκλική οικονομία είναι μια έννοια που προωθεί τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη αντικαθιστώντας οικονομικά μοντέλα που βασίζονται σε πόρους που παράγουν απόβλητα τα οποία περιέχουν τοξικές χημικές ουσίες και πολύτιμα μέταλλα. Ο κλάδος των ΑΗΗΕ δίνει προτεραιότητα στην κυκλική οικονομία, ιδιαίτερα στις στρατηγικές «4R», οι οποίες ήταν το επίκεντρο προηγούμενων βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων. Αυτές οι μελέτες υπογραμμίζουν τον αντίκτυπο των πρακτικών κυκλικής οικονομίας στην περιβαλλοντική και οικονομική ανάπτυξη στον κλάδο των ΑΗΗΕ.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της κυκλικής οικονομίας «4R», η μελέτη [105] εξετάζει τις στρατηγικές «10R» και διεξάγει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση 208 μελετών για τη βελτίωση των μεθόδων υποκειμενικής ανασκόπησης χρησιμοποιώντας ανάλυση περιεχομένου. Η μελέτη χρησιμοποιεί, επίσης, ανάλυση δικτύου αναφοράς για να εξετάσει τις πρακτικές κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία ΑΗΗΕ, προσδιορίζοντας πέντε πρωτεύοντες ερευνητικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων και πρακτικών διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων, νομοθεσίας για τα ηλεκτρονικά απόβλητα και τα συστατικά που εμπεριέχουν, εκτεταμένων συστημάτων ευθύνης παραγωγού, ανακύκλωσης κρίσιμων υλικών από ηλεκτρονικά απόβλητα και στρατηγικών κυκλικής οικονομίας για ΑΗΗΕ. Επιπλέον, η μελέτη χρησιμοποιεί ανάλυση πρωτογενούς διαδρομής για τον εντοπισμό δέκα βασικών θεμάτων στον ερευνητικό τομέα. Αυτά τα θέματα περιλαμβάνουν συστήματα ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων, την εξερεύνηση αναξιοποίητων πηγών, τη συμμόρφωση των ενδιαφερομένων, τους μηχανισμούς ανταμοιβής και τιμωρίας στα εκτεταμένα συστήματα ευθύνης παραγωγού, την επικύρωση ταξινόμησης συσκευών, την ανάκτηση κρίσιμων υλικών από αστικά ορυχεία, τον καθορισμό συγκεκριμένων στόχων για προετοιμασία επαναχρησιμοποίησης και τη «10R» κυκλική οικονομική λογική.



Σχήμα 2.19. Τεχνικές διαστάσεις στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας ΑΗΗΕ [63]

Ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι για τη θέσπιση μιας βιώσιμης εθνικής πολιτικής για την επαναχρησιμοποίηση των ΑΗΗΕ, κρίνεται απαραίτητο να υιοθετηθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες.

Η ερευνητική προσέγγιση [107] χρησιμοποιεί ένα ποσοτικό μοντέλο για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών πτυχών των σεναρίων που περιλαμβάνουν ή μη την επαναχρησιμοποίηση. Τονίζεται η σημασία της εξέτασης των προφίλ κατανάλωσης των χρηστών και του εξελισσόμενου χαρτοφυλακίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τον καθορισμό της βέλτιστης στρατηγικής για το τέλος του κύκλου ζωής τους, ειδικά εάν θα πρέπει να περιλαμβάνει επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση. Το μοντέλο απεικονίζεται μέσω μιας μελέτης περίπτωσης της Ιρλανδίας. Επιπλέον, το άρθρο εξετάζει τις ποιοτικές διαστάσεις της επαναχρησιμοποίησης από κοινωνιολογική άποψη, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητάς της να δημιουργεί ευκαιρίες απασχόλησης και των επιπτώσεών της στην οικονομική ευημερία των ασθενέστερων νοικοκυριών. Όταν οι κοινωνικές επιχειρήσεις διευκολύνουν τη χρήση λευκών συσκευών, παρουσιάζεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν περισσότερες ευκαιρίες απασχόλησης σε σύγκριση με ισοδύναμη ποσότητα ανακύκλωσης, ωφελώντας ιδιαίτερα τα κοινωνικά και οικονομικά ευάλωτα άτομα. Ωστόσο, η υλοποίηση περιβαλλοντικών και κοινωνικών οφελών από την επαναχρησιμοποίηση εξαρτάται από τη δημιουργία ενός οικονομικά εφικτού πλαισίου. Αυτό το πλαίσιο θα περιλαμβάνει στοιχεία όπως την εξασφάλιση σταθερής και αξιόπιστης παροχής επαρκών πόρων, τη δημιουργία μιας δομής που προάγει την ανταγωνιστικότητα και τη δημιουργία επαρκών εσόδων από πωλήσεις και

συμπληρωματικών καναλιών για τη διατήρηση της επιχείρησης. Για να αξιολογήσει τη σκοπιμότητα ενός προγράμματος επαναχρησιμοποίησης λευκών συσκευών και να το συγκρίνει με νέες συσκευές, αυτή η μελέτη ανέλυσε συγκρίσιμες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ερμήνευσε δεδομένα σχετικά με τη ζήτηση των καταναλωτών.

Οι ερευνητικές εργασίες [108] και [109] εξετάζουν ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση μιας στρατηγικής κυκλικής οικονομίας που ενσωματώνει, μεταξύ άλλων, λευκές συσκευές. Οι στόχοι της βιωσιμότητας αντιμετωπίζουν τόσο τα τρέχοντα όσο και τα μελλοντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά ζητήματα. Η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας δίνει έμφαση στους στόχους και στις δράσεις που σχετίζονται με περιβαλλοντικά ζητήματα εντός των οικονομικών συστημάτων. Ωστόσο, οι εταιρείες και οι κυβερνήσεις που εφαρμόζουν πρακτικές κυκλικής οικονομίας είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν έξι μεγάλες προκλήσεις που μπορεί να περιορίσουν τον αντίκτυπό της στη βιωσιμότητα. Αυτή η μελέτη διερεύνησε τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές κατά την υιοθέτηση και την εφαρμογή πρακτικών κυκλικής οικονομίας. Οι κατασκευαστές πρέπει να καινοτομούν και να σχεδιάζουν στρατηγικά τα επιχειρηματικά μοντέλα και τις συσκευές τους προκειμένου να μεταβούν από ένα γραμμικό σε ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας. Ο σχεδιασμός συσκευών έχει παραβλεφθεί στην ακαδημαϊκή έρευνα για κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα. Παρέχονται σαφείς ορισμοί, μελετώνται προκλήσεις και προτείνονται πλαίσια επιχειρηματικών μοντέλων για την κυκλική οικονομία. Αυτές οι προσπάθειες στοχεύουν στη βελτίωση της κατανόησης του σχεδιασμού συσκευών στην κυκλική οικονομία συνδυάζοντας διάφορα πλαίσια, βασισμένα σε επιρροές, βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις, ακαδημαϊκούς και βιομηχανικούς παράγοντες, όπως είναι ο κυκλικός σχεδιασμός και η καινοτομία του κυκλικού επιχειρηματικού μοντέλου. Εξετάστηκε η σχέση μεταξύ της κυκλικής οικονομίας και της βιομηχανίας λευκών συσκευών, τόσο από μεμονωμένες όσο και από κοινού προοπτικές, για να κατανοηθεί πώς εφαρμόζονται αυτά τα πλαίσια και διεξήχθη μια ανάλυση συμβάντος σε ένα σύνολο δεδομένων προερχόμενων από έγγραφα κυκλικής οικονομίας και λευκές βίβλους. Η ανάλυση υποδηλώνει ότι η τρέχουσα έρευνα σε διάφορες κατηγορίες συσκευών δεν ενσωματώνει πλήρως τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα και τον σχεδιασμό προϊόντων για την επίτευξη κυκλικής οικονομίας. Τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και γνώση στον τομέα αυτό. Το ολοκληρωμένο πλαίσιο δείχνει πώς η στρατηγική ευθυγράμμιση του σχεδιασμού, της δημιουργίας, της παράδοσης και της σύλληψης στην αξία μπορεί να οδηγήσει σε εταιρική ευημερία. Ωστόσο, απαιτείται περισσότερη έρευνα για να συμπεριληφθούν διάφορες κατηγορίες συσκευών και τομείς βιομηχανιών.

## 2.5.2 Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός μεθόδων περιλαμβάνει τη χρήση συστηματικών διαδικασιών, τεχνικών, βοηθημάτων ή εργαλείων μέσα σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο. Μερικές φορές είναι δυνατή η διαμόρφωση μιας αλυσίδας εφοδιασμού που περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση ενός δικτύου RL. Συγκεκριμένα, στις ερευνητικές εργασίες [110], [48] και [79] το πλαίσιο σχεδίασης βασίζεται σε ένα μοντέλο μικτού ακέραιου προγραμματισμού, με κύριο στόχο τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της υποδομής και των λειτουργικών πτυχών της αντίστροφης ροής στο δίκτυο. Με την ενσωμάτωση μοντέλων προγραμματισμού γίνεται ευκολότερο να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός της υποδομής και η αντίστροφη ροή στο δίκτυο. Εναλλακτικές ερευνητικές προτάσεις περιλαμβάνονται στις εργασίες [111], [93] και [98]. Πρόσφατα, η Ταϊβάν θέσπισε τον κανονισμό για την ανακύκλωση οικιακών συσκευών ως απάντηση στις ανησυχίες του κοινού σχετικά με τη σωστή απόρριψη παλαιών



συσκευών. Σύμφωνα με αυτόν τον κανονισμό, οι κατασκευαστές και οι εισαγωγείς υποχρεούνται να ανακαλούν τις συσκευές τους. Ο αυξανόμενος αριθμός επιστροφών συσκευών και η επέκταση των υπηρεσιών τονίζουν τη σημασία του σχεδιασμού RL. Χρησιμοποιείται επίσης ειδικός προγραμματισμός για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της υποδομής και την αντιστροφή της ροής του δικτύου. Ο στόχος του προτεινόμενου μοντέλου είναι να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος μεταφοράς, το κόστος λειτουργίας, το πάγιο κόστος για την εγκατάσταση νέας δομής, το κόστος που σχετίζεται με την τελική διάθεση και την υγειονομική ταφή και τα έσοδα από την πώληση ανακτημένων υλικών. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν διάφορα ποσοστά ανάκτησης και συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον, αυτή η έρευνα εστιάζει στο σχεδιασμό των πιο αποτελεσματικών διαδικασιών ανάκτησης για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση των προκλήσεων αποσυναρμολόγησης. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί η ανάκτηση οικολογικής και οικονομικής αξίας με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του συνολικού όγκου των απορριμμάτων.

Σε αυτό το συγκεκριμένο πλαίσιο καθιερώνεται ένας ακριβής ορισμός για ένα τυπικό ζήτημα μεσαίου εύρους και εισάγεται ένας μοναδικός αλγόριθμος δύο φάσεων, ειδικά προσαρμοσμένος για μια αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού που δίνει προτεραιότητα στην ανακατασκευή. Αρχικά, παρουσιάζεται μια ανάλυση προγραμματισμού πολλαπλών κριτηρίων/στόχων για τον προσδιορισμό και την επιλογή των βέλτιστων συστημάτων και εξαρτημάτων για αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση από μια ποικιλία συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Στην επόμενη φάση, εισάγεται ένα μοντέλο προγραμματισμού που περιλαμβάνει πολλαπλές συσκευές και περιόδους, με στόχο τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών ανάκτησης, ενώ λαμβάνονται υπόψη οι χρόνοι παράδοσης που σχετίζονται με τις δραστηριότητες αποσυναρμολόγησης και ανάκτησης. Επιπλέον, η παρούσα έρευνα προτείνει μια λύση που βασίζεται σε προσομοίωση για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκαλούνται από τις αβεβαιότητες. Η συνολική προσέγγιση που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μελέτη αποτελεί μια φιλική προς τον χρήστη μεθοδολογία που έχει τη δυνατότητα να διευκολύνει σημαντικά τη λήψη αποφάσεων. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε ενσωματώνεται και εφαρμόζεται σε μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης για να καταδειχθεί η αποτελεσματικότητά της. Επιπλέον, διαμορφώνεται ένα μοντέλο σχεδιασμού για την ενσωμάτωση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων στον τομέα της ανακύκλωσης.

Οι μελέτες [112] και [113] υπογραμμίζουν την αύξηση του αστικού πληθυσμού, του τρόπου ζωής και των διατροφικών αλλαγών, καθώς και τη βελτίωση της ευημερίας και του βιοτικού επιπέδου στις αστικές περιοχές, με αποτέλεσμα τη σημαντική συσσώρευση στερεών αποβλήτων στις πόλεις. Η διαχείριση αυτών των αποβλήτων αποτελεί σημαντική πρόκληση για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία εστιάζει κυρίως στην αντίστροφη εφοδιαστική (RL) που σχετίζεται με έναν μεμονωμένο τύπο συσκευής, ιδιαίτερα όσον αφορά τις διαδικασίες ανάκτησης ή ανακατασκευής. Ωστόσο, υπήρξε μια αξιοσημείωτη έλλειψη έμφασης στην εξέταση των δικτύων διανομής επαναχρησιμοποίησης. Σε αυτήν την κατάσταση η ερευνητική εργασία [114] παρουσιάζει ένα πλαίσιο που προτείνει την επαναχρησιμοποίηση διαφορετικών οικιακών συσκευών ως λύση για τα αστικά στερεά απόβλητα και για την παροχή βοήθειας σε νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Το πλαίσιο περιλαμβάνει ένα μοντέλο προγραμματισμού που εστιάζει σε έναν μόνο στόχο και λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα στην ποσότητα των συσκευών που χρησιμοποιούνται από τους καταναλωτές. Ο κύριος στόχος αυτού του μοντέλου είναι η βελτιστοποίηση του δικτύου RL. Ο σχεδιασμός του δικτύου υλικοτεχνικής υποστήριξης εξετάζει διάφορες εναλλακτικές λύσεις ανακύκλωσης, όπως η επισκευή και η ίδρυση φιλανθρωπικών κέντρων. Για να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

μοντέλου, διεξάγεται μια αριθμητική προσομοίωση χρησιμοποιώντας το λογισμικό GAMS (γενικευμένο μοντέλο αλγεβρικού προγραμματισμού) για τον προσδιορισμό της πιο οικονομικής διαμόρφωσης δικτύου. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα του μοντέλου αποκαλύπτοντας μια σημαντική ποσότητα χρησιμοποιημένων συσκευών που μπορούν να μεταφερθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν με λογικό κόστος.

## Reverse Logistics



Σχήμα 2.20. Υπηρεσίες στο πλαίσιο της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας [63]

Επιπρόσθετα, η ανακατασκευή είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται αποτελεσματικά σε αβέβαια σχέδια αλυσίδας εφοδιασμού, όπως καταδεικνύεται στις μελέτες που διεξήχθησαν στις [95], [115] και [42]. Αυτές οι μελέτες έχουν δείξει ότι η πρόοδος της τεχνολογίας και η αλλαγή της στάσης των καταναλωτών έχουν δημιουργήσει οικονομικές ευκαιρίες για την εφαρμογή της ανακατασκευής στον τομέα των λευκών ειδών στη Δυτική Αυστραλία. Ωστόσο, παρά αυτές τις ευκαιρίες, πολλοί σημαντικοί κατασκευαστές σε διάφορες βιομηχανίες διστάζουν να αναπτύξουν τις δικές τους δυνατότητες ανακατασκευής. Αντίθετα, επιλέγουν την ανακύκλωση για να εκπληρώσουν τις εκτεταμένες απαιτήσεις ευθύνης του παραγωγού. Αυτή η προσέγγιση εγείρει δύο βασικές ανησυχίες μεταξύ των πολιτών: την αξιοπιστία των ανακατασκευασμένων συσκευών και την αβεβαιότητα σχετικά με τον όγκο και την ποιότητα των επιστρεφόμενων προϊόντων. Οι αρχικοί κατασκευαστές θα πρέπει να εξετάσουν τα πιθανά οφέλη από την υιοθέτηση των εγγενών αβεβαιοτήτων κατά την ανάπτυξη των στρατηγικών ανακατασκευής τους. Επιπλέον, εισάγεται ένα νέο στοχαστικό μοντέλο κλειστού βρόχου, δύο σταδίων, για τον προγραμματισμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, το οποίο ενσωματώνει αποτελεσματικά το μέγεθος της αγοράς, τον όγκο παραγωγής, την ποιότητα παραγωγής και τις διαφορετικές αποτιμήσεις των πελατών προς νέες και ανακαινισμένες συσκευές. Η προτεινόμενη προσέγγιση επίλυσης προβλημάτων εφαρμόστηκε σε μια πολυεθνική εταιρεία κατασκευής οικιακών συσκευών ως μελέτη περίπτωσης. Η ανάλυση έδειξε ότι η ενσωμάτωση της αντίστροφης εφοδιαστικής στο δίκτυο μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητά του. Ωστόσο, το ποσοστό ανακατασκευής της εταιρείας εξαρτάται από το κόστος κάθε επιλογής ανάκτησης και την αντίληψη των πελατών για την αξία των ανακατασκευασμένων συσκευών. Σε αυτήν την πολυεθνική εταιρεία το μέγεθος της αγοράς προσδιορίζεται ως ο σημαντικότερος παράγοντας αβεβαιότητας που επηρεάζει την κερδοφορία. Επομένως, η διαμόρφωση του δικτύου θα πρέπει να σχεδιαστεί, έτσι ώστε να δέχεται τη σταδιακή επέκταση με βάση τις ανάγκες της αγοράς.

Η ερευνητική εργασία [115] αναλύει τη χρήση της ανακατασκευής σε αβέβαια σχέδια εφοδιαστικής αλυσίδας, χρησιμοποιώντας μια μοναδική τεχνική και μοντέλο προγραμματισμού. Η μελέτη διερευνά επίσης την ενσωμάτωση της τεχνικής 6R σε λευκές συσκευές και ειδικά πλυντήρια ρούχων, ψυγεία και κλιματιστικά της Δυτικής Αυστραλίας, για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα. Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ανακαίνιση λευκών συσκευών μειώνει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, αλλά επισημαίνει επίσης τις προκλήσεις της πώλησής τους λόγω της προγραμματισμένης απαξίωσης, των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων και του στιγματισμού των ανακαινισμένων συσκευών. Ταυτόχρονα, η έρευνα που διεξήχθη στην αναφορά [78] εξετάζει το σχεδιασμό και την ανακατασκευή του συστήματος. Η κατασκευή και η τροποποίηση συσκευών δίνουν πλέον προτεραιότητα στη βιωσιμότητα, με στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στους πόρους, στα υλικά, στην ενέργεια και στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα ενισχύεται η παγκόσμια ανταγωνιστικότητα. Η διαδικασία απογύμνωσης και ανακατασκευής περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών, συστημάτων, εργαλείων και μεθόδων που βασίζονται στη γνώση για την επαναχρησιμοποίηση τόσο των λειτουργιών όσο και των υλικών που προέρχονται από βιομηχανικά απόβλητα και καταναλωτικές συσκευές. Αυτή η προσέγγιση ευθυγραμμίζεται με την έννοια της κυκλικής οικονομίας. Ωστόσο, οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προβλήματα βιωσιμότητας στο πλαίσιο αυτού του νέου παραδείγματος. Για να ενισχυθούν οι επιχειρηματικές διαδικασίες, είναι απαραίτητο να οργανωθούν και να δομηθούν οι τρέχουσες μεθοδολογίες. Η κυκλική οικονομία βασίζεται στον καινοτόμο σχεδιασμό, στη διαχείριση και στον έλεγχο των συστημάτων συνταξιοδότησης και ανακατασκευής. Επιπλέον, οι προηγμένες τεχνολογικές δυνατότητες διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων. Επομένως, το έγγραφο [92] διερευνά και βελτιώνει διάφορα θέματα, μεθοδολογίες και εργαλεία που υποστηρίζουν το παράδειγμα σε επίπεδο συστήματος. Η ανάπτυξη μιας νέας γενιάς προηγμένων συστημάτων αφαίρεσης και ανασυγκρότησης παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις και ευκαιρίες.

Με βάση τις πληροφορίες που δίνονται παραπάνω, είναι πολύτιμο να ανατρέξουμε στα άρθρα [81] και [116], τα οποία συζητούν την ανάπτυξη στρατηγικών που βασίζονται σε πλατφόρμα για να κάνουν την αποσυναρμολόγηση εξαρτημάτων πιο αποτελεσματική για σκοπούς ανακύκλωσης. Η Οδηγία της ΕΕ για τα ΑΗΗΕ υποχρεώνει τους κατασκευαστές και τους εισαγωγείς να διαχειρίζονται και να απορρίπτουν τις συσκευές μετά τη χρήση, μαζί με άλλες πολιτικές διαχείρισης, λόγω της αυξανόμενης ποσότητας στερεών αποβλήτων. Η επισκευή, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση είναι οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή της σπατάλης. Ωστόσο, η ανάλυση δείχνει ότι η μετασκευή είναι συχνά μια καλή στρατηγική, καθώς μειώνει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο διατηρώντας την ενσωματωμένη ενέργεια. Αναγνωρίζει επίσης ότι η ενίσχυση της αξίας του αρχικού κατασκευαστή οδηγεί σε αυξημένη κερδοφορία. Στη συνέχεια, η μελέτη εξηγεί τα κύρια τεχνικά εμπόδια στην ανακατασκευή και πώς ο σχεδιασμός της πλατφόρμας ανακατασκευής μπορεί να τα ξεπεράσει. Περιγράφει επίσης τον σχεδιασμό και τις δυνατότητες ανακατασκευής. Η ενοποίηση της πώλησης υπηρεσιών και του σχεδιασμού για ανακατασκευή διερευνάται στα άρθρα [99] και [114]. Υιοθετώντας μια προσέγγιση προσανατολισμένη στις υπηρεσίες και που δίνει προτεραιότητα στην παροχή υπηρεσιών ή λειτουργιών αντί για φυσικές συσκευές, το ζήτημα των απορριμμάτων υλικών στη σύγχρονη κοινωνία μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά μέσω διαδικασιών ανακατασκευής. Όταν μια εταιρεία αποφασίζει να προσφέρει υπηρεσίες στρατηγικά, επιτρέπει μια στενότερη σχέση με τους πελάτες και καλύτερο έλεγχο των παρεχόμενων συσκευών. Αυτή η ανάλυση καταδεικνύει τη σκοπιμότητα σχεδιασμού συσκευών που προορίζονται για μακροπρόθεσμη υποστήριξη υπηρεσιών με τρόπο που προωθεί την ανακατασκευή, καθώς βελτιώνει την ευκολία και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Επιπλέον, προσφέρει τη δυνατότητα για την επίτευξη τόσο οικονομικών όσο

και περιβαλλοντικών οφελών και παρέχει μια λεπτομερή περιγραφή ενός εν εξελίξει πιλοτικού έργου που επικεντρώνεται στην εμπορευματοποίηση υπηρεσιών.

Η εργασία [64] εξετάζει τις μεθόδους οικολογικού σχεδιασμού και ανακατασκευής. Η ανακατασκευή είναι ένας σημαντικός κλάδος που έχει θετικές επιπτώσεις τόσο στην κοινωνία όσο και στο περιβάλλον. Τα ανακατασκευασμένα προϊόντα περνούν από μια σειρά βημάτων που περιλαμβάνουν αποσυναρμολόγηση, καθαρισμό, επιθεώρηση, ανακαίνιση, επανασυναρμολόγηση και δοκιμή. Η βιβλιογραφία σχετικά με αυτό το θέμα παρέχει διάφορες ερμηνείες, ορισμούς και απεικονίσεις. Η εργασία διερευνά την ορολογία που χρησιμοποιείται στην ανακατασκευή και διεξάγει μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση και καθιερώνει ένα πλαίσιο για την ανακύκλωση, την ανακαίνιση και την ανανέωση, οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Αυτοί οι ορισμοί χρησιμεύουν ως στέρεο θεμέλιο για τη μελέτη αυτών των διαδικασιών, ενώ παρουσιάζονται επίσης οι βασικοί επιχειρηματικοί μοχλοί της βιομηχανίας ανακατασκευής μέσω βιομηχανικών πρακτικών και περιπτώσιολογικών μελετών. Μια στρατηγική οικολογικού σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιήσει μεθοδολογίες αξιολόγησης του κύκλου ζωής και δυναμικού σχεδιασμού για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνεπειών της αντικατάστασης απαρχαιωμένων και άχρηστων συσκευών με πιο προηγμένες εναλλακτικές λύσεις. Η μελέτη [39] διερευνά τη μέτρηση των οικολογικών δεικτών ως τρόπο ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με υλικά ή διαδικασίες. Εισάγει την έννοια της μέτρησης αυτών των δεικτών. Η διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών συσκευών μειώνεται, γεγονός που έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτή η μελέτη εξετάζει συγκεκριμένα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λευκών συσκευών, όπως τα ψυγεία, σε σχέση με αυτή τη μείωση της διάρκειας ζωής και τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι σχεδιαστές δεν είναι ειδικευμένοι στη δημιουργία συσκευών που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μπορούν να ανακαινιστούν, να ανακατασκευαστούν και να ανακυκλωθούν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, διαπιστώθηκε, μέσω της μελέτης [84], ότι είναι απαραίτητο να προσαρμοστούν στρατηγικές προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος. Ο συγχρονισμός αυτών των στρατηγικών για την παράταση του κύκλου ζωής του προϊόντος είναι μια σημαντική πρόκληση στην έρευνα. Επιπλέον, με βάση την ερευνητική εργασία [91], ο στόχος είναι να βοηθηθούν οι σχεδιαστές να ενσωματώσουν περιορισμούς που σχετίζονται με την ανακατασκευή στη διαδικασία σχεδιασμού, ήδη από τα αρχικά στάδια. Αυτή η προσέγγιση, η οποία βασίζεται στην οικολογική συνείδηση, καθοδηγεί τη διαδικασία σχεδιασμού σε δύο στάδια. Αρχικά, χρησιμοποιείται το εργαλείο REPRO2 για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας οικολογικού σχεδιασμού και εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μάζας της συσκευής στο τέλος του κύκλου ζωής της. Ως αποτέλεσμα, οι εταιρείες δίνουν έμφαση σε στρατηγικές για τη διαχείριση συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η ανακατασκευή είναι μια τέτοια μέθοδος που μειώνει την κατανάλωση πρώτων υλών, εξοικονομεί ενέργεια και διατηρεί την αξία του σχεδιασμού και της κατασκευής. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι υπάρχουσες συσκευές δεν σχεδιάστηκαν αρχικά για μετασκευή, πρέπει να γίνουν προσαρμογές στις διαδικασίες μετασκευής. Αυτές οι προσαρμογές αυξάνουν το κόστος, καθιστώντας αναγκαία την επανεκτίμηση των συνολικών οφελών της διαδικασίας ανασυγκρότησης. Συνιστάται η εστίαση στο σχεδιασμό προϊόντων που είναι φιλικά προς την ανακατασκευή. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί ένα προφίλ της ανακατασκευασμένης συσκευής, το οποίο περιέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα περιβάλλοντα και τις ιδιότητες των συσκευών. Η πλειονότητα των κατασκευαστών συσκευών συμμετείχε στην έρευνα και μέσω του προσδιορισμού των κριτηρίων για το σχεδιασμό και τον καθορισμό των προφίλ συσκευών, προέκυψαν λεπτομερή συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, τα προϊόντα ομαδοποιήθηκαν με χρήση στατιστικής ανάλυσης. Αφού εξήχθησαν τα προφίλ της συσκευής, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών κριτηρίων κάθε ομάδας. Το εργαλείο

REPRO2 υποστήριξε τη μεθοδολογία αυτής της μελέτης, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση σχεδιασμού για ανακατασκευασμένες συσκευές. Οι σχεδιαστές έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη αυτού του εργαλείου μέσω της δημιουργίας προφίλ συσκευών και οι παρεχόμενες λεπτομέρειες μπορούν να βελτιώσουν τον εσωτερικό τεχνικό ορισμό του προϊόντος, ιδιαίτερα για την ανακατασκευή.

### 2.5.3 Αποσυναρμολόγηση

Το πρώτο και πιο δύσκολο βήμα στην αποδόμηση είναι η αποσυναρμολόγηση. Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση και να μειωθεί το κόστος, είναι απαραίτητο να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες αποσυναρμολόγησης. Οι έρευνες ως προς τις διαδικασίες αποξήλωσης επικεντρώνονται κυρίως στην ανάκτηση υλικών. Καθώς η κατανάλωση και η παραγωγή ΑΗΗΕ αυξάνεται, υπάρχει κίνδυνος επικίνδυνων αποβλήτων για το περιβάλλον και τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη. Για τον περιορισμό αυτών των κινδύνων, πολλές χώρες και οργανισμοί έχουν θεσπίσει νόμους για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και άλλων μεθόδων ανάκτησης υλικών. Ένα σύστημα ανακύκλωσης που είναι οικονομικά αποδοτικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο απαιτεί χαρακτηρισμό των απορριμμάτων. Η ερευνητική εργασία [117] αναλύει την ανακύκλωση των ηλεκτρονικών αποβλήτων και περιγράφει την παραγωγή τους, καθώς και τις επακόλουθες ενέργειες όπως η ταξινόμηση και οι μέθοδοι ανάκτησης υλικών. Η πρόσφατη έρευνα για την ανακύκλωση ηλεκτρονικών αποβλήτων στην Ινδία εξετάζεται επίσης διεξοδικά. Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο άρθρο [69] διερευνά τον τρόπο μείωσης του χρόνου που χρειάζεται για την αποσυναρμολόγηση μιας συσκευής. Η βιομηχανία ανακατασκευής είναι σημαντική τόσο από οικονομική άποψη όσο και από την άποψη των οφελών της για την κοινωνία και το περιβάλλον. Τα ανακατασκευασμένα προϊόντα περνούν από μια διαδικασία αποσυναρμολόγησης, καθαρισμού, επιθεώρησης, επισκευής, επανασυναρμολόγησης και δοκιμής. Η βιβλιογραφία παρέχει διάφορες κατανοήσεις, ορισμούς και χαρακτηρισμούς της ανασυγκρότησης λόγω του ευρέος φάσματος των προοπτικών της, εξετάζει την ορολογία της αποδόμησης και διεξάγει μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση για το θέμα αυτό. Η ανακύκλωση και η ανακαίνιση θεωρούνται συχνά ως εναλλακτικές πρακτικές, επομένως είναι σημαντικό να υπάρχουν σαφείς ορισμοί για την υιοθέτησή τους. Αυτοί οι ορισμοί παρέχουν ένα σταθερό πλαίσιο για τη μελέτη αυτών των διαδικασιών και μέσω της βιομηχανικής πρακτικής και των περιπτώσιολογικών μελετών, αυτή η μελέτη παρουσιάζει τον βασικό επιχειρηματικό μοχλό της βιομηχανίας ανακατασκευής.



α) Πλανόδιος συλλέκτης, β) Κέντρο επισκευής συσκευών, γ) Κέντρο συλλογής αποβλήτων, δ) Εργαστήριο αποσυναρμολόγησης

#### Σχήμα 2.21. Διαδικασίες συλλογής ηλεκτρονικών αποβλήτων [113]

Η εργασία [118] αναλύει και διερευνά την εφαρμογή των τεχνολογιών «Industry 4.0». Υπάρχει ευρεία αναγνώριση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τον ανεπαρκή χειρισμό απαρχαιωμένων ή πεταμένων συσκευών. Αυτές οι συσκευές περιέχουν επαναχρησιμοποιήσιμους πόρους που μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν για να αποφέρουν οικονομικά οφέλη. Επομένως, η αποτελεσματική αποσυναρμολόγηση των συσκευών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην

προώθηση της πράσινης παραγωγής και της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης. Οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές αποτελούν κοινά παραδείγματα. Αυτή η μελέτη παρέχει μια επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης του σχεδιασμού της ακολουθίας αποσυναρμολόγησης, η οποία μπορεί να βοηθήσει τους αρχάριους ερευνητές να προσδιορίσουν την καταλληλότερη προσέγγιση για τον βέλτιστο σχεδιασμό αποσυναρμολόγησης. Η εργασία εξετάζει επίσης τη θεωρία αποσυναρμολόγησης και τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία, την επισκευή και τη συντήρηση απαρχαιωμένων συσκευών. Διερευνά, περαιτέρω, τις πρόσφατες εξελίξεις στον σχεδιασμό παροπλισμού σε τέσσερις βασικούς τομείς: τεχνικές μοντελοποίησης και παροπλισμού, προσεγγίσεις μαθηματικού προγραμματισμού, μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης και διαχείριση αβεβαιότητας. Ο στόχος είναι να ενθαρρύνει την ενεργή συμμετοχή στην έρευνα, στην ανάπτυξη και στην εφαρμογή μεθοδολογιών αποσυναρμολόγησης και ανακατασκευής στο πλαίσιο της εποχής «Industry 4.0». Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει τη χρήση μοντέλων αποσυναρμολόγησης με σκοπό το σχεδιασμό παραγωγής και τη διαχείριση αποθεμάτων. Το λογισμικό «ADBASE 5.1» χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός συστήματος παραγωγής συσκευών με περιοδική μηδενική ζήτηση. Ο πρωταρχικός στόχος των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου είναι να μεγιστοποιήσουν τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τις απαρχαιωμένες συσκευές. Ωστόσο, η υπάρχουσα βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων μειώνει αποτελεσματικά τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αλυσίδων εφοδιασμού. Επομένως, είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου είναι εγγενώς βιώσιμες.

Η εργασία [118] εξετάζει την εγκυρότητα αυτής της υπόθεσης και διερευνά τις ισχύουσες συνθήκες. Η έρευνα παρουσιάζει τα ευρήματά της αναλύοντας την εφοδιαστική αλυσίδα ΑΠΕ και αξιολογώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε διάφορα στάδια, όπως στην κατασκευή, στη χρήση, στη μεταφορά και στις δραστηριότητες στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αυτές οι επιπτώσεις αξιολογούνται με την εφαρμογή του συστήματος της ενιαίας περιβαλλοντικής μέτρησης (CED). Δεδομένων των περιβαλλοντικών ανησυχιών γύρω από την αλυσίδα εφοδιασμού ΗΗΕ, προτείνονται πολύτιμες βελτιώσεις στα τρέχοντα μοντέλα βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου για την ενσωμάτωση των αρχών βιωσιμότητας. Η έρευνα επικεντρώνεται στη χρήση σχεδιασμού προσανατολισμένου στην αποσυναρμολόγηση στο πλαίσιο της ανακατασκευής, με βάση συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού, όπως συζητήθηκε στην εργασία [90]. Οι βασικές προκλήσεις στην παραγωγή περιλαμβάνουν τη ρύπανση, την εξάντληση των φυσικών πόρων, τη διαχείριση των απορριμμάτων και την υγειονομική ταφή. Η ανακατασκευή, η οποία μετατρέπει τη χρησιμοποιημένη συσκευή σε μια νέα και αξιόπιστη λειτουργικά συσκευή, θεωρείται σημαντική στρατηγική για τη διαχείριση των απορριμμάτων και την περιβαλλοντικά συνειδητή κατασκευή. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμένες γνώσεις σχετικά με την ανακατασκευή, ειδικά όσον αφορά στον σχεδιασμό για ανακατασκευή, λόγω της καινοτομίας της στην έρευνα. Στη μελέτη αυτή περιγράφονται τα βασικά στοιχεία σε σχέση με την ιδέα της μετασκευής και το σχεδιασμό της, καθώς και τα ευρήματα από πρόσφατες περιπτώσιολογικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο για την επικύρωση και τη βελτίωση προηγούμενων ερευνητικών προσπαθειών. Επίσης προτείνονται θεμελιώδη βήματα που πρέπει να ληφθούν για να αξιοποιηθούν οι προηγούμενες εργασίες και να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα των μεθοδολογιών.

Επιπλέον, η ερευνητική εργασία [93] προτείνει ένα μεσοπρόθεσμο μοντέλο για τον προγραμματισμό της παραγωγής ανάκτησης, χρησιμοποιώντας κατάλληλες παραμέτρους επίλυσης. Το επίκεντρο της μελέτης είναι ο σχεδιασμός των πιο αποτελεσματικών διαδικασιών ανάκτησης για ηλεκτρικές συσκευές στο τέλος του κύκλου ζωής τους, και



συγκεκριμένα η αποσυναρμολόγηση. Ο κύριος στόχος είναι η μεγιστοποίηση της οικολογικής και οικονομικής αξίας ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα. Για την επίλυση των προβλημάτων της αλυσίδας RL, εισήχθη ένας αλγόριθμος δύο φάσεων, καθοδηγούμενος από τη διαδικασία ανακατασκευής. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε μια πολυκριτηριακή ανάλυση για τον εντοπισμό και την επιλογή των βέλτιστων υποσυστημάτων και εξαρτημάτων για αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση από διάφορες ηλεκτρικές συσκευές στο τέλος της ζωής τους. Στην επόμενη φάση, εισήχθη ένα μοντέλο προγραμματισμού, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλές συσκευές και περιόδους για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ανάκτησης, συμπεριλαμβανομένων των χρόνων αποσυναρμολόγησης και ανάκτησης. Επιπλέον, η μελέτη πρότεινε μια λύση που βασίζεται σε προσομοίωση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αβεβαιότητας στη διαχείριση της αντίστροφης αλυσίδας εφοδιασμού. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε προσφέρει μια φιλική προς τον χρήστη προσέγγιση για την υποστήριξη της τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μελέτη [119] προτείνει μια μεθοδολογία για τη βελτίωση της αποσυναρμολόγησης των ηλεκτρικών συσκευών. Αυτή η προσέγγιση στοχεύει στη δημιουργία συσκευών που μπορούν να αποσυναρμολογηθούν εύκολα, διευκολύνοντας έτσι έναν κύκλο ζωής κλειστού βρόχου στο τέλος της χρησιμότητάς τους. Τα τελευταία χρόνια, διάφοροι κλάδοι, ειδικά αυτοί που λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική φύση του περιβάλλοντος στα σχέδιά τους, έχουν ενσωματώσει αρχές σχεδιασμού με περιβαλλοντική συνείδηση. Η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των διατιθέμενων χώρων απόθεσης και την προώθηση του πλαισίου «3R» για την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανακατασκευή. Η αποσυναρμολόγηση των συσκευών βοηθά στην αξιολόγηση συγκεκριμένων στρατηγικών και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Δεδομένου ότι οι αποφάσεις σχεδιασμού κατά την υλοποίηση επηρεάζουν άμεσα τη δομή των συσκευών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα σενάρια ημερομηνίας λήξης τους. Για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων και του κόστους παραγωγής, είναι σημαντικό να μελετηθούν οι προαναφερθείσες παράμετροι. Ο σχεδιασμός για εύκολη αποσυναρμολόγηση μειώνει τον χρόνο και το κόστος. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη πρακτικών πόρων για τα σενάρια απόσυρσης ή λήξης του κύκλου ζωής τους. Εισάγεται το μοντέλο «σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση» και ένα εργαλείο που βοηθά τους σχεδιαστές να αξιολογήσουν την αποσυναρμολόγηση της συσκευής. Αυτό μπορεί να χειριστεί διάφορα σενάρια τέλους ζωής κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και να ανταλλάξει μεταδεδομένα με συμβατικά εργαλεία σχεδίασης. Η αξιολόγηση του σεναρίου EoL είναι ζωτικής σημασίας για την εκτίμηση του κόστους παροπλισμού. Έξι δείκτες αξιολογούν την οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα της στρατηγικής EoL, επιτρέποντας τη σύγκριση των σεναρίων τέλους ζωής της συσκευής και την εξέταση της δυνατότητας ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και επανακατασκευής τους. Αυτές οι αξιολογήσεις ενδέχεται να επιτρέψουν την αρχική ενσωμάτωση ενός συγκεκριμένου σεναρίου τέλους ζωής στη διαδικασία σχεδιασμού, καθώς και να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το κόστος αποσυναρμολόγησης, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα νέο προϊόν με πολλά στοιχεία κλειστού βρόχου.

#### 2.5.4 Περιβαλλοντικός αντίκτυπος

Η περιβαλλοντική διάσταση ή άλλως αντίκτυπος σχετίζεται με την ευπάθεια των οικολογικών και βιοφυσικών συστημάτων και τον τρόπο λειτουργίας τους σε επικίνδυνες συνθήκες. Σε αυτό το πλαίσιο, η ερευνητική εργασία [38] εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανακύκλωσης και της εναπόθεσης χωρίς κριτήρια. Το αυξημένο ενδιαφέρον για την επαναχρησιμοποίηση οφείλεται στον αντίκτυπο της ανθρώπινης κατανάλωσης

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

στην κλιματική αλλαγή, στην απώλεια βιοποικιλότητας και στην περιορισμένη διαθεσιμότητα ορυκτών. Η επαναχρησιμοποίηση πιστεύεται ευρέως ότι μειώνει την παραγωγή και τα απόβλητα, αν και τα αποτελέσματά της δεν είναι πλήρως κατανοητά. Αυτή η εργασία αναλύει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης και παρέχει ένα πλαίσιο για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες. Πολλά προϊόντα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια όταν επαναχρησιμοποιούνται, και δεδομένου ότι η επαναχρησιμοποίηση συσκευών και εξαρτημάτων συζητείται στη βιβλιογραφία, η στρατηγική της επαναχρησιμοποίησης αναμένεται να γίνει ιδιαίτερα διαδεδομένη στο μέλλον. Η επαναχρησιμοποίηση συσκευών και εξαρτημάτων συζητείται συνήθως στη βιβλιογραφία. Οι ανακαινισμένες συσκευές καταναλώνουν συνολικά λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τις νέες. Η αποκατάσταση και η βελτίωση της απόδοσης των παλαιών συσκευών και η υποβάθμιση των νέων είναι ζωτικής σημασίας. Είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπ' όψιν οι αποτελεσματικές συσκευές, καθώς πολλοί καταναλωτές μπορούν να αρκεστούν σε φθηνότερα, ανακυκλωμένα προϊόντα. Αυτές οι πωλήσεις μπορεί να έχουν κοινωνική αξία, αλλά μπορεί, επίσης, να αυξήσουν την κατανάλωση αντί να ωφελήσουν το περιβάλλον. Μπορεί να μειώσουν προσωρινά τα απόβλητα υγειονομικής ταφής, αλλά θα πρέπει να υπολογιστούν και οι συνολικές περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

Οι ερευνητικές εργασίες [92] και [52] διερευνούν μεθόδους που μειώνουν τους πόρους, την ενέργεια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μέσω μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης της κυκλικής οικονομίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η βιωσιμότητα αποτελεί προτεραιότητα στην ανακαίνιση συσκευών, η οποία απαιτεί μείωση της ενέργειας, των πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι εταιρείες σε όλο τον κόσμο προσπαθούν επίσης να παραμείνουν ανταγωνιστικές. Η απόρριψη και η ανακαίνιση χρησιμοποιεί τεχνολογίες, συστήματα, εργαλεία και μεθόδους βασισμένες στη γνώση για την επαναχρησιμοποίηση λειτουργιών και υλικών από βιομηχανικά απόβλητα και χρησιμοποιημένες συσκευές. Τα προηγμένα συστήματα αφαίρεσης και ανακατασκευής γίνονται πιο αυτοματοποιημένα, ευέλικτα και προσαρμόσιμα σε διαφορετικά υλικά και αξίες.



**Σχήμα 2.22. Εγκαταστάσεις ανακύκλωσης στη Νότια Ουαλία [66]**



Για τον εξ' ορθολογισμό των λειτουργιών, οι τρέχουσες μέθοδοι πρέπει να οργανωθούν και να συστηματοποιηθούν. Ο καινοτόμος σχεδιασμός, η διαχείριση και ο έλεγχος των συστημάτων απόσυρσης και ανακατασκευής είναι ζωτικής σημασίας για την κυκλική οικονομία. Οι προηγμένες τεχνολογικές δυνατότητες συμβάλλουν επίσης σε αυτές τις προσπάθειες. Το παραπάνω άρθρο αναλύει και βελτιώνει ζητήματα, μεθοδολογίες και εργαλεία σε επίπεδο συστήματος που υποστηρίζει αυτό το παράδειγμα. Η ανάπτυξη μιας νέας γενιάς προηγμένων συστημάτων αφαίρεσης και ανακατασκευής για ηλεκτρικές οικιακές συσκευές παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις και ευκαιρίες.

Επιπλέον, η εργασία [96] εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις χρησιμοποιώντας τη μέθοδο «LCAiT», η οποία περιλαμβάνει ανάλυση του κύκλου ζωής. Οι ερευνητές θεωρούν ότι η ανακατασκευή είναι μια φιλική προς το περιβάλλον επιλογή στο τέλος του κύκλου ζωής μιας συσκευής. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη περιβαλλοντικών μετρήσεων. Αυτή η έρευνα αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αναλύοντας σχετικά παραδείγματα μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Το συμπέρασμα που συνάγεται είναι ότι η ανακατασκευή είναι καλύτερη σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά λόγω του περιορισμένου αριθμού εταιρειών που μελετήθηκαν και των οφελών που εξαρτώνται από αυτό το πλαίσιο, δεν είναι δυνατό να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα. Η μέθοδος «ReCiPe 2016» και αυτή της "αθροιστικής ζήτησης ενέργειας", χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Να σημειωθεί πως πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις «Monte Carlo» και χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «SimaPro 8.5». Η αναφορά [51] προτείνει μια απλοποιημένη προσέγγιση για την εκτίμηση επιπτώσεων στον κύκλο ζωής (LCIA). Στη μελέτη [16], το εργαλείο "Βιομηχανικό Πρότυπο Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού" χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση στρατηγικών "τέλους ζωής", οι οποίες χρησιμοποιούν την καμπύλη Gompertz για να απεικονίσουν την αυξανόμενη τροχιά τεσσάρων κατηγοριών οικιακών συσκευών.

Η μελέτη [79] υπογραμμίζει την αύξηση της χρήσης ηλεκτρονικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού στην Κίνα και την επακόλουθη απόρριψη αυτών των συσκευών. Η Κίνα έχει λάβει μέτρα για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, αφού γνώρισε την ταχεία εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση. Η μελέτη αναλύει την ποσότητα των εγχώριων και εισαγόμενων ηλεκτρονικών αποβλήτων στην Κίνα και εξετάζει επίσης τα συστήματα, τις πολιτικές και τους κανονισμούς ανακύκλωσης που σχετίζονται με αυτό το ζήτημα. Χρησιμοποιώντας δεδομένα κατανάλωσης, η μελέτη εστιάζει σε λειτουργικά απαρχαιωμένες, μεγάλες οικιακές συσκευές για περαιτέρω ανάλυση. Η έρευνα επικεντρώνεται στη χρήση και απαξίωση των οικιακών συσκευών στην πόλη του Πεκίνο σε συνδυασμό με μια επισκόπηση του περίπλοκου νομικού πλαισίου της Κίνας για την αντιμετώπιση των ανησυχιών σχετικά με τα ηλεκτρονικά απόβλητα.

Οι ενεργειακά αποδοτικές συσκευές διερευνώνται διεξοδικά στην εργασία [72]. Η ανθεκτικότητα αυτών των συσκευών είναι συχνά αξιοσημείωτη. Ωστόσο, μπορεί να μην είναι πάντα η καλύτερη επιλογή να παρατείνεται η διάρκεια ζωής των συσκευών που καταναλώνουν ενέργεια, καθώς γίνονται λιγότερο αποτελεσματικές ενόσω γερνούν. Επομένως, η αντικατάστασή τους με ενεργειακά αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις μπορεί να έχει μεγαλύτερα μακροπρόθεσμα περιβαλλοντικά οφέλη. Δεν υπάρχει τυποποιημένη προσέγγιση για την επίλυση αυτής της σύγκρισης. Εξετάζεται μια νέα μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παράταση της διάρκειας ζωής των οικιακών συσκευών που καταναλώνουν ενέργεια. Για τον προσδιορισμό των πιθανών πλεονεκτημάτων από την παράταση της διάρκειας ζωής, αναλύθηκαν διάφορα σενάρια που αφορούσαν σε διαφορετική διάρκεια ζωής της συσκευής, χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα μεθοδολογία. Αυτή η μεθοδολογία λαμβάνει υπόψη τη διάρκεια ζωής της συσκευής, την κατανάλωση ενέργειας, τις επιπτώσεις της παράτασης ζωής και τα χαρακτηριστικά της συσκευής αντικατάστασης. Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ευρήματα

αυτής της επιστημονικής εργασίας για να ενημερώσουν τον οικολογικό σχεδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη τα μειονεκτήματα της μεθόδου και τις πιθανές βελτιώσεις. Τα οφέλη της παράτασης ζωής ποικίλλουν ανάλογα με παράγοντες, όπως η διάρκεια ζωής της συσκευής, τα αποτελέσματα επισκευής και η αποτελεσματικότητα της συσκευής αντικατάστασης. Σε μια άλλη μελέτη, η αναφορά [114] χρησιμοποιεί μεθόδους «μοντελοποίησης αξίας» και δυναμικής συστημάτων για να επιτύχει μηδενική παραγωγή αποβλήτων σε πολύπλοκα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενώ οι παγκόσμιες πωλήσεις ΗΗΕ έχουν αυξηθεί την τελευταία δεκαετία, οι κύκλοι ζωής τους έχουν μειωθεί. Κάθε χώρα πρέπει να αντιμετωπίσει περιβαλλοντικά ζητήματα που προκαλούνται από τα ΑΗΗΕ. Αυτή η μελέτη εξετάζει τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην Κίνα για τους συμμετέχοντες στο σύστημα διαχείρισης ΑΗΗΕ. Οι προσομοιώσεις καταδεικνύουν ότι η πολιτική επεξεργασίας ΑΗΗΕ θα μπορούσε να βελτιώσει την οικονομική κατάσταση των αποδεκτών των επιδοτήσεων διατηρώντας παράλληλα τα οικονομικά έσοδα από τις εισφορές. Θα ήταν επίσης εφικτό να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα της ανάκτησης και επεξεργασίας απορριμμάτων εξοπλισμού.

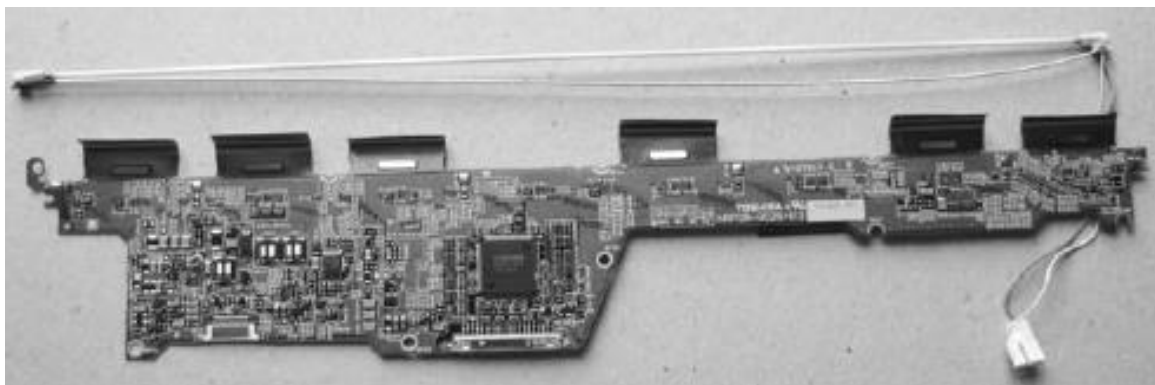
### 2.5.5 Διαχείριση

Ένα σύστημα διαχείρισης που ενσωματώνει τεχνικές πτυχές, περιλαμβάνει πολιτικές και διαδικασίες που έχουν σχεδιαστεί για την αποτελεσματική επίτευξη των στόχων. Η αναφερόμενη έρευνα [92] διερευνά τη διαχείριση συστημάτων αποσυναρμολόγησης και ανακατασκευής και τονίζει την αυξανόμενη σημασία της βιωσιμότητας στην κατασκευή που περιλαμβάνει τη μείωση της ενέργειας, των πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η πρακτική του παροπλισμού και της ανακατασκευής χρησιμοποιεί τεχνολογίες, συστήματα, εργαλεία και προσεγγίσεις βασισμένες στη γνώση για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λειτουργιών και υλικών από βιομηχανικά απόβλητα και προϊόντα μετά την κατανάλωση. Η πρακτική αυτή βασίζεται στην κυκλική οικονομία. Οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις βιωσιμότητας στο νέο πρότυπο. Τα προηγμένα συστήματα που εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία γίνονται πιο αυτοματοποιημένα, ευέλικτα και προσαρμόσιμα σε διαφορετικά υλικά και αξίες. Για την αποτελεσματική υποστήριξη αυτών των συστημάτων, οι τρέχουσες προσεγγίσεις πρέπει να οργανωθούν και να συστηματοποιηθούν. Η κυκλική οικονομία απαιτεί καινοτόμα συστήματα σχεδίασης, διαχείρισης και ελέγχου. Οι προηγμένες τεχνολογικές δυνατότητες συμβάλλουν επίσης σε αυτόν τον στόχο.

Η εργασία [68] εξετάζει μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση διαφόρων περιπτώσιολογικών μελετών που διερευνούν την εφαρμογή πρακτικών διαχείρισης πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού στη βιομηχανία οικιακών συσκευών. Οι κατασκευαστές στις ανεπτυγμένες χώρες υιοθετούν συνήθως περιβαλλοντικά βιώσιμες πρακτικές και δείχνουν μια ισχυρή δέσμευση στην περιβαλλοντική συνείδηση. Ως εκ τούτου, ο στόχος αυτής της έρευνας είναι να κατανοήσει και να αναλύσει τις στρατηγικές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές οικιακών συσκευών για την εφαρμογή της διαχείρισης της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού. Για την ανάλυση των πράσινων πρακτικών στον κλάδο επιλέχθηκαν πέντε κατασκευαστές. Αυτή η προσέγγιση επέτρεψε την πλήρη κατανόηση των διαφόρων πτυχών της περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής περιβαλλοντικής διαχείρισης, της αντίστροφης εφοδιαστικής, των πράσινων προμηθειών, του οικολογικού σχεδιασμού, της αξιολόγησης του κύκλου ζωής, της διαχείρισης αποβλήτων και της πράσινης παραγωγής. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα βασίστηκαν κυρίως στη διαχείριση απορριμμάτων ως κύρια τεχνική τους, ενώ η υιοθέτηση πράσινων πρακτικών αγορών και η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ήταν λιγότερο συχνές. Εντοπίστηκαν αξιοσημείωτες παραλλαγές στην εφαρμογή συγκεκριμένων διαστάσεων

διαχείρισης πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας μεταξύ εταιρειών με και χωρίς πιστοποίηση ISO 14001. Επιπλέον, σε αυτή την ερευνητική εργασία προτείνονται τρόποι για περαιτέρω ενίσχυση των πρακτικών διαχείρισης της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού στη βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Η ανάγκη για βιώσιμο σχεδιασμό, πράσινες συσκευές, καθαρές τεχνολογίες και φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες έχει ωθήσει τους οργανισμούς να εφαρμόσουν προγράμματα αναδιάρθρωσης για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης στην πράσινη οικονομία. Η οργανωτική βιωσιμότητα ορίζεται από ένα τριπλό πλαίσιο, περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό. Οι οργανισμοί πρέπει να αξιολογούν ανθρώπινους, λειτουργικούς και τεχνολογικούς παράγοντες στη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι βιώσιμες επιχειρηματικές πρακτικές στοχεύουν στην παράδοση προϊόντων υψηλής ποιότητας και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ως εκ τούτου, αυτή η μελέτη στοχεύει στο να επεκτείνει τη διαχείριση αλλαγών, ώστε να συμπεριλάβει τη διαχείριση λειτουργιών και προμηθειών σε κορυφαίες εταιρείες οικιακών συσκευών στην Ινδία. Επιπλέον, στοχεύει στον εντοπισμό των στοιχείων που συμβάλλουν στη βιώσιμη διαχείριση των λειτουργιών. Αυτές οι παράμετροι καθορίζονται από επιχειρηματικούς, ανθρώπινους και τεχνολογικούς παράγοντες που υποστηρίζονται από τη βιβλιογραφία και τη συναίνεση των ειδικών. Ένα ασαφές εργαστήριο δοκιμών και αξιολόγησης αναλυτικής ιεραρχίας και λήψης αποφάσεων χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση παραγόντων. Επιπλέον, η έρευνα [120] καταδεικνύει ότι οι διευθυντές έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν στρατηγικές για τη διαχείριση της αλλαγής, καθώς και να εφαρμόζουν τεχνικές διαχείρισης που δίνουν προτεραιότητα στη βιωσιμότητα. Αυτές οι ενέργειες είναι καθοριστικές για να επιτρέψουν στις βιομηχανικές αλυσίδες εφοδιασμού να επιτύχουν στόχους βιώσιμης ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένης της υπεύθυνης κατανάλωσης και παραγωγής, καθώς και της προσβάσιμης και καθαρής ενέργειας. Η έκθεση παρέχει τελικές συστάσεις για τους διευθυντές και προτείνει περαιτέρω ερευνητικές ευκαιρίες.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιστημονική εργασία [79] αναλύει διάφορες πτυχές της βιώσιμης διαχείρισης λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης 28 βασικών παραγόντων. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία για τη διαχείριση επικεντρώνεται κυρίως σε διεθνείς στρατηγικές για τη διαχείριση ΑΗΗΕ. Η χρήση τόσο σύγχρονου όσο και απαρχαιωμένου ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού έχει αυξηθεί στην Κίνα. Αυτή η μελέτη διερευνά επίσης τα συστήματα ανακύκλωσης, τις πολιτικές και τους κανονισμούς για τα ηλεκτρονικά απόβλητα στη χώρα αυτή. Χρησιμοποιώντας δεδομένα κατανάλωσης, η μελέτη καταδεικνύει την παρουσία αχρησιμοποίητων μεγάλων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.



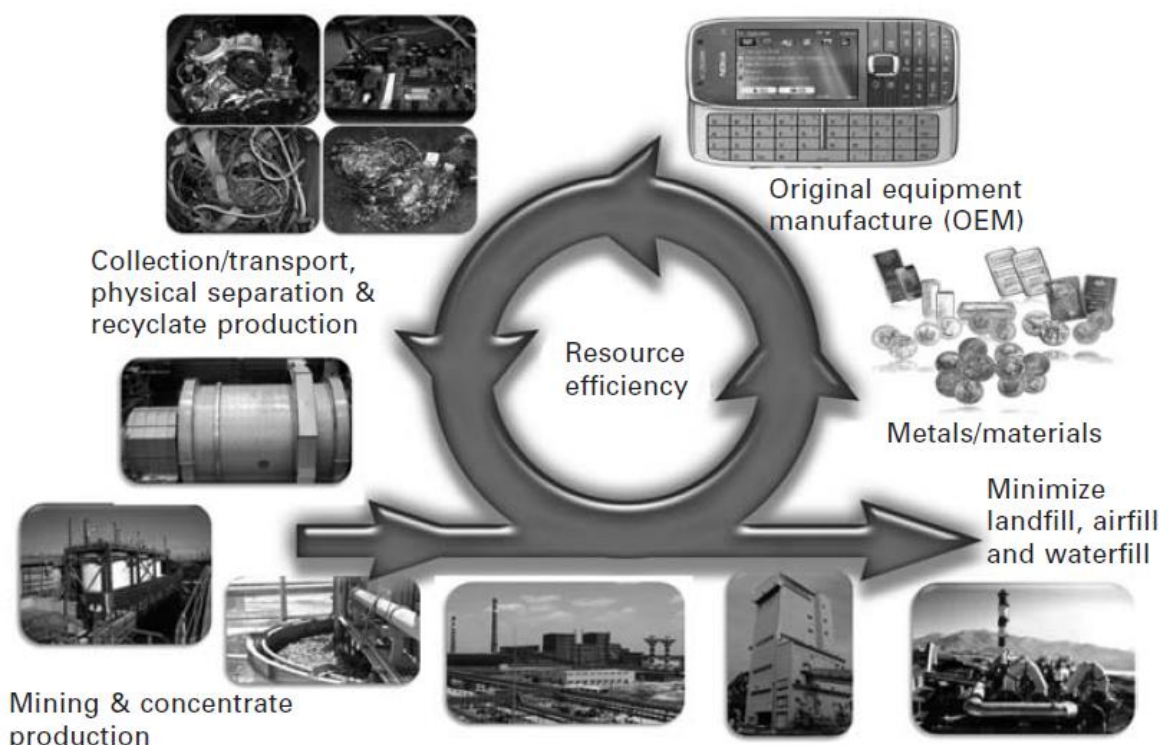
Σχήμα 2.23. PCB με τα εξαρτήματα της σε στάδιο διαχείρισης ως ηλεκτρονικά απόβλητα [66]

Τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι η Κίνα καταναλώνει σημαντική ποσότητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων. Επιπλέον, το άρθρο εξετάζει τους νόμους σχετικά με τα ΑΗΗΕ στην Κίνα, οι οποίοι θα προτείνουν λύσεις για τη διαχείριση απορριμμάτων. Τα τελευταία χρόνια υπήρξε μια συζήτηση σχετικά με τη σπανιότητα πολύτιμων πόρων και την ανάγκη

για αποτελεσματικότητα, με αποτέλεσμα πολλές εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα να επικεντρωθούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των πόρων μέσω της διαχείρισης των συσκευών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η αναφορά [100] δίνει προτεραιότητα στην ανακατασκευή και στην ανακύκλωση, παρέχοντας μια μελέτη περίπτωσης μιας πολυεθνικής εταιρείας που κατασκευάζει ηλεκτρικά εξαρτήματα για οικιακές συσκευές. Αυτά τα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες και η εταιρεία τα ανακυκλώνει και τα ανακατασκευάζει. Η μελέτη στοχεύει στην κατανόηση των ροών υλικών που προκύπτουν από τη διαδικασία κατασκευής. Στη συνέχεια, αυτές οι ροές υλικών χαρτογραφούνται και ποσοτικοποιούνται τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ανακατασκευή και την ανακύκλωση. Η ποσότητα των υλικών που απαιτείται για την απόρριψη των εξαρτημάτων ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τις επιλογές των τελικών χρηστών. Η ανακατασκευή και η λειτουργική ανακύκλωση, ιδιαίτερα για το κράμα χάλυβα, συμβάλλουν στη μείωση της αποτελεσματικότητας των υλικών και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, όπως αναμενόταν. Η βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών, ούσα ο μεγαλύτερος και ταχύτερα αναπτυσσόμενος κλάδος παραγωγής στον κόσμο, παράγει «ηλεκτρονικά απόβλητα» στο τέλος του κύκλου ζωής της, όπως τονίζεται στην ερευνητική εργασία [27]. Αυτό περιλαμβάνει μεγάλες οικιακές συσκευές, όπως ψυγεία, πλυντήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων και κουζίνες, που περιέχουν τοξικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων επικίνδυνων βαρέων μετάλλων που ενέχουν κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία. Η μελέτη εξετάζει επίσης την εκτεταμένη ευθύνη του παραγωγού, τον σχεδιασμό για το περιβάλλον και τις λύσεις που βασίζονται στον καταναλωτή για τον μετριασμό των ηλεκτρονικών αποβλήτων, ενώ εστιάζει στους κινδύνους που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα, τον σωστό χειρισμό και τις πιθανές λύσεις.

## 2.5.6 Πόροι

Οι πόροι, απαραίτητο στοιχείο σε οργανισμούς και βιομηχανίες για την επίτευξη των στόχων, είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή ηλεκτρικών αγαθών. Αποτελούν το θεμέλιο της παραγωγικότητας και της ανάπτυξης, με τους οργανισμούς να δυσκολεύονται ιδιαίτερα να λειτουργήσουν αποτελεσματικά χωρίς αυτούς. Για την περαιτέρω κατανόηση του τύπου, της διαχείρισης και της σημασίας τους για την επίτευξη των οργανωτικών στόχων, πραγματοποιήθηκε μια ερευνητική εργασία. Το άρθρο [78] εμβαθύνει στα λεπτομερή οφέλη της χρήσης ανακατασκευασμένων προϊόντων, ως πόρων για συνεχή παραγωγή. Υποστηρίζει την ενσωμάτωσή τους στις διαδικασίες πωλήσεων, καθώς οι λειτουργικές πωλήσεις έχουν οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα όταν συνδυάζονται με την ανακατασκευή συσκευών. Επιπλέον, στο άρθρο εξηγείται και η διαδικασία ανακατασκευής προϊόντων για λειτουργικές πωλήσεις, παρέχοντας μια εκτενή και πειστική αιτιολόγηση περί αυτής. Στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ανοικοδόμησης, η σωστή τροποποίηση και ανακαίνιση, συμπεριλαμβανομένου του καθαρισμού και της επισκευής, είναι απαραίτητες παράμετροι για τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στα χαρακτηριστικά, στην προσαρμοστικότητα και στην ανθεκτικότητα. Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη [121] εξετάζει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αποσυναρμολόγησης από τρίτους. Αξιολογεί τρεις μεθόδους υλοποίησης σε σχέση με την ευθύνη του παραγωγού, υποδηλώνοντας ότι αυτή η προσέγγιση είναι δυνητικά ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την επίτευξη EPR για διάφορες κατηγορίες ηλεκτρικών συσκευών. Επίσης, μέσω αυτής της εξέτασης, δημιουργεί ένα πλαίσιο για ανεξάρτητους ανακυκλωτές. Να σημειωθεί ότι, όταν εξετάζουμε τον αντίκτυπο των ανθρώπινων παρεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον, γίνεται σαφές ότι η επαναχρησιμοποίηση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών οικιακών συσκευών συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση των πόρων. Αυτό είναι εμφανές στην ερευνητική εργασία [18].



Σχήμα 2.24. Παραγωγή, ανακύκλωση και ανάκτηση πόρων [66]

Η αντίστροφη εφοδιαστική χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της δέσμευσης στους πόρους και από αυτή την άποψη, οι εταιρείες διαχείρισης πράσινων εφοδιαστικών αλυσίδων μπορούν να επιδείξουν την αφοσίωσή τους στο περιβάλλον ενσωματώνοντας πλήρως την αντίστροφη εφοδιαστική και τον σχεδιασμό πράσινων συσκευών. Ως εκ τούτου, τίθεται υπό αμφισβήτηση η ανάκτηση συσκευών με στόχο τη διατήρηση υλικών και ενέργειας από ΑΗΗΕ. Οι επιλογές στην αντίστροφη εφοδιαστική εξαρτώνται από την αξία του προϊόντος και τα επαναχρησιμοποιήσιμα εξαρτήματά του, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν εκ νέου στα αρχικά μέρη της αλυσίδας εφοδιασμού. Ωστόσο, ο σχεδιασμός πράσινων προϊόντων και η δέσμευση στους πόρους επηρεάζουν την αντίστροφη διάθεση των συσκευών μέσω της αντίστροφης εφοδιαστικής.

Επιπρόσθετα, η ερευνητική εργασία [47] κατέληξε στο συμπέρασμα, μέσω μελετών, ότι ο σχεδιασμός συσκευών με προοπτική αποσυναρμολόγησης είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την εξαγωγή πολύτιμων πόρων από τις διαφορετικές επιλογές απόρριψης συσκευών στο τέλος της διάρκειας ζωής τους, εξαιρουμένης φυσικά της μεθόδου απόρριψης. Όταν η συσκευή φτάσει στο τέλος της διάρκειας ζωής της, παρατηρήθηκε ότι ο σχεδιασμός, ως μέσο διατήρησης των περιβαλλοντικών πόρων, έχει μικρή επίδραση στην επισκευή και στην απόρριψή της. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός συνδέεται στενά με την αντίστροφη διαδικασία της τροφοδοσίας των συσκευών. Με βάση τα προαναφερθέντα ευρήματα, είναι εύλογο να υποτεθεί ότι για να επωφεληθούν οι βιομηχανίες από τους δυνητικούς πόρους που είναι διαθέσιμοι στις χωματερές, πρέπει να υιοθετήσουν προληπτικές περιβαλλοντικές στρατηγικές.

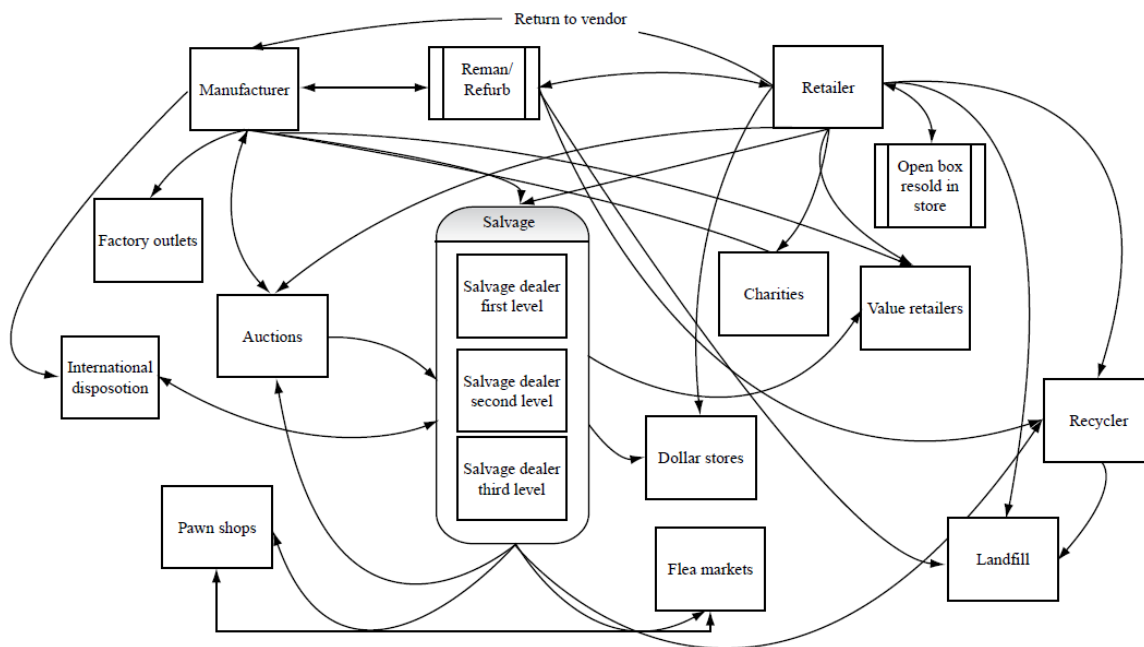
### 2.5.7 Αντίστροφη εφοδιαστική

Η έννοια της «αντίστροφης εφοδιαστικής» αναφέρεται στη στρατηγική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, με έμφαση στην αποτελεσματική μετακίνηση προϊόντων προς την αντίθετη κατεύθυνση, ήτοι από τους πελάτες προς τους κατασκευαστές ή τους πωλητές. Μόλις ένας πελάτης αποκτήσει ένα προϊόν, είναι υποχρεωτικό να ακολουθεί την παραπάνω πολιτική για διαδικασίες όπως οι επιστροφές και η ανακύκλωση. Στην υπάρχουσα ακαδημαϊκή βιβλιογραφία έχουν τεκμηριωθεί διάφορες στρατηγικές αντίστροφης εφοδιαστικής στον κλάδο των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Αναλυτικότερα, η ερευνητική εργασία [32] παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση των σημαντικών σημείων, των ελλείψεων, των ευκαιριών και των απειλών που σχετίζονται με αυτό το θέμα. Η ερευνητική προσέγγιση [122] διερευνά τη δυνατότητα χρήσης μικτού αέριου προγραμματισμού για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της υποδομής και της αντίστροφης εφοδιαστικής. Επιπλέον, η εργασία [65] προτείνει ένα μοντέλο μαθηματικής γλώσσας προγραμματισμού για το σχεδιασμό ενός δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής πολλαπλής κλίμακας που περιλαμβάνει περιοχές συλλογής, αποσυναρμολόγησης και επεξεργασίας. Η μέθοδος «CPLX» χρησιμοποιείται για την περαιτέρω βελτιστοποίηση αυτού του μοντέλου. Είναι γνωστό ότι τα απόβλητα λόγω των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων και της αγοράς ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων έχουν λάβει ιδιαίτερη προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες. Το άρθρο αυτό τονίζει την ανάγκη για σωστή επεξεργασία, απόρριψη και διαχείριση αυτών των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους για τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την υγεία. Η ανακατασκευή, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση είναι επίσης σημαντικές πρακτικές που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η εργασία παρουσιάζει ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους επεξεργασίας του δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής, αναλύοντας τη συγκεκριμένη πολιτική χειρισμού συσκευών. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τα έσοδα από τη συλλογή, την επεξεργασία, τη μεταφορά και τις πωλήσεις, τα οποία μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις επιστροφές της συσκευής. Μπορεί επίσης να καθορίσει τις θέσεις των εγκαταστάσεων στο δίκτυο αντίστροφης εφοδιαστικής και να παρακολουθεί τις ροές υλικών. Η εργασία περιλαμβάνει περαιτέρω μια ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου και παρέχει αριθμητικά παραδείγματα για μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση σεναρίου.

Στη μελέτη [109] προτείνεται ένα μοντέλο μικτού αέριου γραμμικού προγραμματισμού που χρησιμοποιεί την πρακτική "GAM" προκειμένου να βρεθεί η καταλληλότερη θέση για εγκαταστάσεις αποθήκευσης και ανακύκλωσης. Ως γνωστόν, λόγω της αύξησης της παγκόσμιας κατανάλωσης, είναι απαραίτητη η σωστή διαχείριση ΑΗΗΕ. Η ανακύκλωση ΑΗΗΕ είναι υποχρεωτική σε πολλές χώρες λόγω των περιβαλλοντικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων της. Ένα επιτυχημένο σύστημα ανάκτησης βασίζεται στην αντίστροφη εφοδιαστική, η οποία περιλαμβάνει την επιστροφή μεταχειρισμένων αγαθών στους κατασκευαστές. Το κόστος αυτού του συστήματος εξαρτάται από τη διαμόρφωση του δικτύου, με έμφαση στη διάταξη των εγκαταστάσεων και στη συνδεσιμότητα του συστήματος. Σε αντίθεση με προηγούμενες ερευνητικές προσεγγίσεις, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη πολλαπλές εγκαταστάσεις αποθήκευσης και ανακύκλωσης. Η βέλτιστη τοποθέτηση αυτών των εγκαταστάσεων σε κάθε σενάριο πληροί τα ελάχιστα ποσοστά ανακύκλωσης που ορίζονται από την οδηγία της Ε.Ε για κάθε κατηγορία προϊόντων.

Η εργασία [123] διερευνά τον σχεδιασμό προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον και τη δέσμευση σε πόρους για την ανάπτυξη προϊόντων στην αντίστροφη εφοδιαστική. Αναλύει τη συσχέτιση μεταξύ τριών ξεχωριστών μεταβλητών σχεδιασμού και πιο συγκεκριμένα του σχεδιασμού για το περιβάλλον (DfE), του σχεδιασμού προς αποσυναρμολόγηση (DfD) και του σχεδιασμού προς ανακύκλωση (DfR). Χρησιμοποιώντας αντίστροφη εφοδιαστική και πράσινο σχεδιασμό προϊόντων στη διαχείριση της πράσινης αλυσίδας

εφοδιασμού, οι εταιρείες μπορούν να επιδείξουν την αφοσίωσή τους στο περιβάλλον. Ωστόσο, αυτή η μελέτη αμφισβητεί τον τελικό στόχο της ανάκτησης υλικών και ενέργειας από απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Οι επιλογές για την αντίστροφη εφοδιαστική εξαρτώνται από την υπολειπόμενη αξία του προϊόντος και το επαναχρησιμοποιήσιμο περιεχόμενο που μπορεί να επανεισαχθεί στα πρώτα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού, όπως αναφέρεται και στην εργασία.



Σχήμα 2.25. Παράδειγμα αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας δευτερογενούς αγοράς [126]

Η ανάλυση επικεντρώνεται στην αλληλογραφία από εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών, πιστοποιημένες κατά ISO14001. Ανακαλύφθηκε ότι ο σχεδιασμός με δυνατότητες αποσυναρμολόγησης είναι απαραίτητος για την εξαγωγή πολύτιμων πόρων, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αναπαραγωγή. Επιπλέον, ο αποτελεσματικός συντονισμός και η επίβλεψη της αντίστροφης ροής των πρώτων υλών στις συσκευασίες, τα αποθέματα, τα τελικά προϊόντα και τα απόβλητα είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό περιλαμβάνει επίσης την ανάκτηση αντικειμένων από τους λιανοπωλητές και τη μεταφορά τους σε εγκαταστάσεις για συλλογή, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή ανακατασκευή. Βάσει των πρακτικών αντίστροφης εφοδιαστικής, η εργασία [102] εισάγει ένα πρακτικό λογικό μοντέλο για τη διανομή των ΑΗΗΕ. Με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης, το προτεινόμενο μοντέλο είναι σε θέση να προσδιορίσει κρίσιμα λειτουργικά στοιχεία. Τα τρέχοντα δεδομένα και οι επακόλουθες προσαρμογές θα αξιολογήσουν διάφορα σημαντικά θέματα.

Επιπρόσθετα, η αναφορά [86] διερευνά την αντίστροφη εφοδιαστική και τον αντίκτυπό της στην αξία των ανακατασκευασμένων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ποιότητα, οι εγγυήσεις, ο χρόνος επεξεργασίας και οι συνεργασίες μεταξύ τρίτων οντοτήτων, κατασκευαστών και λιανοπωλητών. Η αντίστροφη εφοδιαστική έχει γίνει ολοένα και πιο ζωτικής σημασίας λόγω των περιβαλλοντικών ανησυχιών και των νέων κανονισμών. Σε αυτό το πλαίσιο, τα ανακαινισμένα προϊόντα έχουν κερδίσει δημοτικότητα. Αντί να αντιμετωπίζουν την αλυσίδα επιστροφής ηλεκτρονικών ειδών ως δευτερεύουσα διαδικασία, οι κατασκευαστές, οι έμποροι λιανικής και τα τρίτα ενδιαφερόμενα μέρη έχουν βελτιώσει τα προγράμματα και τις λειτουργίες επιστροφών τους. Έτσι εξετάζεται η σημασία και η αξία της ίδρυσης τρίτων εταιρειών στην αντίστροφη εφοδιαστική των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Η επιτυχία της αντίστροφης



εφοδιαστικής εξαρτάται από το συγκεκριμένο πλαίσιο και τους τοπικούς νόμους. Η μελέτη αυτή εξετάζει πώς παράγοντες όπως η ποιότητα, οι εγγυήσεις, ο χρόνος διεκπεραίωσης και οι συνεργασίες μεταξύ τρίτων εταιρειών, κατασκευαστών και λιανοπωλητών επηρεάζουν την αξία των ανακατασκευασμένων προϊόντων. Αυτές οι μεταβλητές συνδέονται με βέλτιστα αποτελέσματα και παρουσιάζουν ευκαιρίες για επέκταση στον επιχειρηματικό τομέα τρίτων. Οι περιπτώσιολογικές μελέτες υπογραμμίζουν την επίδραση εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων, καθώς και των χαρτοφυλακίων συσκευών. Ταυτόχρονα, το άρθρο [87] εξετάζει την έννοια της αντίστροφης εφοδιαστικής ως μέσο παρακολούθησης και στρατηγικού σχεδιασμού για ένα δίκτυο ανακατασκευής. Εστιάζει στην ενσωμάτωση τόσο νέων όσο και παλαιών συσκευών. Οι OEM δίνουν αυξανόμενη σημασία στα δίκτυα αντίστροφης εφοδιαστικής, με γνώμονα τους «πράσινους» νόμους που απαιτούν να πάρουν πίσω τα χρησιμοποιημένα προϊόντα, τους για να μειώσουν τα απόβλητα και να εξοικονομήσουν πόρους. Ως αποτέλεσμα, οι OEM έχουν δώσει προτεραιότητα στο σχεδιασμό προϊόντων για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση και έχουν δημιουργήσει δίκτυα για την ανάκτηση μεταχειρισμένων προϊόντων, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακατασκευαστούν, να ανακυκλωθούν ή να απορριφθούν. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους OEM να μεγιστοποιήσουν την αξία των χρησιμοποιημένων οικιακών συσκευών. Ο σχεδιασμός και η κατανομή χωρητικότητας του δικτύου επηρεάζονται από τις αποδόσεις και τη ζήτηση για ανακατασκευασμένα και μεταχειρισμένα προϊόντα. Οι OEM θα αναπτύξουν ένα πολύπλοκο δίκτυο μόνο εάν προσθέτει αξία στις συσκευές τους. Η εργασία παρουσιάζει ένα μαθηματικό μοντέλο για το σχεδιασμό του δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής και συζητά πώς η αποθήκη πρέπει να χειρίζεται τη συλλογή και τη συναρμολόγηση των επιστρεφόμενων συσκευών πριν τις μεταφέρει σε κέντρα επανεπεξεργασίας για επιθεώρηση και αποσυναρμολόγηση. Στη συνέχεια, τα αποσυναρμολογημένα μέρη είτε ανακατασκευάζονται είτε πωλούνται ως ανταλλακτικά. Το υπό εξέταση μοντέλο αναλύει, επίσης, την ανακύκλωση και την απόρριψη συσκευών και παρέχει ποσοτικά παραδείγματα που καταδεικνύουν ξεκάθαρα την πρακτική χρήση του.

### 2.5.8 Αλυσίδα εφοδιασμού

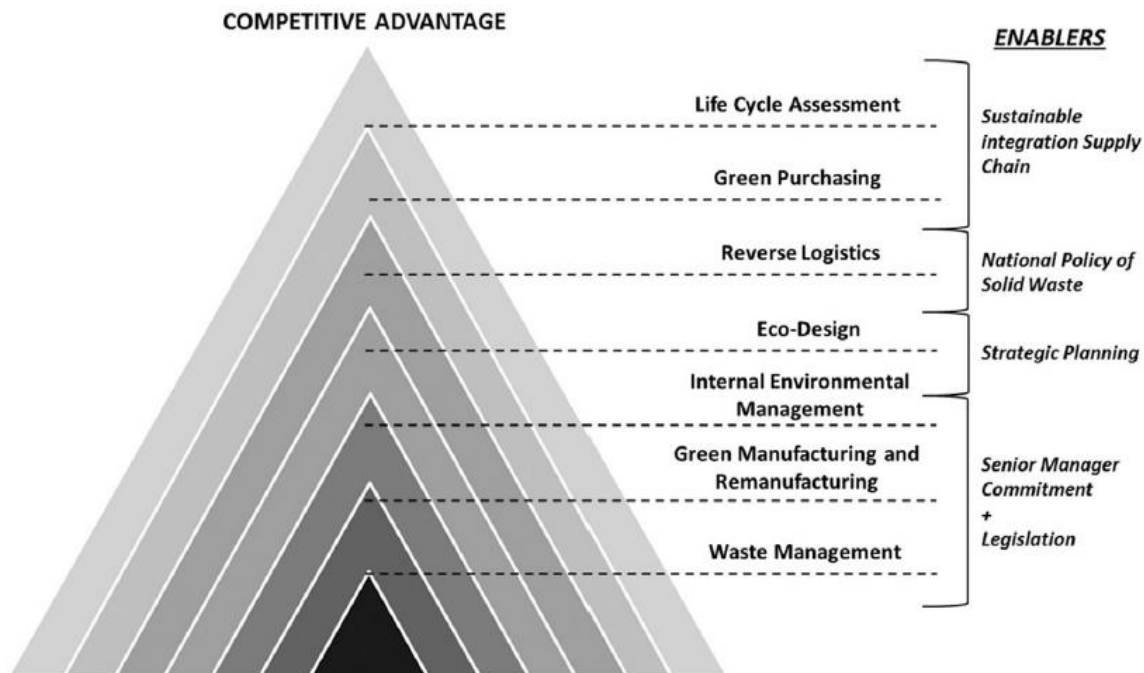
Ο όρος «αλυσίδα εφοδιασμού» αναφέρεται σε ένα περίπλοκο σύστημα διασυνδεδεμένων διαδικασιών και λειτουργιών που εμπλέκονται στη μετακίνηση, στη μετατροπή και στη διανομή πρώτων υλών και εξαρτημάτων συσκευών. Ωστόσο, όλες αυτές οι διαδικασίες καταλήγουν τελικά στην πώληση προϊόντων στους καταναλωτές. Ο κύριος στόχος των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η παράταση της διάρκειας ζωής μιας συσκευής. Αν και αυτή η πρακτική μειώνεται, οδηγεί σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η μελέτη [84] διερευνά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ψυγείων, λαμβάνοντας υπόψη τις συνεχείς βελτιώσεις τους στην ενεργειακή απόδοση. Τα ευρήματα δείχνουν ότι συνιστάται η παράταση της διάρκειας ζωής αυτών των συσκευών και στις δύο περιπτώσεις. Για παράδειγμα, προτείνεται τα ψυγεία που αγοράστηκαν το 2011 να χρησιμοποιούνται για 20 χρόνια, αντί για 14 έτη σύμφωνα με το προηγούμενο πρότυπο. Οι σχεδιαστές, από την άλλη πλευρά, δεν έχουν εξειδίκευση στο σχεδιασμό οικιακών συσκευών για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους (μέσω παράτασης ζωής ή ανακαίνισης) και να διευκολύνουν την ανακύκλωση. Αυτή η μελέτη εξετάζει διαφορετικές στρατηγικές που χρησιμοποιούνται με την πάροδο του χρόνου για συσκευές και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητες προσαρμοσμένες προσεγγίσεις. Μία από τις κύριες προκλήσεις αυτής της έρευνας είναι ο καθορισμός της κατάλληλης στιγμής για την εφαρμογή συγκεκριμένων στρατηγικών με στόχο την παράταση της διάρκειας ζωής της συσκευής. Οι τεχνολογικές εξελίξεις και η αλλαγή της στάσης των καταναλωτών έχουν



κάνει την ανακαίνιση της συσκευής πιο προσιτή την τελευταία δεκαετία, οδηγώντας σε αβεβαιότητα σχετικά με την επιστροφή των οικιακών συσκευών. Ωστόσο, πολλοί ενδιαφερόμενοι σε διάφορους κλάδους εξακολουθούν να διστάζουν να αναπτύξουν τις δικές τους ικανότητες ανακατασκευής και κατά συνέπεια να ανακυκλώσουν για να ανταποκριθούν στη λογική ERP. Οι ανησυχίες σχετικά με τις ανακατασκευασμένες συσκευές που προκαλούν την εξαφάνιση της αρχικής αγοράς και επηρεάζουν τον όγκο και την ποιότητα των ροών επιστροφής είναι κοινές μεταξύ των πολιτών.

Στην εργασία [95] εισάγεται ένα μοντέλο για το σχεδιασμό μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με το μέγεθος της αγοράς, τον όγκο και την ποιότητα απόδοσης του. Το ευρύτερο πλαίσιο αποκαλύπτει επίσης παραλλαγές στον τρόπο με τον οποίο οι πελάτες εκτιμούν τις νέες και ανακαινισμένες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Δεδομένου ότι ένα συμβατικό λογισμικό δεν μπορεί να λύσει ένα πρόγραμμα μεικτού αέριου αριθμού, χρησιμοποιείται η μέθοδος αέριου "σχήματος L" και το πρόβλημα επιλύεται με προσέγγιση του μέσου όρου. Συγκεκριμένα, η μελέτη περίπτωσης επικεντρώνεται στην BSH, μια γερμανική εταιρεία που κατασκευάζει ηλεκτρικές οικιακές συσκευές και παρέχει επίσης πληροφορίες διαχείρισης. Η ανάλυση δείχνει ότι η συμμετοχή της εταιρείας στην ανακατασκευή, εξαρτάται από το κόστος που σχετίζεται με τις επιλογές ανάπτυξης συσκευών και την αξία που δίνουν οι πελάτες στις ανακατασκευασμένες συσκευές. Επίσης, διερευνά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της επαναχρησιμοποίησης συσκευών στη διαδικασία προμήθειας υλικών, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο κορυφαίοι κατασκευαστές στις ανεπτυγμένες χώρες εφαρμόζουν πρακτικές διαχείρισης της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού, όπως αναλύεται αντίστοιχα και στην αναφορά [68]. Αυτοί οι κατασκευαστές, συνήθως, δείχνουν ισχυρή δέσμευση στην περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και έχουν υψηλό ποσοστό υιοθέτησης πράσινων πρακτικών. Ωστόσο, η εφαρμογή και η υιοθέτηση αυτών των πρακτικών στη βιομηχανία ηλεκτρικών οικιακών συσκευών των αναπτυσσόμενων χωρών είναι αβέβαιη. Στόχος της εργασίας είναι να προσδιορίσει και να αναλύσει τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές ηλεκτρικών οικιακών συσκευών για την εφαρμογή της διαχείρισης της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού. Για την ανάλυση των πράσινων πρακτικών στον κλάδο, μελετήθηκαν πέντε μεταποιητικές βιομηχανίες και δύο επαγγελματικοί φορείς. Συλλέχτηκε σημαντικός όγκος δεδομένων, εστιάζοντας σε διάφορες πτυχές, όπως στην εσωτερική περιβαλλοντική διαχείριση, στην αντίστροφη εφοδιαστική, στην πράσινη αγορά, στον οικολογικό σχεδιασμό, στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής, στη διαχείριση απορριμμάτων και στην πράσινη παραγωγή. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα βασίστηκαν κυρίως στη διαχείριση των αποβλήτων ως την κύρια τεχνική τους, ενώ η υιοθέτηση πράσινων πρακτικών αγορών και η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ήταν λιγότερο συχνές. Ωστόσο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα συστήματα κλειστού βρόχου μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αλυσίδων εφοδιασμού, καθιστώντας τις βιώσιμες.

Η ανάλυση των αλυσίδων εφοδιασμού ΗΗΕ είναι ιδιαίτερα σημαντική, όπως φαίνεται στην ερευνητική εργασία [88], επειδή διερευνά τη δυνατότητα μιας βιώσιμης λύσης. Η χρήση της σωρευτικής ζήτησης ενέργειας επιτρέπει την πρακτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της χρήσης, της μεταφοράς και των δραστηριοτήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ανησυχιών στην αλυσίδα εφοδιασμού ΗΗΕ, συνιστάται η ενσωμάτωση αρχών βιωσιμότητας σε μοντέλα βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου. Η αναφορά [56] επικεντρώνεται στη νομοθεσία ανάκτησης και στην ανασυγκρότηση της αλυσίδας εφοδιασμού. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, πολλές χώρες έχουν εφαρμόσει νόμους που απαιτούν από τους κατασκευαστές να συλλέγουν και να ανακυκλώνουν τις χρησιμοποιημένες συσκευές.



Σχήμα 2.26. Πυραμίδα αλυσίδας εφοδιασμού βάσει κύκλου ζωής του προϊόντος [71]

Ένας ρυθμιζόμενος κλάδος επιτρέπει στους κατασκευαστές να πωλούν ανακατασκευασμένα προϊόντα με τα δικά τους εμπορικά σήματα. Ένα συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιείται για την εξέταση τριών επιπέδων νομοθεσίας και την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο επηρεάζουν τις αποφάσεις κατασκευής, ανακατασκευής και συλλογής. Η μελέτη διερευνά επίσης πώς η νομοθεσία σχετικά με τη συλλογή και το επιθυμητό αποτέλεσμα μπορεί να επηρεάσει την ανακατασκευή. Τελικά, λαμβάνοντας υπόψη την επεξεργασία στο τέλος της χρήσης της, η ανακατασκευή θεωρείται πιο πράσινη επιλογή σε σύγκριση με την ανακύκλωση. Ωστόσο, η διεξαγωγή μιας συνολικής εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι απαραίτητη για να αμφισβητηθεί η ιδέα ότι η αυξημένη ανακατασκευή είναι πάντα ωφέλιμη για το περιβάλλον. Η χρήση της ανάλυσης του κύκλου ζωής επιτρέπει τη μοντελοποίηση των οικολογικών επιπτώσεων που προκαλούνται από συσκευές. Αυτή η μελέτη διερευνά επίσης πώς οι νόμοι για την αποκατάσταση συμβάλλουν στη διαδικασία ανάπλασης, καθώς και τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Επιπλέον, δημιουργείται ένα μοντέλο για να εξετάσει πώς η νομοθεσία επηρεάζει την πλειοψηφία των καταναλωτών και τα κέρδη των παραγωγών. Ακόμη, ζητούνται γνώμες σχετικά με το πότε η νομοθεσία μπορεί να προκαλέσει μείωση της συνολικής ευημερίας. Ο ανασχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας ορίζεται από ιδιότητες, όπως η ποιότητα, η αξιοπιστία και η συντήρηση. Η ακαδημαϊκή έρευνα έχει επικεντρωθεί στην αντίστροφη εφοδιαστική, στην ανακατασκευή, στην ανάκτηση και στην αποκατάσταση συσκευών που έχουν φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η αντίστροφη εφοδιαστική περιλαμβάνει πτυχές, όπως η ποιότητα, η αξιοπιστία, η συντήρηση και η εγγύηση για τα ανακτημένα προϊόντα, καθώς και η ανακατασκευή για παράταση της διάρκειας ζωής τους. Σε αυτό το πλαίσιο, η εργασία [71] παρέχει μια ανασκόπηση της πρόσφατης επιστημονικής εργασίας για τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου, εστιάζοντας συγκεκριμένα στην ανακατασκευή και στη χρήση χρησιμοποιημένων συσκευών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η εργασία χωρίζεται σε ενότητες με βάση ερευνητικούς τομείς και πρακτικές εφαρμογές και προσδιορίζει διεξοδικά τα μαθηματικά εργαλεία και μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική βιβλιογραφία.

### 2.5.9 Βιωσιμότητα

Οι μέθοδοι σχεδιασμού για τη βιωσιμότητα περιλαμβάνουν συστηματικές διαδικασίες, τεχνικές, βοηθήματα και εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία κατασκευής ηλεκτρικών συσκευών. Συγκεκριμένα, η εργασία [122] εξετάζει διεξοδικά την αποτελεσματικότητα ενός δικτύου αντίστροφης εφοδιαστικής που ενσωματώνει βελτιστοποιημένο σχεδιασμό αλυσίδας εφοδιασμού με στόχο απώτερο τη βιωσιμότητα. Ο σχεδιασμός βελτιστοποιείται μέσω χρήσης ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού, ο οποίος στη συνέχεια αντιστρέφει τη ροή του δικτύου. Πρόσφατα, η Ταϊβάν θέσπισε κανονισμούς για την ανακύκλωση οικιακών συσκευών και την αντιμετώπιση ανησυχιών σχετικά με συσκευές στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Οι κατασκευαστές και οι εισαγωγείς υποχρεούνται πλέον, σύμφωνα με αυτούς τους κανονισμούς, να ανακαλούν συσκευές. Καθώς οι ρυθμοί ανάκτησης και οι περιοχές που εξυπηρετούνται επεκτείνονται, τα συστήματα αντίστροφης εφοδιαστικής θα γίνουν όλο και πιο ζωτικής σημασίας. Επίσης, αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της υποδομής και της αντίστροφης ροής του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, το προτεινόμενο μοντέλο ελαχιστοποιεί τα διάφορα κόστη, όπως αυτά της μεταφοράς, της λειτουργίας, των σταθερών υποδομών, της τελικής διάθεσης, της υγειονομικής ταφής και των εσόδων από πωλήσεις ανακυκλωμένων υλικών. Τα ευρήματα λαμβάνουν υπόψη διαφορετικούς ρυθμούς πρόσληψης και συνθήκες λειτουργίας. Ταυτόχρονα, το άρθρο [93] χρησιμοποιεί έναν γενετικό αλγόριθμο που υλοποιήθηκε μέσω του "GAMS CPLEX" για να εξετάσει την ανάπτυξη αποτελεσματικών διαδικασιών ανάκτησης για ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η κύρια εστίαση ήταν στην αποσυναρμολόγηση, με στόχο την ενίσχυση της βιωσιμότητας, τη μεγιστοποίηση της οικολογικής και χρηματικής αξίας και την ελαχιστοποίηση της παραγωγής απορριμμάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, ορίστηκε ένα πρόβλημα και εισήχθη ένας αλγόριθμος δύο φάσεων για μια αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού, με προτεραιότητα την ανακατασκευή. Αρχικά, αναλύθηκε μια παρουσίαση προγραμματισμού πολλαπλών κριτηρίων/στόχων για τον εντοπισμό των βέλτιστων υποσυστημάτων και εξαρτημάτων προς αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση για συγκεκριμένες συσκευές. Διεξήχθη εκτενής ανάλυση σε διάφορα προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Έπειτα, στην επόμενη φάση, εισήχθη ένα μοντέλο MILP με πολλαπλές συσκευές και χρονικές περιόδους. Αυτό το μοντέλο εξέτασε συγκεκριμένα τους χρόνους αποσυναρμολόγησης και ανάκτησης, στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της ανάκτησης και δίνοντας παράλληλα προτεραιότητα στη βιωσιμότητα. Τέλος, προτάθηκε μια λύση βασισμένη σε προσομοίωση για την ενσωμάτωση αβεβαιοτήτων στην αντίστροφη εφοδιαστική. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η μελέτη αυτή υιοθετεί μια φιλική προς τον χρήστη προσέγγιση, για την υποστήριξη της λήψης διοικητικών αποφάσεων, ενώ παράλληλα επιβεβαιώνει περαιτέρω την επιτυχή εφαρμογή της ανωτέρω μεθοδολογίας.

### 2.5.10 Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

Τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) είναι μια σειρά ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών που είτε έχουν καταστεί παρωχημένες είτε έχουν απορριφθεί για οποιονδήποτε άλλο λόγο. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει οικιακές συσκευές και ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης που εξαρτώνται από την ηλεκτρική ενέργεια, περιέχει δε, τόσο πολύτιμα όσο και επικίνδυνα εξαρτήματα. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητες εξειδικευμένες τεχνικές ανακύκλωσης, όπως τονίζεται στην εργασία [117]. Η ιεραρχία διαχείρισης απορριμμάτων της Ε.Ε δίνει προτεραιότητα στην προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίηση (PfR), αντί για την προετοιμασία προς ανακύκλωση (DfR). Η επαναχρησιμοποίηση συσκευών είναι μια ωφέλιμη και αποτελεσματική πρακτική, εφόσον οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις είναι χαμηλότερες από αυτές των νέων συσκευών. Εάν

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

δεν πληρούται αυτή η προϋπόθεση, δεν υπάρχουν πλεονεκτήματα στην επαναχρησιμοποίηση και θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο ανακύκλωσης. Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της επαναχρησιμοποίησης συσκευών με άλλες στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων. Αυτή η αξιολόγηση επικεντρώνεται συγκεκριμένα σε τέσσερις λευκές συσκευές (πλυντήριο ρούχων, πλυντήριο πιάτων, ψυγείο, καταψύκτη) και τέσσερις μικρές συσκευές. Τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν ότι η ανακύκλωση είναι μερικές φορές καλύτερη επιλογή από την επαναχρησιμοποίηση. Η χρήση λευκών συσκευών έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη, στην κατανάλωση νερού και στη ζήτηση ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι κατευθυντήριες γραμμές σε αυτό το έγγραφο προτείνουν ότι ο κλάδος πρέπει να αποφεύγει την επαναχρησιμοποίηση. Επιπλέον, τα προϊόντα με ευρωπαϊκή βαθμολογία ενεργειακής απόδοσης D ή C δεν θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση μικρών ηλεκτρικών συσκευών έχει μικρότερο αντίκτυπο από την παραγωγή νέων αντίστοιχων. Επομένως, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συγκρίνοντας τις κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης, μπορούν να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με συγκεκριμένες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές και μέσω της πληροφορίας για τη μέση κατανάλωση των συσκευών, μπορεί να παρέχονται συστάσεις για μείωση της κατανάλωσης.

Τα ευρήματα της μελέτης [51] καταδεικνύουν ξεκάθαρα, ιδιαιτέρως αναφορικά με τις μικρές συσκευές, τις αγοραστικές οικολογικές επιλογές των καταναλωτών για την αγορά νέων συσκευών, παρά την επιλογή της επαναχρησιμοποίησης, η οποία ισχύει κυρίως για μεγάλες οικιακές συσκευές. Επιπλέον, η μελέτη [65] εξετάζει τις παγκόσμιες ροές ΑΗΗΕ και διερευνά τον αντίκτυπο πολιτικών όπως η EPR σε αυτές τις ροές. Οι ΗΠΑ, η ΕΕ και η Ιαπωνία εξάγουν απόβλητα στην Κίνα και στην Ινδία, αλλά η τοπική διάθεση παραμένει η κυρίαρχη πρακτική. Η εξαγωγή ΑΗΗΕ στη Δυτική Αφρική και σε άλλες χώρες με ασθενέστερη περιβαλλοντική νομοθεσία αυξάνει τους τοπικούς κινδύνους για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Σε μια παγκοσμιοποιημένη οικονομία, πολλές κυβερνήσεις επιβάλλουν την ανακύκλωση υλικών και η Ε.Ε την προωθεί ενεργά. Ενώ η ανακύκλωση υλικών είναι προτιμότερη από την εξαγωγή, η βιώσιμη ανάπτυξη απαιτεί εκτεταμένη και σημαντικά αυξημένη ανακύκλωση απορριμμάτων.



**Σχήμα 2.27. Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) [66]**

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της συλλογής και επαναχρησιμοποίησης πόρων, έχουν τονιστεί λόγω των παγκόσμιων ανησυχιών για τον μεγάλο όγκο ΑΗΗΕ. Με βάση τις πτυχές που εξετάζονται σε αυτή την εργασία, είναι απαραίτητο να βελτιωθεί το σύστημα διαχείρισης για την ατελή συλλογή με στόχο τη δημιουργία μιας φιλικότερης προς το περιβάλλον και αποτελεσματικότερης διαδικασίας για τη συλλογή όλων των ΑΗΗΕ. Η εργασία [114] εξετάζει το πλαίσιο συλλογής των ΑΗΗΕ της Κίνας και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει, μέσω της δημόσιας έρευνας και των δεδομένων ανάκτησης πληροφοριών στο διαδίκτυο, περί αυτών. Η ανάλυση προτείνει τέσσερις νέες προσεγγίσεις για τη συλλογή WEEE, ήτοι τα ενοποιημένα κανάλια συλλογής, τη συμμαχία κατασκευαστών, την ανάπτυξη καινοτόμου πλατφόρμας δικτύου για επιχειρήσεις και την ολοκληρωμένη πλατφόρμα δικτύου τρίτων. Επιπροσθέτως, συγκρίνει και αξιολογεί τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών των τεσσάρων μεθόδων, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές περιοχές, τα οικονομικά επίπεδα και τη χρήση του Διαδικτύου. Η ενσωμάτωση διαδικτυακών και εκτός σύνδεσης πόρων σε μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα δικτύου τρίτων, αναμένεται να υιοθετηθεί ευρέως στην Κίνα λόγω της ραγδαίας προόδου στην τεχνολογία των πληροφοριών και του ηλεκτρονικού εμπορίου. Συγκεκριμένα, η εν λόγω μελέτη διερευνά κατάλληλες και καινοτόμες μεθόδους συλλογής ΑΗΗΕ και προσφέρει συστάσεις για χώρες ή οικονομίες με παρόμοια συστήματα συλλογής ΑΗΗΕ, όπως η Κίνα. Η προώθηση των μεταφορών εξαρτάται επίσης από την κυβερνητική υποστήριξη και την επιβολή του νόμου. Οι κύριες στρατηγικές για την αποφυγή των αποβλήτων είναι η επισκευή, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση. Η ανάλυση δείχνει ότι η ανακατασκευή είναι συχνά μια ευεργετική στρατηγική. Με τη διατήρηση της ενέργειας που χρησιμοποιείται στην πρωτογενή παραγωγή, μειώνεται ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος και αναγνωρίζεται η διαδικασία προστιθέμενης αξίας του κατασκευαστή, οδηγώντας σε αυξημένη κερδοφορία. Αξίζει επίσης να αναφερθεί η ερευνητική εργασία [81], η οποία περιγράφει τις πρωταρχικές τεχνικές προκλήσεις της ανακατασκευής και προτείνει μια στρατηγική σχεδιασμού πλατφόρμας για την αντιμετώπισή τους, αναλύοντας εκτενώς την περιγραφή του σχεδιασμού της πλατφόρμας από τους συγγραφείς και των δυνατοτήτων για ανακατασκευή.

## 2.6 Αποτελέσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης εφαρμοζόμενων πρακτικών στις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές

Στο πλαίσιο αυτής της έντονα ανταγωνιστικής βιομηχανίας έχουν αναπτυχθεί διάφορες πρακτικές και πρωτοβουλίες, οι οποίες εστιάζουν στη μείωση, στην επαναχρησιμοποίηση και στην ανακύκλωση των προϊόντων της. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην προώθηση της βιωσιμότητας και στην ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης και επισκευής σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα μεταξύ των μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στοχεύει στο να υποστηρίξει το κίνημα του «Δικαιώματος στην Επισκευή» και στο να παρακινήσει τους πολίτες να υιοθετήσουν αυτήν την ιδέα κάνοντας τις επισκευές πιο ελκυστικές, πιο οργανωμένες και προσιτές μέσω της εφαρμογής μέτρων, όπως:

- της επέκτασης του χρόνου εγγύησης των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών,
- της παροχής εγγύησης για ανταλλακτικά και μέρη εξαρτημάτων των συσκευών,
- της βελτίωσης δυνατότητας πρόσβασης στις πληροφορίες και
- της επισκευής και συντήρησης των συσκευών και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων τους.

Για να περιοριστεί η χρήση μη επαναχρησιμοποιήσιμων εξαρτημάτων και η ποσότητα των αποβλήτων που πρέπει να απορριφθούν στο τέλος του κύκλου ζωής μιας συσκευής, οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές μεγαλύτερης διάρκειας αποτελούν πυλώνα της κυκλικής οικονομίας.

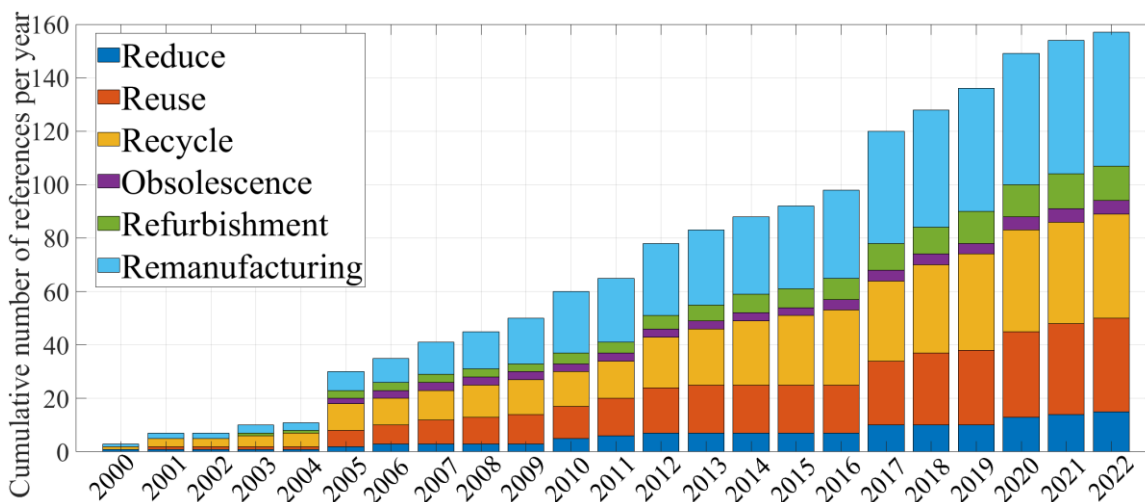
## Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης με βάση τις αρχές της πρωτοβουλίας «3R» (Reduce–Reuse–Recycle), στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Για τον σκοπό αυτό μελετήθηκαν 89 δημοσιευμένες εργασίες, οι οποίες διέθεταν περισσότερες από δέκα ετεροαναφορές και ανακτήθηκαν από τις βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων IEEE Xplore και Scopus.

Από τις εργασίες αυτές προέκυψε ότι οι κύριες διαδικασίες που διέπουν την πρωτοβουλία «3R» είναι οι ακόλουθες:

- απαρχαίωση,
- πλήρης ανακατασκευή,
- ανακατασκευή.

Ως προς τις κυρίαρχες διαδικασίες και τις αρχές της πρωτοβουλίας «3R» εξάγεται το συμπέρασμα πως αυτές είναι η «Ανακύκλωση» και η «Πλήρης Ανακατασκευή». Το Σχήμα 2.28 επιβεβαιώνει το παραπάνω συμπέρασμα μέσω μιας αθροιστικής ετήσιας κατανομής.



Σχήμα 2.28 Ετήσια κατανομή των ερευνηθεισών εργασιών για την πρωτοβουλία «3R» [1]

Παράλληλα, εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν οι τεχνικές διαστάσεις της πρωτοβουλίας «3R», οι οποίες συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- κυκλική οικονομία
- σχεδιασμός
- τεχνικές αποσυναρμολόγησης
- εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- στρατηγικές διαχείρισης
- χρήση πόρων
- αντίστροφη εφοδιαστική
- διαχείριση
- εφοδιαστική αλυσίδα
- πρακτικές βιωσιμότητας και
- διαχείριση αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Λαμβάνοντας υπόψη την ταξινόμηση των εργασιών που εξετάστηκαν ανά τεχνική διάσταση, προέκυψε ότι η πιο δημοφιλής διάσταση της πρωτοβουλίας «3R» για τους ερευνητές ήταν η διαχείριση αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού με αναφορά σε 29 εργασίες.

Επιπρόσθετα, το σύνολο των 89 εργασιών περιελάμβανε ένα σημαντικό αριθμό μοντέλων βελτιστοποίησης, από τα οποία τα κυριότερα εξ αυτών ήταν:

- Mixed integer programming (MIP)
- Multi-objective linear programming (MOLP)
- Integer linear programming (ILP)
- Dynamic programming
- Mixed-integer linear programming (MILP)
- Genetic algorithm (GA);
- Mixed integer quadratic programming (MIQP)

Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά ήταν:

- General Algebraic Modeling System (GAMS)
- ADBASE 5.1
- IBM ILOG CPLEX Optimization Studio
- Multiple sequence alignment (MSA)

Οι ναυαρχίδες στις ανωτέρω κατηγορίες μοντέλων βελτιστοποίησης και λογισμικών ήταν το MILP και το GAMS, αντιστοίχως.

Οι προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει η βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών κατά την υιοθέτηση του «πράσινου καταναλωτισμού», συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- βιώσιμη προμήθεια
- παραγωγή, ο σχεδιασμός και η καινοτομία των προϊόντων
- ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση των πελατών
- διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού
- συμμόρφωση βάσει κανονισμών
- τεχνικοί περιορισμοί και
- κόστος

Παράλληλα, θα πρέπει να παρασχεθούν ολοκληρωμένες προτάσεις για την εφαρμογή «3R» πρακτικών στον τομέα των οικιακών συσκευών με σκοπό την προώθηση μιας περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένης συμπεριφοράς των καταναλωτών. Τέλος, καταδεικνύεται πως η υιοθέτηση της εκτεταμένης ευθύνης του παραγωγού, σε συνδυασμό με την ανάλυση του κύκλου ζωής, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακαίνιση, αποτελούν τις σημαντικότερες πρωτοβουλίες και τάσεις στον τομέα των οικιακών συσκευών.

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**



### 3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΥΒΙΟΤΗΤΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

#### 3.1 Μελέτη προσδιορισμού μερικού ρυθμού αστοχίας και γήρανσης PCB

Ο σχεδιασμός προϊόντων μεγαλύτερης διάρκειας, όπως των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, αποτελεί βασική προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας για τη μείωση της χρήσης μη επαναχρησιμοποιήσιμων υλικών και του αριθμού των αποβλήτων που πρέπει να διαχειριστούμε στο τέλος της ζωής των συσκευών, καθώς και για τη μείωση της βραχυβιότητάς τους. Η κατασκευή σύγχρονων ηλεκτρικών συσκευών περιλαμβάνει την ενσωμάτωση πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων που παρέχουν μηχανική υποστήριξη και διασυνδέουν ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά στοιχεία, χρησιμοποιώντας αγωγίμες διαδρομές που είναι χαραγμένες σε ένα ή περισσότερα στρώματα φύλλων χαλκού που έχουν τοποθετηθεί πάνω σε ή μεταξύ μη αγωγίμων στρωμάτων.

##### 3.1.1 Υπολογισμός ρυθμού αστοχίας και γήρανσης εξαρτημάτων PCB

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού του μερικού ρυθμού αστοχίας των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μιας πλακέτας, με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασής του σε κάθε εξάρτημα λόγω γήρανσης [124]. Συνοπτικά, οι παράγοντες που σχετίζονται με τους μερικούς ρυθμούς αστοχίας των εξαρτημάτων, παρουσιάζονται στο «ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'».

###### 3.1.1.1 Ανορθωτική διόδος

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τις ανορθωτικές διόδους περιγράφεται από τη παρακάτω σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_S \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.1)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_T$ , ο θερμοκρασιακός παράγοντας,  $\pi_S$  ο ηλεκτρικός παράγοντας πίεσης,  $\pi_C$  ο κατασκευαστικός παράγοντας,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Το εγχειρίδιο [123] εμφανίζει διαφορετικού τύπου διόδους χαμηλής συχνότητας, όπως αναλογικές γενικής χρήσεως, διακοπτικές, ταχείας επαναφοράς και ανορθωτικές ισχύος. Κάθε τύπος διόδου τείνει να εμφανίζει τους δικούς του συντελεστές επιτάχυνσης γήρανσης. Για τη συγκεκριμένη πλακέτα που μελετήθηκε, οι διόδοι που χρησιμοποιούνται είναι ανόρθωσης ισχύος και ταχείας επαναφοράς. Η γήρανση των διόδων επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, συγκριτικά με τη λειτουργία σε θερμοκρασία αναφοράς. Ο συντελεστής θερμοκρασίας  $\pi_T$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\pi_T = \exp \left( -3091 \left( \frac{1}{\text{θερμοκρασία επαφών} + 273} - \frac{1}{298} \right) \right) \quad (3.2)$$

Ο ηλεκτρικός παράγοντας πίεσης  $\pi_S$  δίνεται από την εξίσωση παρακάτω [124]:

$$\pi_S = \left( \frac{\text{εφαρμοζόμενη τάση}}{\text{μετρούμενη τάση}} \right)^{2,43} \quad (3.3)$$

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

### 3.1.1.2 Μικροδιακόπτης–Μπουτόν

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τους μικροδιακόπτες–μπουτόν δίνεται από τη σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CYC} \cdot \pi_L \cdot \pi_C \cdot \pi_E \quad (3.4)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_{CYC}$  ο κυκλικός παράγοντας,  $\pi_L$  ο παράγοντας καταπόνησης φορτίου,  $\pi_C$  ο κατασκευαστικός παράγοντας και τέλος  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Ο συντελεστής  $\pi_L$  προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\pi_L = \exp \left( \frac{\left( \frac{\text{ένταση ρεύματος υπό φορτίο}}{\text{μετρούμενη αντίσταση φορτίου}} \right)^2}{0,8} \right) \text{ για ωμικό καταναλωτή} \quad (3.5)$$

### 3.1.1.3 Θυρίστωρ

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας για τα θυρίστωρ δίνεται από τη σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.6)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_T$  ο θερμοκρασιακός παράγοντας,  $\pi_R$  ο παράγοντας έντασης του ρεύματος,  $\pi_S$  ο ηλεκτρικός παράγοντας πίεσης,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας.

Ο παράγοντας  $\pi_T$  προσδιορίζεται σύμφωνα με την εξίσωση [124]:

$$\pi_T = \exp \left( -3082 \left( \frac{1}{\text{θερμοκρασία επαφών} + 273} - \frac{1}{298} \right) \right) \quad (3.7)$$

Ο παράγοντας  $\pi_R$  μεταβάλλεται με την ενεργό τιμή του ρεύματος σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\pi_R = (\text{ενεργό ρεύμα})^{0,40} \quad (3.8)$$

ενώ ο παράγοντας  $\pi_S$ , προσδιορίζεται ως ακολούθως:

$$\pi_S = \left( \frac{\text{εφαρμοζόμενη τάση φραγμού}}{\text{μετρούμενη τάση φραγμού}} \right)^{1,9} \quad (3.9)$$

### 3.1.1.4 Αντιστάτης

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τους αντιστάτες δίνεται από τη σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.10)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_R$  ο παράγοντας εύρους αντιστάτη,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Υποθέτοντας ότι  $T$  είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς  $^{\circ}\text{C}$ , ο  $\lambda_b$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\lambda_b = 3,25 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{T+273}{343}\right)^3 \exp\left(\frac{\text{ισχύς λειτουργίας}\left(\frac{T+273}{273}\right)}{\text{μετρούμενη ισχύς}\left(\frac{T+273}{273}\right)}\right) \quad (3.11)$$

### 3.1.1.5 Πυκνωτής

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας για τους πυκνωτές περιγράφεται από τη σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.12)$$

όπου  $\lambda_b$  ορίζεται ο βασικός ρυθμός αστοχίας για τους πυκνωτές,  $\pi_{CV}$  ο παράγοντας χωρητικότητας,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Ο  $\lambda_b$  προσδιορίζεται από τη παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\lambda_b = 0,00254 \left[ \left( \frac{\left( \frac{V_5 + V_6}{0,5} \right)^3}{\frac{V_2}{0,5}} + 1 \right) \cdot \exp\left(5,09 \left( \frac{T+273}{358} \right)^5\right) \right] \quad (3.13)$$

όπου T η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C με μέγιστη τιμή τους 105 °C.

Ο παράγοντας  $\pi_{CV}$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\pi_{CV} = 0,34 \cdot C^{0,18} \quad (3.14)$$

### 3.1.1.6 Ρελέ

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τα ρελέ, περιγράφεται από την παρακάτω σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_L \cdot \pi_C \cdot \pi_{CYC} \cdot \pi_F \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.15)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_L$  ο παράγοντας καταπόνησης φορτίου,  $\pi_C$  ο παράγοντας σχήματος επαφής,  $\pi_{CYC}$  ο κυκλικός παράγοντας,  $\pi_F$  ο κατασκευαστικός παράγοντας,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Ο  $\lambda_b$  υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση [124]:

$$\lambda_b = 0,00555 \cdot \exp\left(\frac{\text{θερμοκρασία περιβάλλοντος} + 273}{352}\right)^{15,7} \quad (3.16)$$

ενώ ο παράγοντας  $\pi_L$  ισούται με [124]:

$$\pi_L = \exp\left(\frac{S}{0,8}\right)^2 \text{ (ωμικό φορτίο)} = \exp\left(\frac{\text{ρεύμα λειτουργίας φορτίου}}{\text{μετρούμενο ρεύμα ωμικού φορτίου}} \cdot 0,8\right)^2 \quad (3.17)$$

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

### 3.1.1.7 Στραγγαλιστικό πηνίο

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τα στραγγαλιστικά πηνία περιγράφεται από την παρακάτω σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.18)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_C$  ο κατασκευαστικός παράγοντας,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Ο  $\lambda_b$  προσδιορίζεται από τη σχέση [124]:

$$\lambda_b = 0,000335 \exp\left(\frac{T_{HS} + 273}{329}\right)^{15,6} \quad (3.19)$$

όπου  $T_{HS} = T_A + 1,1 (\Delta T)$ ,  $T_A$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος λειτουργίας του ηλεκτρονικού εξαρτήματος και  $\Delta T$  η μέση αύξηση θερμοκρασίας, επιπλέον αυτής του περιβάλλοντος.

### 3.1.1.8 Θυρίστωρ αμφίπλευρης αγωγής

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας για τις τριόδους περιγράφεται από τη σχέση [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.20)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_T$  ο θερμοκρασιακός παράγοντας,  $\pi_R$  ο παράγοντας ρεύματος,  $\pi_S$  ο ηλεκτρικός παράγοντας πίεσης,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας.

Ο  $\pi_T$  δίνεται ως [124]:

$$\pi_T = \exp\left(-3082 \left(\frac{1}{\text{θερμοκρασία διεπαφής} + 273} - \frac{1}{298}\right)\right) \quad (3.21)$$

Ο παράγοντας  $\pi_R$  ορίζεται ως [124]:

$$\pi_R = (\text{εναλλασσόμενο μετρούμενο ρεύμα ορθής πόλωσης})^{0,40} \quad (3.22)$$

Ο παράγοντας  $\pi_S$  δίνεται από τη σχέση [124]:

$$\pi_S = \left(\frac{\text{εφαρμοζόμενη τάση φραγμού}}{\text{μετρούμενη τάση φραγμού}}\right)^{1,9} \quad (3.23)$$

### 3.1.1.9 Μεταβλητός αντιστάτης

Θεωρούμε ότι ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τους μεταβλητούς αντιστάτες, περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{TAPS} \cdot \pi_R \cdot \pi_V \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.24)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_{TAPS}$  ο παράγοντας θέσεων μετατόπισης του ποτενσιόμετρου,  $\pi_R$  ο παράγοντας αντίστασης,  $\pi_V$  ο παράγοντας τάσεως,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας.

Ο  $\lambda_b$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\lambda_b = 62 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{T+273}{358}\right)^5 \exp\left(\frac{\text{ισχύς λειτουργίας}\left(\frac{T+273}{273}\right)}{\text{μετρούμενη ισχύς}\left(\frac{T+273}{273}\right)}\right) \quad (3.25)$$

Ενώ ο  $\pi_{TAPS}$  από τη σχέση [124]:

$$\pi_{TAPS} = \frac{(\text{αριθμός θέσεων μετατόπισης του ποτενσιόμετρου})^{\frac{3}{2}}}{25} + 0,792 \quad (3.26)$$

### 3.1.1.10 Αυτομετασηματιστής

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας  $\lambda_p$  για τους αυτομετασηματιστές δίνεται με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \quad (3.27)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_Q$  ο παράγοντας ποιότητας και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Ο  $\lambda_b$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [124]:

$$\lambda_b = 0,0018 \exp\left(\frac{T_{HS} + 273}{329}\right)^{15,6} \quad (3.28)$$

όπου  $T_{HS} = T_A + 1,1 (\Delta T)$ .

### 3.1.1.11 Περιστροφικός διακόπτης επιλογής

Ο μερικός ρυθμός αστοχίας για τους περιστροφικούς διακόπτες επιλογής είναι ίσος με [124]:

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CYC} \cdot \pi_L \cdot \pi_E \quad (3.29)$$

όπου  $\lambda_b$  είναι ο βασικός ρυθμός αστοχίας,  $\pi_{CYC}$  ο κυκλικός παράγοντας,  $\pi_L$  ο παράγοντας καταπόνησης φορτίου και  $\pi_E$  ο περιβαλλοντικός παράγοντας.

Ο  $\lambda_b$  δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\lambda_b = \lambda_{b1} + \text{πλήθος ενεργών επαφών} (\Pi_N) \cdot \lambda_{b2} = 0,086 + 15,00 \cdot 0,89 = 1,42 \quad (3.30)$$

όπου  $\lambda_{b1} = 0,0067$  και  $\lambda_{b2} = 0,062$ , οι βασικοί ρυθμοί αστοχίας, και  $\Pi_N$  το πλήθος των ενεργών επαφών του περιστροφικού διακόπτη επιλογής.

Ο παράγοντας  $\pi_L$  ορίζεται ως [124]:

$$\pi_L = \exp \left( \frac{\left( \frac{\text{ρεύμα λειτουργίας φορτίου}}{\text{μετρούμενο ρεύμα φορτίου}} \right)^2}{0,8} \right) \quad (3.31)$$

### 3.1.2 Προτεινόμενος αλγόριθμος συντήρησης PCB οικιακών συσκευών με χρήση παραγόντων γήρανσης

Έστω μια PCB με  $n$  διαφορετικούς τύπους εξαρτημάτων προς αντικατάσταση και  $x = (x_1, \dots, x_n)^T$  το διάνυσμα μεταβλητών απόφασης, όπου κάθε μεταβλητή  $x_i$  μπορεί να λάβει μη αρνητικές ακέραιες τιμές μέχρι μία μέγιστη  $m_i$  που αντιπροσωπεύει το συνολικό πλήθος εξαρτημάτων τύπου  $x_i$  στην PCB. Θεωρώντας έναν προκαθορισμένο προϋπολογισμό από πλευράς πελάτη, ο οποίος συμβολίζεται με  $B$ , καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός του βέλτιστου αριθμού εξαρτημάτων προς αντικατάσταση ανά τύπο εξαρτήματος. Αυτό γίνεται με μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που σχετίζεται με το «όφελος υγείας» της συσκευής. Το πρόβλημα αυτό διατυπώνεται ως ένα πρόβλημα ακεραίου γραμμικού προγραμματισμού (ILP):

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum w_i \cdot x_i \\ \text{s.t.} \quad & f(x) \leq B \end{aligned} \quad (3.32)$$

όπου  $w_i = h_i \cdot a_i$  είναι το σχετιζόμενο βάρος με το «όφελος υγείας» του  $i$ -οστού εξαρτήματος  $h_i$ . Το «όφελος υγείας» εκφράζει το ποσοστό γήρανσης ενός εξαρτήματος, βάσει του προσδόκιμου ζωής του  $L_i$  και των συνολικών ωρών λειτουργίας έπειτα από την παρέλευση μιας συγκεκριμένης περιόδου ετών  $t_i$ . Ισχύει:

$$h_i = \frac{t_i}{L_i} \cdot 100\% \quad (3.33)$$

όπου,  $L_i = 1/\lambda_i$  και  $\lambda_i$  ο μερικός ρυθμός αστοχίας του  $i$ -οστού εξαρτήματος, ο οποίος υπολογίζεται ως το γινόμενο των επιμέρους παραγόντων γήρανσης, σύμφωνα με τις αντίστοιχες εξισώσεις που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες.

Η τιμή της σταθεράς  $a_i$  επιλέγεται εμπειρικά, η τιμή του  $B$  εκφράζεται σε €, ενώ η συνάρτηση κόστους  $f(x)$  ορίζεται ως εξής:

$$f(x) = S + \sum b_i \cdot x_i \quad (3.34)$$

όπου  $b_i$  το κόστος του κάθε εξαρτήματος και  $S$  το κόστος εργασίας, εκπεφρασμένα σε €. Για την περαιτέρω ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων εισάγεται ο ακόλουθος δείκτης «αναλογίας αντικατάστασης»:

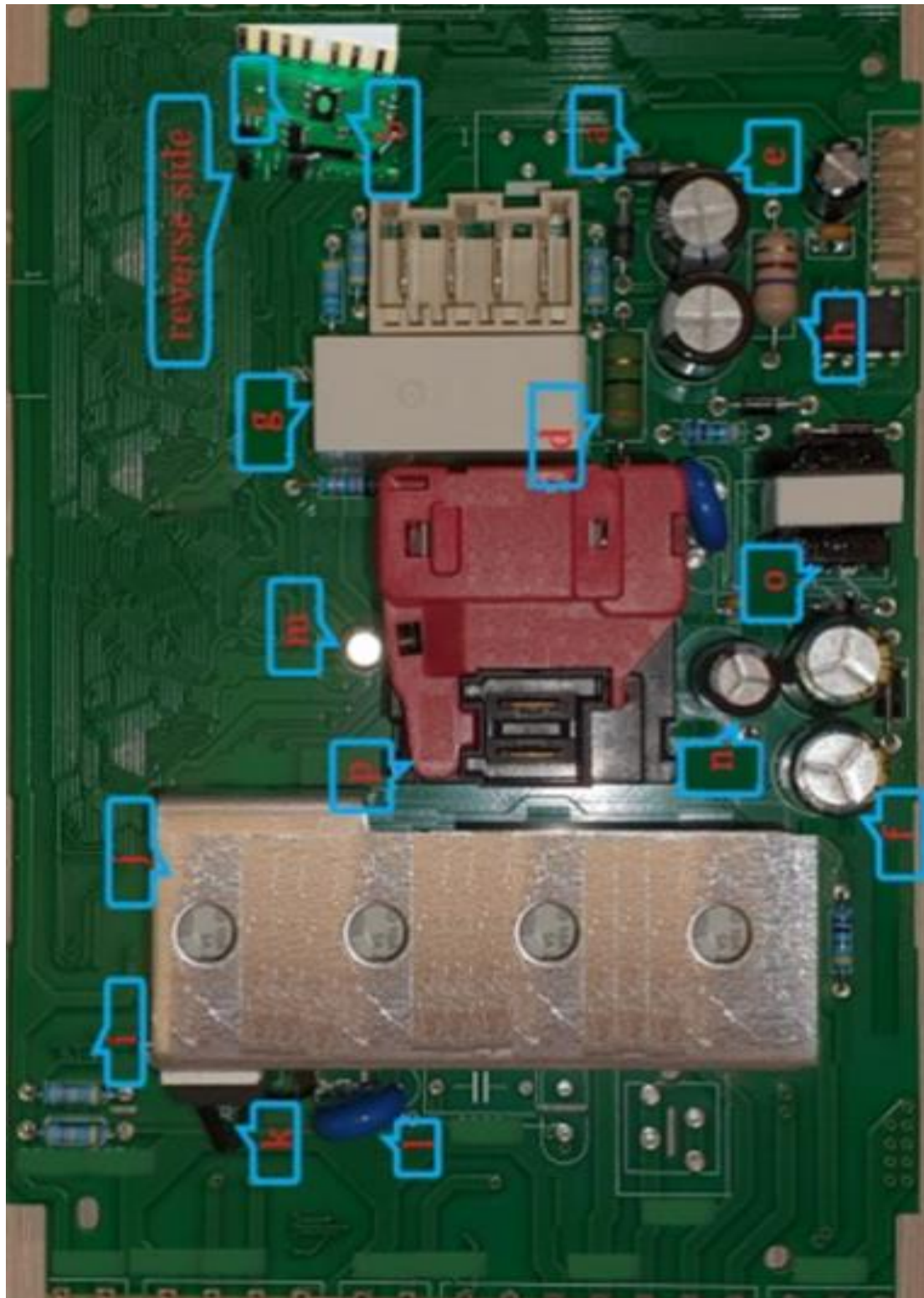
$$\text{αναλογία αντικατάστασης (\%)} = \frac{\sum h_i \cdot x_i}{\sum h_i \cdot m_i} \cdot 100\% \quad (3.35)$$

Η «αναλογία αντικατάστασης» αποτυπώνει το «όφελος υγείας» της συσκευής, στο πλαίσιο της γήρανσης της PCB, μετά την αντικατάσταση των εξαρτημάτων που προτάθηκαν από την επίλυση του προβλήματος μέσω του ILP αλγόριθμου. Να σημειωθεί πως ο παρονομαστής της τελευταίας εξίσωσης αντιπροσωπεύει τη συνολική γήρανση της PCB (άθροισμα των ποσοστών γήρανσης όλων των εξαρτημάτων της), ενώ ο αριθμητής είναι ίσος με το συνολικό όφελος υγείας από την αντικατάσταση συγκεκριμένων εξαρτημάτων και εκφράζει μια μείωση στο ποσοστό γήρανσης των εξαρτημάτων που αντικαταστάθηκαν.

### 3.1.3 Υπολογισμοί ρυθμών αστοχίας και αποτελέσματα προσομοίωσης

Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση της προτεινόμενης ερευνητικής προσέγγισης, εξετάστηκε η PCB ενός πλυντηρίου ρούχων και ενός πλυντηρίου πιάτων. Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται η συγκεκριμένη PCB με τα εξαρτήματά της, ενώ στον Πίνακα 3.1 τα εξαρτήματα παρατίθενται με το αντίστοιχο κόστος τους. Στόχος της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι να προσδιοριστεί ποια από τα εξαρτήματα του Πίνακα 3.1 θα πρέπει να αντικατασταθούν, με στόχο την παράταση της διάρκειας ζωής κάθε PCB βάσει του προϋπολογισμού του πελάτη. Οι πληροφορίες για το κόστος κάθε εξαρτήματος προέρχονται από τον μέσο όρο λιανικών τιμών, όπως αυτές αναφέρονται σε καταλόγους διαφόρων κατασκευαστών. Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση της PCB ενός πλυντηρίου ρούχων, οι διαφορετικοί βασικοί ρυθμοί αστοχίας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και οι παράγοντές τους για τον υπολογισμό των εξισώσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2, ενώ στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται, κατόπιν σχετικών υπολογισμών, οι μερικοί ρυθμοί αστοχίας με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες διεπαφής και περιβάλλοντος.

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 3.1. PCB πλυντηρίου ρούχων με τα εξαρτήματά της (Πίνακας 3.1) [15]



Στον Πίνακα 3.4 παρατίθενται οι αντίστοιχες τάσεις, τα ρεύματα και οι τιμές ισχύος που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς των ρυθμών αστοχίας που μετρήθηκαν, σε (V), (A) και (W) αντιστοίχως. Να σημειωθεί ότι  $V_1$  είναι η εφαρμοζόμενη τάση,  $V_2$  η μετρούμενη,  $V_3$  η ανάστροφη εφαρμοζόμενη,  $V_4$  η ανάστροφη μετρούμενη,  $V_5$  η εφαρμοζόμενη συνεχής τάση,  $V_6$  η μέγιστη εναλλασσόμενη τάση,  $I_1$  το ρεύμα λειτουργίας φορτίου,  $I_2$  το μετρούμενο ωμικό ρεύμα φορτίου,  $P_1$  η ισχύς λειτουργίας και  $P_2$  η μετρούμενη ισχύς.

Πίνακας 3.1. Ανάλυση εξαρτημάτων δυο PCB [15]

Κατηγορία	Εξαρτήματα PCB	Κόστος (€/εξάρτημα)	Πλήθος εξαρτημάτων	
			Πλυντήριο ρούχων	Πλυντήριο πίατων
a	Ανορθωτική δίοδος	0,09	8	4
b	Μικροδιακόπτης–Μπουτόν	1,65	8	4
c	Θυρίστορ–Μικροδιακόπτης	0,18	7	–
d	Αντιστάτης {22 Ω}	0,08	6	2
e	Πυκνωτής {4.7uF}	0,46	4	–
f	Πυκνωτής {1000uF}	0,12	4	–
g	Ρελέ ισχύος {250V}	2,20	4	4
h	Στραγγαλιστικό πηνίο	0,28	4	–
i	Αντιστάτης {100 Ω}	0,09	4	–
j	Ρελέ Ισχύος {12V }	2,40	3	–
k	Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	1,25	3	6
l	Μεταβλητός αντιστάτης	0,69	3	–
m	Πυκνωτής {22uF}	0,08	2	4
n	Πυκνωτής {330uF}	0,10	2	–
o	Αυτομετασχηματιστής	2,30	2	1
p	Περιστροφικός διακόπτης επιλογής	18,00	1	1

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Πίνακας 3.2. Τιμές παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε εξάρτημα PCB [15]

Κατηγορία	$\lambda_b$	$\pi_T$	$\pi_S$	$\pi_C$	$\pi_Q$	$\pi_E$	$\pi_{CYC}$	$\pi_L$	$\pi_R$	$\pi_{CV}$	$\pi_F$	$\pi_{TAPS}$	$\pi_V$
a	0,0690	21,00	1,00	2,00	8,0	1,0	-	-	-	-	-	-	-
b	0,0400	-	-	3,00		1,0	4,00	4,77	-	-	-	-	-
c	0,0022	13,00	0,97	-	8,0	1,0	-	-	2,64	-	-	-	-
d	0,0018	-	-	-	15,0	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-
e	1,9900	-	-	-	10,0	1,0	-	-	-	0,45	-	-	-
f	1,9900	-	-	-	10,0	1,0	-	-	-	2,19	-	-	-
g	0,0160	-	-	4,25	3,0	2,0	10,00	4,77	-	-	6,0	-	-
h	0,0140	-	-	2,00	20,0	1,0	-	-	-	-	-	-	-
i	0,0018	-	-	-	15,0	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-
j	0,0160	-	-	4,25	3,0	2,0	10,0	4,77	-	-	6,0	-	-
k	0,0022	21,00	0,91	-	8,0	1,0	-	-	1,9	-	-	-	-
l	0,0500	-	-	-	10,0	1,0	-	-	2,00	-	-	2,25	2,0
m	1,9900	-	-	-	10,0	1,0	-	-	-	1,89	-	-	-
n	2,0000	-	-	-	2,2	1,0	-	-	-	10,00	-	-	-
o	0,0760	-	-	-	30,0	1,0	-	-	-	-	-	-	-
p	1,4200	-	-	-	-	1,0	7,0	15,96	-	-	-	-	-

Πίνακας 3.3. Ρυθμοί αστοχίας εξαρτημάτων PCB βάσει συνθηκών [15]

Κατηγορία	$\lambda_p$ $\left(\frac{\text{αστοχίες}}{10^6 \text{ ώρες}}\right)$	Θερμοκρασία διεπαφής ( $^{\circ}\text{C}$ )	Θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $^{\circ}\text{C}$ )
a	23,1840	150,0	–
b	2,2900	–	–
c	0,5880	125,0	–
d	0,0027	–	90,0
e	8,9840	–	80,0
f	43,8000	–	80,0
g	116,7700	–	80,0
h	0,5600	–	83,9
i	0,0270	–	90,0
j	116,7700	–	80,0
k	0,6400	150,0	–
l	4,5000	–	80,0
m	37,8000	–	80,0
n	44,0000	–	100,0
o	2,4000	–	83,9
p	158,6400	–	–

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναρησιμοποιήσιμης και ανακύκλωσης

Πίνακας 3.4. Τιμές ηλεκτρικών μεγεθών για προσδιορισμό ρυθμού αστοχίας εξαρτημάτων [15]

Κατηγορία	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$I_1$	$I_2$	$P_1$	$P_2$
a	36,0	36,5	–	–	–	–	–	–	–	–
b	–	–	–	–	–	–	0,00005	0,00005	–	–
c	–	–	36,0	36,5	–	–	–	–	–	–
d	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6
e	–	230,0	–	–	5,0	220,0	–	–	–	–
f	–	230,0	–	–	5,0	220,0	–	–	–	–
g	–	–	–	–	–	–	1,45000	1,45000	–	–
h	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
i	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,7
j	–	–	–	–	–	–	1,45000	1,45000	–	–
k	–	–	20,0	21,0	–	–	–	–	–	–
l	24,0	25,0	–	–	–	–	–	–	2,16	2,4
m	–	50,0	–	–	5,0	48,0	–	–	–	–
n	–	25,8	–	–	50,	25,0	–	–	–	–
o	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
p	–	–	–	–	–	–	0,8	0,6	–	–

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι μετρήσεις τάσης και ρεύματος, εναλλασσόμενου και συνεχούς, πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της μετρητικής διάταξης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2. Πειραματική διάταξη PCB πλυντηρίου ρούχων για τη μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών [15]

Η προτεινόμενη μέθοδος (3.32)–(3.35), υλοποιήθηκε μέσω ενός αλγόριθμου σε περιβάλλον MATLAB, εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε για μια PCB πλυντηρίου ρούχων. Το υπολογιστικό περιβάλλον στο οποίο αναπτύχθηκε η εν λόγω μέθοδος υλοποιήθηκε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή με επεξεργαστή 3.4 GHz Intel(R) Core (TM) i7–2600 και με 16 GB μνήμης RAM.

Πίνακας 3.5. Τιμές μερικού ρυθμού αστοχίας ανά εξάρτημα PCB [15]

Κατηγορία	Εξαρτήματα PCB	$\lambda_p$ (αστοχίες/10 <sup>6</sup> ώρες)	
		Πλυντήριο ρούχων	Πλυντήριο πιάτων
a	Ανορθωτική δίοδος	23,184	23,184
b	Μικροδιακόπτης–Μπουτόν	2,290	2,290
c	Θυρίστορ–Μικροδιακόπτης	0,588	–
d	Αντιστάτης {22 Ω}	0,027	0,027
e	Πυκνωτής {4.7uF}	8,984	–
f	Πυκνωτής {1000uF}	43,800	–
g	Ρελέ ισχύος {250V}	116,770	116,770
h	Στραγγαλιστικό πηνίο	0,560	–
i	Αντιστάτης {100 Ω}	0,027	–
j	Ρελέ Ισχύος {12V }	116,770	–
k	Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,639	0,639
l	Μεταβλητός αντιστάτης	4,500	–
m	Πυκνωτής {22uF}	37,800	37,800
n	Πυκνωτής {330uF}	44,000	–
o	Αυτομετασχηματιστής	2,400	2,400
p	Περιστροφικός διακόπτης επιλογής	158,642	158,642

Για την εφαρμογή του αλγόριθμου έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Εισήχθη, για κάθε εξάρτημα, ένας ειδικός παράγοντας, ο οποίος στο εξής αναφέρεται ως «παράγοντας γήρανσης», όταν αυτός ξεπερνά ένα ορισμένο ποσοστό. Συγκεκριμένα, πολλαπλασιάζει το βάρος  $w_i$  επί 100 όταν η γήρανση φτάνει το 80%, τροποποιώντας έτσι τη συσχέτιση ενός εξαρτήματος, σε σχέση με άλλα, χαμηλότερου ποσοστού γήρανσης.
- Θεωρήθηκε ότι ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας της συσκευής είναι 1.872 ώρες (συγκεκριμένα με 20 κύκλους πλύσης/εβδομάδα επί 3 ώρες/κύκλο επί 52 εβδομάδες/έτος) και εισήχθη ένας επιπρόσθετος παράγοντας, το προσδόκιμο ζωής,  $L_i$ , για κάθε τύπο εξαρτήματος, ώστε να λαμβάνεται υπ' όψιν η πραγματική διάρκεια λειτουργίας, π.χ.  $8.760/3.120 = 2,8$  (με ένα έτος να αντιστοιχεί σε 8.760 ώρες).

γ) Καθορίστηκε ένα ελάχιστο ποσοστό γήρανσης που απαιτείται για την προσθήκη ενός εξαρτήματος στο σύστημα, για ενδεχόμενη αντικατάσταση, στο 20% του τυπικού προσδόκιμου ζωής του για συνεχή λειτουργία.

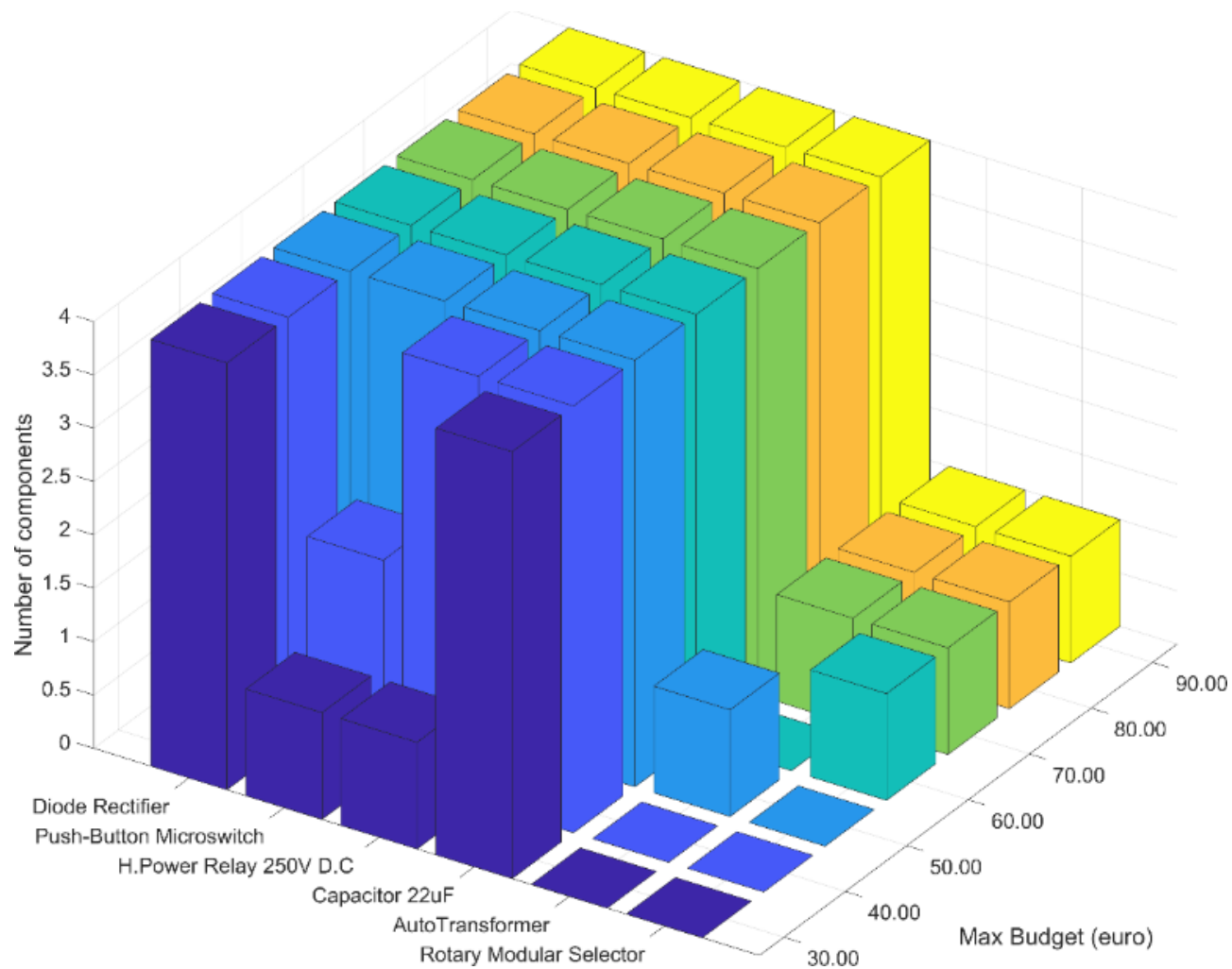
Μέσω του προτεινόμενου αλγόριθμου ILP και των ανωτέρω παραδοχών, έγιναν δοκιμές για διαφορετικές τιμές διαθέσιμου προϋπολογισμού από πλευράς πελάτη, ώστε να μεγιστοποιηθεί το όφελος υγείας, θεωρώντας ως διάστημα λειτουργίας της συσκευής τα 10 έτη. Το πλήθος και το είδος των εξαρτημάτων προς αντικατάσταση διαφοροποιούνται ανάλογα με τον χρόνο που παρήλθε, λόγω της εισαγωγής των προαναφερθεισών υποθέσεων. Το ελάχιστο ποσοστό γήρανσης ορίζει ποια εξαρτήματα εισέρχονται στο πρόβλημα, εισάγοντας νέες μεταβλητές με την πάροδο του χρόνου. Ο «παράγοντας γήρανσης» οδηγεί στην απαραίτητη αντικατάσταση ενός εξαρτήματος, το οποίο είναι πιθανότερο να αποτύχει, αφού ξεπεραστεί το 80% του προσδόκιμου ζωής του. Τέλος, η μείωση του προσδόκιμου ζωής ενός εξαρτήματος στο 100% επιτρέπει τη μεταβολή του βάρους των άλλων εξαρτημάτων σε σχέση με εκείνα που έχουν φθάσει τη μέγιστη τιμή τους. Χωρίς αυτές τις παραμέτρους, λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο ένα σταθερό ρυθμό γήρανσης, τα αποτελέσματα του αλγόριθμου θα είχαν εξάρτηση μόνο από τον μέγιστο προϋπολογισμό του πελάτη και όχι από τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής.

Ο Πίνακας 3.6 παρουσιάζει το πλήθος των εξαρτημάτων της PCB που πρέπει να αντικατασταθούν, λαμβάνοντας υπόψη τον μέγιστο προϋπολογισμό πελάτη. Το Σχήμα 3.3 δείχνει τη γραφική αναπαράσταση των εξαρτημάτων της PCB, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους διαφορετικούς μέγιστους προϋπολογισμούς πελάτη για ένα πλυντήριο πιάτων, ενώ το Σχήμα 3.4 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο το κόστος των εξαρτημάτων επηρεάζει τα αποτελέσματα προσομοίωσης αναφορικά με τα εξαρτήματα προς αντικατάσταση, με την υπόθεση ότι το κόστος των ανορθωτικών διόδων, των ρελέ ισχύος, των πυκνωτών και των περιστροφικών διακοπών επιλογής, άλλαξε σε 1,60€, 6,30€, 2,65€ και 26,58€, αντίστοιχα. Τα Σχήματα 3.5 και 3.6 απεικονίζουν τη μεταβολή στα βάρη των προς αντικατάσταση εξαρτημάτων, συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας των PCB πλυντηρίου ρούχων και πλυντηρίου πιάτων, αντίστοιχα.

**Πίνακας 3.6. Εξαρτήματα PCB πλυντηρίου ρούχων προς αντικατάσταση για μέγιστο προϋπολογισμό πελάτη [15]**

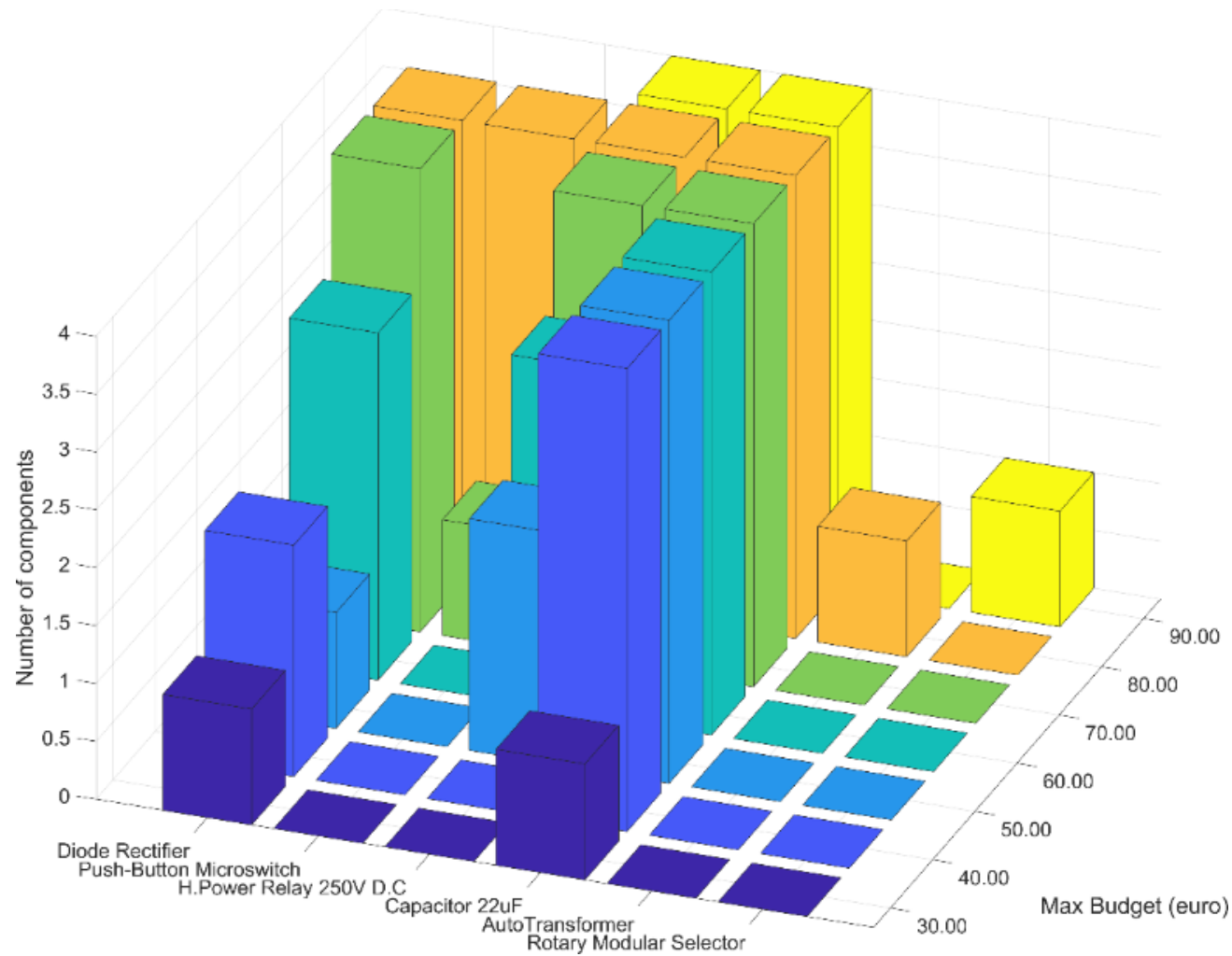
Κατηγορία	Εξαρτήματα PCB	Πλήθος εξαρτημάτων προς αντικατάσταση						
		Μέγιστος προϋπολογισμός πελάτη						
		30	40	50	60	70	80	90
a	Ανορθωτική διάδος	8	6	8	8	8	8	8
e	Πυκνωτής {400V/4.7uF}	2	2	2	2	2	2	2
f	Πυκνωτής {16V/1000uF}	4	4	4	4	4	4	4
g	Ρελέ ισχύος {250V D.C–250V A.C}	1	4	4	4	4	4	4
j	Ρελέ ισχύος {12V D.C –250V A.C}	0	2	3	2	3	3	3
n	Πυκνωτής {25V/330uF}	2	2	2	2	2	2	2
p	Περιστροφικός διακόπτης επιλογής	0	0	0	1	1	1	1

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



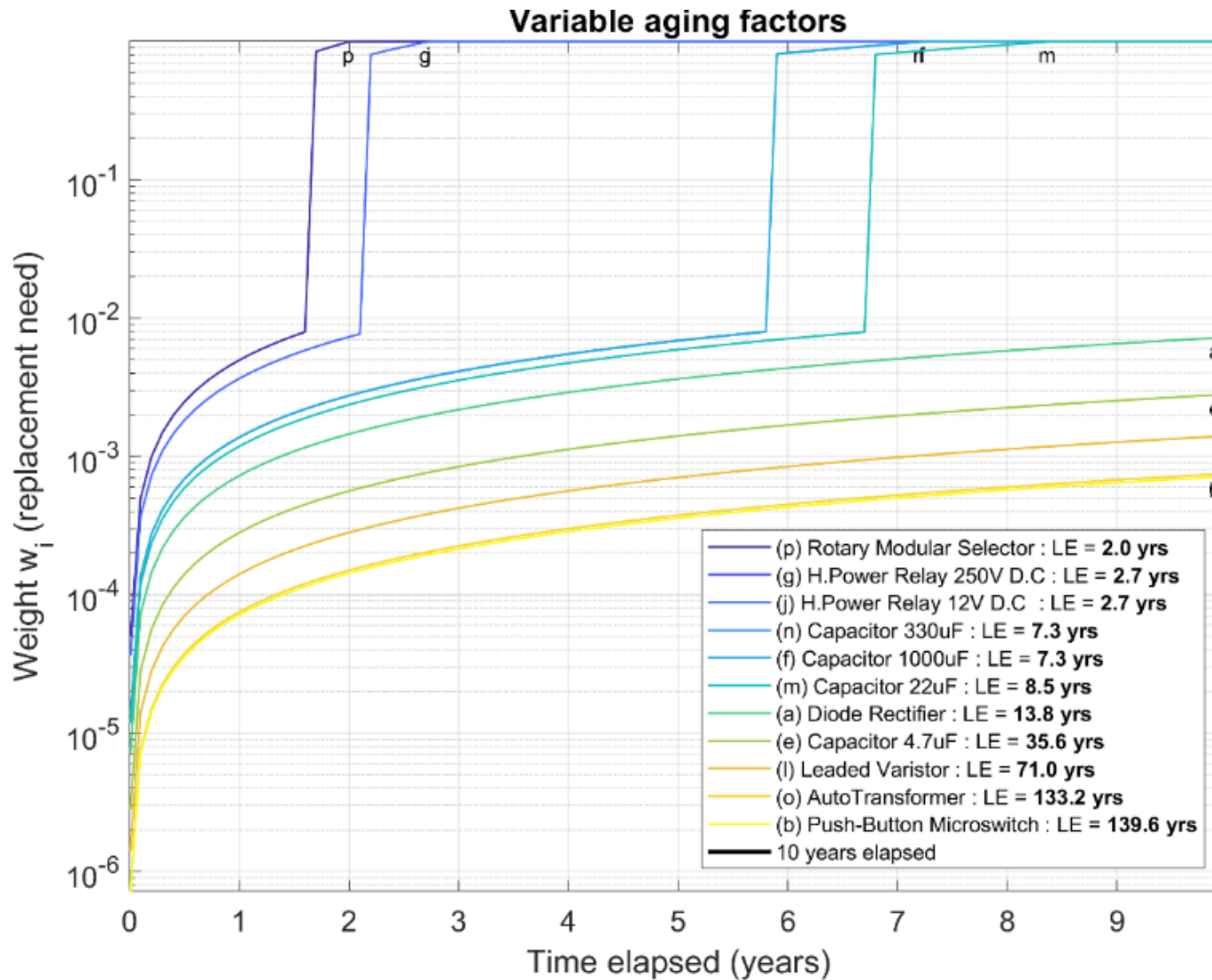
Σχήμα 3.3. Εξαρτήματα προς αντικατάσταση πλυντηρίου πιάτων βάσει προϋπολογισμού πελάτη [15]



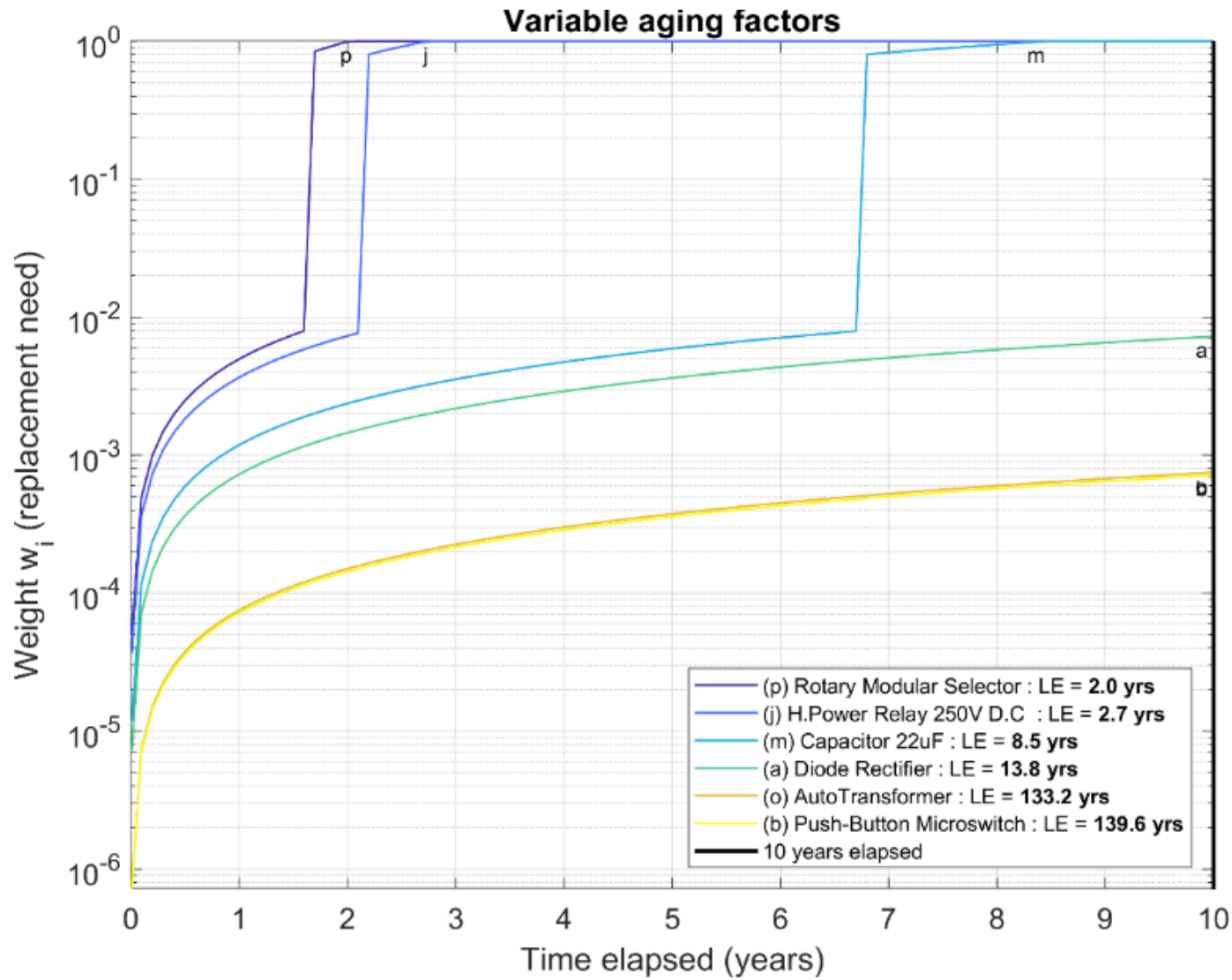


Σχήμα 3.4. Εξαρτήματα προς αντικατάσταση πλυντηρίου πιάτων για διαφορετικούς προϋπολογισμούς και κόστος εξαρτημάτων [15]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 3.5. Βάρη μεταβλητών εξαρτημάτων βάσει χρόνου λειτουργίας για PCB πλυντηρίου ρούχων [15]

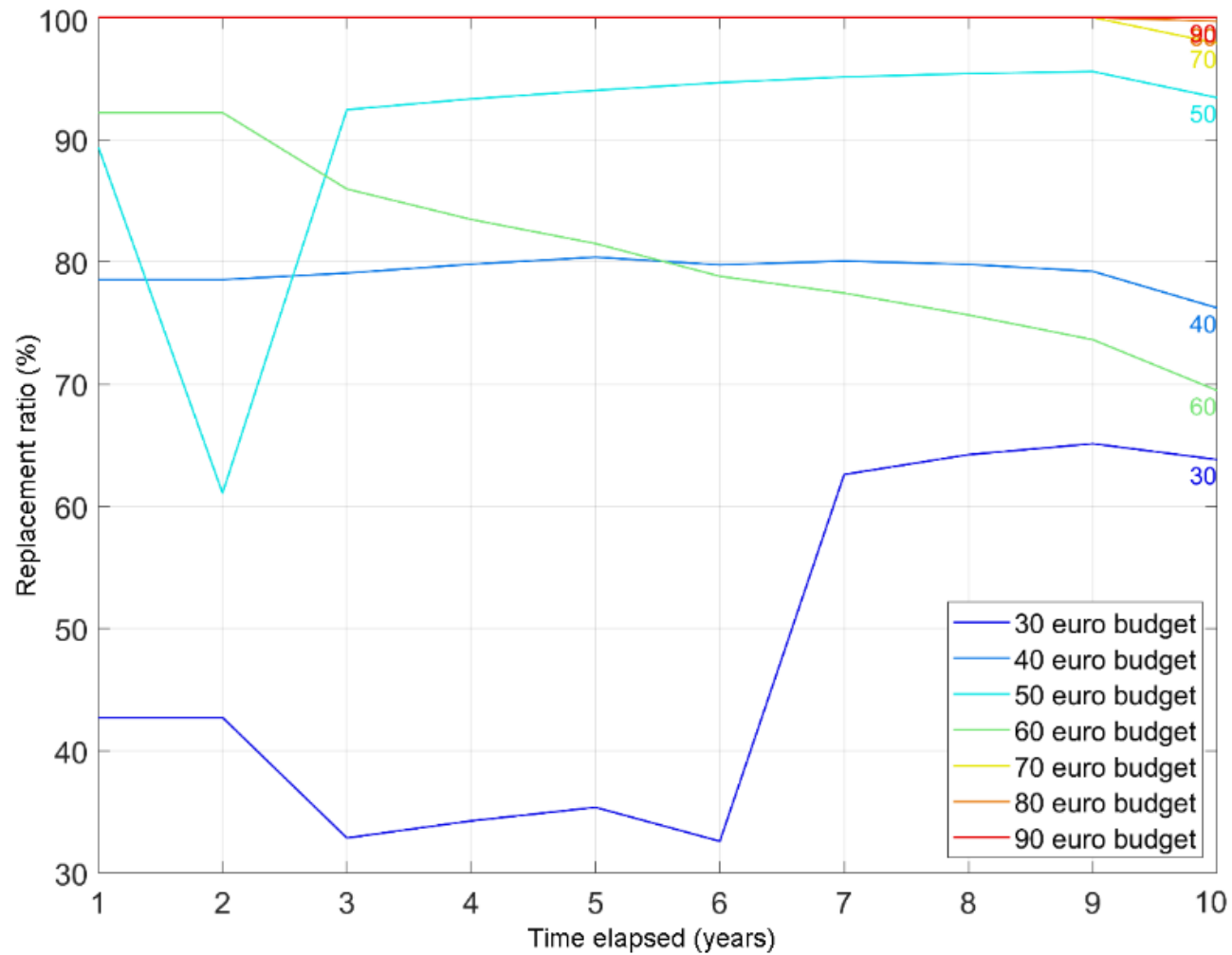


Σχήμα 3.6. Βάρη μεταβλητών εξαρτημάτων βάσει χρόνου λειτουργίας για PCB πλυντηρίου πιάτων [15]

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

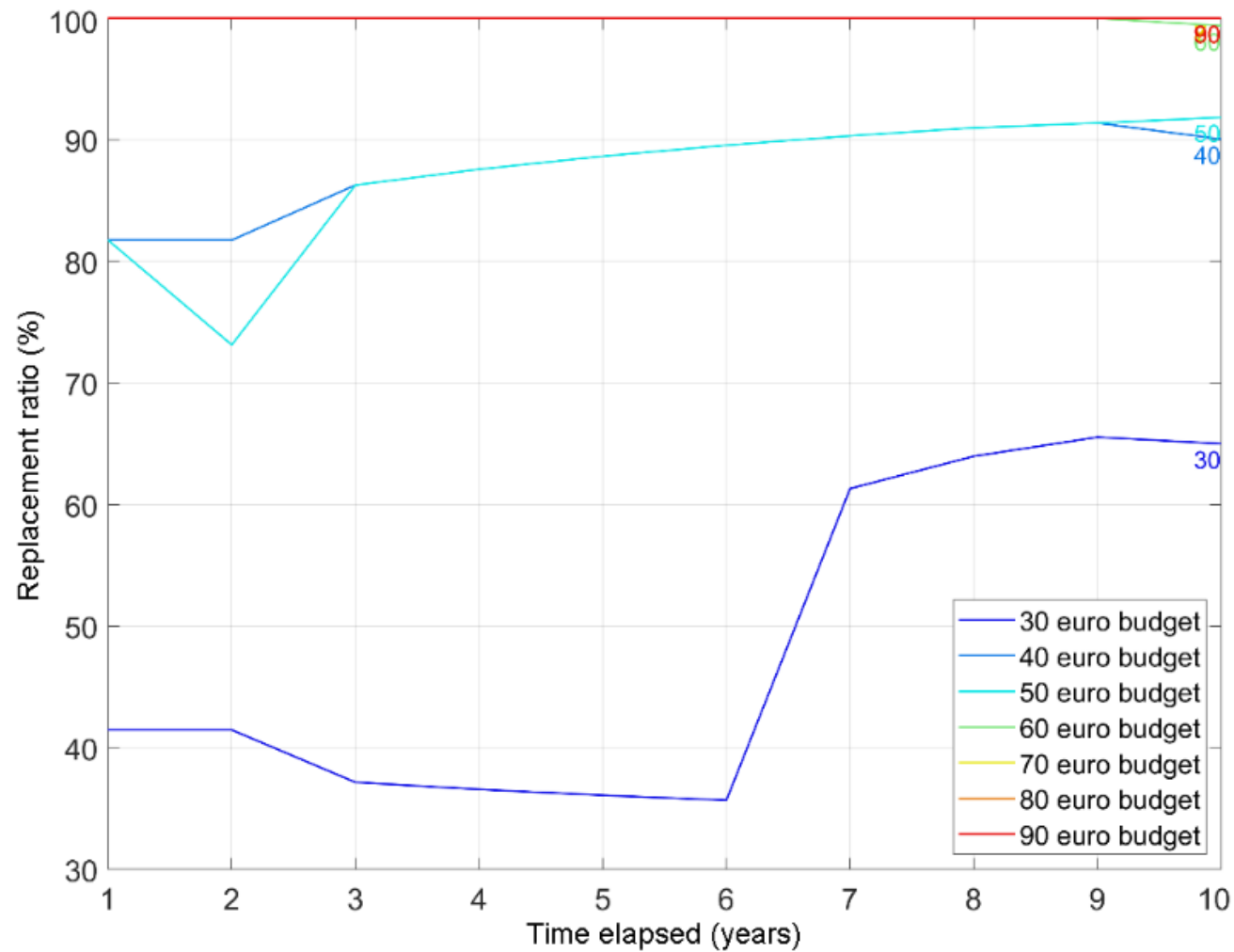
Από τη μελέτη των σχημάτων 3.7 και 3.8, παρατηρείται ότι όσο αυξάνει ο προϋπολογισμός του πελάτη, αυξάνει αντιστοίχως και ο λόγος αντικατάστασης των εξαρτημάτων που σχετίζονται με τη συντήρηση της PCB. Το όφελος αντικατάστασης για ένα χαμηλό προϋπολογισμό ποικίλλει, ανάλογα με τον χρόνο που έχει παρέλθει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι φαίνεται πιο ευεργετικό και λογικό να αντικατασταθούν ορισμένα φθηνότερα εξαρτήματα μετά από μερικά χρόνια από ό,τι μερικά πιο ακριβά εξαρτήματα νωρίτερα. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα μέρη της PCB θεωρούνται κρίσιμα για τη λειτουργία της, όπως επίσης ότι η αντικατάσταση ενός και μόνο εξαρτήματος αυξάνει την υγεία της PCB κατά ένα ποσοστό ίσο με το ποσοστό γήρανσης του εξαρτήματος που αντικαταστάθηκε. Να σημειωθεί ότι, κατά τα δύο πρώτα χρόνια, τρία εξαρτήματα της PCB χρήζουν αντικατάστασης βάσει της γήρανσής τους, ήτοι ο περιστροφικός διακόπτης επιλογής, το ρελέ ισχύος {250V D.C–250V A.C} και το ρελέ ισχύος {12V D.C –250V A.C}. Μετά την αντικατάσταση του συνόλου αυτών των εξαρτημάτων κατά τα δύο πρώτα χρόνια και με μέγιστο προϋπολογισμό 50,00 ευρώ, ο λόγος αντικατάστασης που εκφράζει το όφελος για την υγεία της συσκευής, αυξάνεται ραγδαία. Ως αποτέλεσμα, για ένα πλυντήριο ρούχων, με προϋπολογισμό μόλις 50€, μπορεί να επιτευχθεί όφελος υγείας της τάξης του 92,4% μετά από 3 χρόνια, ενώ για ένα πλυντήριο πιάτων, με τον ίδιο προϋπολογισμό, το όφελος υγείας πλησιάζει το 86,3%. Ωστόσο, με τον ίδιο προϋπολογισμό, ο λόγος αντικατάστασης μειώνεται σε 61,1% μετά από 2 χρόνια για το πλυντήριο ρούχων, ενώ αυξάνεται σε 73,1% για το πλυντήριο πιάτων, αντίστοιχα. Αποδεικνύεται ωφελιμότερο να πραγματοποιηθεί η συντήρηση της PCB σε 3 χρόνια με προϋπολογισμό 65€ επιτυγχάνοντας αναλογία αντικατάστασης 92,5% για την PCB του πλυντηρίου ρούχων, ενώ απαιτείται προϋπολογισμός 54,5€ για το πλυντήριο πιάτων. Στα Σχήματα 3.9 και 3.10 παρουσιάζεται ο εκατοστιαίος λόγος αντικατάστασης έναντι του μέγιστου προϋπολογισμού του πελάτη εκπεφρασμένος σε ευρώ για τα έτη λειτουργίας. Όπως αναμενόταν, προκύπτει ότι η αντικατάσταση των εξαρτημάτων PCB επεκτείνει τη διάρκεια ζωής της PCB και αντιστοίχως διευρύνεται η διάρκεια ζωής των συσκευών.

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



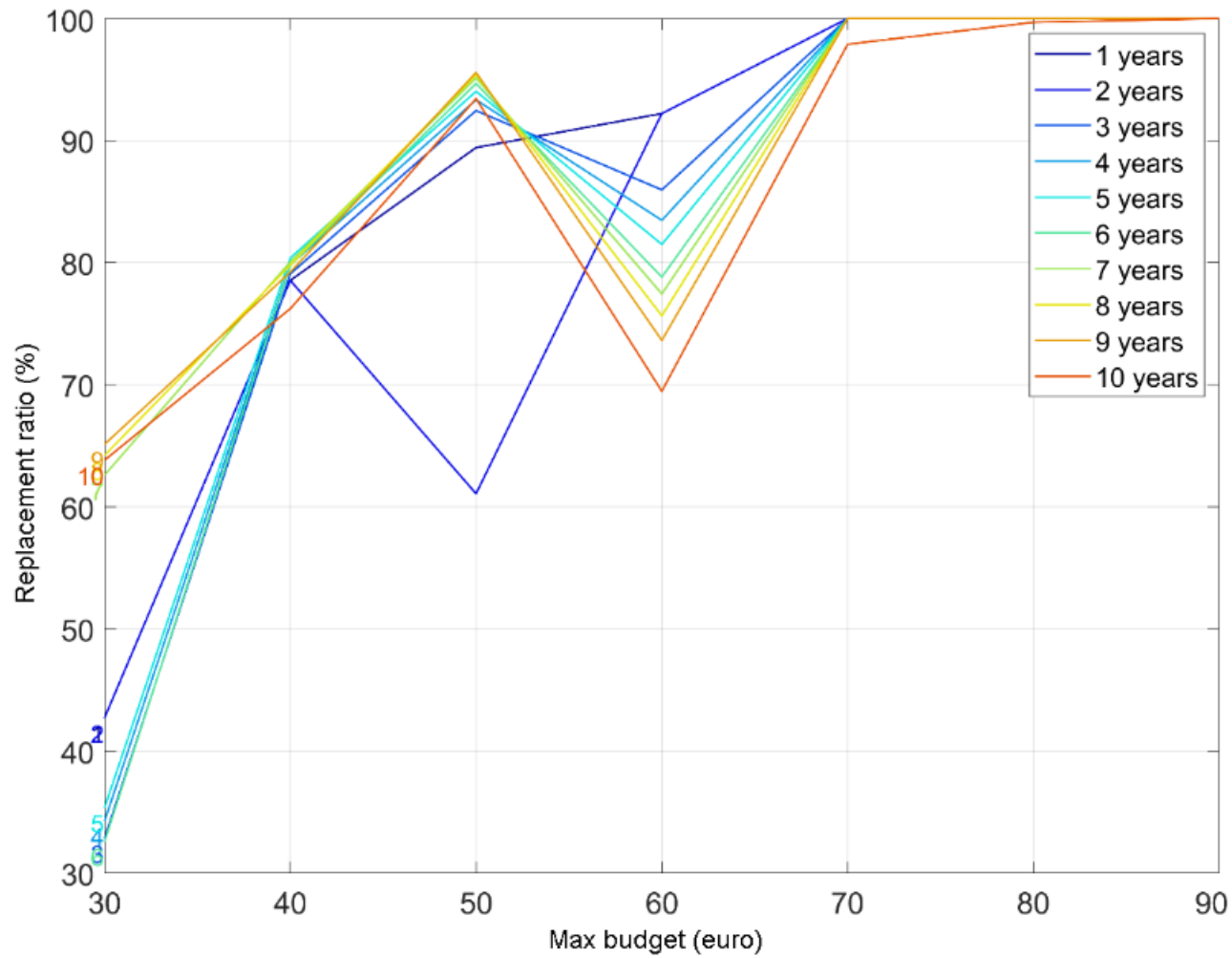
Σχήμα 3.7. Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης εξαρτημάτων PCB για πλυντήριο ρούχων [15]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



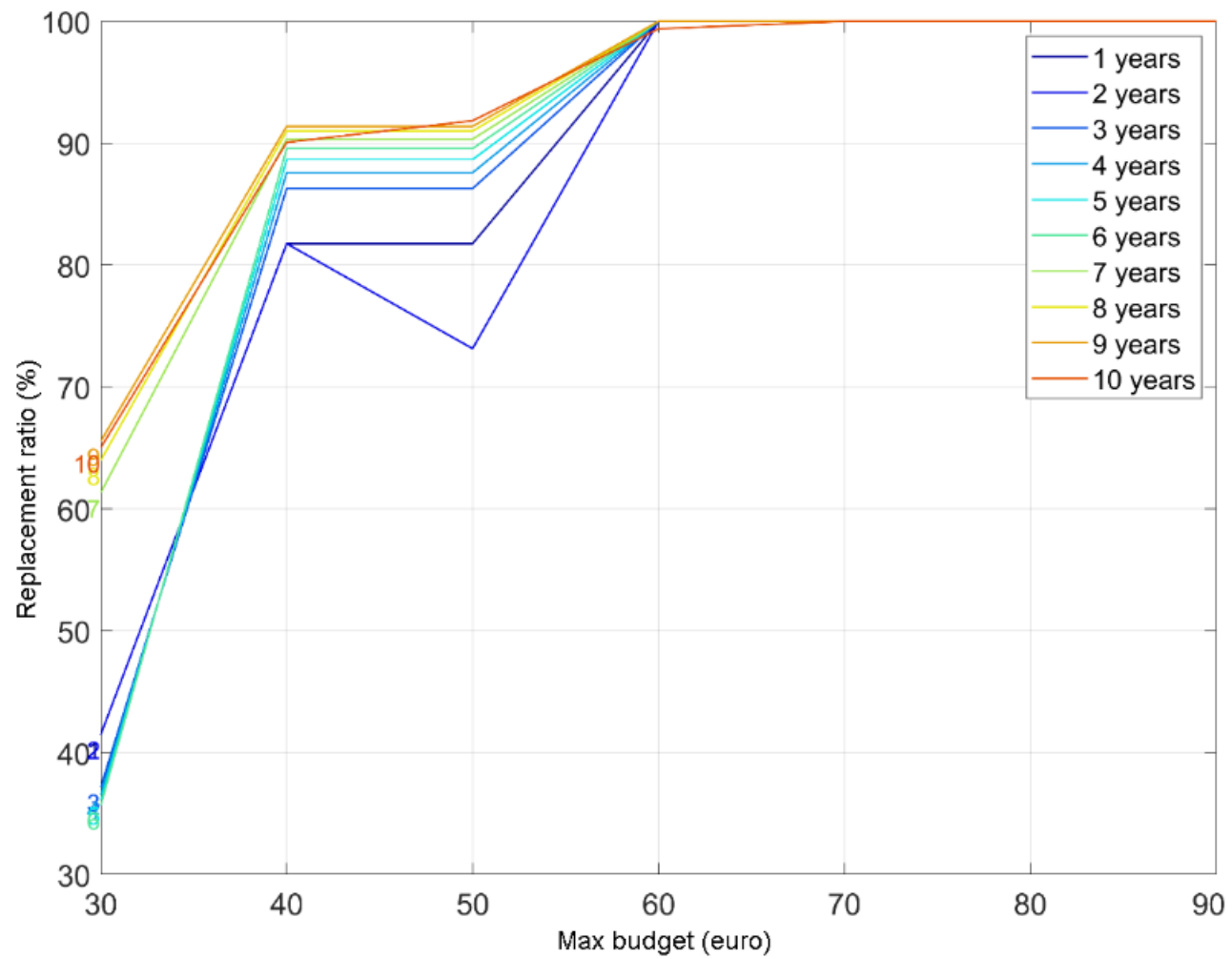
Σχήμα 3.8. Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης εξαρτημάτων PCB για πλυντήριο πιάτων [15]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 3.9. Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης βάσει μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη και ετήσιων ωρών λειτουργίας ενός πλυντηρίου ρούχων [15]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 3.10. Εκατοστιαίο ποσοστό αντικατάστασης βάσει μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη και ετήσιων ωρών λειτουργίας ενός πλυντηρίου πιάτων [15]



### 3.2 Μελέτη βραχυβιότητας και διαδικασιών ανακύκλωσης μέσω αλγορίθμου συντήρησης PCB και οικιακών συσκευών

Η αύξηση του πληθυσμού και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες, έχουν οδηγήσει αντίστοιχα σε αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και των κατά κεφαλήν εκπομπών CO<sub>2</sub>. Για να περιοριστεί η χρήση μη επαναχρησιμοποιήσιμων εξαρτημάτων και η ποσότητα αποβλήτων που πρέπει να μεταφέρονται στο τέλος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές μεγαλύτερης διάρκειας αποτελούν πυλώνα της κυκλικής οικονομίας. Τα τελευταία χρόνια, η πολυπλοκότητα των PCB που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σύγχρονων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών έχει αυξηθεί, οδηγώντας σε αύξηση των βλαβών τους. Ο αλγόριθμος αυτός επικεντρώνεται στη συντήρηση και ανακύκλωση των εξαρτημάτων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών και των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία για την επισκευή PCB ορίζεται ως ένα πρόβλημα διαδοχικού τετραγωνικού προγραμματισμού (SQP) που υλοποιήθηκε σε περιβάλλον του MATLAB και δοκιμάστηκε με επιτυχία σε διάφορες οικιακές συσκευές. Μελετήθηκε, επίσης, η δυνατότητα ανακύκλωσης των μεταλλικών μερών των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, τα οποία αντικαταστάθηκαν μετά την επισκευή των PCB. Προσδιορίστηκε η συγκέντρωση μετάλλων στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα από τις PCB που επισκευάστηκαν, για διαφορετικούς προϋπολογισμούς πελατών, λαμβάνοντας υπόψη την ανάκτηση πολύτιμων και μη μετάλλων. Η διαδικασία περιελάμβανε σύγκριση της συγκέντρωσης που προέκυψε, με την αντίστοιχη μέση ανάκτηση μετάλλων που υπολογίστηκε από προτεινόμενες διαδικασίες ανακύκλωσης της βιβλιογραφίας. Επίσης, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των διαφόρων τεχνικών ανακύκλωσης από οικονομικής προοπτικής, ενώ εισήχθη ένας δείκτης επισκευασιμότητας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, για την περαιτέρω ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων του προτεινόμενου αλγορίθμου.

#### 3.2.1 SQP διατύπωση αλγόριθμου

Έστω μια PCB με  $n$  διακριτούς προς αντικατάσταση τύπους ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και  $x = (x_1, \dots, x_n)^T$  το διάνυσμα μεταβλητών απόφασης. Δεδομένου ενός συγκεκριμένου ποσού προς διάθεση από τον πελάτη, διατυπώνεται το παρακάτω πρόβλημα διαδοχικού τετραγωνικού προγραμματισμού [9], [125] :

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum O_i \cdot x_i \\ \text{s.t.} \quad & \prod \left( 1 - \frac{C_i}{B} \cdot x_i \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.36)$$

όπου  $B$  είναι το μέγιστο ποσό που μπορεί να διαθέσει ο πελάτης σε € και  $C_i$  το κόστος του κάθε εξαρτήματος σε €. Να σημειωθεί πως το βάρος  $O_i$  αντιπροσωπεύει τον δείκτη βραχυβιότητας, λαμβάνοντας υπ' όψιν το προσδόκιμο ζωής του κάθε εξαρτήματος, καθώς και τιμές καθορισμένες μέσω επιστημονικών μετρήσεων.

#### 3.2.2 Ανάλυση και αποτελέσματα βάσει εφαρμογής προτεινόμενου SQP αλγόριθμου

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε PCB τριών οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, ενός ψυγείου, ενός πλυντηρίου πιάτων και ενός πλυντηρίου ρούχων. Στον Πίνακα 3.7 παρουσιάζεται το πλήθος και ο τύπος των PCB ανά οικιακή ηλεκτρική συσκευή, ενώ στους Πίνακες 3.8–3.10 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι των εν λόγω ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που εμφανίζονται στις PCB κάθε οικιακής συσκευής, μετά του

αντιστοίχου πλήθους τους, του κόστους τους σε € και του δείκτη βραχυβιότητάς τους  $O_i$ . Η μέθοδος που αναπτύχθηκε προσδιορίζει ποια από τα εξαρτήματα πρέπει να επισκευαστούν υπό περιορισμένο προϋπολογισμό πελάτη. Για τις ανάγκες αυτές προσομοιώθηκαν τρία διαφορετικά και διακριτά μεταξύ τους σενάρια, βάσει της διαθέσιμης δαπάνης επισκευής από πλευράς πελάτη (Πίνακας 3.11). Στα Σχήματα 3.11 και 3.12 απεικονίζονται τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ενός ηλεκτρικού ψυγείου, για τις πλακέτες A1 και A2, συναρτήσεως του μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη βάσει κάθε σεναρίου. Αντιστοίχως, στα Σχήματα 3.13 έως 3.16 έχουμε τα εξαρτήματα ενός πλυντηρίου πιάτων, για τις πλακέτες B1, B2, B3 και B4, συναρτήσεως του μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη βάσει κάθε σεναρίου. Επίσης, στα Σχήματα 3.17 έως 3.19 έχουμε απεικόνιση των εξαρτημάτων ενός πλυντηρίου ρούχων, για τις πλακέτες C1, C2 και C3, συναρτήσεως του μέγιστου προϋπολογισμού πελάτη βάσει σεναρίου. Να σημειωθεί πως οι τιμές του δείκτη βραχυβιότητας ελήφθησαν εμπειρικά και λαμβάνοντας υπ' όψιν τη διάρκεια ζωής κάθε ηλεκτρονικού εξαρτήματος. Στον Πίνακα 3.12 παρουσιάζεται το πλήθος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που χρήζουν αντικατάστασης ανά PCB ηλεκτρικής οικιακής συσκευής, ενώ στον Πίνακα 3.13 παρουσιάζεται το βάρος των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που χρήζουν αντικατάστασης ανά PCB ηλεκτρικής οικιακής συσκευής. Επίσης, όπως αποτυπώνεται στον συγκεκριμένο πίνακα, τα Αθροίσματα 1, 2 και 3 είναι αυτά των τύπων αλλά και βαρών ανά ηλεκτρονικό εξάρτημα της PCB, για κάθε προϋπολογισμό πελάτη.

Στη συνέχεια, ο Πίνακας 3.14 συνοψίζει τον χρόνο υπολογισμού για όλες τις προσομοιωμένες περιπτώσεις και σενάρια. Από τα αποτελέσματα, είναι προφανές ότι καθώς ο προϋπολογισμός αυξάνει, αυξάνεται επίσης και ο χρόνος υπολογισμού.

Πίνακας 3.7. Πλήθος και τύπος PCB ανά οικιακή ηλεκτρική συσκευή [9]

Τύπος ηλεκτρικής οικιακής συσκευής	Πλήθος PCB	Τύπος PCB
Ηλεκτρικό ψυγείο	2	A1
		A2
Ηλεκτρικό πλυντήριο πιάτων	4	B1
		B2
		B3
		B4
Ηλεκτρικό πλυντήριο ρούχων	3	C1
		C2
		C3

Πίνακας 3.8. Τύπος, πλήθος και κόστος εξαρτημάτων ανά PCB για ηλεκτρικό ψυγείο [9]

Ηλεκτρικό ψυγείο				
Τύπος ηλεκτρονικού εξαρτήματος	Πλήθος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ανά PCB	$C_i$ (€)	$O_i$	Τύπος PCB
Ρελέ	6	1,67	0,96	A1
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	5	2,28	0,76	
Πυκνωτής	3	2,04	0,86	
Μετασχηματιστής	2	3,79	0,66	
Μεταβλητή αντίσταση	3	1,92	0,66	A2
Αντιστάτης	7	0,77	0,76	
Μπουτόν-Μικροδιακόπτης	4	2,05	0,86	

Πίνακας 3.9. Τύπος, πλήθος και κόστος εξαρτημάτων ανά PCB για πλυντήριο πιάτων [9]

Πλυντήριο πιάτων				
Τύπος ηλεκτρονικού εξαρτήματος	Πλήθος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ανά PCB	$C_i$ (€)	$O_i$	Τύπος PCB
Ρελέ	7	1,48	0,96	B1
Θυρίστορ	4	1,89	0,86	
Μπουτόν-Μικροδιακόπτης	6	0,87	0,66	B2
Αντιστάτης No,1	4	3,08	0,86	
Στραγγαλιστικό πηνίο	3	1,65	0,66	B3
Πυκνωτής	8	0,77	0,86	
Ανορθωτική διάδος	5	0,36	0,66	B4
Αντιστάτης No,2	9	0,55	0,66	
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	6	1,81	0,76	

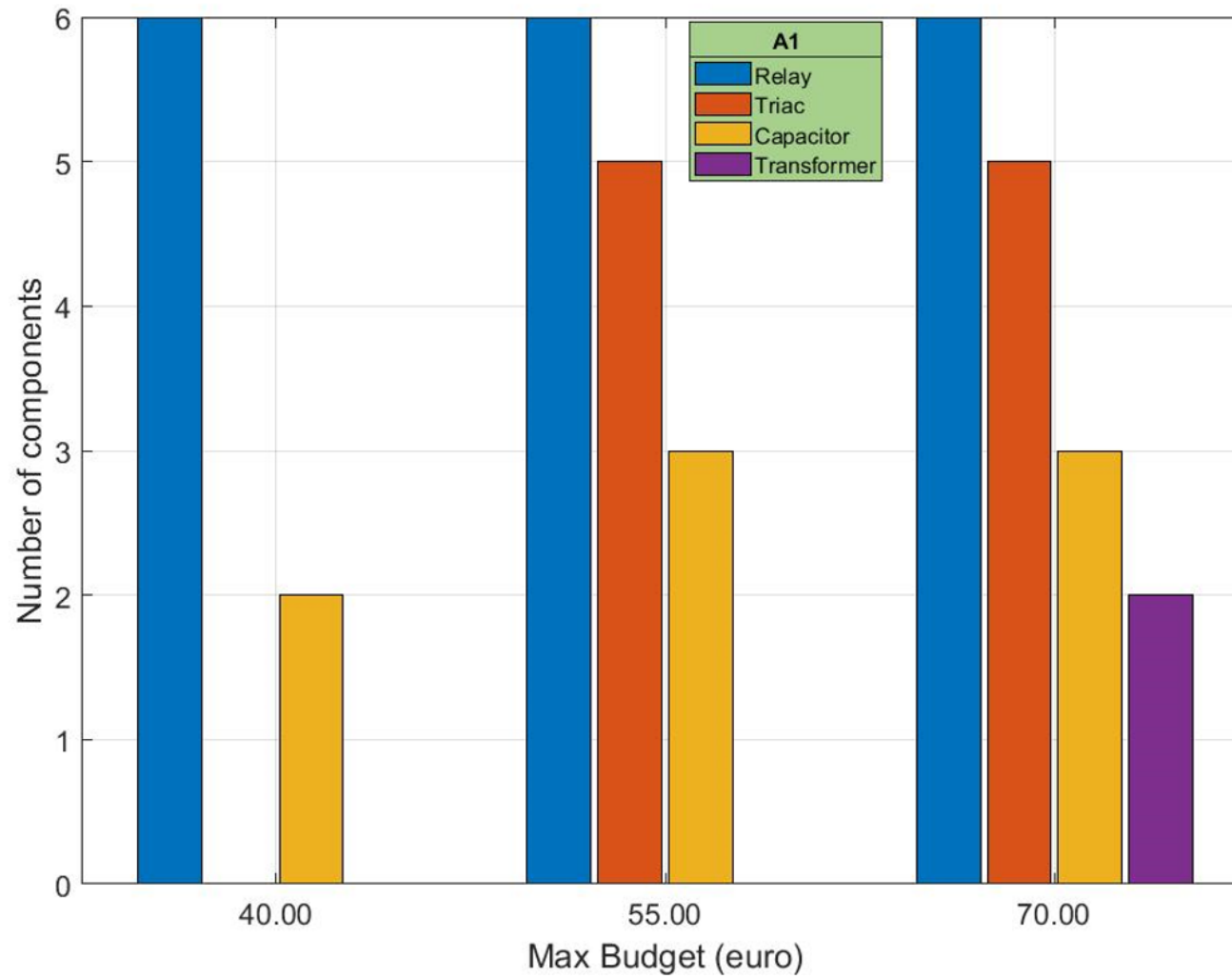
Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

**Πίνακας 3.10. Τύπος, πλήθος και κόστος εξαρτημάτων ανά PCB για πλυντήριο ρούχων [9]**

Πλυντήριο ρούχων				
Τύπος ηλεκτρονικού εξαρτήματος	Πλήθος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ανά PCB	$C_i$ (€)	$O_i$	Τύπος PCB
Πυκνωτής	4	0,47	0,86	C1
Αντιστάτης	5	1,43	0,56	
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	4	2,38	0,66	
Μπουτόν–Μικροδιακόπτης	8	0,52	0,66	C2
Ρελέ	5	0,77	0,96	
Θυρίστορ	7	0,92	0,76	C3
Ανορθωτική δίοδος	4	1,02	0,66	

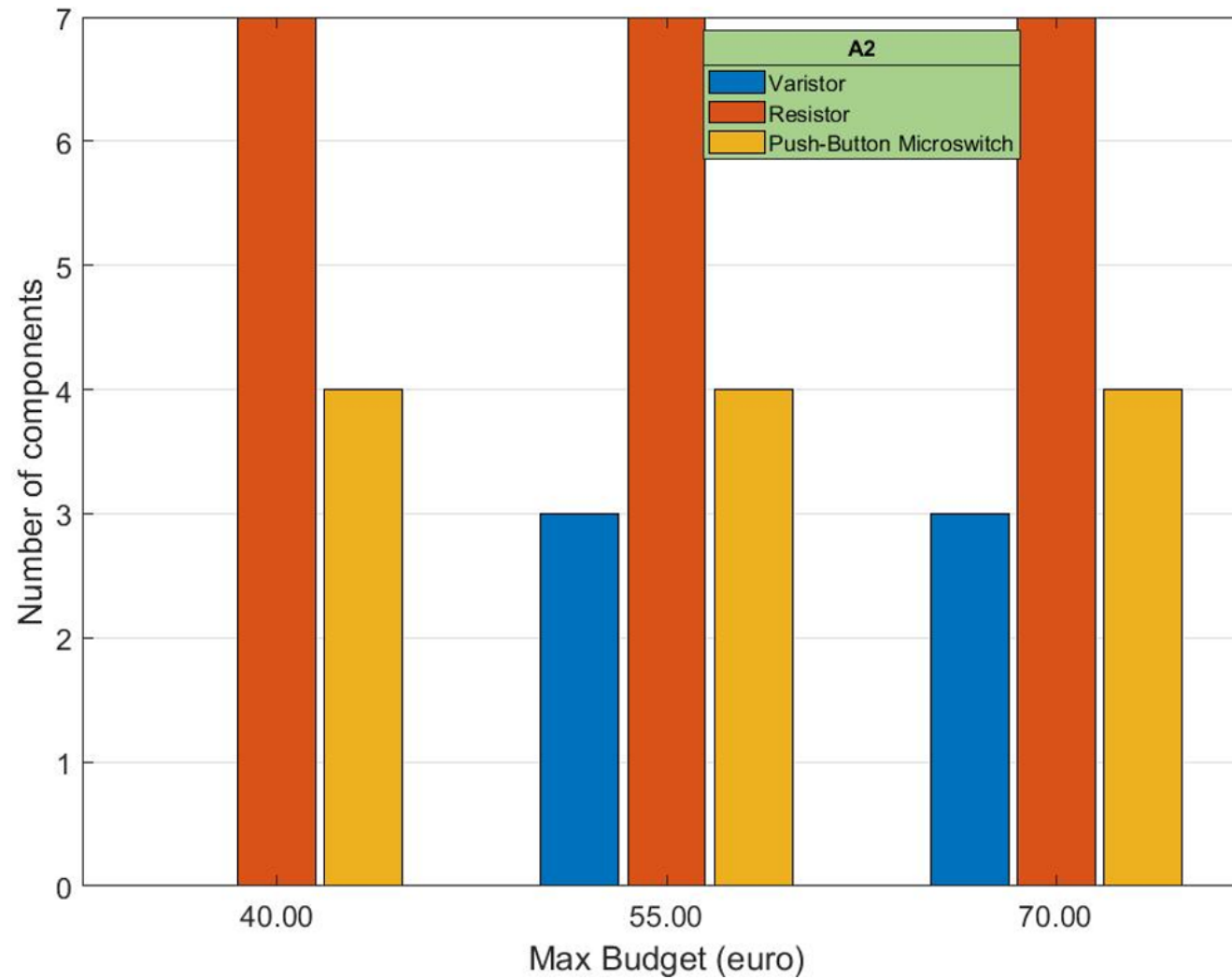
**Πίνακας 3.11. Προσομοιωμένα σενάρια βάσει προϋπολογισμού πελάτη [9]**

Σενάρια	Περιορισμένος προϋπολογισμός πελάτη ( $B$ ) σε €
I	40,00
II	55,00
III	70,00

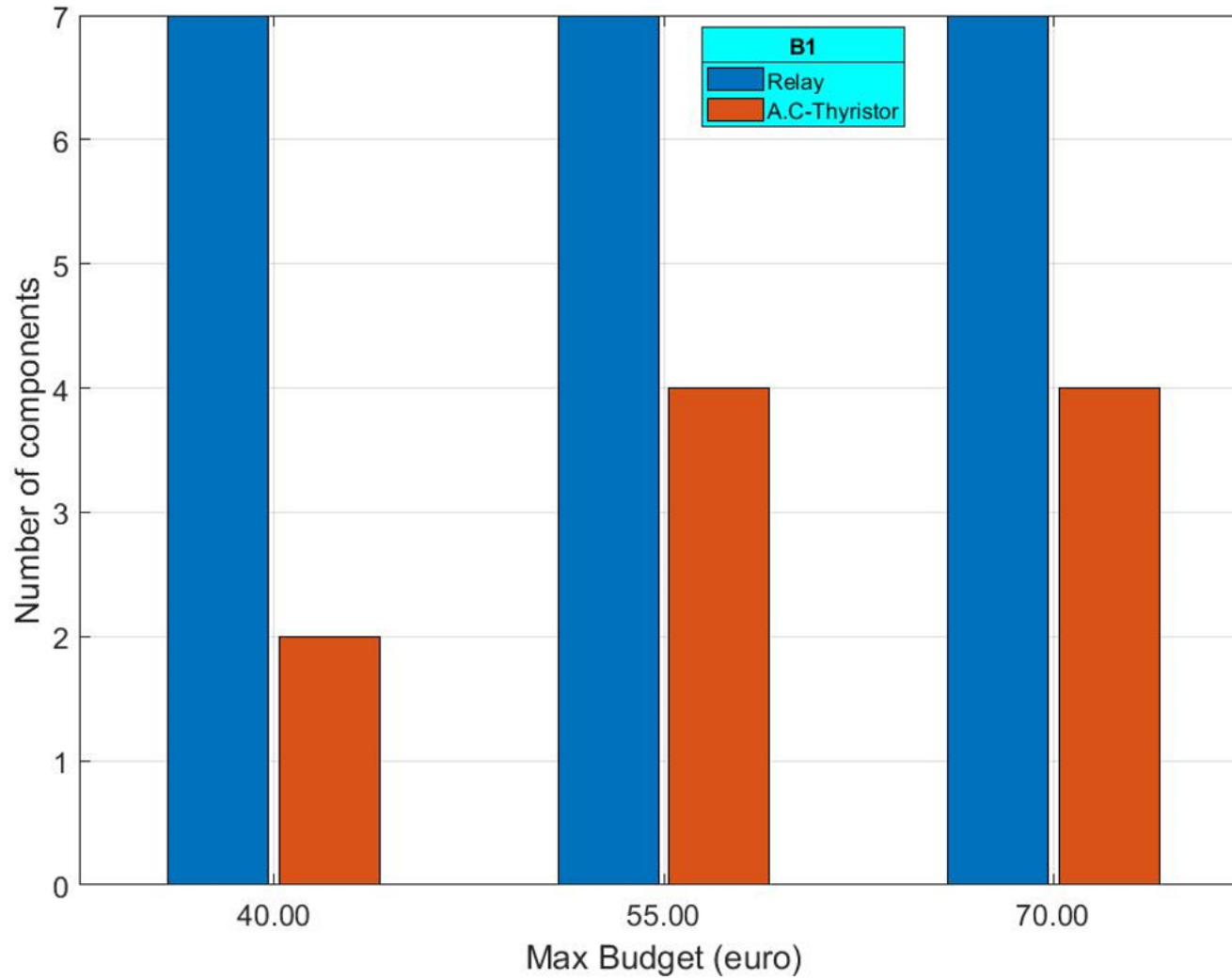


Σχήμα 3.11. Απεικόνιση εξαρτημάτων της A1 PCB ηλεκτρικού ψυγείου σεναρίων I–III [9]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

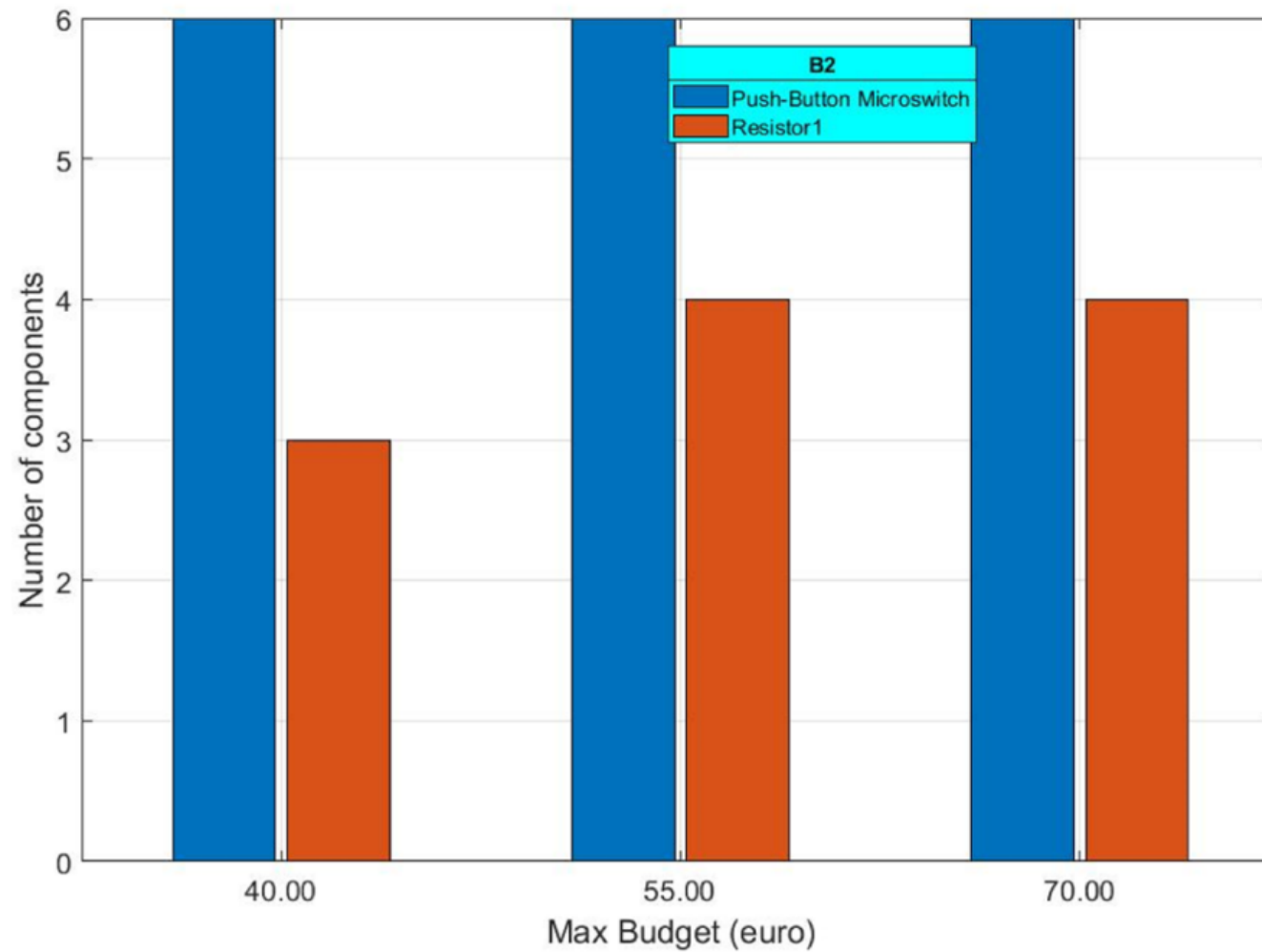


Σχήμα 3.12. Απεικόνιση εξαρτημάτων της A2 PCB ηλεκτρικού ψυγείου σεναρίων I–III [9]



Σχήμα 3.13. Απεικόνιση εξαρτημάτων της B1 PCB πλυντηρίου πιάτων σεναρίων I–III [9]

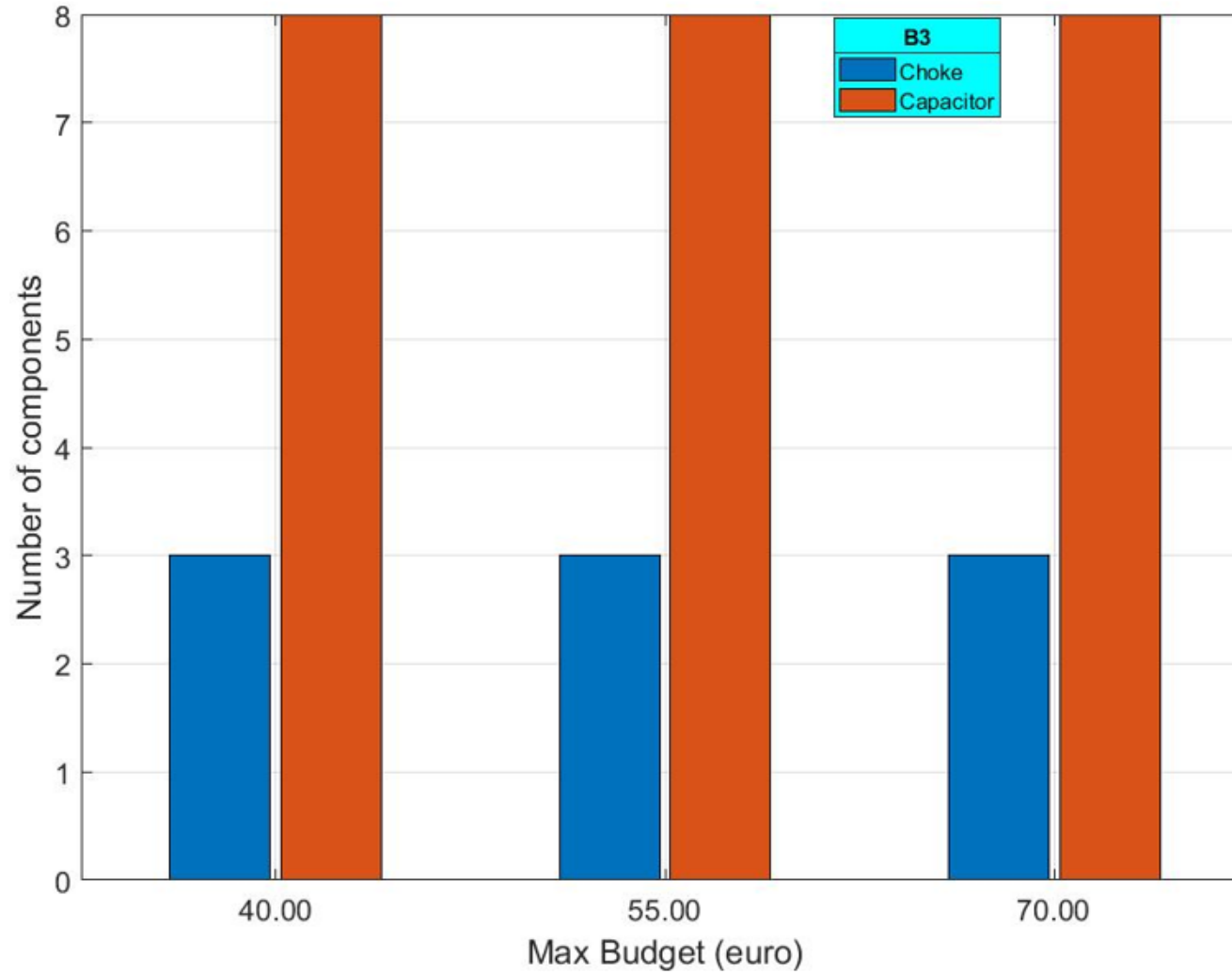
Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 3.14 Απεικόνιση εξαρτημάτων της B2 PCB πλυτηρίου πιάτων για σενάρια I–III [9]

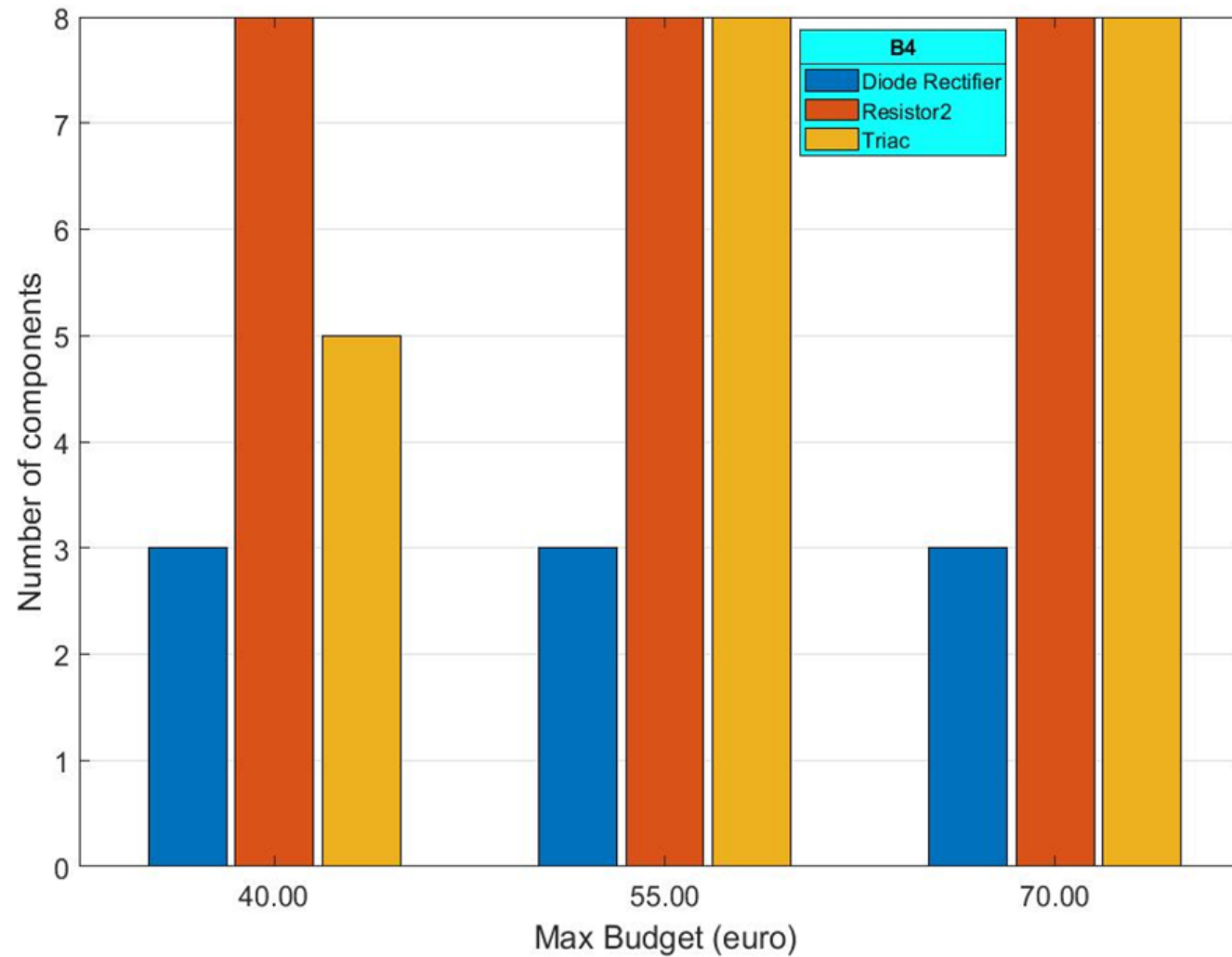


Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των  
αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

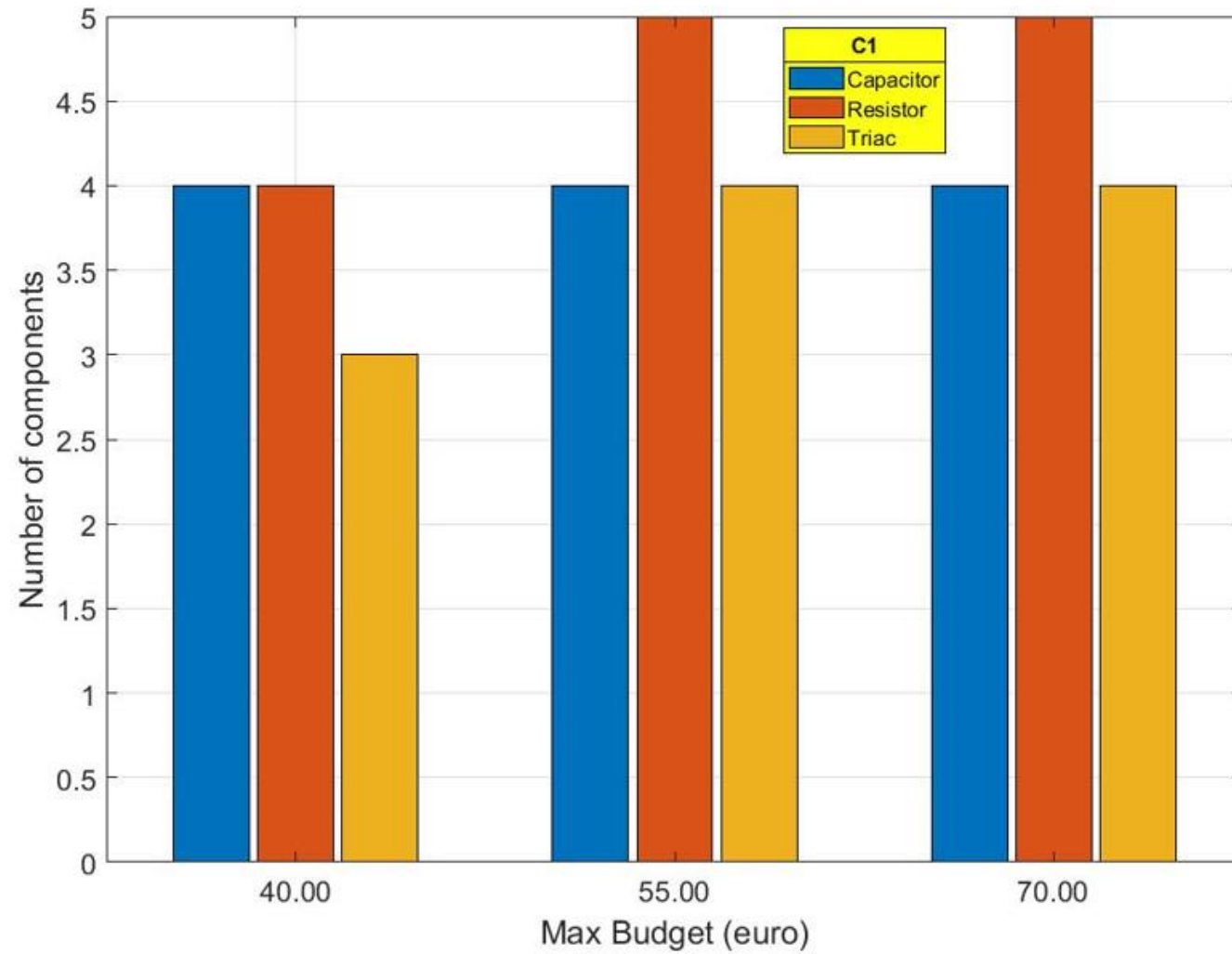


Σχήμα 3.15. Απεικόνιση εξαρτημάτων της B3 PCB πλυντηρίου πιάτων για σενάρια I-III [9]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

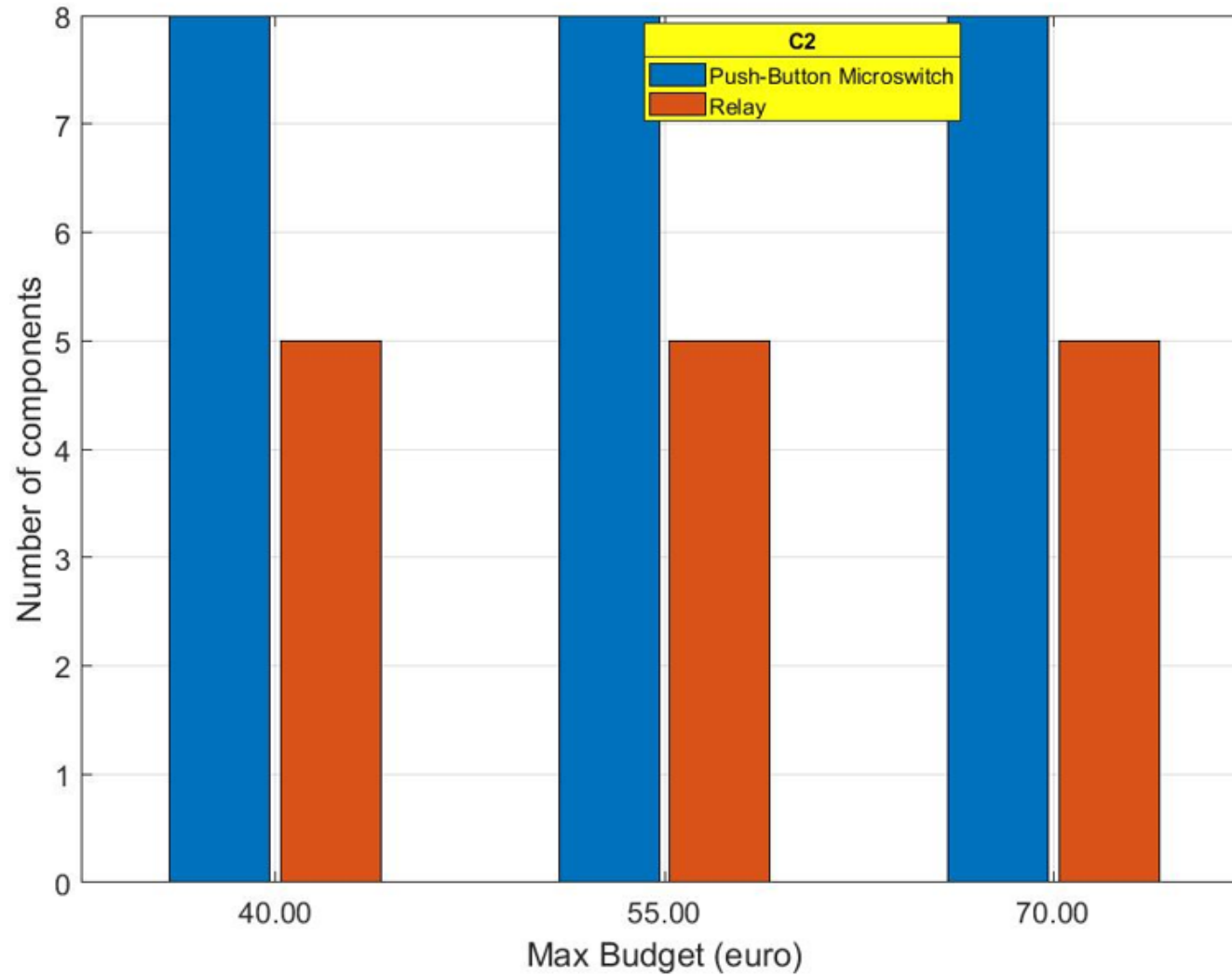


Σχήμα 3.16. Απεικόνιση εξαρτημάτων της B4 PCB πλυντηρίου πιάτων για σενάρια I–III [9]

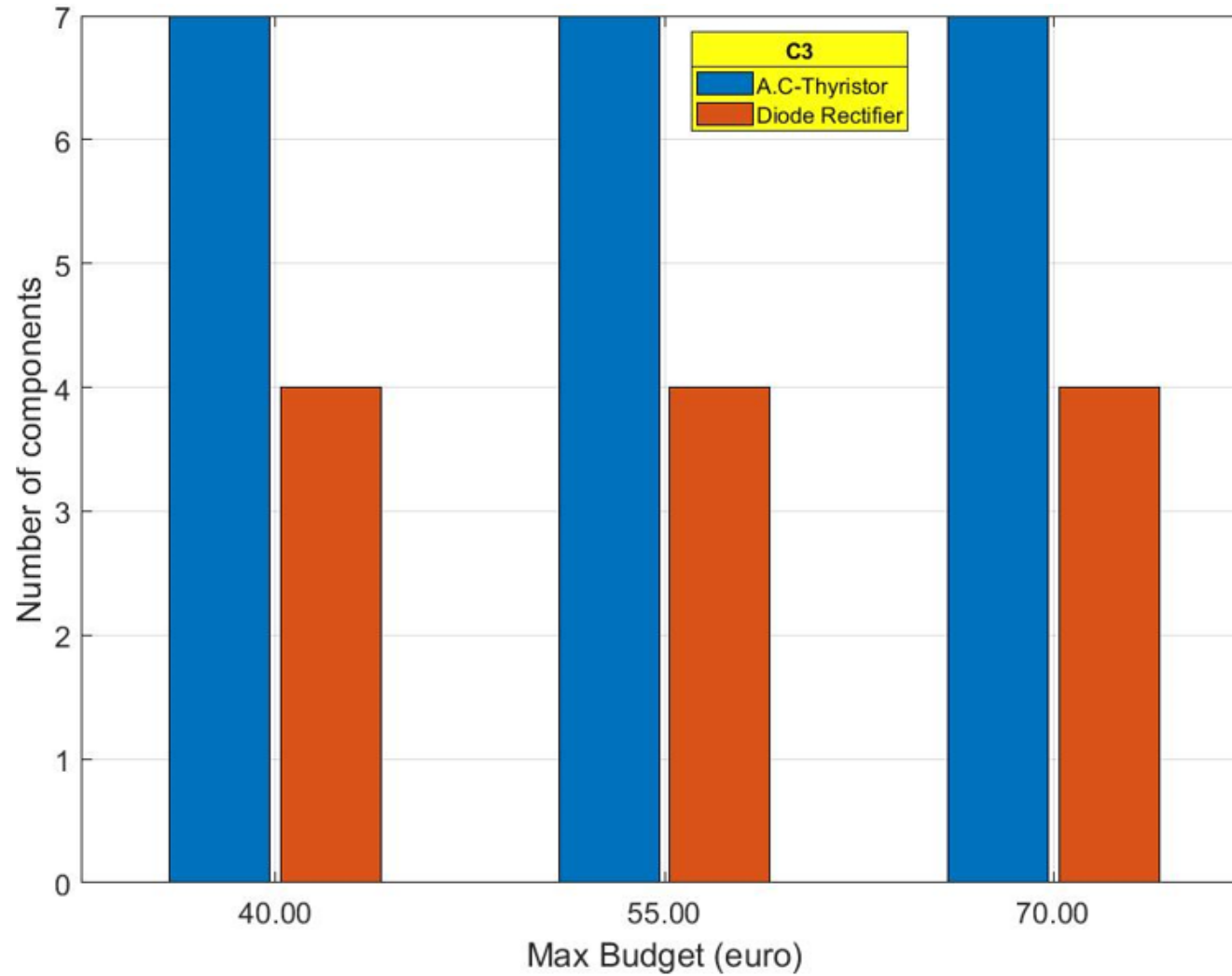


Σχήμα 3.17. Απεικόνιση εξαρτημάτων της C1 PCB πλυντηρίου ρούχων για σενάρια [9]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης



Σχήμα 3.18. Απεικόνιση εξαρτημάτων της C2 PCB πλυντηρίου ρούχων για σενάρια I–III [9]



Σχήμα 3.19. Απεικόνιση εξαρτημάτων της C3 PCB πλυντηρίου ρούχων για σενάρια I–III [9]

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Πίνακας 3.12. Πλήθος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων PCB προς αντικατάσταση [9]

PCB	Ηλεκτρονικά εξαρτήματα των PCB												B (€)
	Ρελέ	Θυρίστρος αμφίπλευρης αγωγής	Πυκνωτής	Μετασχημα τιστής	Μεταβλητός αντιστάτης	Αντιστάτης No.1	Μπουτόν-Μικροδια κόπτης	Θυρίστρος	Αντιστάτης No.2	Αντιστάτης No.3	Στραγγαλιστικό πηνίο	Ανορθωτική δίοδος	
A <sub>1</sub>	6	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
	6	5	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55
	6	5	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	70
A <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	7	4	—	—	—	—	—	40
	—	—	—	—	3	7	4	—	—	—	—	—	55
	—	—	—	—	3	7	4	—	—	—	—	—	70
B <sub>1</sub>	7	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	40
	7	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	55
	7	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—	70
B <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	6	—	3	—	—	—	40
	—	—	—	—	—	—	6	—	4	—	—	—	55
	—	—	—	—	—	—	6	—	4	—	—	—	70
B <sub>3</sub>	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	3	—	40
	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	3	—	55
	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	3	—	70
B <sub>4</sub>	—	5	—	—	—	—	—	—	—	8	—	3	40
	—	8	—	—	—	—	—	—	—	8	—	3	55
	—	8	—	—	—	—	—	—	—	8	—	3	70
C <sub>1</sub>	—	3	4	—	—	4	—	—	—	—	—	—	40
	—	4	4	—	—	5	—	—	—	—	—	—	55
	—	4	4	—	—	5	—	—	—	—	—	—	70
C <sub>2</sub>	5	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	40
	5	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	55
	5	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	70
C <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—	—	4	40
	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—	—	4	55
	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—	—	4	70
Άθροισμα 1	18	8	14	—	—	11	18	9	3	8	3	7	40
Άθροισμα 2	18	17	15	—	3	12	18	11	4	8	3	7	55
Άθροισμα 3	18	17	15	2	3	12	18	11	4	8	3	7	70

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Πίνακας 3.13. Βάρος ηλεκτρονικών εξαρτημάτων προς αντικατάσταση ανά PCB [9]

PCB	Ηλεκτρονικά εξαρτήματα των PCB												B (€)
	Ρελέ	Θυρίστρορ αμφίπλευρης αγωγής	Πυκνωτής	Μετασχηματιστής	Μεταβλητός αντιστάτης	Αντιστάτης No.1	Μπουτόν-Μικρο διακόπτης	Θυρίστρορ	Αντιστάτης No.2	Αντιστάτης No.3	Στραγγαλιστικό πηνίο	Ανορθωτική δίοδος	
A <sub>1</sub>	42,5	—	24,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
	42,5	11,7	37,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55
	42,5	11,7	37,4	43,3	—	—	—	—	—	—	—	—	70
A <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	7,5	0,9	—	—	—	—	—	40
	—	—	—	—	4,7	7,5	0,9	—	—	—	—	—	55
	—	—	—	—	4,7	7,5	0,9	—	—	—	—	—	70
B <sub>1</sub>	49,6	—	—	—	—	—	—	166,0	—	—	—	—	40
	49,6	—	—	—	—	—	—	332,0	—	—	—	—	55
	49,6	—	—	—	—	—	—	332,0	—	—	—	—	70
B <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	1,3	—	3,4	—	—	—	40
	—	—	—	—	—	—	1,3	—	4,6	—	—	—	55
	—	—	—	—	—	—	1,3	—	4,6	—	—	—	70
B <sub>3</sub>	—	—	99,8	—	—	—	—	—	—	—	27,0	—	40
	—	—	99,8	—	—	—	—	—	—	—	27,0	—	55
	—	—	99,8	—	—	—	—	—	—	—	27,0	—	70
B <sub>4</sub>	—	11,7	—	—	—	—	—	—	—	9,4	—	3,3	40
	—	18,6	—	—	—	—	—	—	—	9,4	—	3,3	55
	—	18,6	—	—	—	—	—	—	—	9,4	—	3,3	70
C <sub>1</sub>	—	7,0	49,9	—	—	4,3	—	—	—	—	—	—	40
	—	9,3	49,9	—	—	5,4	—	—	—	—	—	—	55
	—	9,3	49,9	—	—	5,4	—	—	—	—	—	—	70
C <sub>2</sub>	35,4	—	—	—	—	—	1,8	—	—	—	—	—	40
	35,4	—	—	—	—	—	1,8	—	—	—	—	—	55
	35,4	—	—	—	—	—	1,8	—	—	—	—	—	70
C <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	581,0	—	—	—	4,4	40
	—	—	—	—	—	—	—	581,0	—	—	—	4,4	55
	—	—	—	—	—	—	—	581,0	—	—	—	4,4	70
<b>Άθροισμα 1</b>	127,4	18,6	174,6	—	—	11,8	3,9	747	3,4	9,4	27	7,7	<b>40</b>
<b>Άθροισμα 2</b>	127,4	39,6	187,1	—	4,7	12,8	3,9	913	4,6	9,4	27	7,7	<b>55</b>
<b>Άθροισμα 3</b>	127,4	39,6	187,1	43,3	4,7	12,8	3,9	913	4,6	9,4	27	7,7	<b>70</b>

Πίνακας 3.14. Χρόνος υπολογισμού για κάθε προσομοιωμένο σενάριο [9]

Χρόνος υπολογισμού (s)									Σενάρια
Τύπος PCB κάθε οικιακής ηλεκτρικής συσκευής									
A1	A2	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	
0,723	0,695	0,675	0,673	0,673	0,694	0,698	0,671	0,678	I
0,784	0,743	0,718	0,717	0,715	0,748	0,749	0,714	0,714	II
0,837	0,797	0,756	0,750	0,757	0,795	0,796	0,753	0,752	III

### 3.2.3 Δείκτης επισκευασιμότητας ηλεκτρικών οικιακών συσκευών

Για την περαιτέρω εκτίμηση της δυνατότητας επισκευής των PCB των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, εισάγουμε τον ακόλουθο δείκτη επισκευασιμότητας των εξαρτημάτων που επιλέχθηκαν προς αντικατάσταση για την  $j$ -οστή PCB κάθε ηλεκτρικής οικιακής συσκευής:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{i \in \mathfrak{Z}} m_{i,j}}{m_{PCB,j,tot}} \quad (3.37)$$

όπου  $\mathfrak{Z}$  είναι το σύνολο εξαρτημάτων που ανήκουν στη  $j$ -οστή PCB,  $m_{ij}$  το βάρος του  $i$ -οστού εξαρτήματος που επελέγη προς αντικατάσταση στη  $j$ -οστή PCB και  $m_{PCB,j,tot}$  το συνολικό βάρος της  $j$ -οστής PCB.

Στον Πίνακα 3.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον παραπάνω δείκτη ανά σενάριο και τύπο PCB, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα στοιχεία του Πίνακα 3.13.

Έχοντας ορίσει τον δείκτη επισκευασιμότητας της  $j$ -οστής PCB σύμφωνα με την (3.37), μπορεί, επίσης, να οριστεί ο δείκτης επισκευασιμότητας της ηλεκτρικής οικιακής συσκευής ως εξής:

$$R_{APP} = \prod R_{ij} \quad (3.38)$$

Στον Πίνακα 3.16 συνοψίζονται τα αποτελέσματα για τον δείκτη επισκευασιμότητας οικιακών ηλεκτρικών συσκευών για κάθε σενάριο που προσομοιώθηκε. Από τα αποτελέσματα είναι προφανές ότι η πιο επισκευάσιμη οικιακή ηλεκτρική συσκευή, για κάθε σενάριο, είναι το ηλεκτρικό ψυγείο. Δεδομένου ότι ο δείκτης επισκευασιμότητας των οικιακών ηλεκτρικών συσκευών σχετίζεται με τα εξαρτήματα των πλακετών έκαστης συσκευής, μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό εξοικονόμησης των επισκευασμένων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών, πολλαπλασιάζοντας τον δείκτη RAPP με τη μέση τιμή των νέων συσκευών, όπως παρουσιάζεται στους καταλόγους των κατασκευαστών. Ο Πίνακας 3.17 συνοψίζει τα αποτελέσματα αυτά.



Πίνακας 3.15. Δείκτης επισκευασιμότητας των PCB [9]

Τύπος PCB	$R_{ij}$	Σενάρια
A1	0,0973	I
	0,1321	II
	0,1946	III
A2	0,0290	I
	0,0452	II
	0,0452	III
B1	0,4083	I
	0,7227	II
	0,7227	III
B2	0,0049	I
	0,0061	II
	0,0061	III
B3	0,1703	I
	0,1703	II
	0,1703	III
B4	0,0975	I
	0,1255	II
	0,1255	III

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Πίνακας 3.15. Συνέχεια [9]

Τύπος PCB	$R_{ij}$	Σενάρια
C1	0,0436	I
	0,0460	II
	0,0460	III
C2	0,0665	I
	0,0665	II
	0,0665	III
C3	0,7354	I
	0,7354	II
	0,7354	III

Πίνακας 3.16. Δείκτης επισκευασιμότητας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [9]

Τύπος ηλεκτρικής οικιακής συσκευής	RAPP	RAPP (%)	Σενάρια
Ηλεκτρικό ψυγείο	0,002818	0,281762	I
	0,005965	0,596472	II
	0,008787	0,878744	III
Πλυντήριο πιάτων	0,000034	0,003356	I
	0,000095	0,009482	II
	0,000095	0,009482	III
Πλυντήριο ρούχων	0,002132	0,213171	I
	0,002250	0,225024	II
	0,002250	0,225024	III

Πίνακας 3.17. Ποσόν εξοικονόμησης επισκευασμένων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [9]

Τύπος ηλεκτρικής οικιακής συσκευής	Μέσο κόστος ηλεκτρικής οικιακής συσκευής (€)	Ποσό εξοικονόμησης των επισκευασμένων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών (€)	Σενάρια
Ηλεκτρικό ψυγείο	570	160,60	I
		339,99	II
		500,88	III
Πλυντήριο πιάτων	340	1,14	I
		3,22	II
		3,22	III
Πλυντήριο ρούχων	420	89,53	I
		94,51	II
		94,51	III

### 3.2.4 Ανακύκλωση μεταλλικών στοιχείων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων των PCB

Στην παρούσα ενότητα εξετάστηκε η δυνατότητα ανακύκλωσης μεταλλικών στοιχείων από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που αντικαταστάθηκαν στο πλαίσιο επισκευής των PCB που μελετήθηκαν.

Στον Πίνακα 3.18 παρουσιάζονται αναλυτικά τα βάρη σε γραμμάρια των μετάλλων που εμπεριέχονται στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως αυτά προκύπτουν από τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών και των διαδικασιών αποξήλωσης και τεμαχισμού αυτών. Στον Πίνακα 3.19 παρουσιάζεται το ποσοστό των πιο κοινών μετάλλων στις PCB, μέσω επτά τεχνικών ανακύκλωσης, όπως αναφέρονται στην εργασία [126], όπου AMR είναι η μέση ανάκτηση μετάλλων, υπολογιζόμενη από τις αντίστοιχες τιμές του Πίνακα 3.19, ενώ στον Πίνακα 3.20 συγκρίνονται τα υπολογιζόμενα δεδομένα ανακύκλωσης της παρούσας έρευνας με τα δεδομένα άλλων εργασιών που δημοσιεύονται στη βιβλιογραφία [127], [128], [129], [130] και [131]. Από τα αποτελέσματα είναι προφανές ότι τα στατιστικά στοιχεία ανακύκλωσης από τη διαδικασία που βασίζεται στο AMR είναι παρόμοια ή συγκρίσιμα σε σχέση με αυτά των προηγούμενων δημοσιευμένων τιμών.

Στον Πίνακα 3.21 δίδεται το συνολικό βάρος για κάθε τύπο PCB που βρίσκεται στις υπό εξέταση ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. Το συνολικό βάρος των PCB από τις εξεταζόμενες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές είναι ίσο με 6.220g, με μέσο βάρος τα 691,00g/πλακέτα. Στους Πίνακες 3.22, 3.23 και 3.24 αποτυπώνονται οι εκατοστιαίες συγκεντρώσεις των κύριων μετάλλων στις PCB που έχουν επιλεγεί προς αντικατάσταση, για όλες τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές που εξετάζονται και για διαφορετικούς προϋπολογισμούς πελατών. Οι Πίνακες 3.25, 3.26 και 3.27, αντιστοίχως, παρουσιάζουν τις εκατοστιαίες συγκεντρώσεις των βασικότερων μετάλλων εντός των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων για τις

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

PCB που έχουν επιλεγεί προς αντικατάσταση. Αυτές αφορούν όλες τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές που εξετάστηκαν και για διαφορετικούς προϋπολογισμούς πελατών, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη μέση ανάκτηση μετάλλων από τις διαδικασίες ανακύκλωσης. Στον Πίνακα 3.28 παρουσιάζεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης ερευνητικής μεθοδολογίας με αυτά άλλων δημοσιεύσεων, ως προς τη συγκέντρωση πολύτιμων μετάλλων εκφρασμένη σε ppm (μέρη στο εκατομμύριο). Προς περαιτέρω διερεύνηση των δυνατοτήτων της παρούσας ερευνητικής προσέγγισης, από πλευράς περιβαλλοντικής προοπτικής, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δεδομένων ανακύκλωσης με στοιχεία άλλων δημοσιεύσεων στη βιβλιογραφία [128]. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα αποτελέσματα της εργασίας [132], όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.29 και ενσωματώθηκαν στην πραγματοποιηθείσα έρευνα για τον υπολογισμό της ακαθάριστης ενεργειακής απαίτησης (GER), του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP), του δυναμικού οξίνισης (AP) και του βάρους στερεών αποβλήτων (SWB). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τα στοιχεία της αναφοράς [128]. Τα συγκριτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.30. Να σημειωθεί ότι για τους υπολογισμούς ελήφθησαν υπ' όψιν τα συνολικά βάρη Cu και Al που αντιστοιχούν στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που επιλέχθηκαν προς αντικατάσταση, καθώς και ο AMR της προτεινόμενης διαδικασίας και συγκρίθηκαν με τα δεδομένα ανακύκλωσης της αναφοράς [128].

**Πίνακας 3.18. Βάρος μετάλλων από ηλεκτρονικά εξαρτήματα PCB [9]**

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (g)					
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe
Ρελέ	–	–	2,24	0,43	1,22	0,35
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,28	–	0,17	0,23	0,56	0,18
Πυκνωτής	–	4,76	–	1,10	2,20	–
Μετασχηματιστής	6,45	2,85	–	1,14	2,05	1,65
Μεταβλητός αντιστάτης	–	0,63	–	0,19	–	–
Αντιστάτης Νο.1	0,21	–	0,18	0,13	–	–
Μπουτόν–Μικροδιακόπτης	–	0,11	–	–	–	–
Θυρίστορ	7,75	–	7,11	9,80	9,20	5,70
Αντιστάτης Νο.2	0,24	–	0,16	–	–	–
Αντιστάτης Νο.3	0,27	–	0,19	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	1,10	2,78	–	0,86	0,95	0,77
Ανορθωτική δίοδος	0,19	–	0,28	–	–	–

**Πίνακας 3.19. Συνηθέστερα μεταλλικά στοιχεία των PCB (%) [9]**

Μέταλλα	[126]							AMR (%)
	Αριθμός μεθόδου ανακύκλωσης							
	1	2	3	4	5	6	7	
Cu	20,00	26,80	10,00	15,60	22,00	17,85	23,47	19,39
Al	2,00	4,70	7,00	–	–	4,78	1,33	3,96
Sn	4,00	1,00	–	3,24	2,60	5,28	1,54	2,94
Zn	1,00	1,50	1,60	0,16	–	2,17	1,51	1,32
Ni	2,00	0,47	0,85	0,28	0,32	1,63	2,35	1,13
Fe	8,00	5,30	–	1,40	3,60	2,00	1,22	3,59
Au/ppm	1000,00	80,00	280,00	420,00	350,00	350,00	570,0	435,71
Pt/ppm	–	–	–	–	–	4,60	30,0	17,30
Ag/ppm	2000,00	3300,00	110,00	1240,00	–	1300,00	3301,00	1875,17
Pd/ppm	50,00	–	–	10,00	–	250,00	294,00	151,00

**Πίνακας 3.20. Σύγκριση δεδομένων ανακύκλωσης προτεινόμενης μεθόδου με άλλες εργασίες [9]**

Μέταλλα	AMR	[127]	[128]	[129]–[130]	[131]
Cu	19,39%	16,00%	73,47%	40,32%	33,84%
Al	3,96%	4,00%	6,83%	0,98%	2,08%
Sn	2,94%	2,00%	–	3,36%	–
Zn	1,32%	1,00%	–	0,66%	–
Ni	1,13%	–	–	0,33%	1,94%
Fe	3,59%	3,00%	–	0,53%	2,02%
Au/ppm	435,71	–	–	6,50	200,00
Pt/ppm	17,30	–	–	–	–
Ag/ppm	1875,17	600,00	–	8,10	–
Pd/ppm	151,00	–	–	–	–

**Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης**

Προκειμένου να διερευνηθεί το μελλοντικό δυναμικό της παρούσας ερευνητικής εργασίας, υπό το πρίσμα της οικονομικής προοπτικής, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των υιοθετημένων δεδομένων ανακύκλωσης της παρούσας εργασίας, με δεδομένα άλλων εργασιών από τη βιβλιογραφία [127]. Δεδομένου ότι το μόνο ηλεκτρονικό εξάρτημα στις πλακέτες που περιλαμβάνει πολύτιμα μέταλλα είναι το ρελέ, το οποίο διαθέτει επάργυρες επαφές, αξιολογήθηκαν οι αναφερόμενες τιμές ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) σε Ag, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη χρηματιστηριακή του τιμή [133]. Ο Πίνακας 3.31 συγκρίνει τα αποτελέσματα της προτεινόμενης ερευνητικής εργασίας με αυτά της [127], με όρους οικονομίας.

**Πίνακας 3.21. Συνολικό βάρος PCB για τις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές [9]**

Τύπος PCB	Συνολικό βάρος(g)
A1	693
A2	289
B1	528
B2	958
B3	744
B4	250
C1	1403
C2	559
C3	796

Πίνακας 3.22. Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 40€ [9]

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (%)					
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe
Ρελέ	–	–	0,65	0,12	0,35	0,10
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,04	–	0,02	0,03	0,07	0,02
Πυκνωτής	–	1,07	–	0,25	0,50	–
Μετασχηματιστής	–	–	–	–	–	–
Μεταβλητός αντιστάτης	–	–	–	–	–	–
Αντιστάτης 1	0,04	–	0,03	0,02	–	–
Μπουτόν – Μικροδιακόπτης	–	0,03	–	–	–	–
Θυρίστορ	1,12	–	1,03	1,42	1,33	0,82
Αντιστάτης 2	0,01	–	0,01	–	–	–
Αντιστάτης 3	0,03	–	0,02	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	0,05	0,13	–	0,04	0,05	0,04
Ανορθωτική δίοδος	0,02	–	0,03	–	–	–

**Πίνακας 3.23. Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 55€ [9]**

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (%)					
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe
Ρελέ	–	–	0,65	0,12	0,35	0,10
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,08		0,05	0,06	0,15	0,05
Πυκνωτής	–	1,15	–	0,27	0,53	–
Μετασχηματιστής	–	–	–	–	–	–
Μεταβλητός αντιστάτης	–	0,03	–	0,01	–	–
Αντιστάτης 1	0,04	–	0,03	0,03	–	–
Μπουτόν – Μικροδιακόπτης	–	0,03	–	–	–	–
Θυρίστορ	1,37	–	1,26	1,73	1,63	1,01
Αντιστάτης 2	0,02	–	0,01	–	–	–
Αντιστάτης 3	0,03	–	0,02	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	0,05	0,13	–	0,04	0,05	0,04
Ανορθωτική διάδος	0,02	–	0,03	–	–	–



Πίνακας 3.24. Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 70€ [9]

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (%)					
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe
Ρελέ	–	–	0,65	0,12	0,35	0,10
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,08	–	0,05	0,06	0,15	0,05
Πυκνωτής	–	1,15	–	0,27	0,53	–
Μετασχηματιστής	0,21	0,09	–	0,04	0,07	0,05
Μεταβλητός αντιστάτης	–	0,03	–	0,01	–	–
Αντιστάτης 1	0,04	–	0,03	0,03	–	–
Μπουτόν – Μικροδιακόπτης	–	0,03	–	–	–	–
Θυρίστορ	1,37	–	1,26	1,73	1,63	1,01
Αντιστάτης 2	0,02	–	0,01	–	–	–
Αντιστάτης 3	0,03	–	0,02	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	0,05	0,13	0,00	0,04	0,05	0,04
Ανορθωτική διάδος	0,02	–	0,03	–	–	–

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

**Πίνακας 3.25. Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 40€ βάσει ανάκτησης πολύτιμων και μη μετάλλων και σύμφωνα με τον δείκτη AMR [9]**

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (%)						Πολύτιμα μέταλλα (ppm)
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe	
Ρελέ	–	–	0,0206	0,0018	0,0043	0,0039	38,4078
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,0155	–	0,0015	0,0009	0,0019	0,0018	–
Πυκνωτής	–	0,0495	–	0,0038	0,0066	–	–
Μετασχηματιστής	–	–	–	–	–	–	–
Μεταβλητός αντιστάτης	–	–	–	–	–	–	–
Αντιστάτης 1	0,0078	–	0,0012	0,0004	–	–	–
Μπουτόν – Μικροδιακόπτης	–	0,0012	–	–	–	–	–
Θυρίστορ	0,2889	–	0,0403	0,0248	0,0200	0,0395	–
Αντιστάτης 2	0,0039	–	0,0003	–	–	–	–
Αντιστάτης 3	0,0078	–	0,0009	–	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	0,0116	0,0059	–	0,0007	0,0006	0,0014	–
Ανορθωτική δίοδος	0,0039	–	0,0009	–	–	–	–

**Πίνακας 3.26. Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 55€ βάσει ανάκτησης πολυτιμών και μη μετάλλων και σύμφωνα με τον δείκτη AMR [9]**

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (%)						Πολύτιμα μέταλλα (ppm)
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe	Ag
Ρελέ	–	–	0,0206	0,0018	0,0043	0,0039	38,4078
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,0155	–	0,0015	0,0009	0,0019	0,0018	–
Πυκνωτής	–	0,0495	–	0,0038	0,0066	–	–
Μετασχηματιστής	–	–	–	–	–	–	–
Μεταβλητός αντιστάτης	–	0,0012	–	0,0001	–	–	–
Αντιστάτης 1	0,0078	–	0,0012	0,0004	–	–	–
Μπουτόν – Μικροδιακόπτης	–	0,0012	–	–	–	–	–
Θυρίστορ	0,2889	–	0,0403	0,0248	0,0200	0,0395	–
Αντιστάτης 2	0,0039	–	0,0003	–	–	–	–
Αντιστάτης 3	0,0078	–	0,0009	–	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	0,0116	0,0059	–	0,0007	0,0006	0,0014	–
Ανορθωτική δίοδος	0,0039	–	0,0009	–	–	–	–

**Πίνακας 3.27. Εκατοστιαία συγκέντρωση μετάλλων εξαρτημάτων PCB για προϋπολογισμό 70€ βάσει ανάκτησης πολύτιμων και μη μετάλλων και σύμφωνα με τον δείκτη AMR [9]**

Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	Μέταλλα (%)						Πολύτιμα μέταλλα (ppm)
	Cu	Al	Sn	Zn	Ni	Fe	
Ρελέ	–	–	0,0206	0,0018	0,0043	0,0039	38,4078
Θυρίστορ αμφίπλευρης αγωγής	0,0155	–	0,0015	0,0009	0,0019	0,0018	–
Πυκνωτής	–	0,0495	–	0,0038	0,0066	–	–
Μετασχηματιστής	0,0446	0,0040	–	0,0005	0,0008	0,0022	–
Μεταβλητός αντιστάτης	–	0,0012	–	0,0001	–	–	–
Αντιστάτης 1	0,0078	–	0,0012	0,0004	–	–	–
Μπουτόν – Μικροδιακόπτης	–	0,0012	–	–	–	–	–
Θυρίστορ	0,2889	–	0,0403	0,0248	0,0200	0,0395	–
Αντιστάτης 2	0,0039	–	0,0003	–	–	–	–
Αντιστάτης 3	0,0078	–	0,0009	–	–	–	–
Στραγγαλιστικό πηνίο	0,0116	0,0059	–	0,0007	0,0006	0,0014	–
Ανορθωτική διάδος	0,0039	–	0,0009	–	–	–	–

Συγκρίνοντας τους Πίνακες 3.22–3.24 και τους Πίνακες 3.25–3.27, παρατηρούμε ότι η ανάκτηση μετάλλων από τη διαδικασία ανακύκλωσης για τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα των PCB, αποδίδει χαμηλότερες ποσότητες σε σύγκριση με την περιεκτικότητα μετάλλων στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως υπολογίζεται βάσει των τεχνικών εγχειριδίων. Από τα αποτελέσματα είναι προφανές ότι τα δεδομένα ανακύκλωσης από τη διαδικασία που βασίζεται στο AMR είναι παρόμοια ή καλύτερα από τα αποτελέσματα που έχουν ήδη παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία.

Πίνακας 3.28. Σύγκριση προτεινόμενης ανακύκλωσης AMR με άλλες για πολύτιμα μέταλλα [9]

Πολύτιμα μέταλλα	AMR	[127]	[128]	[129] – [130]	[131]
Ag/ppm	38,4078	12,2894	–	0,1659	–

Πίνακας 3.29. Περιβαλλοντικοί δείκτες σύγκρισης προτεινόμενης μεθόδου και βιβλιογραφίας [132]

Μέταλλα	GER (MJ/Kg)	GWP (Kg CO2e/kg)	AP (Kg CO2e/kg)	SWB (kg/kg)
Cu	33	3,3	0,040	64
Al	211	22,4	0,131	4,5

Πίνακας 3.30. Προσδιορισμός περιβαλλοντικών δεικτών για τα προσομοιούμενα σενάρια [128]

Μέταλλα	Μέθοδος	Βάρος από τη διαδικασία (Kg)	GER (MJ)	GWP (Kg CO2e)	AP (Kg CO2e)	SWB (Kg)	Σενάρια
Cu	AMR	0,0159	0,5234	0,05234	0,0006	1,0151	I
	AMR	0,0194	0,6418	0,0642	0,0008	1,2447	II
	AMR	0,0219	0,7243	0,0724	0,0009	1,4048	III
	[128]	0,0601	1,9832	0,1983	0,0024	3,8463	I
	[128]	0,0737	2,4318	0,2432	0,0030	4,7162	II
	[128]	0,0832	0,0832	0,2745	0,0033	5,3228	III
Al	AMR	0,0030	0,6434	0,0683	0,0001	0,0137	I
	AMR	0,0033	0,6985	0,0742	0,0004	0,0149	II
	AMR	0,0035	0,7462	0,0792	0,0005	0,0160	III
	[128]	0,0053	1,1097	0,1178	0,0007	0,0237	I
	[128]	0,0057	1,205	0,1280	0,0007	0,0257	II
	[128]	0,0061	1,2870	0,1360	0,0008	0,0274	III

Πίνακας 3.31. Οικονομική σύγκριση παρούσας προσέγγισης με τη βιβλιογραφία [127]

Πολύτιμα μέταλλα	AMR	[127]
Ag/ppm	38,4078	12,2894
USD	0,03	~0,01

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

## 4. Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

### 4.1 Γενικά συμπεράσματα

Η αύξηση του πληθυσμού και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες, έχουν οδηγήσει σε αύξηση της χρήσης ηλεκτρικού οικιακού εξοπλισμού, στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας και στις κατά κεφαλήν εκπομπές CO<sub>2</sub>. Ο κλάδος της βιομηχανίας οικιακών συσκευών, ο οποίος περιλαμβάνει ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για το μαγείρεμα, τον καθαρισμό και την αποθήκευση τροφίμων, είναι μια βιομηχανία πολλών δισεκατομμυρίων δολαρίων με σημαντικές παγκόσμιες λιανικές πωλήσεις.

Στο πλαίσιο εκπόνησης της διατριβής προτάθηκαν και προσομοιώθηκαν με επιτυχία διάφορες διατυπώσεις, οι οποίες είχαν ως σκοπό τη συντήρηση τόσο των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων από πλακέτες ηλεκτρικών οικιακών συσκευών όσο και των ίδιων των συσκευών. Για τον σκοπό αυτό τέθηκαν περιορισμοί, οι οποίοι αφορούσαν αφενός μεν στο κόστος επισκευής αφετέρου δε, στο διαθέσιμο ποσό επισκευής από πλευράς πελάτη.

Προτάθηκε μια απλή και ευέλικτη μέθοδος βασισμένη στον ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό (ILP), με στόχο τη βελτιστοποίηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μιας PCB, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι το συνολικό κόστος επισκευής δεν υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή.

Η έρευνα επικεντρώθηκε στη συντήρηση των PCB, λαμβάνοντας υπ' όψιν:

- τις επιπτώσεις των βλαβών στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα λόγω γήρανσης,
- το περιορισμένο διαθέσιμο ποσό πελάτη με στόχο τη συντήρηση της συσκευής και
- το κόστος αντικατάστασης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι συστηματική, διότι εφαρμόζεται εύκολα σε οποιαδήποτε PCB ηλεκτρικής συσκευής, λαμβάνοντας υπ' όψιν κάθε τύπο ηλεκτρονικού εξαρτήματός και προϋπολογισμό πελάτη. Παράλληλα, ευθυγραμμίζεται με την αρχή του «Δικαιώματος στην Επισκευή» και διασφαλίζει προϊόντα με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Εξετάστηκαν και διερευνήθηκαν περιπτώσεις ηλεκτρικών οικιακών συσκευών και PCB, διαφορετικού τύπου, μοντέλου και είδους. **Στόχος ήταν ο προσδιορισμός της εξάρτησης των λύσεων του προβλήματος βελτιστοποίησης από τον ρυθμό γήρανσης. Ανάλογα με τον χρόνο που είχε λειτουργήσει η εκάστοτε συσκευή και το ποσό που διέθετε ο πελάτης προς συντήρηση, διαμορφώθηκε αντίστοιχα και η παράταση του χρόνου ζωής της πλακέτας και γενικότερα της συσκευής.**

Συνολικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην προτεινόμενη μεθοδολογία, καταδεικνύουν ότι ο ρυθμός αποκατάστασης βλαβών σε μια PCB και ο προϋπολογισμός του πελάτη, αυξάνονται ταυτόχρονα. Επίσης, από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι για συγκεκριμένο προϋπολογισμό πελάτη, τα οφέλη από την συντήρηση εξαρτώνται από το χρόνο λειτουργίας της, καθώς μπορεί να είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα η αντικατάσταση εξαρτημάτων, χαμηλότερου κόστους, μετά από αρκετά χρόνια, από την αντικατάσταση εξαρτημάτων, υψηλότερου κόστους, νωρίτερα. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης προσέγγισης προϋποθέτει πως κάθε εξάρτημα είναι κρίσιμο για τη λειτουργία της PCB και πως αντικαθιστώντας έστω και ένα, βελτιώνεται η διάρκεια ζωής της κατά ποσοστό ίδιο με τον ρυθμό γήρανσης του εξαρτήματος που αντικαταστάθηκε.

Με σκοπό τη συντήρηση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, προτάθηκε μια απλή και εύκολη στην εφαρμογή μέθοδος βασισμένη στο διαδοχικό τετραγωνικό προγραμματισμό (SQP). Στη μέθοδο αυτή μεγιστοποιείται μια γραμμική αντικειμενική

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

συνάρτηση, η οποία σχετίζεται με ηλεκτρονικά εξαρτήματα που βρίσκονται σε PCB ηλεκτρικών οικιακών συσκευών. Η διατύπωση υπόκειται σε περιορισμούς ανισότητας, διασφαλίζοντας ότι το συνολικό κόστος επισκευής δεν υπερβαίνει ένα καθορισμένο ποσό. Η προτεινόμενη μεθοδολογία δοκιμάστηκε με επιτυχία σε PCB συγκεκριμένων ηλεκτρικών συσκευών (ηλεκτρικό ψυγείο, ηλεκτρικό πλυντήριο πιάτων, ηλεκτρικό πλυντήριο ρούχων).

**Παράλληλα, εξετάστηκε η δυνατότητα ανακύκλωσης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που αντικαταστάθηκαν μετά από επισκευή στις PCB αυτών των συσκευών και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προτεινόμενου αλγόριθμου.** Για τον σκοπό αυτό, ελήφθησαν πληροφορίες από τεχνικά εγχειρίδια κατασκευαστών και από δεδομένα διαδικασιών ανακύκλωσης PCB που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Από τα ευρήματα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το ποσοστό αντικατάστασης για την επισκευή PCB, αυξάνει όσο αυξάνεται ο προϋπολογισμός του πελάτη. Επιπλέον, μέσω συγκριτικών αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε ότι η ανάκτηση μετάλλων από τη διαδικασία ανακύκλωσης για τα εξαρτήματα των PCB αποδίδει χαμηλότερες ποσότητες περιεκτικότητας μετάλλου, όπως υπολογίστηκε βάσει τεχνικών εγχειριδίων.

Όσον αφορά στις επιπτώσεις, η συγκεκριμένη εργασία υπολόγισε το ποσοστό συγκέντρωσης μετάλλων στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα των PCB για προϋπολογισμούς 40, 55 και 70 ευρώ, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ανάκτηση πολύτιμων και μη μετάλλων και συγκρίνοντας τα αποτελέσματά της με αντίστοιχα στη βιβλιογραφία. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ως προς τα πολύτιμα μέταλλα, η προτεινόμενη διαδικασία απέδωσε 38,4078 ppm αργύρου.

**Από περιβαλλοντικής άποψης,** η σύγκριση της προτεινόμενης μεθόδου με προηγούμενες εργασίες, λαμβάνοντας υπόψη την ακαθάριστη ενεργειακή απαίτηση, το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη, το δυναμικό οξίνισης και το βάρος στερεών αποβλήτων, δίνει παρόμοια αποτελέσματα.

**Από οικονομικής άποψης** και λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία αργύρου στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, η προτεινόμενη διαδικασία κατέληξε σε παρεμφερή χρηματοοικονομικά αποτελέσματα. **Τέλος, υιοθετήθηκε ο δείκτης επισκευασιμότητας των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών για την καλύτερη ποσοτικοποίηση των ευρημάτων της προτεινόμενης προσέγγισης.** Τα αποτελέσματα έδειξαν, για όλα τα σενάρια που προσομοιώθηκαν, ότι η συντήρηση στο ηλεκτρικό ψυγείο προσφέρει τη μεγαλύτερη επέκταση της διάρκειας ζωής σε σύγκριση με τις άλλες δύο συσκευές.

## 4.2 Μελλοντική έρευνα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται προοπτικές και δυνατότητες μελλοντικής έρευνας της παρούσας εργασίας.

Οι Πίνακας 4.1 και 4.2 παρουσιάζουν μια σύνοψη του τρόπου με τον οποίον μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά οι αρχές και οι διαδικασίες της πρωτοβουλίας «3R». Δημιουργήθηκαν με συστηματική ταξινόμηση των εννοιών, η οποία επετεύχθη μέσω της ενδεδειγμένης εξέτασης επιστημονικών εργασιών και του εντοπισμού ερευνητικών κενών βάσει των αρχών και διαδικασιών της συγκεκριμένης πρωτοβουλίας.



Πίνακας 4.1 Μελλοντική έρευνα σε αρχές της «3R» πρωτοβουλίας

Μείωση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Υιοθέτηση στρατηγικών κυκλικής οικονομίας και ανάπτυξης «κυκλικών προϊόντων» με σκοπό τη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος για τους «πράσινους» καταναλωτές</li> </ul>
Επαναχρησιμοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εφαρμογή προτύπων επαναχρησιμοποίησης στο πλαίσιο του οικολογικού σχεδιασμού για τα προϊόντα, με σκοπό την ενίσχυση της οικονομικής βιωσιμότητας των επιχειρήσεων στον τομέα της ανακατασκευής για την παραγωγή «πράσινων προϊόντων»</li> <li>Προώθηση μεθόδων που αποσκοπούν στην επέκταση της οικονομικής βιωσιμότητας διεργασιών συνδεδεμένων με τον επαναπροσδιορισμό υλικών ή αποβλήτων, με στόχο την ελαχιστοποίηση της αρχικής εξόρυξης τους και κατ' επέκτασιν της κατανάλωσης ενέργειας</li> <li>Διερεύνηση του αντίκτυπου της επαναχρησιμοποίησης ως γενικής στρατηγικής στη διαχείριση των κατασκευαστών που υποστηρίζουν τον «πράσινο καταναλωτισμό».</li> </ul>
Ανακύκλωση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πλήρης κατανόηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που συνδέονται με τη χρήση ανακυκλώσιμων υλικών, καθώς και των διαδικασιών που συνδέονται με τη διαχείριση των αποβλήτων στο τέλος τους κύκλους ζωής των συσκευών και με τη διαδικασία της ανακύκλωσής τους από πλευράς σχεδιασμού των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.</li> </ul>

Πίνακας 4.2 Μελλοντική έρευνα σε διαδικασίες της «3R» πρωτοβουλίας

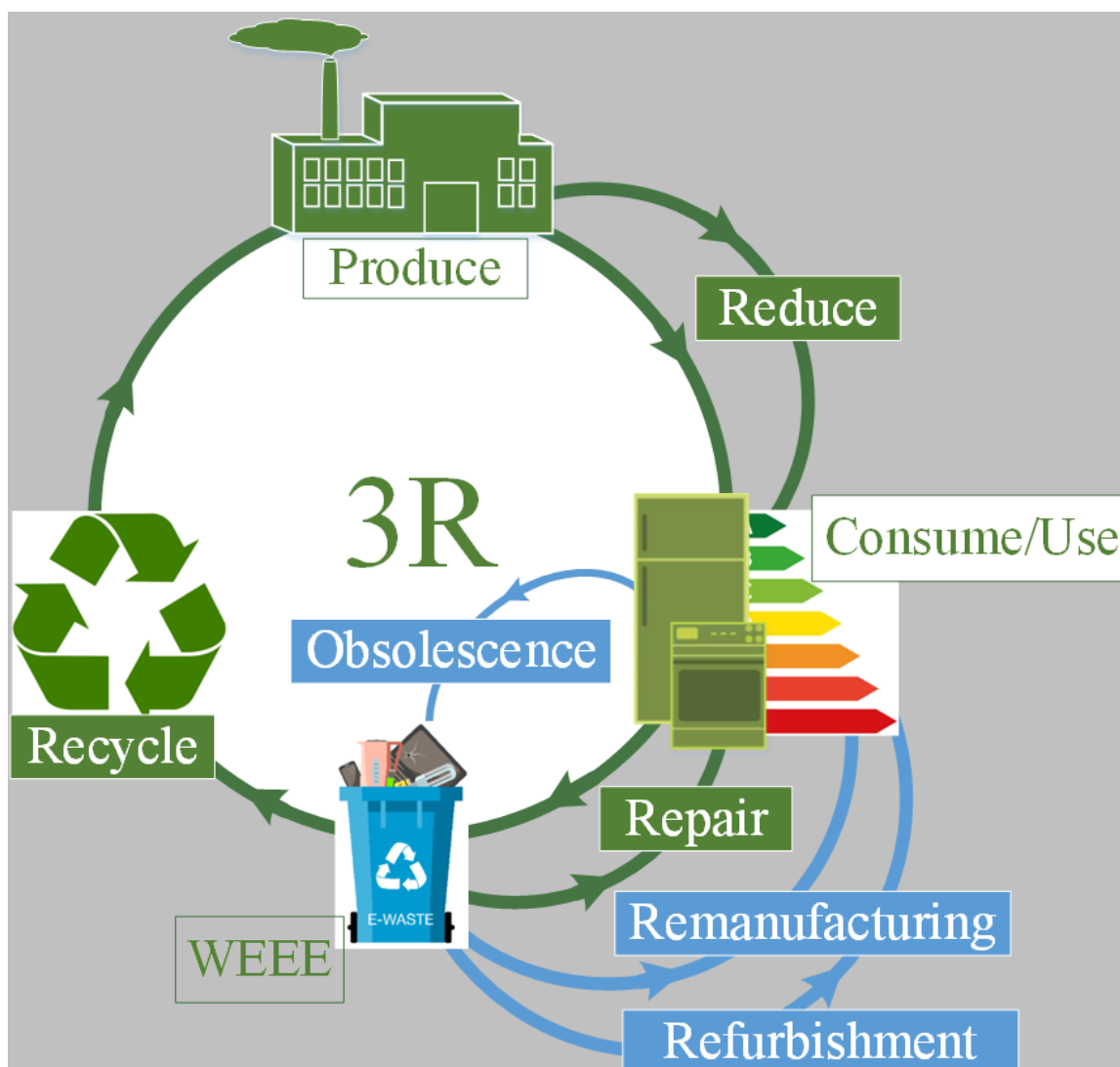
Βραχυβιότητα	<ul style="list-style-type: none"> <li>Έρευνα των επιπτώσεων της απαρχαίωσης κατά το σχεδιασμό της, με απώτερο στόχο την παράταση του συνολικού κύκλου ζωής της</li> </ul>
Πλήρης ανακατασκευή	<ul style="list-style-type: none"> <li>Έμφαση στη λειτουργία της αγοράς ανακαίνισης, ώστε να δημιουργηθούν σημαντικά έσοδα, με την προϋπόθεση ότι δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στον τόπο της επισκευής και στις συγκεκριμένες συσκευές που επισκευάζονται, με γνώμονα ότι η ανακαίνιση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών ήταν ανέκαθεν μια πολλά υποσχόμενη ενασχόληση</li> </ul>
Ανακατασκευή	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εξέταση της διαδικασίας ανακατασκευής κατά την εκτέλεση υπολογισμών που σχετίζονται με το περιβάλλον</li> <li>Εφαρμογή τυποποιημένων πρωτοκόλλων για την ανακατασκευή και ενσωμάτωσή τους στη διαδικασία σχεδιασμού «πράσινων» ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, με στόχο την ενίσχυση της οικονομικής βιωσιμότητας των επιχειρήσεων που εμπλέκονται</li> </ul>

Επιπλέον, ως προς την πρωτοβουλία «3R», από περιβαλλοντικής και οικονομικής απόψεως και λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές πρακτικές, προτείνονται οι ακόλουθες μελλοντικές δράσεις:

- Χρήση βελτιωμένων επιχειρηματικών μοντέλων και ανάπτυξη φιλικών προς τον χρήστη συσκευών, με στόχο τη διευκόλυνση στην παραγωγή και διανομή περιβαλλοντικά βιώσιμων ηλεκτρικών οικιακών συσκευών για τους καταναλωτές.
- Ανάπτυξη μεθοδολογιών για τη βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας των διαδικασιών ανακύκλωσης ΑΗΗΕ με σκοπό τη διατήρηση των πόρων.
- Δημιουργία πρόσθετων εσόδων για τις εγκαταστάσεις με ενοποίηση των δραστηριοτήτων επεξεργασίας και αποθήκευσης.
- Ενσωμάτωση πωλήσεων και ανάκτησης στους περιβαλλοντικούς υπολογισμούς.
- Διεξοδική εξέταση των προβλεπόμενων ροών ΑΗΗΕ σε παγκόσμια κλίμακα, με ιδιαίτερη προσοχή στις κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που συνδέονται με τέτοιου είδους απόβλητα. Για τον σκοπό αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές μέθοδοι έρευνας και να εξεταστούν οι επιπτώσεις αυτών των ροών, με ιδιαίτερη έμφαση στις απαιτήσεις που τίθενται από τους σχεδιαστές για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών.
- Βελτίωση του ρυθμού ανακαίνισης των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, μέσω πρωτοβουλιών που θα δίνουν προτεραιότητα στην αύξηση της δυνατότητας ανακύκλωσης των ίδιων, καθώς και των εξαρτημάτων τους.

Παρά τη σχετική αλληλοεπικάλυψη μεταξύ κάποιων αρχών και διαδικασιών της πρωτοβουλίας «3R», για τη βιομηχανία οικιακών συσκευών, προτάθηκε ένα διάγραμμα κυκλικής οικονομίας το οποίο περιλαμβάνει όλες τις προαναφερόμενες έννοιες. Το διάγραμμα αυτό έχει λάβει υπ' όψιν του όλες τις σχετικές αναθεωρήσεις από τη βιβλιογραφία και αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.1.

Το προτεινόμενο διάγραμμα κυκλικής οικονομίας προωθεί βιώσιμες πρακτικές, παράγοντας φιλικά προς το περιβάλλον αγαθά και επαναχρησιμοποιώντας υλικά και βοηθά την εθνική οικονομία. Καθώς η βιομηχανία οικιακών συσκευών εστιάζει περισσότερο στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, οι εμπλεκόμενοι στην εφοδιαστική αλυσίδα μπορούν να λαμβάνουν καλύτερες και ταχύτερες αποφάσεις. Η ενσωμάτωση του εξοπλισμού, των υλικών και του εφοδιασμού διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, διευκολύνοντας την αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων και την εύρεση λύσεων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, ο συνδυασμός των αρχών της κυκλικής οικονομίας, με τις βιώσιμες πρακτικές της αλυσίδας εφοδιασμού, μπορεί να αποφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Επιπρόσθετα, η επένδυση σε τεχνολογικές καινοτομίες βοηθά τους κατασκευαστές να βελτιώσουν τη λειτουργική τους απόδοση, ενισχύοντας πρακτικές της κυκλικής αλυσίδας εφοδιασμού.



Σχήμα 4.1. Προτεινόμενη διαδικασία αλυσίδας εφοδιασμού και κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών [1]

Η υιοθέτηση διαφορετικών στρατηγικών στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων της κυκλικής οικονομίας, ακολουθώντας μια σειρά βημάτων, ξεκινώντας με την παρέμβαση στο σχεδιασμό του προϊόντος, ώστε να ευθυγραμμιστεί με τους στόχους της κυκλικής οικονομίας. Τέλος, είναι σημαντική η προσέλκυση πελατών και ο καθορισμός συγκεκριμένων κριτηρίων, με στόχο συνεργασίες στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας.

Σε σχέση με τις προτεινόμενες διατυπώσεις βελτιστοποίησης, αυτές χρήζουν διεύρυνσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες, όπως την απαξίωση των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών, τη συνολική κατανάλωση ενέργειας και το αντίστοιχο κόστος της. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να παραταθεί η διάρκεια ζωής της συσκευής, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους του πελάτη, καθώς και του κόστους συντήρησης, επισκευής και αντικατάστασης των εξαρτημάτων της. Τέλος, έμφαση θα μπορούσε να δοθεί και στην επίδραση της ελάχιστης πάγιας χρέωσης για καταναλωτές, οι οποίοι έχουν συνάψει συγκεκριμένα συμβόλαια κατανάλωσης ενέργειας.

Τεχνικές προσδιορισμού της βραχυβιότητας των ηλεκτρικών συσκευών στα πλαίσια των αρχών της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'

### Παράγοντες καθορισμού ρυθμού αστοχίας εξαρτημάτων PCB

Σύμβολο	Περιγραφή
$\pi_T$	Θερμοκρασιακός παράγοντας
$\pi_S$	Ηλεκτρικός παράγοντας πίεσης
$\pi_C$	Κατασκευαστικός παράγοντας
$\pi_Q$	Παράγοντας ποιότητας
$\pi_E$	Περιβαλλοντικός παράγοντας
$\pi_{CYC}$	Κυκλικός παράγοντας
$\pi_L$	Παράγοντας πίεσης φορτίου
$\pi_R$	Παράγοντας έντασης του ρεύματος
$\pi_{CV}$	Παράγοντας χωρητικότητας
$\pi_F$	Κατασκευαστικός παράγοντας
$\pi_{TAPS}$	Παράγοντας θέσεων μετατόπισης του ποτενσιόμετρου
$\pi_V$	Παράγοντας τάσεως

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, and C. S. Psomopoulos, ““3R” Practices Focused on Home Appliances Sector in Terms of Green Consumerism: Principles, Technical Dimensions and Future Challenges’, *IEEE Trans. Consumer Electron.*, pp. 1–1, 2023, doi: 10.1109/TCE.2023.3318874.
- [2] ‘Household Appliances Factory’. [Online]. Available: [https://static.tecnichenuove.it/hafactory/2022/03/LG-Upgradable-Appliances-01\\_Product-Line-up.jpg](https://static.tecnichenuove.it/hafactory/2022/03/LG-Upgradable-Appliances-01_Product-Line-up.jpg)
- [3] S. Hollensen and E. Møller, ‘Is “glocalization” still the golden way for Electrolux? Is there more to be done?’, *Thunderbird Intl Bus Rev*, vol. 60, no. 4, pp. 463–476, Jul. 2018, doi: 10.1002/tie.21923.
- [4] D. Damigos, A. Kontogianni, C. Tourkolias, and M. Skourtos, ‘Behind the scenes: Why are energy efficient home appliances such a hard sell?’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 158, p. 104761, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104761.
- [5] ‘The new EU energy labels with QR-code is active’. [Online]. Available: [https://www.eudebates.tv/wp-content/uploads/2021/03/energy\\_labels\\_focus\\_article.jpg?\\_gl=1\\*\\_osuenb\\*\\_ga\\*MTQ2MjE5ODE0MS4xNzA4OTYxNzk2\\*\\_ga\\_L1S8K1XSFk\\*MTcwODk2MTc5Ni4xLjAuMTcwODk2MTc5Ni42MC4wLjA](https://www.eudebates.tv/wp-content/uploads/2021/03/energy_labels_focus_article.jpg?_gl=1*_osuenb*_ga*MTQ2MjE5ODE0MS4xNzA4OTYxNzk2*_ga_L1S8K1XSFk*MTcwODk2MTc5Ni4xLjAuMTcwODk2MTc5Ni42MC4wLjA).
- [6] CSE (2023), ‘How much electricity am I using?’, *Centre for Sustainable Energy*. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.cse.org.uk/advice/how-much-electricity-am-i-using/>
- [7] S. P. Karagiannopoulos, M. N. Manousakis, and C. Psomopoulos, ‘Repair and recycling of PCB and their components considering energy consumption’, presented at the 10th International Conference on Sustainable Solid Waste Management Chania, Greece, 21 – 24 JUNE 2023, Crete, Greece, Jun. 2023.
- [8] E. Enel, ‘Energy class appliances and energy saving’. [Online]. Available: <https://www.enel.it/en/offerte/elettrificazione/usi-consumi/classe-energetica-elettrodomestici>
- [9] P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, and C. S. Psomopoulos, ‘Repair and recycling of PCB and their components based on obsolescence index: a domestic electrical appliances case study’, *Environ Sci Pollut Res*, Jan. 2023, doi: 10.1007/s11356-022-25077-z.
- [10] ‘United Nations Environment Programme, & World Meteorological Organization (1988). WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change: Report of the First Session.’ [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/28288>
- [11] ‘Protocol 1997 – Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change; adopted at COP3 in Kyoto, Japan, on 11 December 1997’. [Online]. Available: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [12] ‘United Nations / Framework Convention on Climate Change (2015) Adoption of the Paris Agreement, 21st Conference of the Parties, Paris: United Nations. AN OFFICIAL PUBLICATION’. [Online]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01))
- [13] H. F. Haba, C. Bredillet, and O. Dastane, ‘Green consumer research: Trends and way forward based on bibliometric analysis’, *Cleaner and Responsible Consumption*, vol. 8, p. 100089, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.clrc.2022.100089.

- [14] ET2C, ‘The Rise of Green Consumerism’, Sep. 2020.
- [15] P. S. Karagiannopoulos, N. M. Manousakis, and C. S. Psomopoulos, ‘A Novel ILP Formulation for PCB Maintenance Considering Electrical Measurements and Aging Factors: A “Right to Repair” Approach’, *Energies*, vol. 15, no. 1, p. 183, Dec. 2021, doi: 10.3390/en15010183.
- [16] D. C. A. Pigosso, E. T. Zanette, A. G. Filho, A. R. Ometto, and H. Rozenfeld, ‘Ecodesign methods focused on remanufacturing’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, no. 1, pp. 21–31, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.jclepro.2009.09.005.
- [17] A. M. King, S. C. Burgess, W. Ijomah, and C. A. McMahon, ‘Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle?’, *Sust. Dev.*, vol. 14, no. 4, pp. 257–267, Oct. 2006, doi: 10.1002/sd.271.
- [18] N. Truttmann and H. Rechberger, ‘Contribution to resource conservation by reuse of electrical and electronic household appliances’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 48, no. 3, pp. 249–262, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.resconrec.2006.02.003.
- [19] G. Bressanelli, N. Saccani, D. C. A. Pigosso, and M. Perona, ‘Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda’, *Sustainable Production and Consumption*, vol. 23, pp. 174–188, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.spc.2020.05.007.
- [20] S. Jofre and T. Morioka, ‘Waste management of electric and electronic equipment: comparative analysis of end-of-life strategies’, *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 7, no. 1, pp. 24–32, Mar. 2005, doi: 10.1007/s10163-004-0122-1.
- [21] A. Alshamsi and A. Diabat, ‘A Genetic Algorithm for Reverse Logistics network design: A case study from the GCC’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 652–669, May 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.096.
- [22] K. Intlekofer, B. Bras, and M. Ferguson, ‘Energy Implications of Product Leasing’, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 12, pp. 4409–4415, Jun. 2010, doi: 10.1021/es9036836.
- [23] G. Bressanelli, N. Saccani, M. Perona, and I. Baccanelli, ‘Towards Circular Economy in the Household Appliance Industry: An Overview of Cases’, *Resources*, vol. 9, no. 11, p. 128, Nov. 2020, doi: 10.3390/resources9110128.
- [24] C. Favi, M. Germani, A. Luzi, M. Mandolini, and M. Marconi, ‘A design for EoL approach and metrics to favour closed-loop scenarios for products’, *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 136–146, May 2017, doi: 10.1080/19397038.2016.1270369.
- [25] M. T. Islam *et al.*, ‘A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 316, p. 128297, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128297.
- [26] T. Boone, V. Jayaraman, and R. Ganeshan, Eds., *Sustainable Supply Chains: Models, Methods, and Public Policy Implications*, vol. 174. in International Series in Operations Research & Management Science, vol. 174. New York, NY: Springer New York, 2012. doi: 10.1007/978-1-4419-6105-1.
- [27] K. S. Gupta, ‘E-waste Management: Teaching how to Reduce, Reuse and Recycle For Sustainable Development– Need of Some Educational strategies’, vol. 2, 3 vols, 2007, pp. 74–87.
- [28] J. Cao *et al.*, ‘Innovating Collection Modes for Waste Electrical and Electronic Equipment in China’, *Sustainability*, vol. 10, no. 5, p. 1446, May 2018, doi: 10.3390/su10051446.

- [29] M. Luo, X. Song, S. Hu, and D. Chen, 'Towards the sustainable development of waste household appliance recovery systems in China: an agent-based modeling approach', *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 431–444, May 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.128.
- [30] T. Shimada and L. N. Van Wassenhove, 'Closed-Loop supply chain activities in Japanese home appliance/personal computer manufacturers: A case study', *International Journal of Production Economics*, vol. 212, pp. 259–265, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.11.010.
- [31] J. M. Allwood, M. F. Ashby, T. G. Gutowski, and E. Worrell, 'Material efficiency: A white paper', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, no. 3, pp. 362–381, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.resconrec.2010.11.002.
- [32] S. Kumar and V. Putnam, 'Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors', *International Journal of Production Economics*, vol. 115, no. 2, pp. 305–315, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.ijpe.2007.11.015.
- [33] A. Gehin, P. Zwolinski, and D. Brissaud, 'A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase', *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 5, pp. 566–576, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.jclepro.2007.02.012.
- [34] O. Osibanjo and I. C. Nnorom, 'The challenge of electronic waste (e-waste) management in developing countries', *Waste Manag Res*, vol. 25, no. 6, pp. 489–501, Dec. 2007, doi: 10.1177/0734242X07082028.
- [35] L. Darby and L. Obara, 'Household recycling behaviour and attitudes towards the disposal of small electrical and electronic equipment', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 44, no. 1, pp. 17–35, Apr. 2005, doi: 10.1016/j.resconrec.2004.09.002.
- [36] 'CEC. DIRECTIVE 2002/96/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).' Commission of the European Communities 2003c, Brussels, Feb. 13, 2003. Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0004.02/DOC_1&format=PDF)
- [37] 'CEC. DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment'. CommissionoftheEuropeanCommunities, Brussels, 2003b. Accessed: Sep. 11, 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:en:PDF>
- [38] D. R. Cooper and T. G. Gutowski, 'The Environmental Impacts of Reuse: A Review: The Environmental Impacts of Reuse: A Review', *Journal of Industrial Ecology*, vol. 21, no. 1, pp. 38–56, Feb. 2017, doi: 10.1111/jiec.12388.
- [39] S. G. Lee, S. W. Lye, and M. K. Khoo, 'A Multi-Objective Methodology for Evaluating Product End-of-Life Options and Disassembly', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 18, no. 2, pp. 148–156, Jul. 2001, doi: 10.1007/s001700170086.
- [40] K. Parajuly and H. Wenzel, 'Potential for circular economy in household WEEE management', *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 272–285, May 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.045.
- [41] M. Ş. Akdoğan and A. Coşkun, 'Drivers of Reverse Logistics Activities: An Empirical Investigation', *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 58, pp. 1640–1649, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.1130.

- [42] T. C. K. Mayers, *Prospects for household appliances*, vol. 21.
- [43] T. Cooper, ‘Inadequate Life? Evidence of Consumer Attitudes to Product Obsolescence’, *J Consum Policy*, vol. 27, no. 4, pp. 421–449, Dec. 2004, doi: 10.1007/s10603–004–2284–6.
- [44] A. Alshamsi and A. Diabat, ‘A Genetic Algorithm for Reverse Logistics network design: A case study from the GCC’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 652–669, May 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.096.
- [45] R. S. Atlason, D. Giacalone, and K. Parajuly, ‘Product design in the circular economy: Users’ perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 168, pp. 1059–1069, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.082.
- [46] A. Boustani, S. Sahni, S. C. Graves, and T. G. Gutowski, ‘Appliance remanufacturing and life cycle energy and economic savings’, in *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, Arlington, VA, USA: IEEE, May 2010, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISSST.2010.5507713.
- [47] K. Khor and Z. Udin, ‘Impact of Reverse Logistics Product Disposition towards Business Performance in Malaysian E&E Companies’, *JSCCRM*, pp. 1–19, Feb. 2012, doi: 10.5171/2012.699469.
- [48] T. Morioka, K. Tsunemi, Y. Yamamoto, H. Yabar, and N. Yoshida, ‘Eco-efficiency of Advanced Loop-closing Systems for Vehicles and Household Appliances in Hyogo Eco-town’, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 9, no. 4, pp. 205–221, Oct. 2005, doi: 10.1162/108819805775247909.
- [49] V. Kumar, D. J. Bee, P. S. Shirodkar, S. Tumkor, B. P. Bettig, and J. W. Sutherland, ‘Towards Sustainable “Product and Material Flow” Cycles: Identifying Barriers to Achieving Product Multi-Use and Zero Waste’, in *Energy Conversion and Resources*, Orlando, Florida, USA: ASMEDC, Jan. 2005, pp. 433–442. doi: 10.1115/IMECE2005–81347.
- [50] H. Wang, Y. Gu, L. Li, T. Liu, Y. Wu, and T. Zuo, ‘Operating models and development trends in the extended producer responsibility system for waste electrical and electronic equipment’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 127, pp. 159–167, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.002.
- [51] S. Boldoczki, A. Thorenz, and A. Tuma, ‘The environmental impacts of preparation for reuse: A case study of WEEE reuse in Germany’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 252, p. 119736, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119736.
- [52] P. Van Loon, D. Diener, and S. Harris, ‘Circular products and business models and environmental impact reductions: Current knowledge and knowledge gaps’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 288, p. 125627, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125627.
- [53] B. Lu, J. Yang, W. Ijomah, W. Wu, and G. Zlamparet, ‘Perspectives on reuse of WEEE in China: Lessons from the EU’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 135, pp. 83–92, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.07.012.
- [54] E. Dominish *et al.*, ‘“Slowing” and “Narrowing” the Flow of Metals for Consumer Goods: Evaluating Opportunities and Barriers’, *Sustainability*, vol. 10, no. 4, p. 1096, Apr. 2018, doi: 10.3390/su10041096.
- [55] B. Clair, ‘Organising Reuse: Managing the Process of Design For Remanufacture’. 2007.
- [56] G. Esenduran, E. Kemahlioğlu-Ziya, and J. M. Swaminathan, ‘Take-Back Legislation: Consequences for Remanufacturing and Environment: Take-Back Legislation’, *Decision Sciences*, vol. 47, no. 2, pp. 219–256, Apr. 2016, doi: 10.1111/deci.12174.



- [57] A. Boustani, S. Sahni, S. C. Graves, and T. G. Gutowski, ‘Appliance remanufacturing and life cycle energy and economic savings’, in *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, Arlington, VA, USA: IEEE, May 2010, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISSST.2010.5507713.
- [58] K. Habib, ‘A product classification approach to optimize circularity of critical resources – the case of NdFeB magnets’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 230, pp. 90–97, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.048.
- [59] C. Favi, M. Germani, M. Mandolini, and M. Marconi, ‘Promoting and Managing End-of-Life Closed-Loop Scenarios of Products Using a Design for Disassembly Evaluation Tool’, in *Volume 3: 38th Design Automation Conference, Parts A and B*, Chicago, Illinois, USA: American Society of Mechanical Engineers, Aug. 2012, pp. 1339–1348. doi: 10.1115/DETC2012-70997.
- [60] R. Hischer and H. W. Böni, ‘Combining environmental and economic factors to evaluate the reuse of electrical and electronic equipment – a Swiss case study’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 166, p. 105307, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105307.
- [61] L.-H. Shih, ‘Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 32, no. 1, pp. 55–72, May 2001, doi: 10.1016/S0921-3449(00)00098-7.
- [62] Balakrishnan Ramesh Babu, Anand Kuber Parande, and Chiya Ahmed Basha, ‘Electrical and electronic waste: a global environmental problem’, *Waste Manag Res*, vol. 25, no. 4, pp. 307–318, Aug. 2007, doi: 10.1177/0734242X07076941.
- [63] V. Goodship, Ed., *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook*. in Woodhead Publishing series in electronic and optical materials, no. no. 30. Oxford, England; Philadelphia, PA: Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [64] A. J. Spicer and M. R. Johnson, ‘Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, no. 1, pp. 37–45, Feb. 2004, doi: 10.1016/S0959-6526(02)00182-8.
- [65] B. Zoeteman, H. R. R. Krikke, and J. Venselaar, ‘Handling Electronic Waste Flows: On the Effectiveness of Producer Responsibility in a Globalizing World’, *SSRN Journal*, 2009, doi: 10.2139/ssrn.1476332.
- [66] L. Q. Dat, D. T. Truc Linh, S.-Y. Chou, and V. F. Yu, ‘Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products’, *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 7, pp. 6380–6387, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2011.12.031.
- [67] A. Atasu and L. N. Wassenhove, ‘An Operations Perspective on Product Take-Back Legislation for E-Waste: Theory, Practice, and Research Needs’, *Prod Oper Manag*, vol. 21, no. 3, pp. 407–422, May 2012, doi: 10.1111/j.1937-5956.2011.01291.x.
- [68] G. Scur and M. E. Barbosa, ‘Green supply chain management practices: Multiple case studies in the Brazilian home appliance industry’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 1293–1302, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.158.
- [69] H. J. Parkinson and G. Thompson, ‘Analysis and taxonomy of remanufacturing industry practice’, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, vol. 217, no. 3, pp. 243–256, Aug. 2003, doi: 10.1243/095440803322328890.

- [70] K. S. Khor and Z. M. Udin, ‘Reverse logistics in Malaysia: Investigating the effect of green product design and resource commitment’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 81, pp. 71–80, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.resconrec.2013.08.005.
- [71] C. Diallo, U. Venkatadri, A. Khatib, and S. Bhakthavatchalam, ‘State of the art review of quality, reliability and maintenance issues in closed-loop supply chains with remanufacturing’, *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 5, pp. 1277–1296, Mar. 2017, doi: 10.1080/00207543.2016.1200152.
- [72] F. Ardente and F. Mathieux, ‘Environmental assessment of the durability of energy-using products: method and application’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 74, pp. 62–73, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.03.049.
- [73] J. Cao *et al.*, ‘WEEE recycling in Zhejiang Province, China: generation, treatment, and public awareness’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 127, pp. 311–324, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.147.
- [74] J. Ylä-Mella, K. Poikela, U. Lehtinen, R. L. Keiski, and E. Pongrácz, ‘Implementation of Waste Electrical and Electronic Equipment Directive in Finland: Evaluation of the collection network and challenges of the effective WEEE management’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 86, pp. 38–46, May 2014, doi: 10.1016/j.resconrec.2014.02.001.
- [75] S. Zhang, Y. Ding, B. Liu, D. Pan, C. Chang, and A. A. Volinsky, ‘Challenges in legislation, recycling system and technical system of waste electrical and electronic equipment in China’, *Waste Management*, vol. 45, pp. 361–373, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.05.015.
- [76] Q. Guo, E. Wang, Y. Nie, and J. Shen, ‘Profit or environment? A system dynamic model analysis of waste electrical and electronic equipment management system in China’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 194, pp. 34–42, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.112.
- [77] T. E. Butt, M. Camilleri, P. Paul, and K. G. Jones, ‘Obsolescence types and the built environment – definitions and implications’, *IJESD*, vol. 14, no. 1, p. 20, 2015, doi: 10.1504/IJESD.2015.066896.
- [78] E. Sundin and B. Bras, ‘Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, no. 9, pp. 913–925, Jul. 2005, doi: 10.1016/j.jclepro.2004.04.006.
- [79] J. Li, B. Tian, T. Liu, H. Liu, X. Wen, and S. Honda, ‘Status quo of e-waste management in mainland China’, *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 8, no. 1, pp. 13–20, Mar. 2006, doi: 10.1007/s10163-005-0144-3.
- [80] X. Guo, M. Zhou, A. Abusorrah, F. Alsokhiry, and K. Sedraoui, ‘Disassembly Sequence Planning: A Survey’, *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*, vol. 8, no. 7, pp. 1308–1324, Jul. 2021, doi: 10.1109/JAS.2020.1003515.
- [81] A. M. King and S. C. Burgess, ‘The development of a remanufacturing platform design: A strategic response to the Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment’, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 219, no. 8, pp. 623–631, Aug. 2005, doi: 10.1243/095440505X32526.
- [82] C. Rosenthal, Y. A. Fatimah, and W. K. Biswas, ‘Application of 6R Principles in Sustainable Supply Chain Design of Western Australian White Goods’, *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 318–323, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.01.048.
- [83] C. Ferreira and G. Gonçalves, ‘A Systematic Review on Life Extension Strategies in Industry: The Case of Remanufacturing and Refurbishment’, *Electronics*, vol. 10, no. 21, p. 2669, Oct. 2021, doi: 10.3390/electronics10212669.

- [84] C. Bakker, F. Wang, J. Huisman, and M. Den Hollander, ‘Products that go round: exploring product life extension through design’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 69, pp. 10–16, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.028.
- [85] S. Herat and P. Agamuthu, ‘E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian countries’, *Waste Manag Res*, vol. 30, no. 11, pp. 1113–1129, Nov. 2012, doi: 10.1177/0734242X12453378.
- [86] F. T. Berssaneti, S. Berger, A. M. Saut, R. M. Vanalle, and J. C. C. Santana, ‘Value generation of remanufactured products: multi-case study of third-party companies’, *Sustainability*, vol. 11, no. 3, p. 584, Jan. 2019, doi: 10.3390/su11030584.
- [87] A. Mutha and S. Pokharel, ‘Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules’, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 56, no. 1, pp. 334–346, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.cie.2008.06.006.
- [88] J. Quariguasi Frota Neto, G. Walther, J. Bloemhof, J. A. E. E. Van Nunen, and T. Spengler, ‘From closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case’, *International Journal of Production Research*, vol. 48, no. 15, pp. 4463–4481, Aug. 2010, doi: 10.1080/00207540902906151.
- [89] M. T. Islam and N. Huda, ‘Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 137, pp. 48–75, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.05.026.
- [90] W. L. Ijomah, C. A. McMahon, G. P. Hammond, and S. T. Newman, ‘Development of robust design-for-remanufacturing guidelines to further the aims of sustainable development’, *International Journal of Production Research*, vol. 45, no. 18–19, pp. 4513–4536, Sep. 2007, doi: 10.1080/00207540701450138.
- [91] P. Zwolinski, M.-A. Lopez-Ontiveros, and D. Brissaud, ‘Integrated design of remanufacturable products based on product profiles’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, no. 15–16, pp. 1333–1345, Jan. 2006, doi: 10.1016/j.jclepro.2005.11.028.
- [92] T. Tolio *et al.*, ‘Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems’, *CIRP Annals*, vol. 66, no. 2, pp. 585–609, 2017, doi: 10.1016/j.cirp.2017.05.001.
- [93] A. Xanthopoulos and E. Iakovou, ‘On the optimal design of the disassembly and recovery processes’, *Waste Management*, vol. 29, no. 5, pp. 1702–1711, May 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.11.009.
- [94] G. D. Hatcher, W. L. Ijomah, and J. F. C. Windmill, ‘Design for remanufacturing in China: a case study of electrical and electronic equipment’, *Jnl Remanufactur*, vol. 3, no. 1, p. 3, Dec. 2013, doi: 10.1186/2210-4690-3-3.
- [95] W. Chen, B. Kucukyazici, V. Verter, and M. Jesús Sáenz, ‘Supply chain design for unlocking the value of remanufacturing under uncertainty’, *European Journal of Operational Research*, vol. 247, no. 3, pp. 804–819, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2015.06.062.
- [96] E. S. Lindahl and J. Östlin, ‘Environmental issues with the remanufacturing industry’, presented at the 13th CIRP international conference on Life Cycle Engineering, 2006, pp. 447–442.
- [97] A. Dindarian, A. A. P. Gibson, and J. Quariguasi-Frota-Neto, ‘Electronic product returns and potential reuse opportunities: a microwave case study in the United Kingdom’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 32, pp. 22–31, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.03.015.

- [98] E. Sundin and M. Lindahl, ‘Rethinking product design for remanufacturing to facilitate integrated product service offerings’, in *2008 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, San Francisco, CA, USA: IEEE, May 2008, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISEE.2008.4562901.
- [99] E. Sundin, M. Bjorkman, and N. Jacobsson, ‘Analysis of service selling and design for remanufacturing’, in *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment (Cat. No.00CH37082)*, San Francisco, CA, USA: IEEE, 2000, pp. 272–277. doi: 10.1109/ISEE.2000.857661.
- [100] D. L. Diener and A.–M. Tillman, ‘Component end-of-life management: Exploring opportunities and related benefits of remanufacturing and functional recycling’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 102, pp. 80–93, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.resconrec.2015.06.006.
- [101] W. L. Ijomah, ‘The application of remanufacturing in sustainable manufacture’, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management*, vol. 163, no. 4, pp. 157–163, Nov. 2010, doi: 10.1680/warm.2010.163.4.157.
- [102] L. Guerra, T. Murino, and E. Romano, ‘Reverse logistics for electrical and electronic equipment: A modular simulation model’, in *8th WSEAS Int. Conf. Syst. Sci. Simul. Eng. ICOSSSE '09*, 2009, pp. 307–312.
- [103] T. Guidat, J. Seidel, H. Kohl, and G. Seliger, ‘A Comparison of Best Practices of Public and Private Support Incentives for the Remanufacturing Industry’, *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 177–182, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.265.
- [104] S. Miao, T. Wang, and D. Chen, ‘System dynamics research of remanufacturing closed-loop supply chain dominated by the third party’, *Waste Manag Res*, vol. 35, no. 4, pp. 379–386, Apr. 2017, doi: 10.1177/0734242X16684384.
- [105] X. Pan, C. W. Y. Wong, and C. Li, ‘Circular economy practices in the waste electrical and electronic equipment (WEEE) industry: A systematic review and future research agendas’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 365, p. 132671, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132671.
- [106] K. Habib, ‘A product classification approach to optimize circularity of critical resources – the case of NdFeB magnets’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 230, pp. 90–97, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.048.
- [107] M. W. O’Connell, S. W. Hickey, and C. Fitzpatrick, ‘Evaluating the sustainability potential of a white goods refurbishment program’, *Sustain Sci*, vol. 8, no. 4, pp. 529–541, Oct. 2013, doi: 10.1007/s11625-012-0194-0.
- [108] C. De Kwant, A. F. Rahi, and R. Laurenti, ‘The role of product design in circular business models: An analysis of challenges and opportunities for electric vehicles and white goods’, *Sustainable Production and Consumption*, vol. 27, pp. 1728–1742, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.spc.2021.03.030.
- [109] H. S. Kilic, U. Cebeci, and M. B. Ayhan, ‘Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 95, pp. 120–132, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.resconrec.2014.12.010.
- [110] J. Cao *et al.*, ‘Innovating Collection Modes for Waste Electrical and Electronic Equipment in China’, *Sustainability*, vol. 10, no. 5, p. 1446, May 2018, doi: 10.3390/su10051446.

- [111] L.-H. Shih, 'Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 32, no. 1, pp. 55–72, May 2001, doi: 10.1016/S0921-3449(00)00098-7.
- [112] J. Cao *et al.*, 'WEEE recycling in Zhejiang Province, China: generation, treatment, and public awareness', *Journal of Cleaner Production*, vol. 127, pp. 311–324, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.147.
- [113] Kwan Joo Myoung, Jae Min Lee, Dong-Sung Kim, and Wook Hyun Kwon, 'Home network control protocol for networked home appliances', *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 52, no. 3, pp. 802–810, Aug. 2006, doi: 10.1109/TCE.2006.1706473.
- [114] Q. Guo, E. Wang, Y. Nie, and J. Shen, 'Profit or environment? A system dynamic model analysis of waste electrical and electronic equipment management system in China', *Journal of Cleaner Production*, vol. 194, pp. 34–42, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.112.
- [115] C. Rosenthal, Y. A. Fatimah, and W. K. Biswas, 'Application of 6R Principles in Sustainable Supply Chain Design of Western Australian White Goods', *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 318–323, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.01.048.
- [116] J. M. Müller, O. Buliga, and K.-I. Voigt, 'Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0', *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 132, pp. 2–17, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.techfore.2017.12.019.
- [117] Balakrishnan Ramesh Babu, Anand Kuber Parande, and Chiya Ahmed Basha, 'Electrical and electronic waste: a global environmental problem', *Waste Manag Res*, vol. 25, no. 4, pp. 307–318, Aug. 2007, doi: 10.1177/0734242X07076941.
- [118] X. Guo, M. Zhou, A. Abusorrah, F. Alsokhiry, and K. Sedraoui, 'Disassembly Sequence Planning: A Survey', *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*, vol. 8, no. 7, pp. 1308–1324, Jul. 2021, doi: 10.1109/JAS.2020.1003515.
- [119] C. Favi, M. Germani, M. Mandolini, and M. Marconi, 'Promoting and Managing End-of-Life Closed-Loop Scenarios of Products Using a Design for Disassembly Evaluation Tool', in *Volume 3: 38th Design Automation Conference, Parts A and B*, Chicago, Illinois, USA: American Society of Mechanical Engineers, Aug. 2012, pp. 1339–1348. doi: 10.1115/DETC2012-70997.
- [120] V. Thakur and S. K. Mangla, 'Change management for sustainability: Evaluating the role of human, operational and technological factors in leading Indian firms in home appliances sector', *Journal of Cleaner Production*, vol. 213, pp. 847–862, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.201.
- [121] A. J. Spicer and M. R. Johnson, 'Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility', *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, no. 1, pp. 37–45, Feb. 2004, doi: 10.1016/S0959-6526(02)00182-8.
- [122] L.-H. Shih, 'Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 32, no. 1, pp. 55–72, May 2001, doi: 10.1016/S0921-3449(00)00098-7.
- [123] K. S. Khor and Z. M. Udin, 'Reverse logistics in Malaysia: Investigating the effect of green product design and resource commitment', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 81, pp. 71–80, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.resconrec.2013.08.005.
- [124] MIL-HDBK-217F, *Reliability prediction of electronic equipment*. WASHINGTON DC: Department of Defense, 1991. Accessed: Nov. 12, 2021. [Online]. Available: <https://www.quanterion.com/wp-content/uploads/2014/09/MIL-HDBK-217F.pdf>

- [125] P. Karagiannopoulos S., N. Manousakis M., and C. Psomopoulos S., ‘A method for assessing the obsolescence of electrical appliances considering PCB maintenance’, presented at the 9th International Conference on Sustainable Solid Waste Management Corfu, Greece., Corfu, Greece., 2022. [Online]. Available: <https://corfu2022.uest.gr/images/draft-CORFU-2022-agenda.pdf>
- [126] I. O. Ogunniyi and M. K. G. Vermaak, ‘FROTH FLOTATION FOR BENEFICIATION OF PRINTED CIRCUIT BOARDS COMMUNITION FINES: AN OVERVIEW’, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, vol. 30, no. 2, pp. 101–121, Mar. 2009, doi: 10.1080/08827500802333123.
- [127] I. D’Adamo, F. Ferella, M. Gastaldi, F. Maggiore, P. Rosa, and S. Terzi, ‘Towards sustainable recycling processes: Wasted printed circuit boards as a source of economic opportunities’, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 149, pp. 455–467, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.06.012.
- [128] C. Nie *et al.*, ‘Environment-friendly flotation technology of waste printed circuit boards assisted by pyrolysis pretreatment’, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 152, pp. 58–65, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.05.040.
- [129] R. Khayyam Nekouei, I. Tudela, F. Pahlevani, and V. Sahajwalla, ‘Current trends in direct transformation of waste printed circuit boards (WPCB) into value-added materials and products’, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 24, pp. 14–20, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.cogsc.2020.01.003.
- [130] W. Chen, Y. Shu, Y. Li, Y. Chen, and J. Wei, ‘Co-pyrolysis of waste printed circuit boards with iron compounds for Br-fixing and material recovery’, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 28, no. 45, pp. 64642–64651, Dec. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-15506-w.
- [131] J. Zhu and K. Huang, ‘Selective recovery of gold from dilute aqua regia leachate of waste printed circuit board by thiol-modified garlic peel’, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 29, no. 37, pp. 55990–56003, Aug. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19584-2.
- [132] T. E. Norgate, S. Jahanshahi, and W. J. Rankin, ‘Assessing the environmental impact of metal production processes’, *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 8–9, pp. 838–848, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.jclepro.2006.06.018.
- [133] ‘SilverPrice Group Privacy’. [Online]. Available: <https://silverprice.org/>