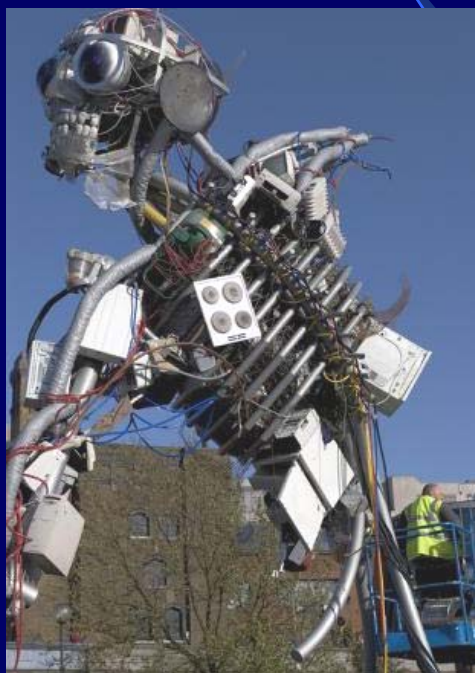




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ & ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ  
Μ.Α.Ε. «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ & ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»

# Ποιοτικός & Ποσοτικός Προσδιορισμός Ανακυκλώσιμων Υλικών & Επικινδύνων Ουσιών σε Απόβλητα Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού



Μεταπτυχιακή Εργασία

*Δημητρακάκης Εμμανουήλ*

Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ε. Γιδαράκος

Χανιά

Ιανουάριος 2007

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο «Ποιοτικός & Ποσοτικός Προσδιορισμός Ανακυκλώσιμων Υλικών & Επικινδύνων Ουσιών σε Απόβλητα Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού» εκπονήθηκε στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης «Περιβαλλοντική & Υγειονομική Μηχανική» του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας έλαβε χώρα στα εργαστήρια του Ινστιτούτου Διαχείρισης Αποβλήτων & Εξυγίανσης Ρυπασμένων Θέσεων (Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten, IAA) του Πολυτεχνείου της Δρέσδης (Technische Universität Dresden), στα πλαίσια υφιστάμενης διεργαστηριακής συνεργασίας, υπό την εποπτεία και καθοδήγηση του καθηγητή κ. Bernd Bilitewski.

Την ανάθεση του θέματος, τον συντονισμό, καθώς και την επίβλεψη της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είχε ο κ. Ευάγγελος Γιδαράκος, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και διευθυντής του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών & Επικινδύνων Αποβλήτων του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε συνεργασία με τον κ. B. Bilitewski.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον κ. Ε. Γιδαράκο για τις πολύτιμες συμβουλές του, την αгаστή συνεργασία που είχαμε, τις εμπειρίες που αποκόμισα συνεργαζόμενος μαζί του, όπως και για τη δυνατότητα που μου παρείχε να πραγματοποιήσω ένα μεγάλο μέρος της μεταπτυχιακής μου διατριβής στο εξωτερικό.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον κ. B. Bilitewski για τη συνεργασία μας καθώς και την πολύτιμη βοήθεια που αφειδώς μου προσέφερε. Σημαντικότατη υπήρξε συνάμα η βοήθεια, ουσιαστική καθοδήγηση και υποστήριξη του κ. Alexander Janz, υποψηφίου διδάκτορα και βοηθού του κ. Bilitewski.

Ακόμη, ειλικρινείς ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στους Michael Kluttig και Marcus Fleischhauer, στενούς συνεργάτες και συναδέλφους καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης των πειραματικών εργασιών της παρούσας διατριβής, χωρίς τη συμβολή και συνεργασία των οποίων η

πραγμάτωση των στόχων που τέθηκαν από την εργασία ταύτη θα ήταν ανέφικτη. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω και το εργαστηριακό προσωπικό του IAA, και δη τις κ. κ. Dagmar Gerbet, Karin Jentsch και Fr. Schmidt.

Ευχαριστίες εκφράζονται επίσης προς την Γερμανική Υπηρεσία Ακαδημαϊκών Ανταλλαγών (Deutscher Akademischer Austausch Dienst, DAAD) για την μερική χρηματοδότηση της παραμονής μου στο Πολυτεχνείο της Δρέσδης, μέσω της χορήγησης υποτροφίας έρευνας μικρής διάρκειας.

Τέλος, ευχαριστώ τα άτομα με τα οποία συνυπάρξαμε για ένα μεγάλο διάστημα στα ίδια εργαστήρια, τους συγκατοίκους και φίλους Robert, Alrun, Faten, Theresa, Lisa, Ayberk και Andreas, τους γονείς μου Αντώνη και Καδιανή, την αδελφή μου και όλους τους φίλους για την υποστήριξη και βοήθεια τους.

Δημητρακάκης Εμμανουήλ

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>3</b>
<b>Ευρετήριο Πινάκων, Σχημάτων, Εικόνων &amp; Διαγραμμάτων</b> .....	<b>6</b>
<b>ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ</b> .....	<b>10</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>ΓΕΝΙΚΑ</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Ορισμοί</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2. Πηγές ΑΗΗΕ</b> .....	<b>22</b>
1.2.1. ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης .....	22
1.2.2. ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης .....	23
<b>1.3. Παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ</b> .....	<b>25</b>
1.3.1. Μέθοδοι εκτίμησης των ποσοτήτων .....	28
1.3.2. Εκτιμήσεις παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ .....	29
1.3.2.1. Ευρώπη .....	31
1.3.2.2. Υπόλοιπος Κόσμος .....	37
1.3.2.2.1. Ηνωμένες Πολιτείες .....	37
1.3.2.2.2. Ασία .....	37
1.3.3. Διάθεση των ΑΗΗΕ .....	39
<b>1.4. Σύσταση των ΑΗΗΕ</b> .....	<b>40</b>
1.4.1. Ταξινόμηση & Επικινδυνότητα των ΑΗΗΕ .....	47
1.4.1.1. Ταξινόμηση των ΑΗΗΕ ως απόβλητα .....	47
1.4.1.2. Επικινδυνότητα των ΑΗΗΕ .....	48
1.4.1.2.1. Πυκνωτές .....	50
1.4.1.2.1.1. Πυκνωτές που περιέχουν PCBs .....	51
1.4.1.2.1.2. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές .....	53
1.4.1.2.2. Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων .....	53
1.4.1.2.2.1. Βρωμιωμένα επιβραδυντικά φλόγας .....	54
1.4.1.2.2.2. Υδράργυρος .....	54
1.4.1.2.2.3. Βηρύλλιο .....	55
1.4.1.2.2.4. Μόλυβδος .....	56
1.4.1.2.2.5. Κινητά τηλέφωνα .....	56
1.4.1.2.2.5.1. Περιεχόμενο σε μόλυβδο .....	57
1.4.1.2.2.5.2. Εξασθενές χρώμιο .....	57
1.4.1.2.2.5.3. Κάδμιο .....	58
1.4.1.2.3. Δοχεία μελανιών (toners) .....	60
1.4.1.2.4. Πλαστικά που περιέχουν BFRs .....	60
1.4.1.2.5. Πλαστικά – Εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια .....	62
1.4.1.2.5.1. PVC .....	63
1.4.1.2.5.2. Πλαστικοποιητές – Σταθεροποιητές .....	63
1.4.1.2.6. Καθοδικές λυχνίες .....	64
1.4.1.2.6.1. Περιεχόμενο σε μόλυβδο .....	64
1.4.1.2.6.2. Βάριο .....	65
1.4.1.2.6.3. Φωσφόροι .....	65
1.4.1.2.7. Μόνωση .....	65
1.4.1.2.7.1. Αμιάντος .....	65
1.4.1.2.7.2. Πυρίμαχες κεραμικές & ορυκτές ίνες .....	66



1.4.1.2.7.3. ODS .....	66
1.4.1.2.8. Οθόνες υγρών κρυστάλλων .....	68
1.4.1.2.9. Ραδιενεργά συστατικά .....	68
1.4.1.2.10. Άλλα .....	69
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ &amp; ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>73</b>
2.0. Στόχοι της εργασίας .....	73
2.1. ΑΗΗΕ στα οικιακά απόβλητα .....	75
2.2. Κατηγοριοποίηση των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ .....	80
2.3. Χαρακτηριστικά των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ .....	84
2.3.1. Κατάσταση .....	84
2.3.2. Βαθμός ζημίας .....	86
2.3.3. Παλαιότητα .....	88
2.3.4. Σχήμα .....	90
2.3.5. Βάρος .....	90
2.3.6. Μέγεθος .....	92
2.3.6.1. Επιφάνεια προβολής .....	92
2.3.6.2. Όγκος .....	92
2.3.7. Σύνοψη .....	93
2.4. Σύσταση των ΑΗΗΕ .....	93
2.4.1. Αποσυναρμολόγηση των ΑΗΗΕ .....	94
2.4.2. Γενική σύσταση του δείγματος .....	95
2.4.3. Σύσταση του δείγματος ανά κατηγορία ΗΗΕ .....	97
2.4.4. Επιλεκτική επεξεργασία των ΑΗΗΕ .....	101
2.4.4.1. Μπαταρίες .....	102
2.4.4.2. Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων .....	103
2.4.4.3. Εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια .....	103
2.4.4.4. LCDs .....	104
2.4.4.5. Σύνοψη .....	104
2.4.5. Πλαστικά .....	105
2.4.6. Απαιτήσεις ανακύκλωσης & αξιοποίησης .....	108
2.4.7. Σύνοψη .....	109
2.5. Ρυπαντικό φορτίο των οικιακών αποβλήτων .....	110
2.5.1. Δειγματοληψία & προετοιμασία του δείγματος .....	110
2.5.2. Αντιδραστήρια & διαλύτες .....	111
2.5.3. Οργανολογία & αναλυτική διαδικασία .....	111
2.5.4. Αποτελέσματα & συζήτηση .....	115
2.5.4.1. Αποτελέσματα για Zn, Cu, Ni, Pb, Cd & Hg .....	115
2.5.4.2. Αποτελέσματα για Cl & Br .....	118
2.5.5. Σύνοψη .....	120
2.6. Ρυπαντικό φορτίο των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ .....	120
2.6.1. Δειγματοληψία & προετοιμασία του δείγματος .....	120
2.6.2. Αντιδραστήρια & διαλύτες .....	122
2.6.3. Οργανολογία & αναλυτική διαδικασία .....	122
2.6.4. Αποτελέσματα & συζήτηση .....	122
2.6.4.1. Αποτελέσματα φορητού XRF .....	123
2.6.4.2. Αποτελέσματα AAS .....	128
2.6.4.3. Σύγκριση με τη βιβλιογραφία .....	132
2.7. Συμπεράσματα & προοπτικές .....	132
2.7.1. Συμπεράσματα .....	133
2.7.2. Προοπτικές .....	136
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>138</b>

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	<b>143</b>
<b>A-1    Διεισδυτικά υπολογιστικά συστήματα .....</b>	<b>144</b>
<b>A-2    Ελαχιστοποίηση μεγέθους .....</b>	<b>146</b>
<b>A-3    Μεταβολή της σύστασης των ΑΗΗΕ .....</b>	<b>146</b>
A-3.1.    Μεγάλες οικιακές συσκευές .....	147
A-3.1.1.    Συσκευές ψύξης .....	147
A-3.1.2.    Πλυντήρια .....	148
A-3.2.    Μικρές οικιακές συσκευές .....	149
A-3.3.    Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών .....	149
A-3.4.    Καταναλωτικά είδη .....	151
A-3.5.    Φωτιστικά είδη .....	151
A-3.6.    Ηλεκτρικά εργαλεία .....	152
A-3.7.    Κατηγορίες ΗΗΕ 7-10 .....	152
<b>Συμπληρωματική Βιβλιογραφία .....</b>	<b>152</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	<b>153</b>

## Ευρετήριο Πινάκων, Σχημάτων, Εικόνων & Διαγραμμάτων

Πίνακας 1: Κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) σύμφωνα με την οδηγία 2002/96/ΕΚ [1-3].....	15
Πίνακας 2: Κατάλογος προϊόντων υπαγόμενων στις προαναφερθείσες κατηγορίες ηλεκτρικού & ηλεκτρονικού εξοπλισμού [1,2].....	19
Πίνακας 3: Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 1990-1999 (σε τόνους) [8].....	32
Πίνακας 4: Εκτίμηση των κατά κεφαλήν παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ ετησίως στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 1990-1999 (σε kg) [8].....	32
Πίνακας 5: Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 2000-2010 (σε τόνους) [8].....	33
Πίνακας 6: Εκτίμηση των κατά κεφαλήν παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ ετησίως στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 2000-2010 (σε kg) [8].....	34
Πίνακας 7: Παραγωγή ΑΗΗΕ σε διάφορες χώρες σύμφωνα με το Εmra [5].	38
Πίνακας 8: Απαιτούμενος βαθμός επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης & αξιοποίησης ΑΗΗΕ ανά κατηγορία αυτών [1].....	39
Πίνακας 9: Η επί τοις εκατό κ.β. σύσταση των ΑΗΗΕ [18].	41
Πίνακας 10: Οι διάφορες εφαρμογές των πλαστικών σε είδη ΗΗΕ [33].	46
Πίνακας 11: Παραδείγματα προσθέτων σε πλαστικά υλικά [34].....	46
Πίνακας 12: Κωδικοποίηση των ΑΗΗΕ σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, βάσει της απόφασης 2001/118/ΕΚ [36].	47
Πίνακας 13: Απόβλητα τα οποία δύνανται να περιέχονται στα ΑΗΗΕ [36].....	48
Πίνακας 14: Υλικά και κατασκευαστικά στοιχεία ΗΗΕ, τα οποία θα πρέπει να αφαιρούνται από το ρεύμα των ΑΗΗΕ, επικίνδυνες ουσίες που περιέχουν και κωδικοποίηση των βάσει του ΕΚΑ [1,35].	48
Πίνακας 15: Ουσίες, συστατικά και κατασκευαστικά στοιχεία ΑΗΗΕ, τα οποία διέπονται από τη συνθήκη της Βασιλείας [40].....	50
Πίνακας 16: Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για τα PCBs [35].	53
Πίνακας 17: Συνήθης σύσταση ενός πυκνωτή αργιλίου (100μF & 10V) [35].	53
Πίνακας 18: Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για τον υδράργυρο [35].....	55
Πίνακας 19: Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για τα Be και BeO [35].....	56
Πίνακας 20: Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για το Cr(VI) [35].....	58
Πίνακας 21: Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού των Cd, CdO και CdS [35].	59
Πίνακας 22: Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για τις ορυκτές, καθώς και τις πυρίμαχες κεραμικές ίνες [35].....	66
Πίνακας 23: Συγκεντρωτική παράθεση των προβλεπόμενων εξαιρέσεων επί της επιβαλλόμενης από την οδηγία 2002/95/ΕΚ απαγόρευσης της χρήσης επικίνδυνων ουσιών σε ΗΗΕ [41,46,65,66,67].	70
Πίνακας 24: Κατηγορίες ΑΗΗΕ με προϊόντα είναι αρκετά μικρά έτσι ώστε να δύναται να απορριφθούν σε κοινούς κάδους απορριμμάτων.	74
Πίνακας 25: Χωροταξική δομή για τις επιλεγείσες περιοχές & χαρακτηριστικά των.....	76
Πίνακας 26: Αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων αναλύσεων διαχωρισμού για τα κλάσματα των αποβλήτων (kg & % κ.β. σύσταση).	77
Πίνακας 27: Βιβλιογραφικά δεδομένα & ίδια αποτελέσματα για το % ποσοστό μικρών ΑΗΗΕ & μπαταριών σε υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα (Restabfall) στη Γερμανία.	79
Πίνακας 28: Προϊόντα ΑΗΗΕ που ευρέθησαν στο δείγμα ανά κατηγορίες αυτών.....	80
Πίνακας 29: Σύνθεση του δείγματος ανά κατηγορία ΗΗΕ.	81
Πίνακας 30: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής με τη βιβλιογραφία [73,75].	83
Πίνακας 31: Προσδιοριζόμενες παράμετροι για τα ανευρεθέντα ΑΗΗΕ.	84
Πίνακας 32: Κριτήρια για την εκτίμηση του βαθμού ζημίας μιας συσκευής.	86
Πίνακας 33: Βαθμός ζημίας των συσκευών του δείγματος ανά περιοχή και συνολικά (αριθμός συσκευών & % ποσοστό αριθμού συσκευών).	87
Πίνακας 34: Εκτιμώμενη ηλικία των συσκευών ΑΗΗΕ του δείγματος.....	88
Πίνακας 35: Στατιστικά στοιχεία για το βάρος των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά περιοχή.	91
Πίνακας 36: Στατιστικά στοιχεία για το βάρος των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία.....	91
Πίνακας 37: Στατιστικά στοιχεία για την επιφάνεια προβολής των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά περιοχή.....	92
Πίνακας 38: Στατιστικά στοιχεία για την επιφάνεια προβολής των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία.....	92
Πίνακας 39: Στατιστικά στοιχεία για τον όγκο των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά περιοχή.....	93
Πίνακας 40: Στατιστικά στοιχεία για τον όγκο των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία.....	93

Πίνακας 41: Προσδιοριζόμενες παράμετροι κατά την αποσυναρμολόγηση.....	94
Πίνακας 42: Χρόνος αποσυναρμολόγησης των συσκευών ανά κατηγορία ΗΗΕ.....	95
Πίνακας 43: Η % κ.β. σύσταση της κάθε κατηγορίας ΗΗΕ του δείγματος ανά κλάσμα υλικών.....	98
Πίνακας 44: Στατιστικά στοιχεία για την επιφάνεια των PWBs των ΑΗΗΕ του δείγματος.....	103
Πίνακας 45: Στατιστικά στοιχεία για το μήκος των εξωτερικών ηλεκτρικών καλωδίων του δείγματος.....	104
Πίνακας 46: Ποσοστό αναγνωρίσιμων και μη πολυμερών ανά κατηγορία ΗΗΕ.....	107
Πίνακας 47: Θερμοκρασιακό πρόγραμμα για τη χώνευση με μικροκύματα.....	112
Πίνακας 48: Πειραματικές παράμετροι για αναλύσεις με το FAAS.....	113
Πίνακας 49: Πειραματικές παράμετροι για μετρήσεις με το GFAAS.....	114
Πίνακας 50: Θερμοκρασιακό πρόγραμμα στο φούρνο γραφίτη.....	114
Πίνακας 51: Λόγος αραίωσης των στοιχείων για προσδιορισμό με FAAS, GFAAS & FIAS.....	114
Πίνακας 52: Ποσοστό των πλαστικών με FRs, επί του συνόλου αυτών, ανά κατηγορία ΗΗΕ [84].....	120
Πίνακας 53: Προέλευση των δειγμάτων πλαστικών ΑΗΗΕ που αναλύθηκαν με AAS.....	121
Πίνακας 54: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα που ελήφθησαν για τα «RoHS στοιχεία».....	127
Πίνακας 55: Σύγκριση του φορτίου περιβαλλοντικών ρύπων σε πλαστικά sWEEE & υπολειμματικά απόβλητα, & % συνεισφορά μεν στο συνολικό φορτίο των δε (μ.α.σ.: μη ανιχνεύσιμο σήμα).....	130
Πίνακας 56: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής με τη βιβλιογραφία (συγκεντρώσεις σε mg/kg, μ.α.σ.: μη ανιχνεύσιμο σήμα).....	132
Σχήμα 1: Ο γενικός χημικός τύπος των PCBs [42].....	51
Εικόνα 1: Η ποσοστιαία σύσταση των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία προϊόντων [4,28].....	42
Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση της δομής μιας καθοδικής λυχνίας [57].....	64
Εικόνα 3: Παραδείγματα μικρών συσκευών ΗΗΕ.....	73
Εικόνα 4: Παραλαβή του όγκου του δείγματος.....	76
Εικόνα 5: Μεταφορά στο κόσκινο διαχωρισμού.....	76
Εικόνα 6: Διαχωρισμός των sWEEE από τα MSW.....	77
Εικόνα 7: Τηλεφωνική συσκευή η οποία διαχωρίστηκε ως ένα κομμάτι.....	85
Εικόνα 8: Ταμειακή μηχανή, η οποία ανεβρέθηκε σε τμήματα.....	85
Εικόνα 9: (Α) Ζημία λόγω πιθανής συμπίεσης στο απορριμματοφόρο & (Β) Κινητά τηλέφωνα με βαθμό ζημίας 1.....	88
Εικόνα 10: Μοτέρ ηλεκτρικής σκούπας.....	97
Εικόνα 11: Δειγματοληψία ποσότητας MSW > 10 mm.....	110
Εικόνα 12: Μεταφορά των χωνεμένων διαλυμάτων σε ογκομετρικές φιάλες.....	112
Εικόνα 13: Οξείδωση κατά Schöniger.....	113
Εικόνα 14: Παρασκευή των ταμπλέτων για το EDXRF.....	115
Εικόνα 15: Διεξαγωγή των μετρήσεων με το φορητό XRF.....	122
Διάγραμμα 1: Σύνθεση των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία αυτών στη Δυτική Ευρώπη το έτος 2000 [3].....	16
Διάγραμμα 2: Ρυθμοί αύξησης της κατανάλωσης προσωπικών υπολογιστών (PCs) σε κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες για τα έτη 1993-2000 (Α), και κορεσμός της αγοράς των βιομηχανοποιημένων κρατών εκφρασμένος ως PCs ανά 1000 κατοίκους το έτος 2002 (Β) [3,9].....	25
Διάγραμμα 3: Διάδοση των PCs ανά ήπειρο (εκφρασμένη ως αριθμός Η/Υ ανά 1000 κατοίκους) το έτος 2002 [10].....	26
Διάγραμμα 4: Προσωπικοί υπολογιστές & κινητά τηλέφωνα για διάφορες χώρες της υφελίου (ανά 1000 κατοίκους) [10].....	26
Διάγραμμα 5: Κατά κεφαλήν δαπάνη για εξοπλισμό πληροφορικής & τηλεπικοινωνιών (ICT) σε διάφορες χώρες τα έτη 2000 & 2001 (\$ Η.Π.Α.) [5].....	27
Διάγραμμα 6: Ετήσια κατά κεφαλήν δαπάνη για εξοπλισμό ICT ανά την υφήλιο το έτος 2002 (σε δολάρια Η.Π.Α.) [10].....	28
Διάγραμμα 7: Ποσότητες παγκοσμίως χρησιμοποιούμενων PCs και παραγόμενα εξ αυτών απόβλητα [3].....	30
Διάγραμμα 8: Μέσος χρόνος ζωής ενός PC στις Η.Π.Α. [20].....	31
Διάγραμμα 9: Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης το έτος 1997 [14].....	35
Διάγραμμα 10: Εκτίμηση των παραγόμενων ανά κάτοικο ποσοτήτων ΑΗΗΕ σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης το έτος 1997 [14].....	35
Διάγραμμα 11: Εκτίμηση του αριθμού των PCs τα οποία πρόκειται να απορριφθούν σε Η.Β., Ιταλία & Γερμανία κατά την περίοδο 2004-2010 [16].....	36
Διάγραμμα 12: Σύσταση του ρεύματος των ΑΗΗΕ (% κ.β.) [3,19].....	40
Διάγραμμα 13: Η σύσταση της ICT κατηγορίας των ΑΗΗΕ [29].....	43

Διάγραμμα 14: Σύσταση των μικρών ΑΗΗΕ, με βάση την τροφοδοσία & τα τελικά προϊόντα μιας μονάδας ανακύκλωσης των [30].	44
Διάγραμμα 15: Μέση σύσταση των sWEEE (% κ.β.) [31].	44
Διάγραμμα 16: Μέση σύσταση των μικρών ΑΗΗΕ (% κ.β.) [32].	45
Διάγραμμα 17: Ποσοστά χρήσεις πλαστικών ανά κατηγορία ΗΗΕ [33].	45
Διάγραμμα 18: Αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον διαχωρισμό των MSW του Gorbitz (kg & % κ.β. σύσταση).	77
Διάγραμμα 19: Αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον διαχωρισμό των MSW του Dölszchen (kg & % κ.β. σύσταση).	78
Διάγραμμα 20: Αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον διαχωρισμό των MSW του Striesen (kg & % κ.β. σύσταση).	78
Διάγραμμα 21: Συνολικά αποτελέσματα που ελήφθησαν και για τις 3 περιοχές (kg & % κ.β. σύσταση) για τις υπό μελέτη κατηγορίες αποβλήτων.	78
Διάγραμμα 22: Οι επιμέρους κατηγορίες που απαρτίζουν το δείγμα των sWEEE ανά περιοχή & συνολικά (% κ.β.).	81
Διάγραμμα 23: Οι κατηγορίες ΑΗΗΕ που απαρτίζουν το δείγμα των sWEEE συνολικά (% κ.β.).	82
Διάγραμμα 24: Κατηγορίες ΗΗΕ που απαρτίζουν το δείγμα των sWEEE, σύμφωνα με την 2002/96/EK (% κ.β.).	82
Διάγραμμα 25: Η σύσταση της «ενδέκατης κατηγορίας» sWEEE (% κ.β.).	83
Διάγραμμα 26: Κατάσταση στην οποία διαχωρίζονταν οι διάφορες συσκευές sWEEE από τα οικιακά στερεά απόβλητα για το: (Α) Gorbitz, (Β) Dölszchen, (Γ) Striesen & (Δ) Σύνολο.	86
Διάγραμμα 27: Βαθμός ζημίας των sWEEE του δείγματος συνολικά για την πόλη της Δρέσδης (% ποσοστό αριθμού συσκευών).	87
Διάγραμμα 28: Βαθμός ζημίας των sWEEE ανά κατηγορία αυτών (% ποσοστό αριθμού συσκευών).	87
Διάγραμμα 29: Εκτιμώμενη παλαιότητα των sWEEE του δείγματος (% αριθμού συσκευών).	89
Διάγραμμα 30: Εκτιμώμενη παλαιότητα των συσκευών ανά κατηγορία ΑΗΗΕ (% αριθμού συσκευών).	89
Διάγραμμα 31: Ταξινόμηση των συσκευών του δείγματος βάσει του σχήματος (απόλυτος αριθμός).	90
Διάγραμμα 32: Κατανομή του βάρους των ΑΗΗΕ του δείγματος σε "κλάσεις".	91
Διάγραμμα 33: Κατανομή του χρόνου αποσυρμολόγησης σε "κλάσεις".	95
Διάγραμμα 34: Συνολική σύσταση του δείγματος των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία υλικών (% κ.β.).	96
Διάγραμμα 35: Επιμέρους σύσταση των ηλεκτρικών & ηλεκτρονικών στοιχείων του δείγματος (% κ.β.).	96
Διάγραμμα 36: Τύποι συνδέσμων υλικών που απαντήθηκαν στο δείγμα.	97
Διάγραμμα 37: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 1 του δείγματος.	98
Διάγραμμα 38: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 2 του δείγματος.	98
Διάγραμμα 39: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 3 του δείγματος.	99
Διάγραμμα 40: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 4 του δείγματος.	99
Διάγραμμα 41: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 5 του δείγματος.	99
Διάγραμμα 42: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 6 του δείγματος.	100
Διάγραμμα 43: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 7 του δείγματος.	100
Διάγραμμα 44: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 8 του δείγματος.	100
Διάγραμμα 45: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 9 του δείγματος.	101
Διάγραμμα 46: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 10 του δείγματος.	101
Διάγραμμα 47: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας «11» του δείγματος.	101
Διάγραμμα 48: Τύποι μπαταριών που βρέθηκαν στα ΑΗΗΕ του δείγματος (% κ.β.).	102
Διάγραμμα 49: Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω του περιεχομένου των σε μπαταρίες.	102
Διάγραμμα 50: Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω της ύπαρξης PWBs >10 cm <sup>2</sup> .	103
Διάγραμμα 51: Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω της ύπαρξης εξωτερικών ηλεκτρικών καλωδίων.	104
Διάγραμμα 52: Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που πληρούν έστω και ένα εκ των κριτηρίων επιλεκτικής επεξεργασίας.	105
Διάγραμμα 53: Χρώμα των πλαστικών ΑΗΗΕ του δείγματος (% κ.β.).	106
Διάγραμμα 54: Ποσοστό % κ.β. των διαφόρων τύπων που συνιστούν τα αναγνωρισθέντα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος.	106
Διάγραμμα 55: Σύσταση των πλαστικών ΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία (% κ.β.).	107
Διάγραμμα 56: Ποσοστά (% κ.β.) ανακύκλωσης & αξιοποίησης των ΑΗΗΕ του δείγματος.	108
Διάγραμμα 57: Μέση σύσταση των sWEEE από Restabfall σύμφωνα με την [75].	109
Διάγραμμα 58: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Zn (n=3 έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).	116
Διάγραμμα 59: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cu (n=3 έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).	116

Διάγραμμα 60: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Ni (n=3 έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).....	117
Διάγραμμα 61: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Pb (n=3 έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).....	117
Διάγραμμα 62: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cd (n=3 έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).....	118
Διάγραμμα 63: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Hg (n=3 έως 4, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).....	118
Διάγραμμα 64: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cl (n=3 έως 6, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).....	119
Διάγραμμα 65: Εύρος συγκεντρώσεων των «RoHS στοιχείων» στα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος.....	124
Διάγραμμα 66: Εύρος συγκεντρώσεων των As, Sb, Sn, Bi, Se, Au, Zn, Cu, Ni, Fe, V & Ti στα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος. ....	124
Διάγραμμα 67: Ποσοστό % των υπό εξέταση δειγμάτων πλαστικών ΑΗΗΕ, στα οποία περιέχεται κάποιο εκ των προσδιορισθέντων στοιχείων. ....	125
Διάγραμμα 68: Ποσοστό % των υπό εξέταση δειγμάτων PWBs από sWEEE, στις οποίες περιέχεται κάποιο εκ των προσδιορισθέντων στοιχείων. ....	127
Διάγραμμα 69: Μέση συγκέντρωση χρωμίου στα δείγματα πλαστικών ανά κατηγορία ΗΗΕ & συνολικά (n=3, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση). ....	128
Διάγραμμα 70: Μέση συγκέντρωση μολύβδου στα δείγματα πλαστικών ανά κατηγορία ΗΗΕ & συνολικά (n=3, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση). ....	128
Διάγραμμα 71: Μέση συγκέντρωση καδμίου στα δείγματα πλαστικών ανά κατηγορία ΗΗΕ & συνολικά (n=3, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση). ....	129
Διάγραμμα 72: Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα κλάσματα μεγέθους κόκκων μεγαλύτερου (OL), και μικρότερου (UL) των 2 mm. ....	131

## ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ

### Ελληνικά

AHHE: απόβλητα ηλεκτρικού & ηλεκτρονικού εξοπλισμού

HHE: ηλεκτρικός & ηλεκτρονικός εξοπλισμός

### Ξενόγλωσσα

AAS: φασματομετρία ατομικής εκπομπής (atomic absorption spectrometry)

BFR: βρωμιωμένο επιβραδυντικό φλόγας (brominated flame retardant)

CE: καταναλωτικά είδη (consumer equipment)

CRT: λυχνία καθοδικών ακτίνων (cathode ray tube)

Dispensers: συσκευές αυτόματης διανομής (automatic dispensers)

E&E Tools: ηλεκτρικά & ηλεκτρονικά εργαλεία (electrical & electronic tools)

EEE: ηλεκτρικός & ηλεκτρονικός εξοπλισμός (electrical & electronic equipment)

FR: επιβραδυντικό φλόγας (flame retardant)

HXRF: φορητή φασματομετρία φθορισμού ακτίνων X (handheld x-ray fluorescence)

ICT: εξοπλισμός πληροφορικής & τηλεπικοινωνιών (information technology & telecommunications equipment)

IEC: χρωματογραφία ιοντοεναλλαγής (ion exchange chromatography)

Large HH: μεγάλες οικιακές συσκευές (large household appliances)

LCD: οθόνη υγρών κρυστάλλων (liquid crystals display)

Lighting: φωτιστικά είδη (lighting equipment)

M&C: όργανα παρακολούθησης & ελέγχου (monitoring & control instruments)

Medical equipment: ιατροτεχνολογικές συσκευές (medical devices)

MSW: οικιακά στερεά απόβλητα (municipal solid waste)

NIR: φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (near-infrared spectroscopy)

PCB: πολυχλωριωμένο διφαινύλιο (polychlorinated biphenyl)

PWB: πλακέτα τυπωμένων κυκλωμάτων (printed wiring board)

Restabfall (ή Restmüll): υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα

RoHS: περιορισμός της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών (restriction on the use of certain hazardous substances)

Small HH: μικρές οικιακές συσκευές (small household appliances)

sWEEE: μικρά απόβλητα ηλεκτρικού & ηλεκτρονικού εξοπλισμού (small waste electrical & electronic equipment)

Toys: παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας & αθλητισμού (toys, leisure & sports equipment)

WEEE: απόβλητα ηλεκτρικού & ηλεκτρονικού εξοπλισμού (waste electrical & electronic equipment)

XRF: φασματομετρία φθορισμού ακτίνων X (x-ray fluorescence)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία περιγράφονται η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα μιας ενδελεχούς εξέτασης η οποία σαν αντικείμενο της είχε την ποσοτικοποίηση των ανακυκλώσιμων υλικών και τον προσδιορισμό των επικίνδυνων ουσιών και παρασκευασμάτων σε μικρά απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), προερχόμενα από υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα της γερμανικής πόλης της Δρέσδης (Dresden).

Σαν πρώτο βήμα εκτιμήθηκε η σύσταση των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων της πόλεως σε μικρά ΑΗΗΕ, ενώ ταυτόχρονα εξακριβώθηκε το ποια προϊόντα και κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) συνεισέφεραν τα πλείστα στη συνολική σύσταση των. Στη συνέχεια μετρήθηκαν φυσικές και λειτουργικές παράμετροι, οι οποίες δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια διαχωρισμού αναλόγων αυτοματοποιημένων διεργασιών, ενώ προσδιορίστηκαν τα κυριότερα υλικά (μέταλλα, πλαστικά κλπ.) από τα οποία αποτελούνται τα μικρά ΑΗΗΕ, επιτρέποντας έτσι την εκτίμηση διαφορετικών σεναρίων ανακύκλωσης.

Προσδιορίστηκε επίσης το ρυπαντικό φορτίο «βάσης» των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων του δείγματος, σαν πρώτο βήμα για την εκτίμηση της συνεισφοράς των sWEEE σε αυτό, μέσω φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης, χρωματογραφίας ιοντοεναλλαγής και φασματομετρίας φθορισμού ακτινών Χ. Αντιστοίχως, το περιεχόμενο στα σπουδαιότερα βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) και αλογόνα (Cl, Br), αλλά και άλλα στοιχεία, επιλεχθέντων κατασκευαστικών στοιχείων των μικρών ΑΗΗΕ προσδιορίστηκε ποιοτικά και ποσοτικά μέσω φορητής φασματομετρίας φθορισμού ακτινών Χ και φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης.

Εξήχθησαν επίσης συμπεράσματα που αφορούν στην ανάπτυξη υποδομής και την εφαρμογή στην πράξη της οδηγίας 2002/96/EK, σε σχέση με τη διαχείριση και ανακύκλωση μικρών αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Εν κατακλείδι, πιστεύεται ότι η παρούσα διατριβή κατέχει εξέχουσα σημασία λόγω της κάλυψης μεγάλου μέρους του υφιστάμενου βιβλιογραφικού κενού αναφορικά με τα παραπάνω, αλλά και της καινοτόμου εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας.



## ABSTRACT

In the present study, the methodology and results of a thorough examination as regards the quantification of recyclables and the determination of hazardous substances and preparations in small waste electrical and electronic equipment (*WEEE*) originating from the residual household waste stream of the city of Dresden, Germany, is described.

At first, attitudes towards the disposal of small *WEEE* are assessed and product types and categories which mostly contribute to its composition are identified. Physical and functional parameters, which could be used as mechanical sorting criteria for respective processes are measured, and the material composition of the small *WEEE* found is determined, allowing for the projection of various recycling scenarios.

The hazardous substances “base” charge of the residual waste is determined, as a first step for the estimation of small *WEEE* contribution to its pollutant load by means of atomic absorption spectrometry, ion exchange chromatography and x-ray fluorescence analysis. Consequently, the most important heavy metals (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) and halogens (Cl, Br), as well as other elements, content of selected small *WEEE* components is determined by means of handheld x-ray fluorescence analysis, and atomic absorption spectrometry.

Key conclusions also are drawn concerning the future strategic development and practical implementation of the 2002/96/EC Directive, in relation to small waste electrical and electronic equipment management and recycling.

Lastly, it is believed that the present work is of unique importance due to the literature gap covered as regards the aforementioned, as well as its innovative methodology applied

# ΕΝΟΤΗΤΑ 1<sup>Η</sup>

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

# Κεφάλαιο 1

## ΓΕΝΙΚΑ

### 1.1 Ορισμοί

Ο όρος *απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (AHHE)* ή *Waste Electrical & Electronic Equipment, (WEEE)*, αναφέρεται σε ένα ευρύτατο φάσμα υλικών, συμπεριλαμβάνει τις διάφορες μορφές ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού ο οποίος έχει πάψει να έχει οιαδήποτε αξία για τον ιδιοκτήτη-χρήστη του, και πρόκειται για το πλέον πολύπλοκο ρεύμα στερεών αποβλήτων. Η πολυπλοκότητα του αυτή οφείλεται στη μεγάλη ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (*HHE* ή *Electrical & Electronic Equipment, EEE*), καθώς και στη μεγάλη πληθώρα των διαφόρων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων. Στο σημείο αυτό κρίνεται λοιπόν σκόπιμο να δοθεί ο ορισμός των δύο μόλις παραπάνω προαναφερθέντων όρων, όπως αυτοί ορίζονται στα άρθρα 3 της Οδηγίας 2002/96 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου<sup>1</sup> και του προεδρικού διατάγματος 117 (ΦΕΚ 82/Α/5.3.04). Πιο συγκεκριμένα [1,2]:

- “*Ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός*” ή “*HHE*”: ο εξοπλισμός η ορθή λειτουργία του οποίου εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών, ο οποίος υπάγεται στις κατηγορίες του παραρτήματος I Α και ο οποίος έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση έως 1000 V εναλλασσόμενου ρεύματος και έως 1500 V συνεχούς ρεύματος.
- “*Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού*” ή “*AHHE*”: ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θεωρείται “απόβλητο” κατά την έννοια του άρθρου 1 στοιχείο α) της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ (ή άρθρου 2, στοιχείο (α) της 50910/2003 ΚΥΑ σε συνδυασμό με την παραγ. 4 του άρθρου 2 του Ν. 2939/2001 – σύμφωνα με το ΠΔ), συμπεριλαμβανομένων όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, των συναρμολογούμενων μερών και των αναλωσίμων, που συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά το χρόνο απόρριψής του.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποιος καθολικά αποδεκτός ορισμός των AHHE, και στη βιβλιογραφία δύνανται να ανευρεθούν και άλλοι ορισμοί των, διδόμενοι π.χ. από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας & Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ, Organization for Economic Cooperation and Development, *OECD*) ή τον μη κυβερνητικό οργανισμό (ΜΚΟ) Basel Action Network (*BAN*) [3].

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι 10 κατηγορίες οι οποίες απαρτίζουν τον HHE, όπως αυτές αναφέρονται στην οδηγία 2002/96/ΕΚ, και στο Π.Δ. 117 (ΦΕΚ 82/Α/5.3.04), παράρτημα ΙΑ.

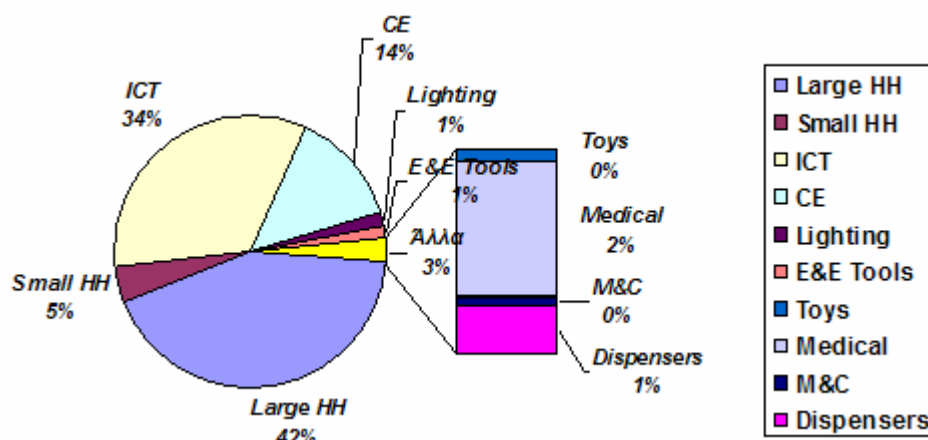
<sup>1</sup> Η οποία οδηγία στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία πολύ συχνά αναφέρεται ως *WEEE Directive*.

**Πίνακας 1:** Κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ)  
σύμφωνα με την οδηγία 2002/96/EK [1-3].

<b>No.</b>	<b>Κατηγορία</b>	<b>Συντομογραφία</b>
1	Μεγάλες οικιακές συσκευές Large household appliances	Large HH
2	Μικρές οικιακές συσκευές Small household appliances	Small HH
3	Εξοπλισμός πληροφορικής & τηλεπικοινωνιών Information Technology (IT) & telecommunications equipment	ICT
4	Καταναλωτικά είδη Consumer equipment	CE
5	Φωτιστικά είδη Lighting equipment	Lighting
6	Ηλεκτρικά & ηλεκτρονικά εργαλεία (εξαιρουμένων των μεγάλης κλίμακας σταθερών βιομηχανικών εργαλείων) Electrical & electronic tools (with the exception of large-scale stationary industrial tools)	E & E Tools
7	Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας & αθλητισμού Toys, leisure & sports equipment	Toys
8	Ιατροτεχνολογικές συσκευές (εξαιρουμένων όλων των εμφυτεύσιμων & μολυσμένων προϊόντων) Medical devices (with the exception of all implanted & infected products)	Medical equipment
9	Όργανα παρακολούθησης & ελέγχου Monitoring & control instruments	M & C
10	Συσκευές αυτόματης διανομής Automatic dispensers	Dispensers

Κάθε υποκατηγορία του ανωτέρω πίνακα περιλαμβάνει ποικίλα προϊόντα τα οποία στο τέλος του κύκλου ζωής των καθίστανται ΑΗΗΕ. Στον πίνακα 2 που ακολουθεί καταγράφεται και παρουσιάζεται το σύνολο των προϊόντων αυτών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, βάσει των παραρτημάτων I Β, ξανά της οδηγίας 2002/96/EK και του προεδρικού διατάγματος 117/2004/Α-82.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί με στόχο την ταυτοποίηση της σύστασης του μίγματος των ΑΗΗΕ, ειδικά σε σχέση με τις ανωτέρω προαναφερθείσες κατηγορίες προϊόντων από τις οποίες συνίσταται. Συνήθως τα ΑΗΗΕ αποτελούνται από απορριπτόμενες μεγάλες ηλεκτρικές συσκευές (ψυγεία, πλυντήρια κ.α.) και εξοπλισμό πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (Η/Υ, εκτυπωτές κ.α.). Από την άλλη, τα αποτελέσματα που προέρχονται από πιλοτικά προγράμματα που διεξήχθησαν σε διάφορα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα, καθότι συνήθως στόχευαν στη συλλογή και αξιοποίηση συγκεκριμένων ΑΗΗΕ. Πάντως, οι τέσσερις πρώτες κατηγορίες ΑΗΗΕ (και δη οι μεγάλες οικιακές συσκευές και ο εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών) αναφέρεται ότι συνιστούν σχεδόν το 95% της συνολικής παραγόμενης ποσότητας ΑΗΗΕ στη Δυτική Ευρώπη [3] (βλ. π.χ. διάγραμμα 1) και το Ηνωμένο Βασίλειο [4]. Για επιπλέον στοιχεία τα οποία αφορούν τις χώρες Ελβετία, Γερμανία και Η.Π.Α., ο αναγνώστης παραπέμπεται στην αναφορά [5], όπου σημειώνεται ότι η κατηγοριοποίηση του ΗΗΕ είναι διαφορετική σε σχέση με αυτήν που προτείνεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.



*Διάγραμμα 1: Σύνθεση των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία αυτών στη Δυτική Ευρώπη το έτος 2000 [3].*

Στο σημείο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αποσαφηνιστούν ορισμένοι όροι που σχετίζονται με τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, και οι οποίοι θα απαντώνται συνεχώς στις επόμενες ενότητες της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα κυρίως με τα άρθρα 3 της οδηγίας 2002/96/EK και του προεδρικού διατάγματος 177/2004/Α-82, οι κάτωθι έννοιες ορίζονται ως εξής [1,2]:

- ✓ **Πρόληψη:** τα μέτρα που αποσκοπούν στη μείωση της ποσότητας των ΑΗΗΕ, καθώς και των υλικών και των ουσιών που περιέχουν, και στον περιορισμό των κινδύνων που συνεπάγονται για το περιβάλλον.
- ✓ **Διαχείριση ΑΗΗΕ:** η συλλογή, μεταφορά, μεταφόρτωση, προσωρινή αποθήκευση, αξιοποίηση και διάθεση των ΑΗΗΕ και των μεταχειρισμένων ανταλλακτικών αυτών, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας των εργασιών αυτών και της αποκατάστασης των χώρων αποθήκευσης, μεταφόρτωσης, αξιοποίησης και διάθεσης των ΑΗΗΕ και των μεταχειρισμένων ανταλλακτικών μετά την παύση λειτουργίας τους.
- ✓ **Επαναχρησιμοποίηση:** οιαδήποτε ενέργεια χάρη στην οποία τα ΑΗΗΕ ή τα κατασκευαστικά τους μέρη χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς που σχεδιάστηκαν, συμπεριλαμβανομένης της συνέχισης της χρήσης του εξοπλισμού ή των κατασκευαστικών τους μερών που επιστρέφονται στα σημεία συλλογής ή στους διανομείς, τους ανακυκλωτές ή τους παραγωγούς.
- ✓ **Ανακύκλωση:** η επανεπεξεργασία, στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας, των αποβλήτων υλικών, για τους σκοπούς που αρχικά είχαν σχεδιασθεί ή για άλλους σκοπούς, εξαιρουμένης, εντούτοις, της ανάκτησης ενέργειας, η οποία συνίσταται στη χρήση καυσίμων αποβλήτων ως μέσων παραγωγής ενέργειας με άμεση καύση με ή χωρίς άλλα απόβλητα, αλλά με ανάκτηση θερμότητας.
- ✓ **Αξιοποίηση:** οιαδήποτε εφαρμόσιμη ενέργεια που αναφέρεται στο παράρτημα II Β της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ ή οιαδήποτε από τις εργασίες που περιγράφονται στο παράρτημα IV Β του άρθρου 17 της 50910/2727/2003 ΚΥΑ.
- ✓ **Διάθεση:** οιαδήποτε εφαρμόσιμη ενέργεια που αναφέρεται στο παράρτημα II Α της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ ή οιαδήποτε από τις εργασίες που περιγράφονται στο παράρτημα IV Α του άρθρου 17 της 50910/2727/2003 ΚΥΑ.

- ✓ **Επεξεργασία:** οιαδήποτε δραστηριότητα μετά την παράδοση των ΑΗΗΕ σε μονάδα απορρύπανσης, αποσυναρμολόγησης, τεμαχισμού, αξιοποίησης ή προετοιμασίας για διάθεση, καθώς και οιαδήποτε άλλη ενέργεια εκτελείται για την αξιοποίηση ή/και τη διάθεση των ΗΗΕ.
- ✓ **Συλλογή:** όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. η) της 50910/2727/2003 ΚΥΑ. Οι εργασίες συλλογής ξεκινούν από το σημείο συλλογής όπως ορίζεται στην παρ. 12 του άρθρου αυτού.
- ✓ **Σημείο συλλογής:** κάθε εγκεκριμένος χώρος, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις στον οποίο γίνεται η παραλαβή ΑΗΗΕ από τον τελικό χρήστη.
- ✓ **Εναλλακτική διαχείριση:** αποτελούν οι εργασίες συλλογής, παραλαβής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης των ΑΗΗΕ, ώστε μετά την επαναχρησιμοποίηση ή επεξεργασία τους αντίστοιχα να επιστρέφουν στο ρεύμα της αγοράς.
- ✓ **Σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης:** η οργάνωση σε ατομική ή συλλογική βάση με οποιαδήποτε νομική μορφή των εργασιών συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης των ΑΗΗΕ.
- ✓ **Παραγωγός:** οιοδήποτε πρόσωπο, ανεξάρτητα από το ποια τεχνική πωλήσεων χρησιμοποιεί, συμπεριλαμβανομένης της εξ αποστάσεως επικοινωνίας σύμφωνα με την οδηγία 97/7/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 20<sup>ης</sup> Μαΐου 1997, για την προστασία των καταναλωτών κατά τις εξ αποστάσεως συμβάσεις, η οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με την 21-496/2000 ΚΥΑ (Β' 1545) το οποίο:
  - i. κατασκευάζει και πωλεί ΗΗΕ με τη μάρκα του,
  - ii. μεταπωλεί με τη μάρκα του εξοπλισμό παραγόμενο από άλλους προμηθευτές, όπου ο μεταπωλητής δεν θεωρείται «παραγωγός» εφόσον η μάρκα του παραγωγού αναγράφεται στον εξοπλισμό σύμφωνα με το σημείο i), ή
  - iii. εισάγει ή εξάγει κατ' επάγγελμα ΗΗΕ σε ένα κράτος μέλος.

Όποιος παρέχει αποκλειστικά χρηματοδότηση στο πλαίσιο ή βάσει συμφωνίας χρηματοδότησης δεν θεωρείται «παραγωγός», εκτός εάν ενεργεί επίσης ως παραγωγός με την έννοια των σημείων i) έως iii).
- ✓ **Διανομέας (Διακινητής):** οιοσδήποτε παρέχει ΗΗΕ, επί εμπορικής βάσεως, σε εκείνον που πρόκειται να τον χρησιμοποιήσει, ή εμπορεύεται ΗΗΕ προκειμένου να χρησιμοποιηθεί από το κοινό.
- ✓ **ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης:** τα ΑΗΗΕ που προέρχονται από νοικοκυριά, ιδρύματα, εμπορικές, βιομηχανικές και άλλες πηγές, η φύση και η ποσότητα των οποίων είναι παρόμοιες με των προερχόμενων από νοικοκυριά.
- ✓ **Επικίνδυνες ουσίες ή παρασκευάσματα:** κάθε ουσία ή παρασκεύασμα που πρέπει να θεωρείται επικίνδυνο δυνάμει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ του Συμβουλίου ή της οδηγίας 1999/45/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.
- ✓ **Οικονομικοί παράγοντες:** όσοι ασκούν διαχείριση των ΗΗΕ, εφεξής *διαχειριστές*, καθώς και όσοι ασκούν συλλογή, ανακύκλωση, επεξεργασία και εν γένει αξιοποίηση των ΑΗΗΕ, οι χρήστες ΗΗΕ, οι ΟΤΑ και άλλοι δημόσιοι και ιδιωτικοί οργανισμοί [2].

- ✓ **Ιστορικά απόβλητα** (*historical waste*) – **Ορφανά προϊόντα** (*orphan products*): ΑΗΗΕ από προϊόντα που διατέθηκαν στην αγορά πριν από τις 13 Αυγούστου 2005, και προϊόντα τα οποία οι εταιρίες που τα παρήγαγαν έχουν κλείσει, αντίστοιχα.
- ✓ **Λευκά αγαθά** (*white goods*): μεγάλες οικιακές συσκευές (ψυγεία, πλυντήρια κ.α., 1<sup>η</sup> κατηγορία ΗΗΕ).
- ✓ **Καφέ αγαθά** (*brown goods*): καταναλωτικά είδη (τηλεοράσεις, στερεοφωνικά κ.α. 4<sup>η</sup> κατηγορία ΗΗΕ).
- ✓ **B2B** (*Business to Business*): ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης
- ✓ **E-waste** ή σπανιότερα και **e-junk**: ηλεκτρονικά απόβλητα, απόβλητος εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών και απόβλητα καταναλωτικά είδη, ήτοι η 3<sup>η</sup> (ICT) και 4<sup>η</sup> (CE) κατηγορία ΗΗΕ, αντίστοιχα. Πάντως, ως όρος ταυτίζεται συχνότατα με τα ΑΗΗΕ σε πληθώρα πηγών.

**Πίνακας 2:** Κατάλογος προϊόντων υπαρχόντων στις προαναφερθείσες κατηγορίες ηλεκτρικού & ηλεκτρονικού εξοπλισμού [1,2].

1. Large HH	2. Small HH	3. ICT	4. CE	5. Lighting
<ol style="list-style-type: none"> <li>Μεγάλες συσκευές ψύξης</li> <li>Ψυγεία</li> <li>Καταψύκτες</li> <li>Λοιπές μεγάλες συσκευές που χρησιμοποιούνται για διατήρηση και αποθήκευση τροφίμων</li> <li>Πλυντήρια ρούχων</li> <li>Στεγνωτήρια ρούχων</li> <li>Πλυντήρια πιάτων</li> <li>Συσκευές μαγειρικής</li> <li>Ηλεκτρικές κουζίνες</li> <li>Ηλεκτρικά μάτια</li> <li>Φούρνοι μικροκυμάτων</li> <li>Άλλες μεγάλες συσκευές που χρησιμοποιούνται για μαγείρεμα &amp; άλλες επεξεργασίες τροφίμων</li> <li>Ηλεκτρικές θερμάστρες</li> <li>Ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα (ηλεκτρικά καλοριφέρ)</li> <li>Άλλες μεγάλες συσκευές χρησιμοποιούμενες για τη θέρμανση χώρων, κρεβατιών, καθισμάτων</li> <li>Ηλεκτρικοί ανεμιστήρες</li> <li>Συσκευές κλιματισμού</li> <li>Άλλα είδη εξοπλισμού αερισμού, απαγωγής αερίων και κλιματισμού</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ηλεκτρικές σκούπες</li> <li>Σκούπες χαλιών</li> <li>Άλλες συσκευές καθαριότητας</li> <li>Συσκευές χρησιμοποιούμενες για ράψιμο, πλέξιμο, ύφανση &amp; άλλες κλωστοϋφαντουργικές εργασίες</li> <li>Ηλεκτρικά σίδερα και άλλες συσκευές για το σιδέρωμα, το μαγνάνισμα και εν γένει τη φροντίδα των ρούχων</li> <li>Φρυγανιέρες</li> <li>Συσκευές τηγανίσματος (φριτζές)</li> <li>Μύλοι, καφετιέρες και συσκευές ανοίγματος ή σφραγίσματος περιεκτών ή συσκευασιών</li> <li>Ηλεκτρικά μαχαίρια</li> <li>Συσκευές κοπής και στεγνώματος μαλλιών, βουρτσίσματος, δοντιών, ξυρίσματος, μασάζ και άλλες συσκευές περιποίησης του σώματος</li> </ol>	<p>Συγκεντρωτική επεξεργασία δεδομένων:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Μεγάλοι υπολογιστές (mainframes)</li> <li>Μεσαίοι υπολογιστές (mini computers)</li> <li>Μονάδες εκτύπωσης</li> <li>Συστήματα προσωπικών υπολογιστών:</li> <li>Προσωπικοί υπολογιστές (συμπεριλαμβανομένων των κεντρικών μονάδων επεξεργασίας (CPU), των ποντικών, των οθονών &amp; των πληκτρολογίων)</li> <li>Φορητοί υπολογιστές (laptop), συμπεριλαμβανομένων των CPU, ποντικών, οθονών &amp; πληκτρολογίων)</li> <li>Υπολογιστές τσέπης (notebook)</li> <li>Υπολογιστές χειρός (notepad)</li> <li>Εκτυπωτές</li> <li>Φωτοαντιγραφικά μηχανήματα</li> <li>Ηλεκτρικές &amp; ηλεκτρονικές γραφομηχανές</li> <li>Αριθμομηχανές τσέπης &amp; επιτραπέζιες</li> <li>Άλλα προϊόντα και είδη εξοπλισμού για τη συλλογή,</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Ραδιόφωνα</li> <li>Τηλεοράσεις</li> <li>Κάμερες μαγνητοσκόπησης (βιντεοκάμερες)</li> <li>Μαγνητοσκόπια (συσκευές αναπαραγωγής εικόνας)</li> <li>Συσκευές ηχογράφησης υψηλής πιστότητας</li> <li>Ενισχυτές ήχου</li> <li>Μουσικά όργανα</li> <li>Άλλα προϊόντα και είδη εξοπλισμού για την εγγραφή ή αναπαραγωγή ήχου ή εικόνων, συμπεριλαμβανομένων των σημάτων ή άλλων τεχνολογιών διανομής ήχου και εικόνας με άλλα πλην των τηλεπικοινωνιακών μέσα</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Φωτιστικά για λαμπτήρες φθορισμού πλην των οικιακών φωτιστικών σωμάτων</li> <li>Ευθείς λαμπτήρες φθορισμού</li> <li>Λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων</li> <li>Λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης και των λαμπτήρων αλογονούχων μετάλλων</li> <li>Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης</li> <li>Άλλος φωτιστικός εξοπλισμός και εξοπλισμός προβολής ή ελέγχου του φωτός πλην των λαμπτήρων πυρακτώσεως</li> </ol>



	11. Ρολόγια και εξοπλισμός μέτρησης, αναγραφής ή καταγραφής χρόνου 12. Ζυγαριές	αποθήκευση, επεξεργασία, παρουσίαση ή διαβίβαση πληροφοριών με ηλεκτρονικά μέσα 13. Τερματικά & συστήματα χρηστών 14. Συσκευές τηλεομοιοτυπίας (φαξ) 15. Τηλέτυπα 16. Τηλέφωνα 17. Τηλεφωνικές συσκευές επί πληρωμή 18. Ασύρματα τηλέφωνα 19. Κινητά τηλέφωνα 20. Συστήματα τηλεφωνητών 21. Άλλα προϊόντα και είδη εξοπλισμού για τη μετάδοση ήχου, εικόνων ή άλλων πληροφοριών με τηλεπικοινωνιακά μέσα		
<b>6. E &amp; E Tools</b>	<b>7. Toys</b>	<b>8. Medical equipment</b>	<b>9. M &amp; C</b>	<b>10. Dispensers</b>
1. Τρυπάνια 2. Πριόνια 3. Ραπτομηχανές 4. Εξοπλισμός για την τόννευση, τη λείανση, την επίστρωση, το τρόχισμα, το πριόνισμα, το κόψιμο, τον τεμαχισμό, τη διάτμηση, τη διάτρηση, τη διάνοιξη οπών, τη μορφοποίηση, την κύρτωση & άλλες παρόμοιες επεξεργασίες ξύλου, μετάλλου &	1. Ηλεκτρικά τραίνα ή αυτοκινητοδρόμια 2. Φορητές κονσόλες βίντεο παιχνιδιών 3. Βιντεοπαιχνίδια 4. Υπολογιστές για ποδηλασία, καταδύσεις, τρέξιμο, κωπηλασία κ.λπ. 5. Αθλητικός εξοπλισμός με ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά κατασκευαστικά στοιχεία	1. Ακτινοθεραπευτικός εξοπλισμός 2. Καρδιολογικός εξοπλισμός 3. Συσκευές αιμοκάθαρσης 4. Συσκευές πνευμονικής οξυγόνωσης 5. Εξοπλισμός πυρηνικής ιατρικής 6. Ιατρικός εξοπλισμός για <i>in-vitro</i> διάγνωση 7. Συσκευές ανάλυσης 8. Καταψύκτες 9. Τεστ γονιμοποίησης 10. Άλλες συσκευές για την	1. Ανιχνευτές καπνού 2. Συσκευές θερμορύθμισης 3. Θερμοστάτες 4. Συσκευές μέτρησης, ζύγισης ή προσαρμογής για οικιακή ή εργαστηριακή χρήση 5. Άλλα όργανα παρακολούθησης & ελέγχου χρησιμοποιούμενα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις (π.χ. σε	1. Συσκευές αυτόματης διανομής θερμών ποτών 2. Συσκευές αυτόματης διανομής θερμών ή ψυχρών φιαλών ή μεταλλικών δοχείων 3. Συσκευές αυτόματης διανομής στερεών προϊόντων 4. Συσκευές αυτόματης διανομής χρημάτων 5. Κάθε είδους συσκευές αυτόματης διανομής

<p>άλλων υλικών</p> <p>5. Εργαλεία για τη στερέωση με βίδες, καρφιά ή κοινωμάτια &amp; την αφαίρεσή τους &amp; για παρόμοιες χρήσεις</p> <p>6. Εργαλεία για συγκολλήσεις εν γένει &amp; παρόμοιες χρήσεις</p> <p>7. Εξοπλισμός ψεκασμού, επάλειψης, διασποράς ή άλλης επεξεργασίας υγρών ή αέριων ουσιών με άλλα μέσα.</p> <p>8. Εργαλεία κοπής χόρτου ή άλλων εργασιών κηπουρικής</p>	<p>6. Κερματοδέκτες τυχερών παιχνιδιών</p>	<p>ανίχνευση, την πρόληψη, την παρακολούθηση, την αντιμετώπιση ή την ανακούφιση ασθενειών, σωματικών βλαβών &amp; αναπηριών</p>	<p>ταμπλό ελέγχου)</p>	<p>οποιοδήποτε προϊόντος</p>
--	--	---	------------------------	------------------------------

## 1.2. Πηγές ΑΗΗΕ

Οι πηγές ΑΗΗΕ δύνανται να διαχωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, τα οικιακής και τα μη οικιακής προέλευσης. Η πρώτη κατηγορία ορίστηκε στην προηγούμενη § 1.1. ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει μεγάλες επιχειρήσεις, ιδρύματα, κυβερνητικά όργανα, καθώς και τους κατασκευαστές ΗΗΕ (original equipment manufacturers, *OEMs*). Αναλυτικότερα στοιχεία αναφορικά με τις δύο αυτές κύριες πηγές ΑΗΗΕ έπονται στις ακόλουθες υποπαραγράφους.

### 1.2.1. ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης

Ως πηγές ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης αναφέρονται οι εξής:

- ✓ Παλαιά σπίτια τα οποία αναβαθμίζουν τον υπάρχων εξοπλισμό των
- ✓ Παλαιά σπίτια τα οποία αντικαθιστούν τον παλαιό εξοπλισμό των με νέο
- ✓ Νεόδμητες μόνιμες ή εξοχικές κατοικίες που θα εξοπλιστούν με ΗΗΕ

Επιπλέον, ο ΗΗΕ και ειδικά ο εξοπλισμός ICT (και δη οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές) συχνότατα απορρίπτεται από τα ιδιωτικά νοικοκυριά και τις μικρές επιχειρήσεις, όχι λόγω του ότι πλέον δεν λειτουργεί, αλλά διότι οι συνεχώς προκύπτοντες νέες τεχνολογικές εξελίξεις τον καθιστούν είτε πεπαλαιωμένο και ξεπερασμένο, είτε απλώς ανεπιθύμητο. Επί παραδείγματι, ιδιαίτερα ο χρόνος ζωής ενός Η/Υ έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια (βλ. και § 1.3.2.), ενώ συνάμα οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις του νεότερου λογισμικού σε εξοπλισμό «εξαναγκάζουν» συνεχώς τον καταναλωτή στην αγορά νέου hardware.

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία η οποία άπτεται της διαχείρισης των ΑΗΗΕ, επιβάλλεται (οδηγία 2002/96/ΕΚ, άρθρο 5) στα κράτη μέλη η λήψη όλων των αναγκαίων μέτρων, ούτως ώστε στις 13 Αυγούστου 2005 [1]:

- ✓ να έχουν δημιουργηθεί συστήματα τα οποία θα επιτρέπουν στους τελικούς κατόχους και τους διανομείς ΗΗΕ να επιστρέφουν τα ΑΗΗΕ τουλάχιστον δωρεάν
- ✓ οι διανομείς, κατά την παροχή νέου προϊόντος ΗΗΕ, να είναι υπεύθυνοι να εξασφαλίζουν ότι τα απόβλητα μπορούν να επιστρέφονται στο διανομέα τουλάχιστον δωρεάν, εφόσον ο εξοπλισμός αυτός είναι ισοδύναμου τύπου και εκπληρώνει τις ίδιες λειτουργίες με τον παρεχόμενο εξοπλισμό.
- ✓ να επιτρέπεται στους παραγωγούς η συγκρότηση και διαμόρφωση ατομικών ή/και συλλογικών συστημάτων επιστροφής-συλλογής για ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης

Επίσης, το αργότερο έως την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2006, ο μέσος βαθμός χωριστής συλλογής αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού οικιακής προέλευσης θα πρέπει να ανέρχεται σε 4 τουλάχιστον χιλιόγραμμα ανά κάτοικο και ετησίως.

Ακόμη, στο άρθρο 8 της ίδιας οδηγίας καθιερώνεται η αρχή της ευθύνης του παραγωγού (principle of producer responsibility, η οποία συχνά αναφέρεται και ως Extended Producer Responsibility, *EPR*). Η εφαρμογή της καθιστά τους παραγωγούς υπεύθυνους για την χρηματοδότηση της διαχείρισης των ΑΗΗΕ οικιακής (και μη) προέλευσης. Ειδικά όσον αφορά τα ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης καθιερώνονται τα εξής [1]:

- ✓ οι παραγωγοί εξασφαλίζουν το αργότερο έως τις 13 Αυγούστου 2005 τουλάχιστον τη χρηματοδότηση της συλλογής, επεξεργασίας, αξιοποίησης και περιβαλλοντικά ορθής διάθεσης των ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης που παραδίδονται στις εγκαταστάσεις συλλογής
- ✓ η χρηματοδότηση της διαχείρισης των αποβλήτων των προϊόντων που διατίθενται στην αγορά το αργότερο ως τις 13 Αυγούστου 2005 επιβαρύνει τους παραγωγούς των προϊόντων. Η υποχρέωση αυτή δύναται να εκπληρωθεί από τον παραγωγό είτε ατομικά, είτε μέσω της ένταξής του σε συλλογικό σύστημα διαχείρισης.

- ✓ Όσον αφορά στα ορφανά προϊόντα, η χρηματοδότηση της διαχείρισής των ανατίθεται σε ένα ή περισσότερα συστήματα στα οποία συνεισφέρουν αναλογικά όλοι οι υφιστάμενοι στην αγορά τον καιρό που προέκυψε το σχετικό κόστος παραγωγής, ανάλογα π.χ. με το αντίστοιχο μερίδιο τους στην αγορά του εκάστοτε εξοπλισμού.

Συν τοις άλλοις, από το άρθρο 10 της 2002/96/EK επιβάλλεται στα κράτη μέλη η διασφάλιση της άρτιας ενημέρωσης των χρηστών, μεταξύ άλλων σχετικά με [1]:

- ✓ την υποχρέωση να μην διατίθενται τα ΑΗΗΕ στο ρεύμα των υπολοίπων αστικών αποβλήτων, αλλά να αποκομίζονται χωριστά
- ✓ τα εκάστοτε προσιτά συστήματα επιστροφής και συλλογής ΑΗΗΕ
- ✓ το ρόλο των στη βιωσιμότητα του συστήματος διαχείρισης (επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και άλλες μορφές αξιοποίησης) των ΑΗΗΕ
- ✓ τις δυνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία ως αποτέλεσμα της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών στον ΗΗΕ

Επιπλέον, στο άρθρο αυτό πραγματοποιείται αναφορά στο ειδικό σύμβολο σήμανσης των προϊόντων ΗΗΕ (βλ. παράρτημα IV της 2002/96/EK), το οποίο επισημαίνει στους καταναλωτές την υποχρέωση διάθεσής των ως ξεχωριστό ρεύμα αποβλήτων.

Κλείνοντας την υποπαράγραφο τούτη, κρίνεται σκόπιμη η παράθεση κάποιων συγκριτικών στοιχείων σχετικά με το νομικό υπόβαθρο το οποίο διέπει τα ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης στις Η.Π.Α.. Πιο συγκεκριμένα, τα ιδιωτικά νοικοκυριά και οι μικρές επιχειρήσεις δύνανται να απορρίπτουν τον ΑΗΗΕ των ως αδιαχώριστα αστικά απόβλητα, προς διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής ή αποτεφρωτήρες, λόγω νομικών εξαιρέσεων στον ορισμό των στερεών και των επικινδύνων αποβλήτων. Οι μοναδικές έως τώρα υπάρχουσες εξαιρέσεις στον κανόνα αυτό υφίστανται στις πολιτείες της Καλιφόρνια και της Μασαχουσέτης, όπου έχει απαγορευθεί η διάθεση κάποιων προϊόντων ΗΗΕ σε χωματερές. Συνεπώς, η υπάρχουσα νομοθεσία καθιστά λίαν προτιμητέα την απόρριψη σε χωματερές, καθότι επιπροσθέτως, εάν ο καταναλωτής απευθυνθεί σε κάποια επιχείρηση ανακύκλωσης, πιθανότατα να επιβαρυνθεί με ένα αξιόλογο προκαταβολικό τέλος. Συνεπεία του γεγονότος αυτού, η διάθεση του ΑΗΗΕ δεν συνεπάγεται κανένα κόστος για τον τελικό χρήστη εάν απορριφθεί ως αδιαχώριστο αστικό απόβλητο, εν αντιθέσει με την επιλογή της προτίμησης των υφισταμένων δυνατοτήτων ανακύκλωσης [6].

### 1.2.2. ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης

Σχετικά με τα ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης (προερχόμενα από μεγάλες επιχειρήσεις, ιδρύματα, κυβερνητικά όργανα κ.λπ.), ο εξοπλισμός των κατά κανόνα αντικαθίσταται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επί παραδείγματι, η Microsoft Corp. αντικαθιστά τους υπολογιστές των υπαλλήλων της – οι οποίοι ξεπερνούν τους 50.000 παγκοσμίως και σε πολλούς εξ αυτών αναλογούν πέραν του ενός Η/Υ – κάθε περίπου τρία χρόνια. Επιπροσθέτως, ορισμένες μεγάλες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τη μέθοδο της μίσθωσης (leasing) μέσω ανάλογων εταιριών, στις οποίες και επιστρέφεται ο εξοπλισμός μετά τη λήξη του συμβολαίου. Σε τέτοιες εταιρίες επιστρέφεται κάθε φορά σημαντικός όγκος εκατοντάδων έως χιλιάδων προϊόντων ΗΗΕ, και οι οποίες με τη σειρά τους αναλαμβάνουν την «αποστολή» της διαχείρισης των. Όσον αφορά επίσης τα προερχόμενα από OEMs ΑΗΗΕ, συνίστανται κύρια σε προϊόντα τα οποία εξερχόμενα από την γραμμή παραγωγής δεν πληρούν τα απαιτούμενα ποιοτικά κριτήρια και δεν δύνανται να διατεθούν στην αγορά. Κάποιοι OEMs έχουν συνάψει συμβόλαια με εταιρίες ανακύκλωσης οι οποίες και αναλαμβάνουν την διαχείριση των εν λόγω ΑΗΗΕ, ενώ άλλες όπως π.χ. η Hewlett-Packard (HP) και η IBM αναλαμβάνουν οι ίδιες το έργο αυτό – η HP λειτουργεί δύο εγκαταστάσεις ανακύκλωσης στις Η.Π.Α., στις πολιτείες της Καλιφόρνιας (California) και του Τενεσσί (Tennessee), ενώ η IBM στη Νέα Υόρκη [6].

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία η οποία άπτεται της διαχείρισης των ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης, στο άρθρο 5 της οδηγίας 2002/96/ΕΚ αναφέρεται ότι οι παραγωγοί, ή τρίτοι οι οποίοι ενεργούν για λογαριασμό τους, μεριμνούν για τη συλλογή των αποβλήτων αυτών [1]. Επίσης, όσον αφορά τη χρηματοδότηση της διαχείρισης των, το άρθρο 9 της 2002/96/ΕΚ τροποποιήθηκε από την οδηγία 2003/108/ΕΚ – η οποία σαν στόχο είχε τη μείωση των κινδύνων που πιθανώς εγκυμονούσαν για την οικονομική βιωσιμότητα των μικρών επιχειρήσεων οι διατάξεις της 2002/96/ΕΚ – ως εξής [7]:

- ✓ Για τα ιστορικά απόβλητα που αντικαθίστανται από νέα ισοδύναμα προϊόντα ή από νέα προϊόντα που καλύπτουν την ίδια λειτουργία, η χρηματοδότηση των δαπανών επιβαρύνει τους παραγωγούς των νέων προϊόντων κατά την παροχή τους
- ✓ Για τα λοιπά ιστορικά απόβλητα, πλην βεβαίως αυτών που προέρχονται από νοικοκυριά, η χρηματοδότηση των δαπανών διαχείρισης επιβαρύνει τους χρήστες
- ✓ Όσον αφορά τα νέα προϊόντα που εισέρχονται στην αγορά μετά την 13<sup>η</sup> Αυγούστου 2005, η χρηματοδότηση της διαχείρισης των – όπως άλλωστε ισχύει και για τα προερχόμενα από νοικοκυριά ΑΗΗΕ – επιβαρύνει τους παραγωγούς

Ουσιαστικά λοιπόν, η τροποποίηση της 2003/108/ΕΚ μετακυλύει την ευθύνη χρηματοδότησης των ιστορικών αποβλήτων από μη οικιακές πηγές, από τους αρχικούς παραγωγούς των αποβλήτων αυτών στους παραγωγούς νέων προϊόντων, εφόσον υφίστανται ανάλογα νέα προϊόντα.

Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι το άρθρο 9 της 2002/96/ΕΚ τροποποιήθηκε ως ανωτέρω με σκοπό να εξαιρεθεί το ενδεχόμενο δυσανάλογων οικονομικών επιβαρύνσεων για ορισμένες εταιρείες οι οποίες διέθεταν μεγάλο μερίδιο στην αγορά ΗΗΕ κατά το παρελθόν. Το ζήτημα της ευθύνης χρηματοδότησης της διαχείρισης των ιστορικών αποβλήτων αναθεωρήθηκε, με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται πλέον ο ίδιος ο αρχικός παραγωγός των αποβλήτων ΗΗΕ, μεταθέτοντας την ευθύνη στον παραγωγό των νέων ειδών ΗΗΕ τα οποία αντικαθιστούν προϊόντα ισοδύναμου τύπου ή προϊόντα τα οποία καλύπτουν τις ίδιες λειτουργίες, κατά την πώληση αυτών. Τοιουτοτρόπως περιορίζονται οι χρηματοδοτικές επιπτώσεις για τους παραγωγούς στις δαπάνες για απόβλητο εξοπλισμό που παραλαμβάνεται κατά την πώληση νέου προϊόντος, οι οποίες δαπάνες επιβαρύνουν τις εταιρείες μόνον όταν αυτές πωλούν νέα προϊόντα [4].

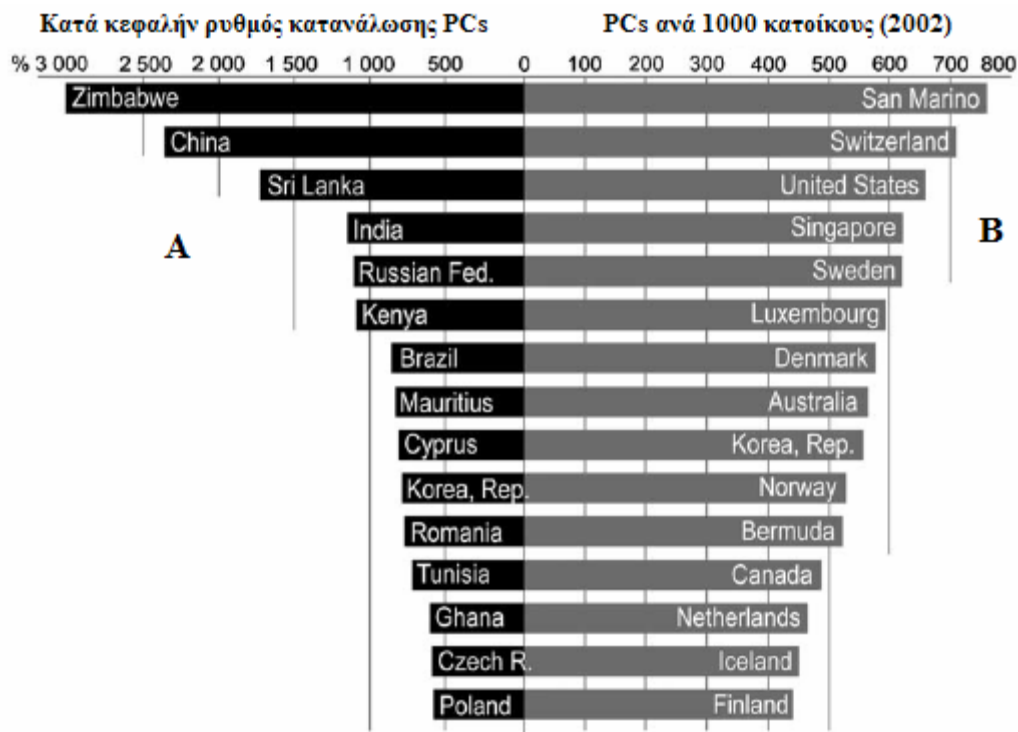
Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι ενδέχεται να υφίστανται ορφανά προϊόντα τα οποία δεν αντικαθίστανται από νέα. Στην περίπτωση αυτή υπεύθυνοι για την κάλυψη των δαπανών διαχείρισης (εκτός βεβαίως των ιδιωτικών νοικοκυριών) θεωρούνται οι χρήστες. Με τις ανωτέρω αλλαγές αντιμετωπίζεται συνεπώς και το πρόβλημα των αποβλήτων εταιριών οι οποίες πλέον δεν υφίστανται. Από την άλλη, η ως άνω μετάθεση της ευθύνης μπορεί να θεωρηθεί ότι έρχεται σε αντίθεση με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Επιβάλλεται όμως να σημειωθεί ότι την περίοδο κατά την οποία τα ορφανά προϊόντα διατέθηκαν στην αγορά δεν είχε διαμορφωθεί νομοθεσία βάσει της αρχής αυτής κατά την έννοια των κανόνων της οδηγίας 2002/96/ΕΚ για τα νέα είδη ΗΗΕ. Συνεπώς, ναι μεν είναι ορθό το ότι η προηγούμενη νομοθετική κατάσταση ίσως έρχεται σε αντίθεση με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», είναι ωστόσο δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ του κατά πόσον ο παραγωγός ή ο χρήστης είναι ο πραγματικός ρυπαντής [4].

Στο σημείο αυτό κρίνεται και πάλι σκόπιμη η παράθεση ορισμένων συγκριτικών στοιχείων σχετικά με το νομικό υπόβαθρο το οποίο διέπει τα ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης στις Η.Π.Α.. Πιο συγκεκριμένα, τα B2B ΑΗΗΕ απαγορεύεται να απορρίπτονται προς υγειονομική ταφή ή αποτέφρωση κι έτσι αναγκαστικά διατίθενται σε αντίστοιχες εταιρίες προς επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή εξαγωγή. Επίσης, ο αριθμός των μισθωμένων (leased) Η/Υ ξεπερνά κατά πολύ αυτόν των πωλήσεων σε τέτοιου είδους χρήστες, ενώ ακόμη και η ομοσπονδιακή κυβέρνηση των Η.Π.Α. έχει προσφύγει σε αυτήν την επιλογή [6].

Τέλος, επισημαίνεται το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία για το ποιο «είδος» ΑΗΗΕ (οικιακής προέλευσης και μη), συνεισφέρει περισσότερο στην παραγωγή των. Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στη Γερμανία, το 40% των ΑΗΗΕ αποτελούν προϊόντα βιομηχανικής χρήσης, το 40% αφορά σε μεγάλες οικιακές εφαρμογές και το υπόλοιπο 20% σε προϊόντα του τομέα των καταναλωτικών ειδών (5% αφορά σε Η/Υ) [4,8].

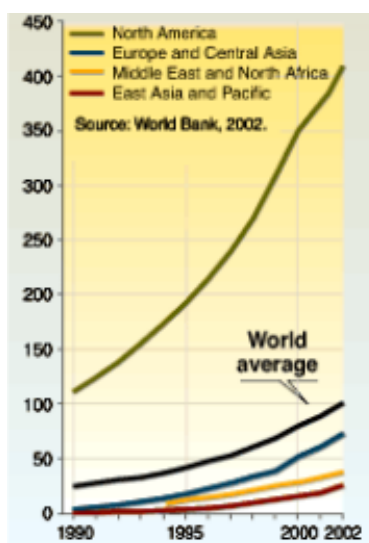
### 1.3. Παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ

Επί του παρόντος, οι μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρονικών αποβλήτων παράγονται στις χώρες του ΟΟΣΑ, όπου και θεωρείται ότι οι αγορές των είναι πλέον κορεσμένες όσον αφορά τον ΗΗΕ. Από την άλλη, η διείσδυση του ΗΗΕ στις αγορές των αναπτυσσόμενων χωρών δεν είναι πολύ υψηλή, εντούτοις οι ρυθμοί κατανάλωσης στις χώρες αυτές αυξάνονται ταχύτατα. Συνεπώς, στο άμεσο μέλλον αναμένεται ότι μεγάλες ποσότητες ηλεκτρονικών αποβλήτων θα αποτελούν σημαντικό μέρος του ρεύματος των αποβλήτων (waste stream) των χωρών αυτών. Το γεγονός αυτό διαφαίνεται στο διάγραμμα 2, όπου καταδεικνύεται τόσο ο κορεσμός των αγορών κάποιων βιομηχανοποιημένων χωρών του ΟΟΣΑ, όσο και οι αυξανόμενοι ρυθμοί κατανάλωσης σε λιγότερο ανεπτυγμένα κράτη, χρησιμοποιώντας ως δείκτη (indicator) τους προσωπικούς υπολογιστές (PCs).

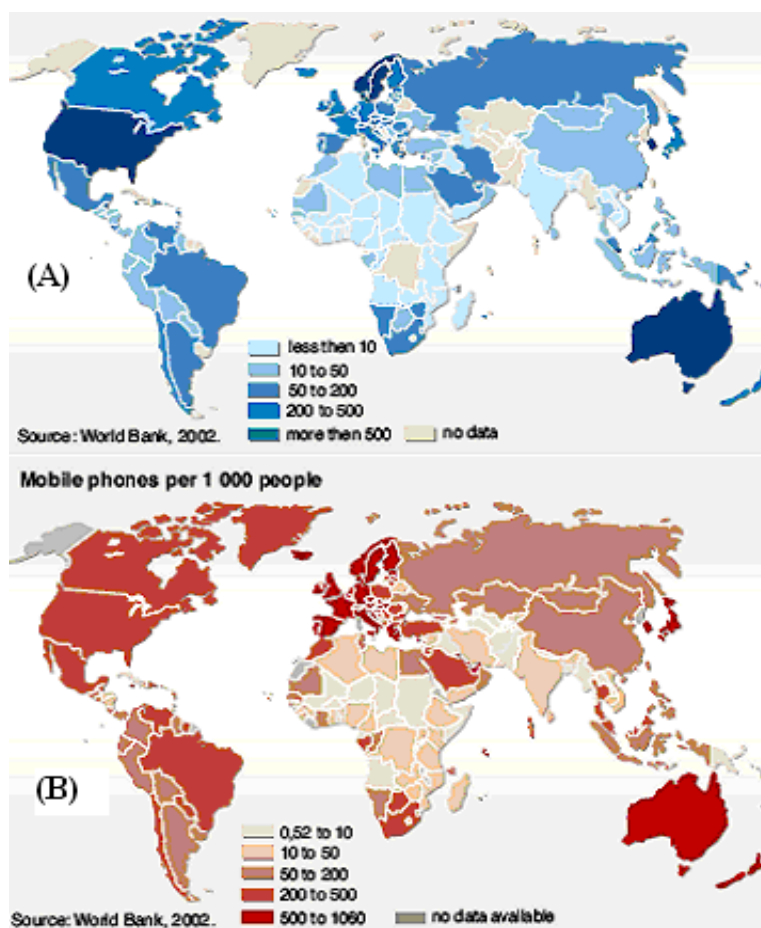


**Διάγραμμα 2:** Ρυθμοί αύξησης της κατανάλωσης προσωπικών υπολογιστών (PCs) σε κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες για τα έτη 1993-2000 (Α), και κορεσμός της αγοράς των βιομηχανοποιημένων κρατών εκφρασμένος ως PCs ανά 1000 κατοίκους το έτος 2002 (Β) [3,9].

Στο ανωτέρω διάγραμμα, στην αριστερή στήλη παρουσιάζονται οι πρώτες 15, βάσει του κατά κεφαλήν ρυθμού αύξησης της απόκτησης Η/Υ, χώρες. Επιπροσθέτως, στα επόμενα διαγράμματα 3 και 4 παρουσιάζονται εκτιμήσεις όσον αφορά τον ανά κάτοικο αριθμό των PCs και κινητών τηλεφώνων, ανά ήπειρο και για διάφορες χώρες της υφελίου, αντίστοιχα. Τα διαγράμματα αυτά καταδεικνύουν τις τεράστιες διαφορές οι οποίες υφίστανται αναφορικά με τη διείσδυση της τεχνολογίας στην ανθρώπινη ζωή, και ειδικότερα το 'χάσμα' το οποίο υφίσταται μεταξύ άλλων ανάμεσα στη Βόρειο Αμερική και τον υπόλοιπο κόσμο.

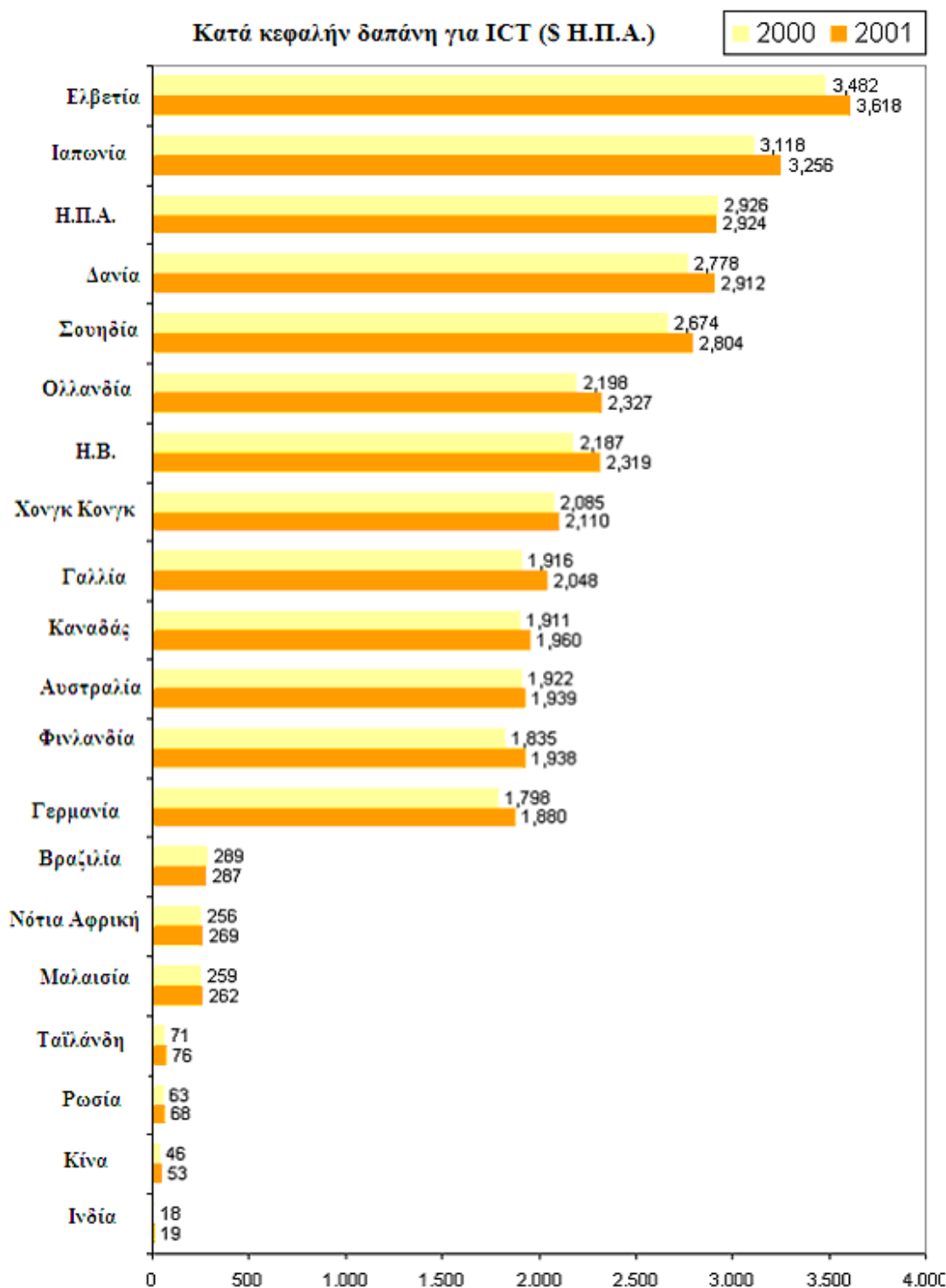


*Διάγραμμα 3: Διάδοση των PCs ανά ήπειρο (εκφρασμένη ως αριθμός Η/Υ ανά 1000 κατοίκους) το έτος 2002 [10].*



*Διάγραμμα 4: Προσωπικοί υπολογιστές & κινητά τηλέφωνα για διάφορες χώρες της υφελίου (ανά 1000 κατοίκους) [10].*

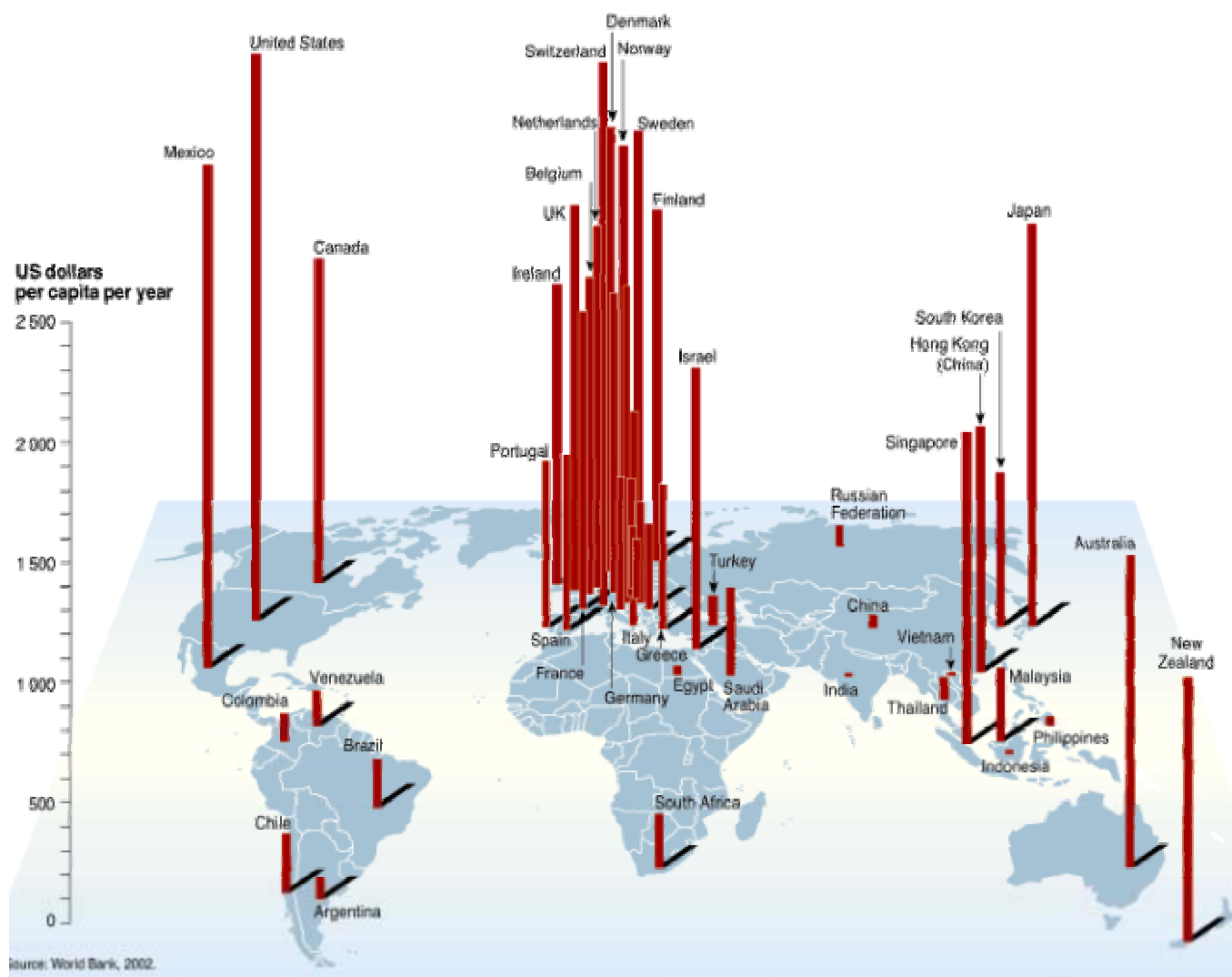
Επιπλέον, βάσει στοιχείων του ελβετικού οργανισμού *Empa* (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research) [5], παρουσιάζεται στο κάτωθι διάγραμμα 5 η κατά κεφαλήν ετήσια δαπάνη των κατοίκων διαφόρων χωρών για εξοπλισμό πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (ICT), όπου και διαφαίνεται καθαρά η σημασία του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων μιας χώρας όσον αφορά τη διείσδυση της ICT κατηγορίας των ΗΗΕ στις εκάστοτε εγχώριες αγορές.



**Διάγραμμα 5:** Κατά κεφαλήν δαπάνη για εξοπλισμό πληροφορικής & τηλεπικοινωνιών (ICT) σε διάφορες χώρες τα έτη 2000 & 2001 (\$ Η.Π.Α.) [5].



Μια επιπρόσθετη λίαν παραστατική αναπαράσταση της κατά κεφαλήν ετήσιας δαπάνης για ICT εξοπλισμό παρατίθεται επίσης στο ακόλουθο διάγραμμα 6.



**Διάγραμμα 6:** Ετήσια κατά κεφαλήν δαπάνη για εξοπλισμό ICT ανά την υφήλιο το έτος 2002 (σε δολάρια Η.Π.Α.) [10].

### 1.3.1. Μέθοδοι εκτίμησης των ποσοτήτων

Η εκτίμηση της ποσότητάς των ΑΗΗΕ στις διάφορες χώρες θεωρείται ως ιδιαίτερα δύσκολη, λόγω της έλλειψης αυστηρής νομοθεσίας και ελέγχου των διασυνοριακών μετακινήσεων των παλαιών προϊόντων, αλλά και δεδομένου ότι οι εκάστοτε υπηρεσίες προστασίας περιβάλλοντος αλλά και οι στατιστικές υπηρεσίες δεν τηρούν πάντα αρχεία όπου καταγράφονται οι πωλούμενες ή απορριπτόμενες ποσότητες ΗΗΕ. Για την εκτίμηση λοιπόν των ποσοτήτων ΑΗΗΕ που παράγονται παγκοσμίως, έχουν προταθεί και εφαρμοσθεί διάφορες μέθοδοι, κάποιες εκ των οποίων είναι οι κάτωθι [3]:

- «μέθοδος κατανάλωσης και χρήσης» (“consumption and use method”, η οποία συχνά απαντάται και ως “estimate method”), η οποία λαμβάνει ως βάση των υπολογισμών για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ τον εξοπλισμό ο οποίος χρησιμοποιείται από ένα αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό (typical household).

- μέθοδος του «εφοδιασμού των αγορών» (“market supply method”), η οποία χρησιμοποιεί δεδομένα που αφορούν την παραγωγή και τις πωλήσεις ΗΗΕ σε μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή.
- μέθοδος εφαρμοζόμενη από την ελβετική υπηρεσία περιβάλλοντος, η οποία και βασίζεται στην υπόθεση ότι σε ένα οιοδήποτε νοικοκυριό, για κάθε νέα μονάδα ΗΗΕ η οποία αγοράζεται, μια παλαιότερη φθάνει στο “τέλος της ζωής” της (end-of-life, *EoL*).

Όσον αφορά τις πρώτες δύο εκ των προαναφερθέντων μεθόδων, απαιτείται να λάβουν χώρα παραδοχές σε σχέση με το μέσο χρόνο ζωής-χρήσης του ΗΗΕ, καθώς και το μέσο βάρος μιας μονάδας του, ούτως ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν σε μονάδες μάζας (π.χ. τόνους) οι παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ. Η τρίτη μέθοδος από την άλλη, θεωρεί ότι η αγορά των υπό μελέτη νοικοκυριών είναι ήδη κορεσμένη, συνεπώς δεν απαιτείται καμία παραδοχή σχετική με το μέσο χρόνο ζωής-χρήσης του ΗΗΕ. Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα των διαφόρων σχετικών μελετών ποικίλουν ευρέως μεταξύ των, ενώ και η μεταξύ των σύγκριση είναι δύσκολη λόγω του ότι τόσο η χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκτίμησης, όσο και οι πραγματοποιηθείσες βασικές παραδοχές πιθανότατα διαφέρουν από τη μια μελέτη στην άλλη.

Σημειώνεται ότι πέραν των ανωτέρω συνοπτικά αναφερθέντων, στη βιβλιογραφία δύνανται να ανευρεθούν κι άλλες μέθοδοι, κάποιες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- ✓ μέθοδος του «χρονικού βήματος» (“time step method”), η οποία βασίζεται σε δεδομένα που αφορούν τις πωλήσεις ΗΗΕ σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις.
- ✓ μέθοδος του «εφοδιασμού των αγορών Α» (“market supply method A”), η οποία και αποτελεί απλοποιημένη εκδοχή της προαναφερθείσας ομώνυμης μεθόδου, όπου θεωρείται ότι το 100% των πωλούμενων προϊόντων ΗΗΕ καθίσταται απόβλητο στο τέλος του θεωρούμενου μέσου χρόνου ζωής.
- ✓ επονομαζόμενη “Stanford method”, στην οποία χρησιμοποιείται μοντέλο το οποίο προβλέπει κυμαινόμενο χρόνο ζωής για τα προϊόντα ΗΗΕ.
- ✓ “ICER<sup>2</sup> method”, στην οποία θεωρείται ότι μέρος των πωλήσεων νέων ΗΗΕ αντικαθιστά απορριπτόμενο εξοπλισμό.

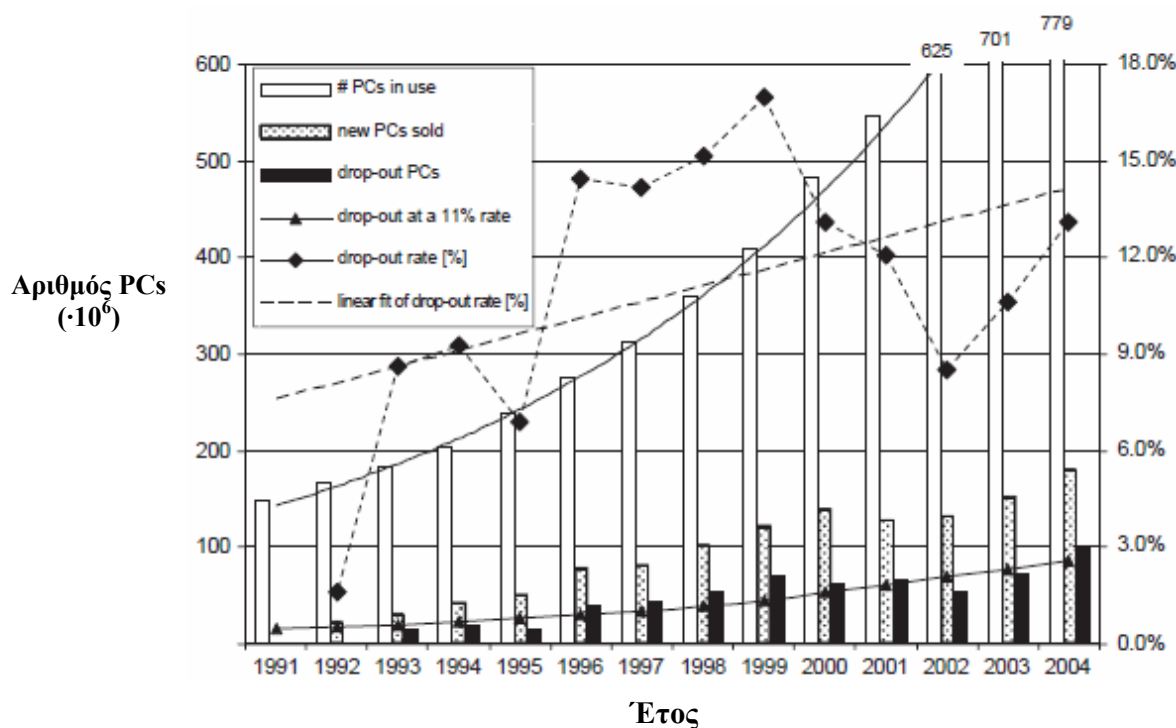
Η υποπαράγραφος αυτή στοχεύει στην συνοπτική παρουσίαση των υφιστάμενων εναλλακτικών για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ. Η εξαιρετική επιστημονική κινητικότητα η οποία παρατηρείται στο τομέα αυτό αντανακλάται μεταξύ άλλων στα συγγράμματα [8,11,12], όπου και δύνανται να ανευρεθούν αναλυτικότερες πληροφορίες για τις προαναφερθείσες μεθόδους.

### 1.3.2. Εκτιμήσεις παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ

Από τους Widmer et al. [3], προτείνονται τα εξής ακόλουθα, σχετικά με τον υπολογισμό του αριθμού των αποβλήτων PCs παγκοσμίως (βλ. διάγραμμα 7), βάσει στοιχείων της Παγκόσμιας Τράπεζας (The World Bank): σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, ο αριθμός των παγκοσμίως χρησιμοποιούμενων PCs (# PCs in use) αυξάνεται εκθετικά, ενώ οι πωλήσεις των αυξηθήκαν σημαντικά από  $20 \cdot 10^6$  το 1992 σε  $180 \cdot 10^6$  το έτος 2004. Εκτιμάται ότι περίπου οι μισοί νέοι υπολογιστές που πωλούνται (*new PCs sold*) αντικαθιστούν πεπαλαιωμένους (*drop-out PCs*) οι οποίοι καθίστανται ΑΗΗΕ, ενώ στους υπολοίπους οφείλεται η αύξηση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων PCs. Ο αριθμός των drop-out PCs κάθε χρονιάς ισούται με τη διαφορά των νέων υπολογιστών που πωλήθηκαν τη χρονιά εκείνη, μείον την αύξηση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων υπολογιστών του αυτού έτους. Συγκρίνοντας επίσης το λόγο των αποσυρόμενων PCs προς τους χρησιμοποιούμενους, δύναται να εξαχθεί ο ρυθμός απόσυρσης

<sup>2</sup> Πρόκειται για το βρετανικό οργανισμό Industry Council for Electronic Equipment Recycling.

των πεπαλαιωμένων προσωπικών υπολογιστών (*drop-out rate [%]*), ο οποίος και κυμαίνεται μεταξύ 2 και 17% (για τα έτη 1992 και 1999 αντίστοιχα), ενώ ο μέσος ρυθμός απόσυρσης για την όλη χρονική περίοδο ανέρχεται στο 11% (*linear fit of drop-out rate*), γεγονός το οποίο καταδεικνύει ότι ο μέσος χρόνος ζωής ενός PC είναι περίπου 9 έτη, κάτι το οποίο συνεπάγεται ότι ο χρόνος αποθήκευσης των πεπαλαιωμένων υπολογιστών πριν την είσοδο τους στο ρεύμα των αποβλήτων είναι λίαν σημαντικός. Ακόμη, η αυξητική με το χρόνο τάση που παρουσιάζει ο ρυθμός απόσυρσης υποδηλώνει την καθοδική πορεία του χρόνου ζωής των PCs. Επίσης, η τιμή του μέσου ρυθμού απόσυρσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση – μέσω εξωτερικής παρεμβολής – του αριθμού των PCs τα οποία πρόκειται να αποσυρθούν στα επόμενα χρόνια (*drop-out at a 11% rate*) [3]. Επισημαίνεται ότι σύμφωνα με τα στοιχεία του διαγράμματος 7, περίπου  $100 \cdot 10^6$  προσωπικοί υπολογιστές εισήλθαν στο ρεύμα των αποβλήτων το έτος 2004 παγκοσμίως [3,13].

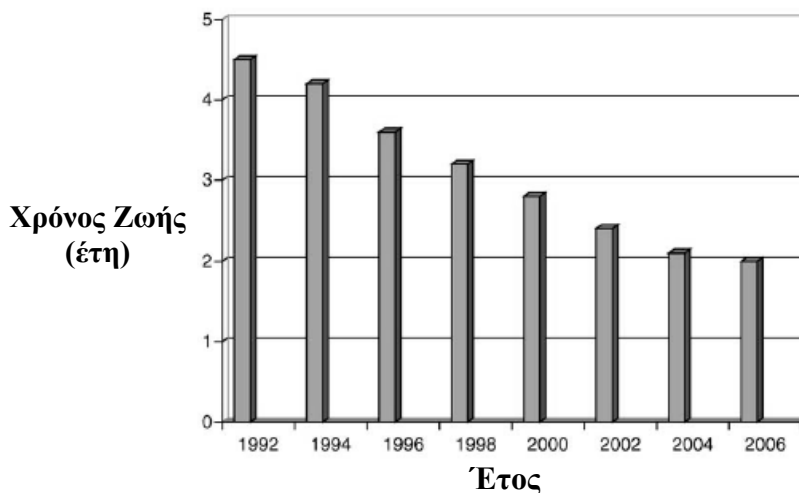


**Διάγραμμα 7:** Ποσότητες παγκοσμίως χρησιμοποιούμενων PCs και παραγόμενα εξ αυτών απόβλητα [3].

Όσον αφορά τώρα συγκεκριμενοποιημένες εκτιμήσεις για τις παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ, διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν τις εκτιμούν στα 5,6-7,5 εκατομμύρια τόνους στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 15 (EU15) για το έτος 1997, στα  $6 \cdot 10^6$  τόνους για το 1998 [14,15], και στα  $7,5 \cdot 10^6$  τόνους για το 2002 [16]. Παγκοσμίως υπολογίζονται στους 20 με  $50 \cdot 10^6$  τόνους ετησίως [9]. Συνάμα υφίσταται διχογνωμία όσον αφορά το γεγονός ότι διαφορετικές πηγές αναφέρουν ότι τα ΑΗΗΕ αποτελούν ήδη το 3 έως 8% των συνολικά παραγόμενων αστικών αποβλήτων ([3],[14-15]). Επίσης, η ποσότητά τους αυξάνεται συνεχώς (16-28% κάθε 5 χρόνια, 3-5% κατ' έτος), με περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης από αυτόν των αστικών στερεών αποβλήτων (*municipal solid waste, MSW*), ενώ αποτελεί και την ταχύτερα αυξανόμενη συνιστώσα των παγκοσμίως [3,14,15,17]. Με αυτούς τους ρυθμούς αύξησης, έως το 2010 η παραγωγή ΑΗΗΕ στην EU15 θα έχει διπλασιασθεί σε σχέση με το 1998 (ο χρόνος διπλασιασμού υπολογίζεται ως ίσος με 12 έτη [15]). Η ταχύτερη αυτή αύξηση αναφέρεται ότι οφείλεται μεταξύ άλλων στο ότι η παγκόσμια αγορά των ΗΗΕ θεωρείται ελάχιστα κορεσμένη, ενώ συνάμα διογκώνεται συνεχώς [18]. Σε τούτο συμβάλλει και το πραγματοποιούμενο έντονο μάρκετινγκ [9]. Επίσης, η αλματώδης τεχνολογική εξέλιξη, ειδικά στην 3<sup>η</sup>

κατηγορία ΗΗΕ (ICT), έχει ως αποτέλεσμα την όλο και πιο συχνή και εύκολη αντικατάσταση του εξοπλισμού, συνεπώς και την παραγωγή αυξημένων ποσοτήτων ΑΗΗΕ [19].

Σημειώνεται ότι ειδικά για τους προσωπικούς υπολογιστές<sup>3</sup> ο χρόνος ζωής των μειώνεται σημαντικά – το 1992 ο μέσος χρόνος ζωής ενός PC στις Η.Π.Α. ήταν περίπου 4,5 έτη και το 2005 μονάχα 2 έτη (βλ. και διάγραμμα 8) [20], ενώ παγκοσμίως μιας CPU το 1997 4 με 6 έτη και το 2005 μόλις 2 [3]. Επίσης, για διάφορες χώρες της Ευρώπης ο αντίστοιχος χρόνος υπολογίζεται από 2,6 έως 4 έτη [16]. Επισημαίνεται πάντως, ότι ο χρόνος ζωής-χρήσης δεν ταυτίζεται με την παλαιότητα του ΗΗΕ όταν τελικά απορρίπτεται, καθότι συχνότατα είθισται να αποθηκεύεται από τους τελικούς κατόχους για μακρά χρονικά διαστήματα.



*Διάγραμμα 8: Μέσος χρόνος ζωής ενός PC στις Η.Π.Α. [20].*

Επισημαίνεται, ότι οι διαφορετικοί ρυθμοί ανάπτυξης των ποικίλων κατηγοριών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού δυσχεραίνουν την εκτίμηση των ποσοτήτων ΑΗΗΕ που θα παραχθούν μελλοντικά (π.χ. για την αγορά των κινητών τηλεφώνων είχε εκτιμηθεί αύξηση των χρηστών από 40-100% ως το 2002). Διευκρινίζεται επίσης ξανά, το ότι δεν υπάρχουν ακριβή δεδομένα για το ποιος τομέας, μεταξύ της βιομηχανίας και των ιδιωτικών νοικοκυριών, παράγει περισσότερα ΑΗΗΕ.

### 1.3.2.1. Ευρώπη

Στις χώρες της EU15 εκτιμάται ότι οι παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ ανέρχονταν σε 3,3-3,6 kg ανά κάτοικο ετησίως την περίοδο 1990-1999, ενώ την περίοδο 2000-2010 θα ανέρχονται αντιστοίχως στα 3,9-4,3 kg<sup>4</sup>, σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environment Agency, EEA) [8]. Λόγω όμως του ότι για τη μελέτη αυτή ελήφθησαν υπόψη μονάχα ψυγεία, PCs, τηλεοράσεις, φωτοτυπικά μηχανήματα και μικρές οικιακές συσκευές – όπου αντιστοιχούν περίπου μονάχα στο εν τέταρτο του συνολικού ρεύματος των ΑΗΗΕ – υπολογίζεται ότι η παραγωγή ΑΗΗΕ στις χώρες αυτές ανέρχεται σε 14 με 20 ή 25 kg ετησίως κατά κεφαλήν [3,9]. Συν τοις άλλοις, σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, ο στόχος της οδηγίας 2002/96/EK για τη χωριστή συλλογή 4 kg ΑΗΗΕ ανά κάτοικο

<sup>3</sup> Τα PCs αποτελούν μονάχα ένα κλάσμα των ΑΗΗΕ, αν και παρόμοιες με αυτά τάσεις παρουσιάζουν τα περισσότερα προϊόντα τουλάχιστον της ICT κατηγορίας, π.χ. αναμένεται ότι το 2005 θα αποσυρθούν στις Η.Π.Α. συνολικά  $130 \cdot 10^6$  κινητά τηλέφωνα [3,9].

<sup>4</sup> Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τη μελέτη της EEA, οι δυνητικά παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ που θα οφείλονται στην απόρριψη-απόσυρση τηλεοράσεων ανέρχονται στα 1,2-1,7 kg ανά κάτοικο ετησίως, και ψυγείων στα 1,1 kg ανά κάτοικο ετησίως [8].

ετησίως στα κράτη μέλη εκτιμάται ότι θα καλύπτει μονάχα το 25% της συνολικής ετήσιας παραγωγής των ΑΗΗΕ στις χώρες αυτές. Στον ακόλουθο πίνακα 3 απεικονίζονται οι ποσότητες ΑΗΗΕ που εκτιμήθηκε ότι παρήχθησαν το χρονικό διάστημα 1990-1999 στα κράτη μέλη της ΕU15, ενώ στον πίνακα 4 η κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΗΗΕ στις αντίστοιχες χώρες, σύμφωνα με την μόλις προαναφερθείσα μελέτη της ΕΕΑ (η οποία μελέτη διεξήχθη και για τις χώρες Ισλανδία, Νορβηγία).

*Πίνακας 3: Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 1990-1999 (σε τόνους) [8].*

	Austria	Denmark	Germany	Ireland	Spain	Greece	France	Italy	Luxembourg
1990	3 568		40 026	3 170	13 452	2 040	30 620	19 720	8
1991	26 358		335 100	10 729	141 754	21 108	215 909	195 673	887
1992	28 495		351 596	10 343	138 734	21 017	221 401	195 013	885
1993	29 279		346 516	11 022	137 537	20 818	221 943	166 402	798
1994	28 411		373 909	12 099	142 435	20 623	233 303	178 241	835
1995	27 950		381 392	13 207	144 298	20 286	222 251	185 345	831
1996	26 530		302 504	12 145	133 481	18 696	201 920	177 273	819
1997	31 818		436 077	12 934	150 779	18 879	221 552	173 406	760
1998	17 829		267 054	15 644	174 362	23 451	180 917	218 332	879
1999	23 593		295 645	22 777	163 113	18 432	232 892	190 518	745

	Netherlands	Belgium	Portugal	Finland	Sweden	UK	EU15	Iceland	Norway
1990	13 961	5 210	2 446	3 801	8 059	34 981	185 343	170	2 100
1991	65 734	31 330	23 617	15 510	36 331	181 604	1 326 698	168	11 567
1992	57 865	31 697	26 114	12 978	33 913	178 962	1 333 237	171	12 253
1993	56 415	30 538	24 934	13 705	32 140	186 562	1 302 820	161	13 210
1994	61 657	31 063	25 038	14 407	35 841	189 507	1 376 704	156	15 970
1995	53 246	29 277	26 329	14 953	30 143	165 370	1 342 447	160	13 690
1996	39 796	24 775	23 276	14 577	18 298	132 956	1 152 831	161	11 049
1997	33 378	24 529	23 113	13 355	25 422	122 722	1 311 511	156	10 567
1998	13 321	25 260	27 149	17 025	29 845	231 628	1 268 488	153	11 992
1999	23 130	26 141	24 297	16 204	33 577	146 683	1 246 463	154	11 040

*Πίνακας 4: Εκτίμηση των κατά κεφαλήν παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ ετησίως στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 1990-1999 (σε kg) [8].*

	Austria	Denmark	Germany	Ireland	Spain	Greece	France	Italy	Luxembourg
1990	0.46	0.83	0.51	0.90	0.35	0.20	0.54	0.35	0.02
1991	3.39	4.87	4.20	3.05	3.65	2.07	3.80	3.45	2.31
1992	3.62	4.69	4.38	2.92	3.56	2.04	3.87	3.44	2.27
1993	3.68	4.67	4.28	3.09	3.52	2.01	3.86	2.92	2.02
1994	3.54	5.64	4.60	3.38	3.64	1.98	4.04	3.12	2.08
1995	3.48	5.29	4.68	3.67	3.68	1.94	3.83	3.24	2.04
1996	3.29	4.91	3.70	3.35	3.40	1.79	3.47	3.09	1.98
1997	3.94	4.32	5.32	3.54	3.84	1.80	3.79	3.02	1.82
1998	2.21	4.87	3.25	4.24	4.43	2.23	3.08	3.79	2.07
1999	2.92	5.40	3.60	6.15	4.14	1.75	3.95	3.31	1.76

	Netherlands	Belgium	Portugal	Finland	Sweden	UK	EU15	Iceland	Norway
1990	0.94	0.52	0.25	0.76	0.95	0.61	0.51	0.67	0.50
1991	4.38	3.14	2.39	3.10	4.23	3.15	3.63	0.66	2.72
1992	3.82	3.16	2.65	2.58	3.92	3.09	3.63	0.66	2.87
1993	3.70	3.03	2.53	2.71	3.70	3.21	3.53	0.61	3.07
1994	4.02	3.08	2.53	2.84	4.10	3.25	3.72	0.59	3.69
1995	3.45	2.89	2.66	2.93	3.42	2.83	3.61	0.60	3.15
1996	2.57	2.44	2.35	2.85	2.07	2.26	3.09	0.60	2.53
1997	2.14	2.41	2.33	2.60	2.87	2.08	3.51	0.58	2.41
1998	0.85	2.48	2.73	3.31	3.37	3.92	3.39	0.56	2.71
1999	1.47	2.56	2.43	3.14	3.79	2.48	3.32	0.56	2.48

Για τη συμπλήρωση των ανωτέρω πινάκων ελήφθησαν υπόψη ψυγεία, PCs, τηλεοράσεις, φωτοτυπικά μηχανήματα και μικρές οικιακές συσκευές. Επίσης, στους ανωτέρω πίνακες παρατηρείται μια μείωση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ την περίοδο 1991-1999, καθώς οι 1,32 εκατομμύρια τόνοι που παρήχθησαν το 1991 μειώθηκαν κατά 8% (1,25 εκατομμύρια τόνοι το 1999), ενώ ειδικά για την Ολλανδία παρουσιάζεται μια μείωση της τάξης του 65%. Σημειώνεται ότι για το έτος 1990 υπήρχαν στοιχεία μόνο για μικρές ηλεκτρικές συσκευές, όπως οι τοστιέρες (γι' αυτό και τα παρουσιασθέντα στοιχεία απέχουν τόσο από αυτά του έτους 1991), ενώ ποσοτικά στοιχεία για τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα υφίστανται μόνο για την περίοδο 1994-1999. Ακόμη, στο Λουξεμβούργο δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για τους προσωπικούς υπολογιστές και τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, στην Ισλανδία ελήφθησαν υπόψη μόνον μικρές οικιακές συσκευές όπως τοστιέρες και επιπροσθέτως για το έτος 1998 στην Ολλανδία δεν συμπεριλήφθηκαν οι τηλεοράσεις και τα ψυγεία.

Όσον αφορά περαιτέρω συμπεράσματα, τα οποία δύνανται να εξαχθούν από τον πίνακα 4, οι χώρες Ελλάδα, Λουξεμβούργο και Πορτογαλία έχουν τη μικρότερη εκτιμώμενη κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΗΗΕ, ενώ οι χώρες Δανία, Σουηδία και Γαλλία την υψηλότερη. Επίσης, στις Ελλάδα και Λουξεμβούργο παρουσιάζεται τάση μείωσης, στην Πορτογαλία σταθεροποίησης, ενώ στην Ιρλανδία ταχείας αύξησης της παραγωγής ΑΗΗΕ.

Επιπλέον, στον πίνακα 5 απεικονίζονται οι ποσότητες ΑΗΗΕ που εκτιμήθηκε ότι θα παράγονταν το χρονικό διάστημα 2000-2010 στα κράτη μέλη της EU15, ενώ στον πίνακα 6 η κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΗΗΕ στις αντίστοιχες χώρες, πάντα για το αυτό χρονικό πλαίσιο (χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή). Για την εκτίμηση αυτή ελήφθησαν υπόψη ψυγεία, PCs, τηλεοράσεις και φωτοτυπικά μηχανήματα.

***Πίνακας 5:** Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ στις χώρες της EU15 για το χρονικό διάστημα 2000-2010 (σε τόνους) [8].*

	Austria	Denmark	Germany	Ireland	Spain	Greece	France	Italy	Luxem- bourg
2000	27 954		349 200	24 399	184 988	20 534	242 918	212 231	763
2001	28 915		329 142	26 328	188 504	21 092	239 363	220 062	752
2002	30 176		324 442	29 142	196 723	21 921	244 134	225 806	741
2003	31 441		320 039	31 961	204 903	22 754	248 635	231 381	729
2004	30 131		275 287	32 484	206 059	22 115	231 524	215 918	718
2005	31 316		270 053	35 239	214 212	22 891	235 742	220 764	707
2006	32 502		264 820	37 994	222 365	23 667	239 960	225 610	696
2007	33 687		259 586	40 749	230 518	24 442	244 178	230 456	685
2008	34 872		254 353	43 504	238 672	25 218	248 396	235 303	673
2009	36 058		249 119	46 259	246 825	25 994	252 615	240 149	662
2010	37 243		243 886	49 014	254 978	26 770	256 833	244 995	651

	Nether- lands	Belgium	Portugal	Finland	Sweden	UK	EU15	Iceland	Norway
2000	12 073	25 288	27 520	19 384	38 270	187 369	1 475 127		13 925
2001	9 138	24 914	27 602	19 322	39 391	176 467	1 460 133		13 547
2002	9 422	26 097	28 339	20 287	45 318	180 029	1 499 663		14 081
2003	9 701	27 312	29 065	21 245	51 243	183 606	1 539 022		14 613
2004		24 258	27 849	19 271	53 812	167 583	1 437 058		13 345
2005		25 288	28 505	20 102	59 683	170 590	1 472 992		13 841
2006		26 317	29 161	20 932	65 554	173 597	1 508 927		14 338
2007		27 346	29 818	21 763	71 424	176 604	1 544 861		14 834
2008		28 375	30 474	22 594	77 295	179 611	1 580 796		15 331
2009		29 405	31 130	23 425	83 166	182 618	1 616 730		15 827
2010		30 434	31 786	24 256	89 036	185 625	1 652 665		16 324



**Πίνακας 6:** Εκτίμηση των κατά κεφαλήν παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ ετησίως στις χώρες της ΕU15 για το χρονικό διάστημα 2000-2010 (σε kg) [8].

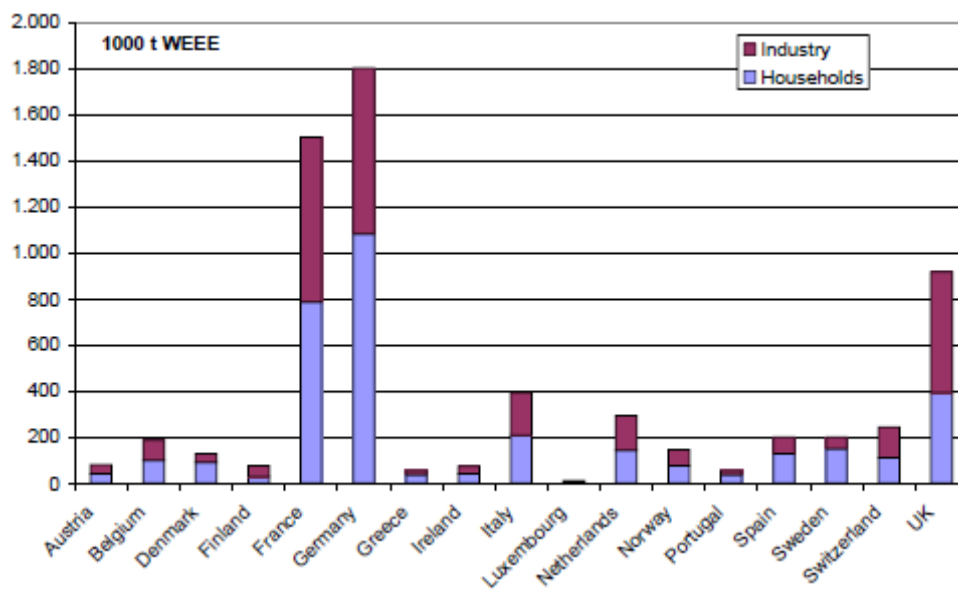
	Austria	Denmark	Germany	Ireland	Spain	Greece	France	Italy	Luxem- bourg
2000	3.46	19.18	4.25	6.41	4.69	1.94	4.09	3.65	1.94
2001	3.58	20.48	4.01	6.91	4.78	2.00	4.03	3.78	1.91
2002	3.73	21.97	3.95	7.65	4.98	2.08	4.11	3.88	1.88
2003	3.89	23.45	3.89	8.39	5.19	2.16	4.18	3.98	1.85
2004	3.73	24.40	3.35	8.53	5.22	2.09	3.90	3.71	1.82
2005	3.88	25.45	3.30	8.95	5.40	2.15	3.89	3.81	1.77
2006	4.03	26.90	3.24	9.65	5.60	2.23	3.96	3.89	1.74
2007	4.17	28.35	3.17	10.35	5.81	2.30	4.03	3.98	1.72
2008	4.32	29.80	3.11	11.05	6.01	2.37	4.10	4.06	1.69
2009	4.47	31.25	3.05	11.75	6.22	2.45	4.17	4.14	1.66
2010	4.63	32.18	3.01	12.21	6.41	2.51	4.16	4.29	1.62

	Nether- lands	Belgium	Portugal	Finland	Sweden	UK	EU15	Iceland	Norway
2000	0.76	2.47	2.75	3.74	4.32	3.15	3.91		3.12
2001	0.58	2.44	2.75	3.73	4.44	2.97	3.87		3.04
2002	0.59	2.55	2.83	3.92	5.11	3.03	3.98		3.16
2003	0.61	2.67	2.90	4.10	5.78	3.09	4.08		3.28
2004	0.00	2.37	2.78	3.72	6.07	2.82	3.81		2.99
2005	0.00	2.46	2.82	3.85	6.68	2.84	3.88		3.02
2006	0.00	2.56	2.88	4.01	7.33	2.89	3.98		3.13
2007	0.00	2.66	2.95	4.17	7.99	2.94	4.07		3.24
2008	0.00	2.76	3.01	4.33	8.65	2.99	4.17		3.35
2009	0.00	2.86	3.08	4.49	9.30	3.04	4.26		3.46
2010	0.00	2.95	3.12	4.61	9.88	3.05	4.34		3.51

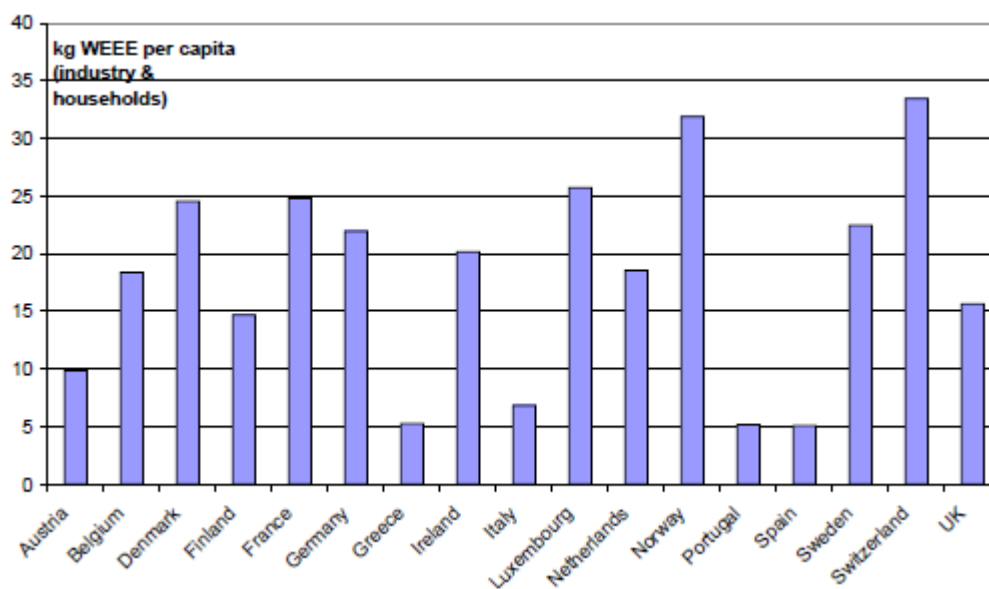
Πάρα την έλλειψη στοιχείων τα οποία θα ήταν ικανά να δώσουν μια ασφαλέστερη πρόβλεψη της μελλοντικής παραγωγής των ΑΗΗΕ, εκτιμάται ότι η ποσότητά τους θα αυξηθεί κατά 12% ή 200.000 τόνους. Η αύξηση της παραγόμενης ποσότητας των ΑΗΗΕ, είναι εμφανέστερη στις Σουηδία, Ιρλανδία, Ισπανία και Δανία, ενώ για τις Γερμανία, Ολλανδία και Λουξεμβούργο η τάση είναι πτωτική. Σημειώνεται ότι το Λουξεμβούργο δεν διαθέτει στοιχεία για τους προσωπικούς υπολογιστές και τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, στην Ολλανδία δεν συμπεριλήφθηκαν οι τηλεοράσεις και τα ψυγεία, ενώ δεν υπήρχαν καθόλου στοιχεία για την Ισλανδία. Επίσης, οι εκτιμήσεις για τα φωτοτυπικά μηχανήματα αφορούν μονάχα τα έτη 2000 έως 2003.

Επισημαίνεται πως λόγω ακριβώς της έλλειψης επαρκών ποσοτικών στοιχείων που θα απεικόνιζαν επακριβώς τις εισαγωγές, εξαγωγές και πωλήσεις προϊόντων ΗΗΕ, καθώς και τον κορεσμό της αγοράς, τα αποτελέσματα που παρουσιάζουν οι ανωτέρω πίνακες είναι χρήσιμα για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την *τάση* αύξησης ή μείωσης της ποσότητάς τους και όχι σε σχέση με την απόλυτη τιμή των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ. Επίσης, ειδικά για τις προαναφερθείσες μελλοντικές προβλέψεις, τα πλέον ενδιαφέροντα στοιχεία αφορούν και πάλι στην τάση αύξησης ή μείωσης της ποσότητάς των ΑΗΗΕ, λόγω του ότι αναφέρονται από την ίδια τη μελέτη ως αναξιόπιστα για την εκτίμηση των ακριβών ποσοτήτων. Συν τοις άλλοις, αντί της χρησιμοποίησης μονάχα στοιχείων για τις πωλήσεις ΗΗΕ προς εκτίμηση των μελλοντικών ποσοτήτων ΑΗΗΕ, θα ήταν σκόπιμο το να ληφθούν υπόψη κι άλλες μεταβλητές, όπως διάφοροι δείκτες οικονομικής ανάπτυξης. Υπενθυμίζεται επίσης ξανά το γεγονός ότι για τη μελέτη αυτή της ΕΕΑ ελήφθησαν υπόψη μονάχα ψυγεία, PCs, τηλεοράσεις, φωτοτυπικά μηχανήματα και μικρές οικιακές συσκευές – όπου εκτιμάται ότι αντιστοιχούν περίπου στο 25% του συνολικού ρεύματος των ΑΗΗΕ. Στην προαναφερθείσα μελέτη αναλύεται επίσης το «τεσσάρων φάσεων» μοντέλο που αναπτύχθηκε (παραγωγή & πώληση προϊόντων ΗΗΕ, κατανάλωση προϊόντων ΗΗΕ, συλλογή των, επεξεργασία των, επικίνδυνες ουσίες που εκπέμπονται) για την πραγματοποίηση των υπολογισμών.

Επιπλέον, και για λόγους σύγκρισης με την ανωτέρω μελέτη της ΕΕΑ, στο σημείο αυτό θα λάβει χώρα η παράθεση των συμπερασμάτων μιας μελέτης του οργανισμού International Copper Study Group (ICSG), η οποία και αφορά στην εκτίμηση των ποσοτήτων ΑΗΗΕ που παρήχθησαν στη Δυτική Ευρώπη το έτος 1997 [14]. Για την πραγματοποίηση των εκτιμήσεων θεωρήθηκε ότι ο ρυθμός αύξησης του όγκου των ΑΗΗΕ ισούται με 4,3% ετησίως. Από τη μελέτη αυτή εξήχθη το συμπέρασμα ότι στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης (ΕU15, Ελβετία και Νορβηγία) το 1997 παρήχθησαν 6,4 εκατομμύρια τόνοι ΑΗΗΕ. Στα ακόλουθα διαγράμματα 9 και 10 παρουσιάζονται οι εξαγχθείσες εκτιμήσεις για τις παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ στις υπό μελέτη χώρες, συνολικά και ανά κάτοικο.



*Διάγραμμα 9: Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης το έτος 1997 [14].*

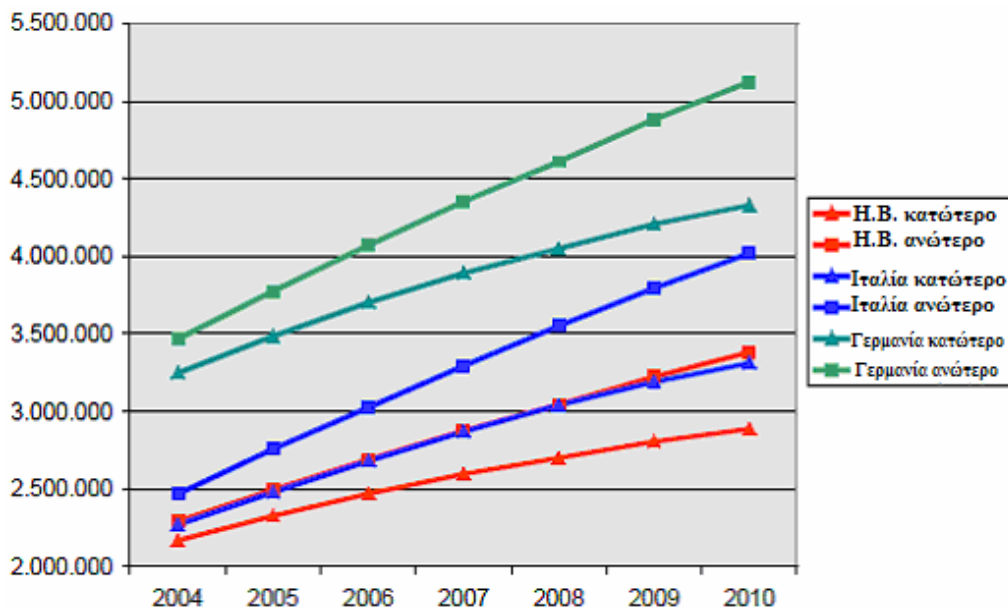


*Διάγραμμα 10: Εκτίμηση των παραγόμενων ανά κάτοικο ποσοτήτων ΑΗΗΕ σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης το έτος 1997 [14].*



Στα άνωθεν διαγράμματα καθίστανται σαφείς οι διαφορές των εκτιμήσεων των ΕΕΑ και ICSG όσον αφορά την παραγωγή ΑΗΗΕ – οι εκτιμήσεις της ΕΕΑ ανέρχονται στο εν τέταρτο με εν έκτο αυτών του ICSG, γεγονός το οποίο έρχεται να υπογραμμίσει τη διαπίστωση των συντακτών της ότι η μελέτη αυτή είναι χρήσιμη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την τάση αύξησης ή μείωσης της ποσότητας και όχι σε σχέση με την απόλυτη τιμή των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ, καθώς και το γεγονός ότι για τη μελέτη αυτή της ΕΕΑ ελήφθησαν υπόψη συγκεκριμένα προϊόντα ΗΗΕ.

Επίσης, όσον αφορά τις προερχόμενες από προσωπικούς υπολογιστές ποσότητες ΑΗΗΕ, μια πρόσφατη σχετική μελέτη αναφέρει μια εκτίμηση του απόλυτου αριθμού PCs τα οποία θα απορριφθούν σε έξι ευρωπαϊκές χώρες τα έτη 2004 έως 2010. Η συγκεκριμένη μελέτη αναφέρεται ότι έλαβε υπόψη τις πωλήσεις Η/Υ των προηγούμενων ετών, τη μέση ηλικία των όταν απορρίπτονται, καθώς και την παρατηρούμενη τάση μείωσης της ηλικίας αυτής. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν για τις Γερμανία, Ιταλία και Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα 11, όπου οι δύο καμπύλες αντιπροσωπεύουν το ανώτερο και κατώτερο όριο των πραγματοποιηθέντων εκτιμήσεων για κάθε χώρα. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι η αυξημένη διείσδυση των Η/Υ, καθώς και η μείωση του χρόνου ζωής των εκτιμάται ότι θα οδηγήσει σε μια δραματική αύξηση του αριθμού των Η/Υ στο ρεύμα των ΑΗΗΕ (επί τούτου βλ. και § 1.3.3.), ενώ συνάμα η ετήσια αύξηση των ποσοτήτων των λαμβάνει χώρα με ρυθμό κατά πολύ μεγαλύτερο από τον προαναφερθέντα 3-5% [16].



**Διάγραμμα 11:** Εκτίμηση του αριθμού των PCs τα οποία πρόκειται να απορριφθούν σε Η.Β., Ιταλία & Γερμανία κατά την περίοδο 2004-2010 [16].

Τέλος, στις παραπομπές [13,15] αναφέρεται μια κοινωνικοοικονομική μελέτη «προσομοίωσης» (*The Future Impact of ICT on Environmental Sustainability*), μέσω της οποίας έλαβε χώρα εκτός των άλλων και μια πρόβλεψη για το μελλοντικό παραγόμενο όγκο ΑΗΗΕ στην EU15 για τρία διαφορετικά σενάρια-περιπτώσεις πολιτικής νομοθεσίας. Ακόμη και στην περίπτωση του περιβαλλοντικά φιλικότερου σεναρίου (όπου χάριν νομοθετικών ρυθμίσεων θα επιβάλλεται η εσωτερικοποίηση του εξωτερικού κόστους παραγωγής ΗΗΕ, δηλ. εξαγωγή και επεξεργασία των πρώτων υλών, κατανάλωση ενέργειας και διάθεση των αποβλήτων), ο παραγόμενος όγκος ΑΗΗΕ στην EU15 το 2020 προβλέπεται να είναι 1,9 με 4,0 φορές υψηλότερος από τα επίπεδα του 2000, ενώ στα δύο άλλα «χειρότερα» σενάρια, όπου δεν προβλέπονται επιπλέον νομοθετήματα για την προστασία του περιβάλλοντος, ο παραγόμενος όγκος ΑΗΗΕ στην EU15 το 2020 εκτιμήθηκε 3,1 με 7,0 φορές υψηλότερος από τα

επίπεδα του 2000. Επίσης, σε όλα τα σενάρια ο ρυθμός αύξησης του όγκου των ΑΗΗΕ ήταν πολύ υψηλότερος από αυτόν του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (*ΑΕΠ*, Gross Domestic Product, *GDP*). Οι εκτιμήσεις αυτές σαφέστατα καταδεικνύουν τις διαστάσεις τις οποίες πρόκειται να λάβει μελλοντικά το ζήτημα της διαχείρισης των ΑΗΗΕ στην Ευρώπη<sup>5</sup>. Σημειώνεται ότι για την πραγματοποίηση της μελέτης αυτής, θεωρήθηκε ότι τα ΑΗΗΕ αποτελούν το 4,33% κ.β. του συνολικού ρεύματος των αστικών αποβλήτων, ενώ στο περιβαλλοντικά φιλικότερο σενάριο θεωρήθηκε ότι ο χρόνος ζωής του ICT εξοπλισμού παραμένει σταθερός (εν αντιθέσει με τα άλλα δύο σενάρια όπου μειώνεται κατά 8% ανά έτος, αλλά και την καθολικά παρατηρούμενη τάση της μείωσης του ωφέλιμου χρόνου ζωής του ICT εξοπλισμού).

### 1.3.2.2. Υπόλοιπος Κόσμος

Προς συμπλήρωση και καλύτερη απεικόνιση των διαστάσεων που έχει λάβει παγκοσμίως το πρόβλημα της διαχείρισης των ΑΗΗΕ, στις ακόλουθες υποπαραγράφους 1.3.2.2.1. και 1.3.2.2.2 θα λάβει χώρα η συνοπτική παράθεση κάποιων ενδεικτικών στοιχείων τα οποία αφορούν χώρες εκτός Ευρώπης, και δη τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Κίνα και την Ινδία. Επισημαίνεται ότι ιδιαίτερο βάρος δόθηκε προηγουμένως στις χώρες της Ευρώπης, και ιδιαίτερα της EU15, λόγω της μεγαλύτερης πληθώρας και τεκμηρίωσης των υφιστάμενων στοιχείων, αλλά και του ενδιαφέροντος το οποίο ενέχουν ιδιαίτερα για την Ελλάδα.

#### 1.3.2.2.1. Ηνωμένες Πολιτείες

Ειδικά στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα ΑΗΗΕ αναφέρεται ότι συνιστούν το 1-5% του συνολικού όγκου των στερεών αστικών αποβλήτων (*MSW*) ενώ παρατηρείται και εκεί το γεγονός ότι ο αριθμός των αποσυρόμενων PCs αυξάνεται ραγδαία [20, 21]. Επίσης, κρίνεται εύλογη η αναφορά των κάτωθι:

- ✓ το ποσοστό κατοχής Η/Υ στα νοικοκυριά των Η.Π.Α. είναι το υψηλότερο παγκοσμίως, το ποσοστό κατοχής κινητών τηλεφώνων από τα υψηλότερα, ενώ οι κατά κεφαλήν δαπάνες για ICT εξοπλισμό απέχουν κατά πολύ από τον παγκόσμιο μέσο όρο (βλ. προηγούμενα διαγράμματα 3-6).
- ✓ έως το έτος 2005, για κάθε έναν νέο Η/Υ που θα αγοράζεται, ένας άλλος θα απορρίπτεται [22].
- ✓ πρόσφατες μελέτες εκτιμούν ότι ο όγκος των παραγόμενων ΑΗΗΕ ανήλθε το έτος 2000 σε άνω των δύο εκατομμυρίων τόνων (βλ. ακόλουθο πίνακα 7). Επίσης, μεταξύ των ετών 1997 και 2004 περίπου  $315 \cdot 10^6$  Η/Υ εκτιμάται ότι καταστήθηκαν απόβλητοι [22], ενώ οι ποσότητες αυτές εκτιμάται ότι θα ανέλθουν στα 500 εκατομμύρια μέχρι το 2007 [9].

#### 1.3.2.2.2. Ασία

Η ασιατική ήπειρος αποτελεί την μεγαλύτερη αναδυόμενη αγορά προϊόντων ΗΗΕ και εκεί βρίσκονται κάποιες από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες οικονομίες της υφελίου. Λόγω της αύξησης του κατά κεφαλήν εισοδήματος, καθώς και του χαμηλού μέσου όρου ηλικίας του πληθυσμού, η κατανάλωση ΗΗΕ αναφέρεται ότι αυξάνεται ταχέως. Βέβαια, η διεύθυνση του ΗΗΕ στις αγορές δεν είναι ακόμη μεγάλη, από την άλλη όμως χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία επιδεικνύουν αξιοζήλευτα αυξανόμενους ρυθμούς αύξησης της κατανάλωσης, συνεπώς μεγάλες ποσότητες ΑΗΗΕ αναμένεται ότι θα εισέλθουν στο ρεύμα των αποβλήτων των χωρών αυτών στο άμεσο μέλλον. Επίσης, παρότι στις πολυπληθέστερες αυτές χώρες του πλανήτη ο κατά κεφαλήν ρυθμός παραγωγής ΑΗΗΕ είναι πολύ μικρός σε σχέση με τις βιομηχανοποιημένες δυτικές κοινωνίες (λιγότερο από 1 kg ετησίως ανά κάτοικο), ο συνολικός όγκος ΑΗΗΕ που παράγεται στις χώρες αυτές σε απόλυτους αριθμούς είναι εξαιρετικά μεγάλος [3]. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι παρόλο που επί του παρόντος δεν υφίσταται κάποια σχετική

<sup>5</sup> Αναμένεται ότι ο αλματώδης ρυθμός αύξησης των ICT είναι αυτός στον οποίο εν πολλοίς θα οφείλονται αυτές οι παρατηρούμενες τάσεις.

εμπεριστατωμένη μελέτη για τις ποσότητες ΑΗΗΕ για τις περισσότερες ασιατικές χώρες, εκτιμάται ότι στο άμεσο μέλλον θα καταστούν απόβλητοι στην Ινδία περίπου 1,4 εκατομμύρια Η/Υ [9]. Επιπρόσθετες πηγές ΑΗΗΕ στις χώρες αυτές – πέραν των ιδιωτικών νοικοκυριών – αποτελούν επίσης τα απόβλητα των παραγωγών, καθώς και εισαγωγές σημαντικών ποσοτήτων ηλεκτρονικών αποβλήτων από βιομηχανοποιημένες χώρες.

Συν τοις άλλοις, η εγχώρια βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών αναδεικνύεται σε έναν ταχέως αναπτυσσόμενο τομέα αναφορικά με την παραγωγή, κατανάλωση και εξαγωγή ΗΗΕ. Την τελευταία δεκαετία, μόνον στην Ινδία εμφανίστηκαν πάνω από 150 OEMs, μαζί με περίπου 800 μικρότερους παραγωγούς, οι οποίοι δραστηριοποιούνται στην παραγωγή και συναρμολόγηση ολόκληρων συσκευών ή/και κατασκευαστικών στοιχείων. Η έντονη παρατηρούμενη δραστηριότητα όσον αφορά τη διαχείριση των ΑΗΗΕ στις χώρες αυτές αντικατοπτρίζεται μεταξύ άλλων στις δημοσιεύσεις [6,23-25].

Προς συμπλήρωση των ανωτέρω, βάσει εκτιμήσεων του Εμπρα παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 7, στον οποίο και παρουσιάζεται συνοπτικά η παραγωγή ΑΗΗΕ σε διάφορες χώρες.

**Πίνακας 7: Παραγωγή ΑΗΗΕ σε διάφορες χώρες σύμφωνα με το Εμπρα [5].**

<i>Χώρα</i>	<i>Συνολική Παραγωγή ΑΗΗΕ (tn/y)</i>	<i>Κατηγορίες Συσκευών που Συμπεριλήφθηκαν</i>	<i>Έτος</i>
Ελβετία	66.042	Εξοπλισμός γραφείου & Τηλεπικοινωνιών, Καταναλωτικά είδη, Μεγάλες & Μικρές Οικιακές Συσκευές, Ψυγεία	2003
Γερμανία	1.100.000	Εξοπλισμός γραφείου & Τηλεπικοινωνιών, Καταναλωτικά είδη, Μεγάλες & Μικρές Οικιακές Συσκευές, Ψυγεία	2005
Ηνωμένο Βασίλειο	915.000	Εξοπλισμός γραφείου & Τηλεπικοινωνιών, Καταναλωτικά είδη, Μεγάλες & Μικρές Οικιακές Συσκευές, Ψυγεία	1998
Η.Π.Α.	2.124.400	Καταναλωτικά Είδη, Εξοπλισμός Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών	2000
Ταϊβάν	14.036	Υπολογιστές, Οικιακές ηλεκτρικές συσκευές (τηλεοράσεις, πλυντήρια, συσκευές κλιματισμού, ψυγεία)	2003
Ταϊλάνδη	60.000	Υπολογιστές, Τηλεοράσεις, Πλυντήρια, Συσκευές κλιματισμού, Ψυγεία	2003
Δανία	118.000	ΗΗΕ (συμπεριλαμβανομένων ψυγείων)	1997
Καναδάς	67.000	Καταναλωτικά Είδη τηλεοράσεις), Εξοπλισμός Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών	2005

Σημειώνεται ότι δεν είναι δυνατό να λάβει χώρα μια άμεση και ακριβής σύγκριση των στοιχείων του άνωθεν πίνακα – και όχι μόνον αυτού – με τα στοιχεία που παρατέθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, καθότι για την εκτίμηση των ποσοτήτων των ΑΗΗΕ χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μεθοδολογίες, ενώ η κατηγοριοποίηση των προϊόντων ΗΗΕ είναι διαφορετική σε αυτήν την περίπτωση. Αξίζει να επισημανθεί ότι το πρόβλημα αυτό απαντάται συχνότατα, καθότι πολλές έρευνες και μελέτες δεν αναφέρουν τις πραγματοποιηθείσες παραδοχές και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των, καθιστώντας τις συνεπώς έως έναν βαθμό «μαύρο κουτί», γεγονός το οποίο δυσχεραίνει την τεκμηρίωση, αλλά και τη χρήση, των μελετών αυτών για τη διεξαγωγή νέων και τη διαμόρφωση κατάλληλων περιβαλλοντικών πολιτικών [26].

Τέλος, κλείνοντας την παράγραφο 1.3.2., πρέπει να αναφερθεί ότι όσον αφορά τα στοιχεία που παρατέθηκαν προηγουμένως για τις παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ ανά τον κόσμο, οι διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί δίδουν μια παραστατική, αν και εν πολλοίς ασαφή, εικόνα της «πρόκλησης» που αντιμετωπίζει η Ευρώπη και ο υπόλοιπος κόσμος, καταδεικνύουν την επείγουσα αναγκαιότητα μιας ενδελεχούς εκτίμησης της παρούσας, αλλά και της μελλοντικής κατάστασης, ενώ συνάμα συμβάλλουν αποφασιστικά στην εκτίμηση των δημιουργούμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων και κινδύνων, καθώς και στην υπόδειξη αποτελεσματικών μέτρων και προτάσεων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ή και την εκμετάλλευση των ευκαιριών που συνεπάγεται η παραγωγή ΑΗΗΕ.

### 1.3.3. Διάθεση των ΑΗΗΕ

Έχοντας υπόψη τις προηγούμενες υποπαραγράφους, καταδεικνύεται με σαφήνεια το μέγεθος του προβλήματος το οποίο συνιστούν τα ΑΗΗΕ. Αξίζει λοιπόν στο σημείο τούτο να αναφερθεί ότι για τη διάθεση των υφίστανται διάφορες «δίοδοι», οι οποίες εν πολλοίς ταυτίζονται με αυτές των υπολοίπων ρευμάτων αστικών αποβλήτων: υγειονομική ταφή, αποτέφρωση, αξιοποίηση (συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησης) και ανακύκλωση, αλλά και ανεξέλεγκτη διάθεση σε χωματερές. Η οδηγία 2002/96/ΕΚ, θεσμοθετεί την χωριστή συλλογή των ΑΗΗΕ από το υπόλοιπο ρεύμα των MSW (βλ. § 1.2.1.), από την άλλη όμως από ποικίλες επιστημονικές εργασίες διαπιστώνεται ότι ΑΗΗΕ μικρού μεγέθους απορρίπτονται συλλήβδην μαζί με τα οικιακά απόβλητα, ακόμη και εάν ήδη υφίστανται κατά τόπους συστήματα χωριστής συλλογής. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε **ένα κύριο έναυσμα και κίνητρο** για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, όπως θα καταστεί λίαν σαφές στο επόμενο, δεύτερο, κεφάλαιο αυτής.

Όσον αφορά την αξιοποίηση των ΑΗΗΕ, η οδηγία (άρθρο 7) προχωρά ένα βήμα παραπέρα θέτοντας συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους για την επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και αξιοποίηση των χωριστά συλλεγόμενων ΑΗΗΕ (πίνακας 8), ανά κατηγορία αυτών. Οι στόχοι αυτοί υφίστανται διαρκούς παρακολούθησης και αναμένεται η τροποποίηση των μέχρι τέλους του 2008, προς προσαρμογή με την αυξανόμενη τεχνολογική πρόοδο στον τομέα αυτό.

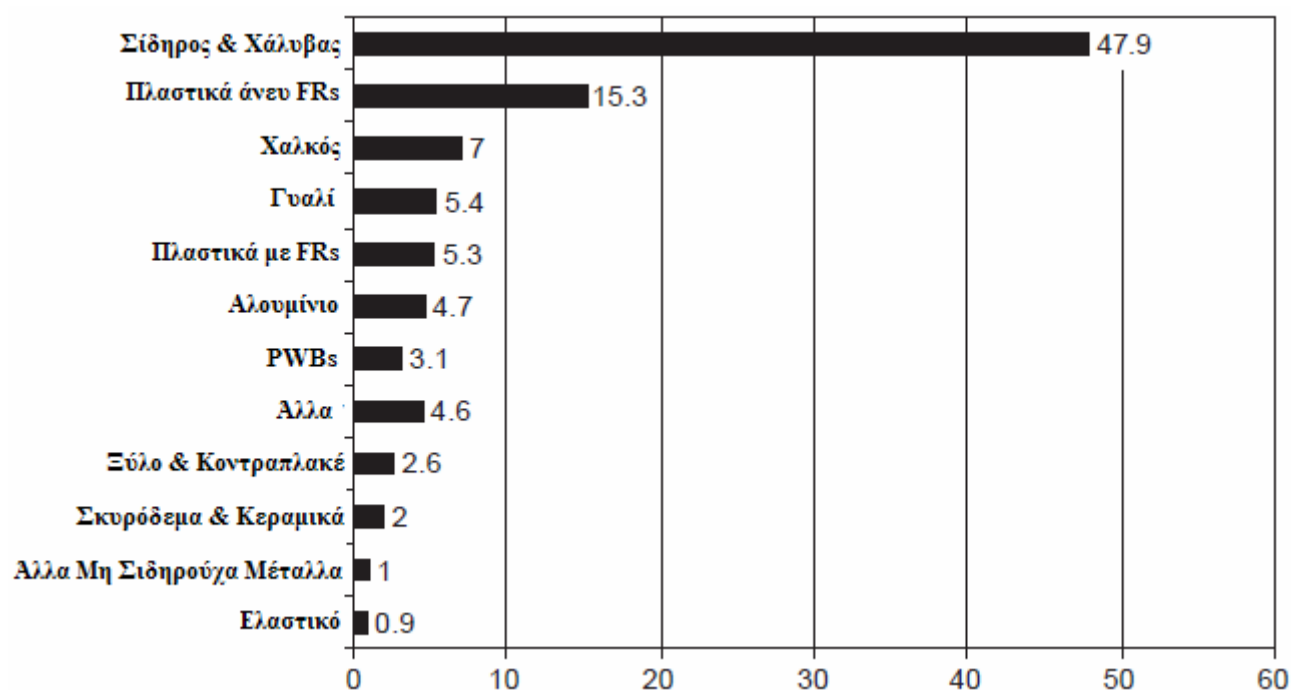
**Πίνακας 8:** Απαιτούμενος βαθμός επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης & αξιοποίησης ΑΗΗΕ ανά κατηγορία αυτών [1].

<i>Κατηγορία ΗΗΕ</i>	<i>Ελάχιστος βαθμός αξιοποίησης (% κ.β.)</i>	<i>Ελάχιστος βαθμός επαναχρησιμοποίησης &amp; ανακύκλωσης κατασκευαστικών στοιχείων, υλικών &amp; ουσιών (% κ.β.)</i>
Μεγάλες οικιακές συσκευές & Συσκευές αυτόματης διανομής	80	75
Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών & Καταναλωτικά είδη	75	65
Μικρές οικιακές συσκευές, Φωτιστικά είδη, Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού & Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	70	50
Λαμπτήρες εκκενώσεως αερίου	—	80

#### 1.4. Σύσταση των ΑΗΗΕ

Τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αποτελούν ένα από τα πλέον πολύπλοκα ρεύματα αποβλήτων όσον αφορά στη σύστασή τους, γεγονός το οποίο οφείλεται, όπως έχει προαναφερθεί (§ 1.1.), τόσο στην ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή των, όσο και στη μεγάλη πληθώρα προϊόντων ΗΗΕ, την εξέλιξη της τεχνολογίας όσον αφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τις διαδικασίες που εφαρμόζονται για την παραγωγή των προϊόντων.

Λόγω ακριβώς της μεγάλης ποικιλίας υλικών που συνιστούν τα ΑΗΗΕ, είναι εξαιρετικά δύσκολη η κατάρτιση ενός εξαντλητικού καταλόγου των συστατικών υλικών αυτού του ρεύματος αποβλήτων. Πάντως, είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση των χρησιμοποιούμενων υλικών στις εξής κατηγορίες-ομάδες κοινών συστατικών: σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, γυαλί, πλαστικά και άλλα (π.χ. ξύλο, κεραμικά υλικά κτλ.), χωρίς βέβαια να αποκλείονται κι άλλες δυνατές κατηγοριοποιήσεις. Στο κάτωθι διάγραμμα 12 παρουσιάζεται μια εκτίμηση της σύστασης των ΑΗΗΕ, βάσει του προαναφερθέντος τρόπου κατηγοριοποίησης.



Διάγραμμα 12: Σύσταση του ρεύματος των ΑΗΗΕ (% κ.β.) [3,19].

Όπως καταδεικνύεται από το ανωτέρω διάγραμμα, τα σιδηρούχα μέταλλα αποτελούν το κύριο συστατικό υλικό των ΑΗΗΕ, αποτελώντας σχεδόν το 50% κ.β. αυτών. Τα πλαστικά – είτε αυτά περιέχουν επιβραδυντές φλόγας (Flame Retardants, *FRs*), είτε όχι – αποτελούν το δεύτερο κύριο συστατικό, ενώ τα μη σιδηρούχα μέταλλα (στα οποία περιλαμβάνονται και πολύτιμα μέταλλα όπως χρυσός, άργυρος κτλ.) απαρτίζουν το 13%, και το γυαλί το 5% κ.β. των ΑΗΗΕ. Ηλεκτρονικά μέρη, όπως οι πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (Printed Wiring Boards, *PWBs*, ή Printed Circuit Boards, *PCBs*<sup>6</sup>) συνιστούν το 3,1% του βάρους των. Επίσης, οι κατηγορίες ξύλο και κοντραπλακέ (wood &

<sup>6</sup> Επισημαίνεται ότι στη συνέχεια της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιείται η συντομογραφία *PWBs* αντί της *PCBs* για τις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, προς αποφυγήν σύγχυσης με τα πολυχρωρισμένα διφαινύλια, για τα οποία

plywood), σκυρόδεμα και κεραμικά (concrete & ceramics), και ελαστικό (rubber) αντιστοιχούν σε μικρά ποσοστά.

Από την άλλη μεριά, και για λόγους σύγκρισης των στοιχείων της ανευρεθείσας βιβλιογραφίας μεταξύ των, όσον αφορά το ζήτημα της σύστασης των ΑΗΗΕ, παρατίθεται ο κάτωθι πίνακας 9. Στον πίνακα αυτόν είναι σαφής η διαφοροποίηση στη σύσταση αναφορικά με τα μέταλλα – σιδηρούχα και μη – και τα πλαστικά σε σχέση με το προηγούμενο διάγραμμα. Τα στοιχεία του πίνακα αυτού αφορούν στην κατανάλωση ΗΗΕ στη Δυτική Ευρώπη το έτος 1995.

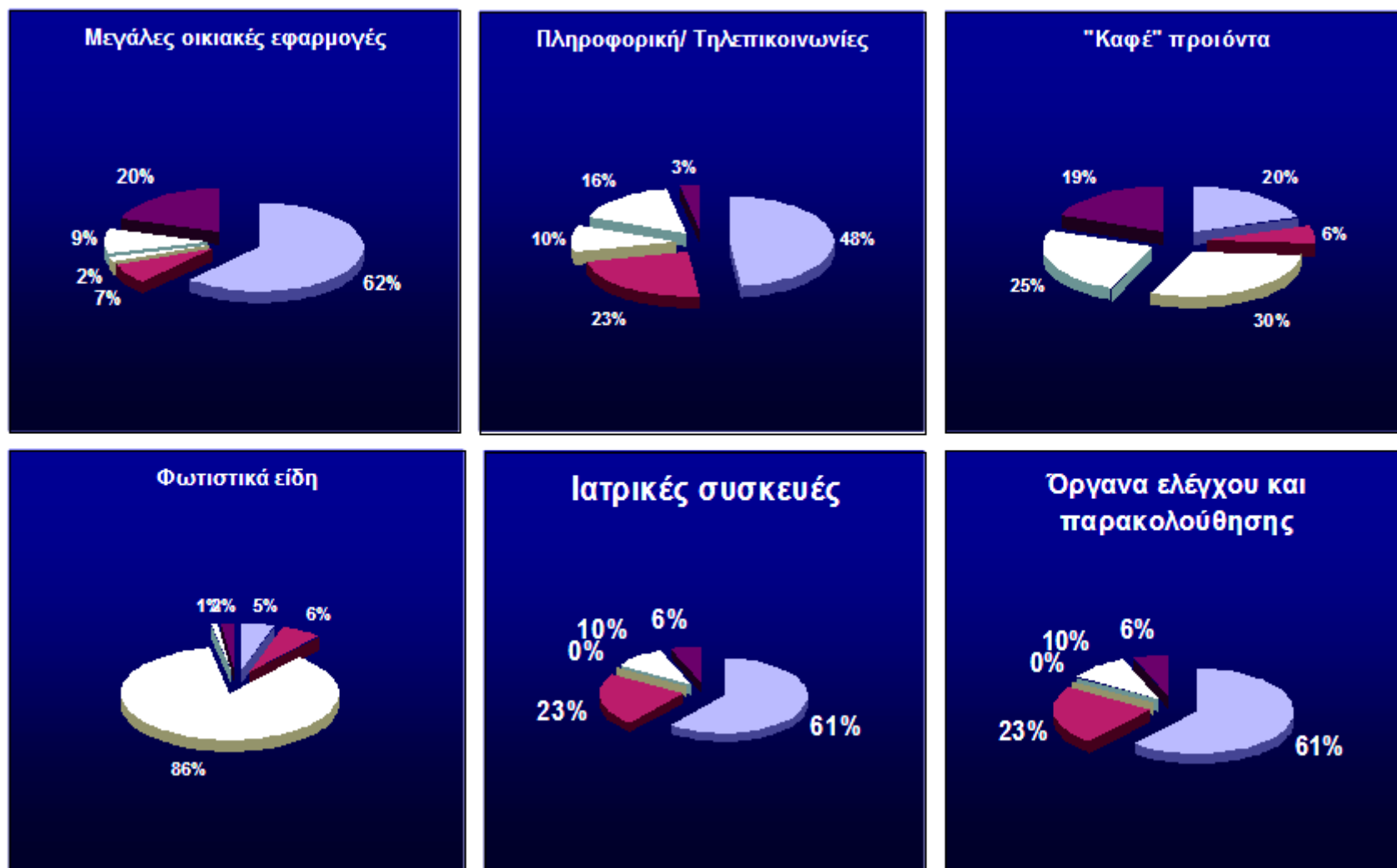
**Πίνακας 9:** Η επί τοις εκατό κ.β. σύσταση των ΑΗΗΕ [18].

<b>Υλικό</b>	<b>Ποσοστό (% κ.β.)</b>
Σιδηρούχα Μέταλλα	38
Μη Σιδηρούχα Μέταλλα	28
Πλαστικά	19
Γυαλί	4
Ξύλο	1
Άλλα	10

Επιπλέον, στην ακόλουθη εικόνα 1 απεικονίζεται μια εκτίμηση της σύστασης των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία προϊόντων [28]. Τα σιδηρούχα μέταλλα αποτελούν το κύριο συστατικό των μεγάλων οικιακών συσκευών, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζουν υψηλά ποσοστά στα προϊόντα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα απαντώνται συχνά στα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου και τον ιατρικό εξοπλισμό. Το γυαλί απαντάται κυρίως στα φωτιστικά είδη και αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ η ανακύκλωσή του είναι σχετικά εύκολη, το υψηλό ποσοστό των παρόντων σε αυτό προσμίξεων (οξειδία μετάλλων) καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την επεξεργασία και ανακύκλωση του. Τέλος, ο μεγαλύτερος όγκος πλαστικών από ΑΗΗΕ προέρχεται από τα καφέ αγαθά, ενώ υψηλά ποσοστά εμφανίζουν τόσο οι μικρές οικιακές εφαρμογές όσο και ο εξοπλισμός τηλεπικοινωνιών.

Επίσης, η σύσταση των ειδών της ICT κατηγορίας των ΑΗΗΕ καταδεικνύεται σαφέστερα στο διάγραμμα 13, όπου διαφαίνεται ότι το ICT σκραπ αποτελείται από περίπου 40% μέταλλα, 30% πλαστικά και 30% κ.β. πυρίμαχα, δύστηκτα οξειδία (refractory oxides, όπου συμπεριλαμβάνεται το γυαλί). Από τα μέταλλα, ο χαλκός αποτελεί το 20%, ο σίδηρος το 8%, ενώ τα κασσίτερος, νικέλιο, αλουμίνιο, μόλυβδος, ψευδάργυρος, άργυρος, χρυσός και παλλάδιο μικρότερα ποσοστά [29].

Όσον αφορά τη σύσταση μικρών ΑΗΗΕ (small WEEE ή sWEEE), στη βιβλιογραφία υπάρχουν έρευνες οι οποίες ασχολούνται ειδικά με το θέμα αυτό. Στο διάγραμμα 14 απεικονίζεται η σύσταση των μικρών ΑΗΗΕ ανά ομάδες υλικών, όπως αυτή αναφέρεται από τους Morf et al [30]. Προς κατάρτιση του μελετήθηκε η τροφοδοσία και τα τελικά προϊόντα υλικά μιας μονάδας ανακύκλωσης ΑΗΗΕ η οποία βρίσκεται στην Ελβετία. Κατηγορίες ΗΗΕ που συμπεριλήφθησαν ήταν μικρές οικιακές συσκευές, εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, καθώς και καταναλωτικά είδη.

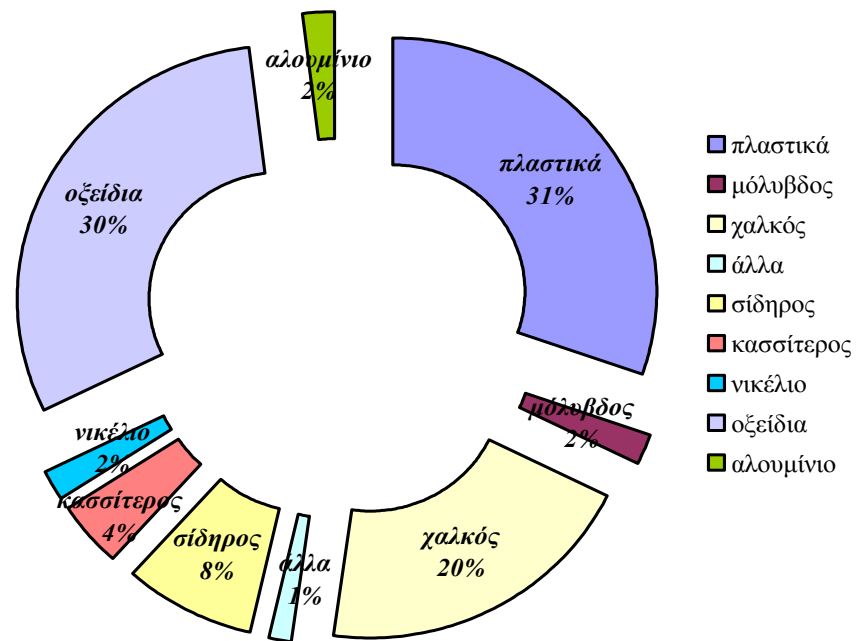


Εικόνα 1: Η ποσοστιαία σύσταση των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία προϊόντων [4,28].



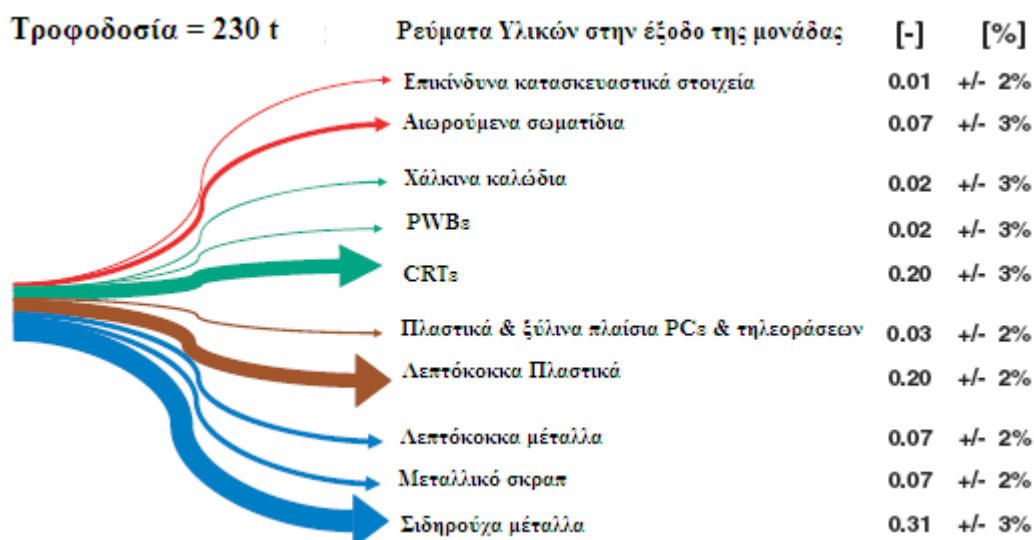


Εικόνα 1 (συνέχεια): Η ποσοστιαία σύσταση των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία προϊόντων [4,28].



Διάγραμμα 13: Η σύσταση της ICT κατηγορίας των ΑΗΗΕ [29].

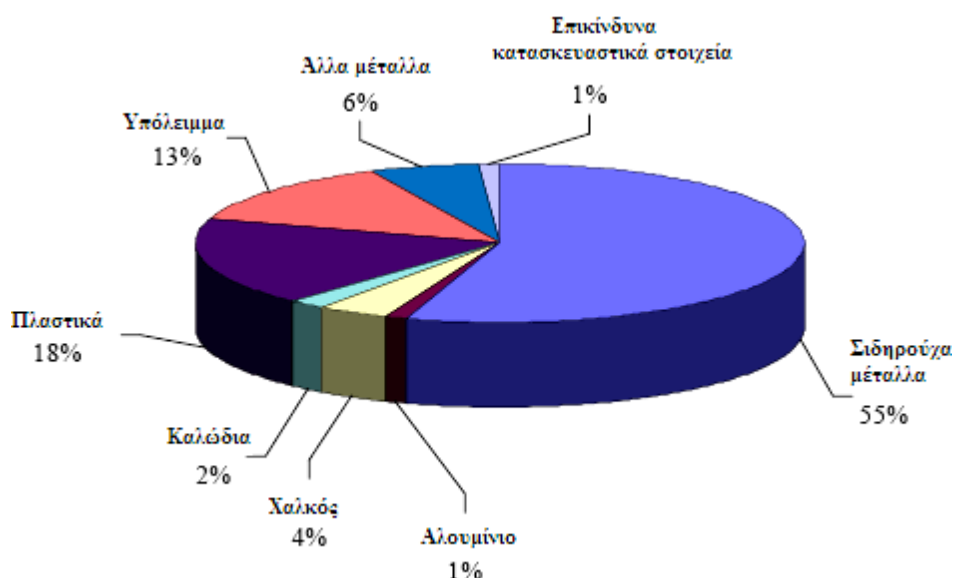




**Διάγραμμα 14:** Σύσταση των μικρών ΑΗΗΕ, με βάση την τροφοδοσία & τα τελικά προϊόντα μιας μονάδας ανακύκλωσης των [30].

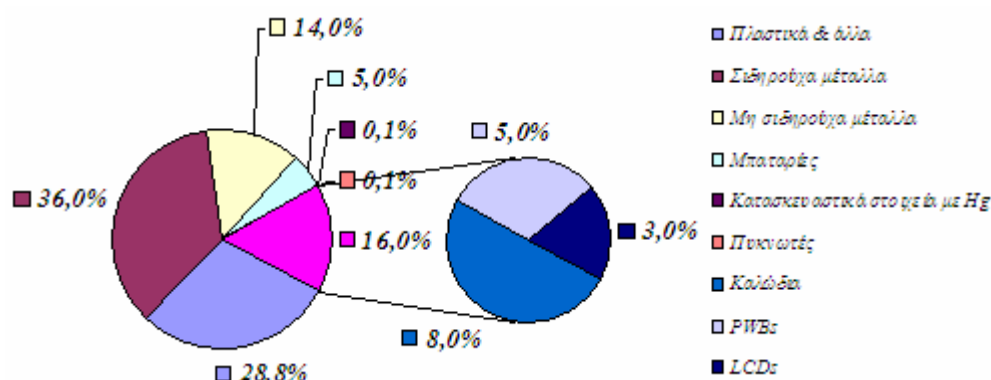
Στο άνωθεν διάγραμμα ως [-] υποδηλώνεται το κ.β. ποσοστό στη συνολική σύσταση του εκάστοτε κλάσματος στην αρχική τροφοδοσία των 230 τόνων, ενώ ως [+] το % πιθανό σφάλμα των εκτιμήσεων.

Επίσης, το διάγραμμα 15 καταδεικνύει το μερίδιο διαφόρων υλικών στη μέση σύσταση των sWEEE, μετά από απομάκρυνση των επικινδύνων κατασκευαστικών στοιχείων (π.χ. μπαταρίες ή συσσωρευτές), μείωση μεγέθους και επακόλουθο διαχωρισμό των κλασμάτων μεταξύ των [31].



**Διάγραμμα 15:** Μέση σύσταση των sWEEE (% κ.β.) [31].

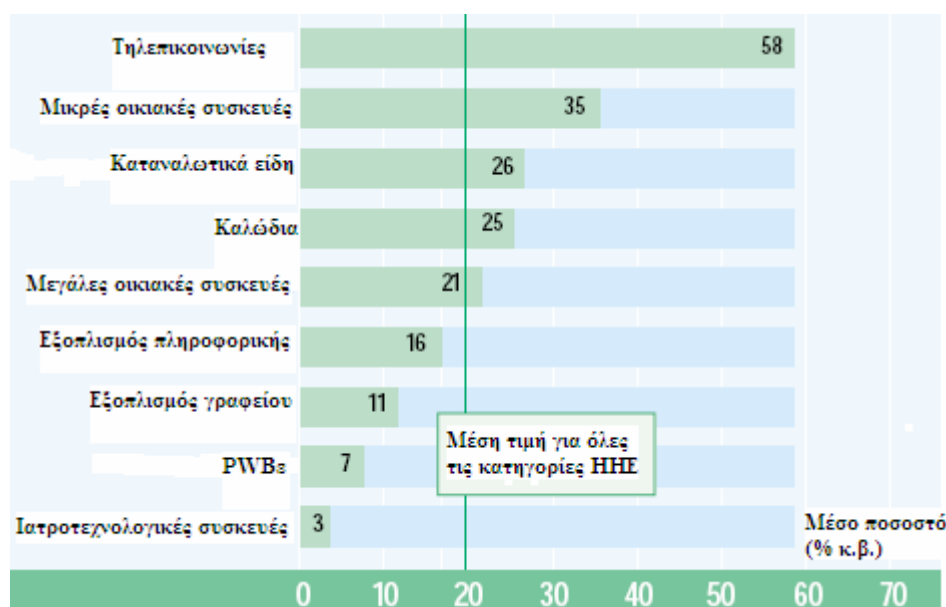
Ομοίως, στο διάγραμμα 16 παρουσιάζεται ξανά η σύσταση των sWEEE. Τα στοιχεία αυτά βασίζονται σε δεδομένα προερχόμενα από μονάδες αποσυναρμολόγησης ΑΗΗΕ στη Γερμανία. Σημειώνεται ότι η εκτίμηση αυτή (όπως και οι προηγούμενες) δεν μπορεί να θεωρηθεί ως 100% ακριβής.



Διάγραμμα 16: Μέση σύσταση των μικρών ΑΗΗΕ (% κ.β.) [32].

Από τις διαφορές που εμφανίζονται στα παραπάνω διαγράμματα διαφαίνεται ότι η σύσταση των ΑΗΗΕ δεν δύναται να εκτιμηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανά στο μικρό εύρος δειγμάτων που λαμβάνονται από τις εκάστοτε μελέτες, τις παραδοχές και υποθέσεις που πραγματοποιούνται κ.α. Ακόμη, η μέση σύσταση των ΑΗΗΕ αλλάζει με το χρόνο, αντικατοπτρίζοντας νέες τάσεις στον τομέα της παραγωγής κτλ. Αναφέρεται επί παραδείγματι ότι το ποσό των πλαστικών στα ΑΗΗΕ ολοένα και αυξάνεται, ενώ μειώνεται αντίστοιχα αυτό των μετάλλων [32].

Λόγω λοιπόν του ότι τα πλαστικά αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στα ΑΗΗΕ – τα ποσοστά των έχουν αυξηθεί και προβλέπεται ότι θα συνεχίσουν να αυξάνονται. Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια διεξοδικότερα στοιχεία σχετικά με τις ποσότητες και τις διάφορες χρήσεις των. Κατ' αρχάς λοιπόν, στο κάτωθι διάγραμμα 17 παρουσιάζεται μια εκτίμηση του ποσοστού που καταλαμβάνουν επί της σύστασης του ΗΗΕ, ανά κατηγορία αυτού [33].



Διάγραμμα 17: Ποσοστά χρήσεις πλαστικών ανά κατηγορία ΗΗΕ [33].

Όπως διαφαίνεται, η ευρύτερη χρήση λαμβάνει χώρα στην ICT κατηγορία. Σημειώνεται ότι για το έτος 1999 στη Δυτική Ευρώπη εκτιμάται ότι τα απορριπτόμενα πλαστικά ΑΗΗΕ ήταν συνολικά 730.000 τόνοι, ενώ σήμερα το 7,5% της παραγωγής πλαστικών στη Γερμανία προορίζεται για είδη ΗΗΕ. Συνεπεία επίσης των ποικίλων εφαρμογών<sup>7</sup>, εμφανίζεται μια πληθώρα χρησιμοποιούμενων

<sup>7</sup> Για μια ηλεκτρική οδοντόβουρτσα τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά έγκεινται σε αντοχή στην υγρασία, ενώ για μια τηλεόραση σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Επίσης, για χρήση σε PWBs απαιτείται ικανότητα ηλεκτρικής

τύπων πλαστικών, όπου εκτιμάται ότι ανέρχονται σε περίπου 70 [33]. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι πολυμερών που εφαρμόζονται σε ΗΗΕ, τα επιμέρους ποσοστά χρήσης των, καθώς και τα προϊόντα στα οποία συνήθως απαντώνται.

**Πίνακας 10:** Οι διάφορες εφαρμογές των πλαστικών σε είδη ΗΗΕ [33].

Τύπος πλαστικού	Ποσοστό (%) επί της συνολικής κατανάλωσης πλαστικών σε ΗΗΕ	Συνήθεις εφαρμογές
PP (πολυπροπυλένιο)	14	Εξαρτήματα πλυντηρίων, πλαίσια σε small HH
PS (πολυστυρόλιο)	14	Εξαρτήματα ψυγείων, πλαίσια σε small HH, ICT & CE
Εποξειδικές & ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες	13	PWBs, πυκνωτές
PE (πολυαιθυλένιο)	12	ICT, μόνωση καλωδίων
PVC	12	Μόνωση καλωδίων, φics, ψυγεία
ABS <sup>8</sup>	10	Πλαίσια τηλεφώνων, small HH, οθονών
PA (πολυαμίδιο)	9	Φωτιστικά είδη, small HH, διακόπτες, ρελαί
PUR (πολυουρεθάνη)	5	Μονωτικό υλικό σε ψυγεία, καλώδια, φics, πλυντήρια
PET (πολυτερεφθαλικός αιθυλεστέρας)	2	Φωτιστικά είδη, ηλεκτρικά κυκλώματα, μετασχηματιστές
PMMA (πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας)	1	Φωτιστικά είδη, οθόνες κινητών τηλεφώνων
Άλλα θερμοπλαστικά (π.χ. PBT <sup>9</sup> , POM <sup>10</sup> )	8	ICT, πλαίσια, φωτιστικά είδη

Ένα επιπλέον μείζονος σημασίας ζήτημα όσον αφορά τα πλαστικά αποτελεί η μεγάλη πληθώρα προσθέτων που δύνανται να περιέχουν π.χ. επιβραδυντικά φλόγας, σταθεροποιητές, πιγμέντα, πλαστικοποιητές κτλ. Μέσω της προσθήκης των δύνανται να μεταβληθούν προς την επιθυμητή κατεύθυνση οι μηχανικές, φυσικοχημικές και οπτικές ιδιότητες των παραγόμενων πολυμερών. Μερικά εκ των κυριότερων αυτών προσθέτων παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα 11.

**Πίνακας 11:** Παραδείγματα προσθέτων σε πλαστικά υλικά [34].

<b>Πιγμέντα</b>	λευκό	TiO <sub>2</sub> , ZnO, ZnS
	μαύρο	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Cu(Cr,Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
	κόκκινο	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cd(Se,S)
	κίτρινο	(Ti,Ba,Sb)O <sub>2</sub> , (Ti,Ni,Sb)O <sub>2</sub> , (Cd,Zn)S, PbCrO <sub>4</sub>
	μπλε	(Co,Al,Cr)O
	πράσινο	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (Co,Al,Ti,Ni,Zn)O
<b>Επιβραδυντικά φλόγας</b>	οργανικά	Ενώσεις περιέχοντες P, Cl ή Br
	ανόργανα	Al(OH) <sub>3</sub> , NaAl(OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Zn(BO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> *H <sub>2</sub> O
	συνεργιστικά	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Σταθεροποιητές</b>		Οργανικές κασσιτερικές ενώσεις
	καρβοξυλικά άλατα ή λίπη	Ενώσεις περιέχοντες Ba, Cd, Zn ή Pb

Επισημαίνεται επίσης ότι:

- ◇ η πληθώρα προσθέτων δυσχεραίνει την ανακύκλωση αποβλήτων πλαστικών,

μόνωσης, ενώ για χρήση σε πλυντήρια πιάτων και ρούχων αντοχή σε θερμοκρασίες ανώτερες των 95 °C και στην προσβολή από επιφανειακά ενεργές ουσίες [33].

<sup>8</sup> Ομάδα πλαστικών αποτελούμενη από συμπολυμερή ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρολίου.

<sup>9</sup> Πολυτερεφθαλικός βουτυλεστέρας

<sup>10</sup> Πολυφορμαλδεΐδη

- ◇ πλαστικά περιέχοντα απαγορευμένες ουσίες (λόγω π.χ. νεότερων νομοθετημάτων), καθώς και πλαστικά περιέχοντα ουσίες που προκαλούν ή καταλύουν το σχηματισμό απαγορευμένων ουσιών κατά την ανακύκλωση, δεν επιτρέπεται να ανακυκλώνονται
- ◇ ορισμένα πρόσθετα δύνανται να επηρεάσουν προς ανεπιθύμητη κατεύθυνση τις ιδιότητες του νέου ανακυκλωμένου πολυμερούς.

Σχετικά με την ενδεχόμενη επικινδυνότητα των ανωτέρω προσθέτων, περισσότερα παρατίθενται στην § 1.4.1.2. που έπεται.

Τέλος, στην παραπομπή [35] παρατίθεται ένας διεξοδικός κατάλογος των συστατικών που περιέχονται στα προϊόντα των 10 υποκατηγοριών ΑΗΗΕ, όπως αυτές ορίζονται στο Παράρτημα ΙΑ της οδηγίας 2002/96/ΕΚ. Σημειώνεται πάντως ότι λόγω της μεγάλης ποικιλίας των εφαρμογών των ειδών ΗΗΕ και των αντιστοίχως παραγόμενων αποβλήτων, ο πίνακας αυτός αναφέρεται ότι δεν είναι ούτε εξαντλητικός, αλλά ούτε και πλήρης.

### 1.4.1. Ταξινόμηση & Επικινδυνότητα των ΑΗΗΕ

#### 1.4.1.1. Ταξινόμηση των ΑΗΗΕ ως απόβλητα

Σύμφωνα με τον αναθεωρημένο Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων<sup>11,12</sup> (ΕΚΑ, European Waste Catalogue, *EW*C), τα ΑΗΗΕ κατηγοριοποιούνται και προσδιορίζονται κατ' αρχήν με τον τετραψήφιο κωδικό 16 02 [36]. Σημειώνεται ότι η υποκατηγορία με τον διψήφιο αριθμό 16 αναφέρεται στα απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως στον κατάλογο, και σε αυτήν ανήκουν, πέρα από τα ΑΗΗΕ, τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, απόβλητα εκρηκτικών κτλ.. Σύμφωνα με το παράρτημα της απόφασης 2001/118/ΕΚ – το οποίο και αντικατέστησε αυτό της 2000/532/ΕΚ – τα απόβλητα από ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό προσδιορίζονται ως εξής (πίνακας 12):

**Πίνακας 12:** Κωδικοποίηση των ΑΗΗΕ σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, βάσει της απόφασης 2001/118/ΕΚ [36].

16 02	Απόβλητα από Ηλεκτρικό & Ηλεκτρονικό Εξοπλισμό
16 02 09 <sup>*13</sup>	Μετασχηματιστές και πυκνωτές που περιέχουν PCB
16 02 10*	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει PCB ή έχει μολυνθεί από παρόμοιες ουσίες άλλος από τον αναφερόμενο στο σημείο 16 02 09
16 02 11*	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες HCFC, HFC

<sup>11</sup> Με βάση την προσπάθεια για κοινή στρατηγική στο θέμα της διαχείρισης των αποβλήτων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων με την απόφαση 94/3/ΕΚ. Ο ΕΚΑ είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός κατάλογος αποβλήτων, ο οποίος αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα βάσει νέων γνώσεων και ιδίως ερευνητικών αποτελεσμάτων, και εφόσον είναι απαραίτητο ανασκευάζεται. Ο ΕΚΑ αποτελεί σήμερα ονοματολογία αναφοράς, παρέχοντας κοινή για όλη την Κοινότητα ορολογία, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποβλήτων. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι ένα υλικό που περιλαμβάνεται στον ΕΚΑ δεν είναι απόβλητο υπό οιοσδήποτε συνθήκες. Ο όρος είναι δόκιμος μόνο όταν ικανοποιείται ο ορισμός του αποβλήτου βάσει του άρθρου 1, στοιχείο α) της Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ. Επίσης, η αρχική μορφή του ΕΚΑ ανανεώνεται συνεχώς. Στις 3 Μαΐου 2000 έλαβε χώρα η κατάργηση και αντικατάσταση της Απόφασης 94/3/ΕΚ από την 2000/532/ΕΚ, η οποία στη συνέχεια τροποποιήθηκε με τις αποφάσεις 2001/118/ΕΚ, 2001/119/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ.

<sup>12</sup> Με την απόφαση 94/904/ΕΚ του συμβουλίου της 22<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 1994 αποφασίσθηκε η κατάρτιση καταλόγου επικινδύνων αποβλήτων (ΚΕΑ, Hazardous Waste List, *HW*L)) κατ' εφαρμογή του άρθρου 1 παράγραφος 4 της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ (η οποία αναφέρεται και ως Hazardous Waste Directive, *HW*D) για τα επικίνδυνα απόβλητα, όπου ως επικίνδυνα νοούνται τα απόβλητα που περιλαμβάνονται στον αντίστοιχο κατάλογο, και έχουν μία ή περισσότερες από τις ιδιότητες που απαριθμούνται στο παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας. Οι ΕΚΑ και ΚΕΑ στη συνέχεια συνδυάστηκαν με τον αναθεωρημένο ΕΚΑ (revised EWC 2002, απόφαση 2000/532/ΕΚ και μετέπειτα τροποποιήσεις αυτής, βλ. προηγούμενη υποσημείωση) [37].

<sup>13</sup> Τα απόβλητα που περιλαμβάνονται στον κατάλογο και επισημαίνονται με αστερίσκο (\*) είναι επικίνδυνα απόβλητα σύμφωνα με την οδηγία 91/689/ΕΟΚ για τα επικίνδυνα απόβλητα.

16 02 12*	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει ελεύθερο αμιάντο
16 02 13*	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία άλλος από τους αναφερόμενους στα σημεία 16 02 09 έως 16 02 12
16 02 14	Απορριπτόμενος εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 16 02 09 έως 16 02 13
16 02 15*	Επικίνδυνα συστατικά στοιχεία που έχουν αφαιρεθεί από απορριπτόμενο εξοπλισμό
16 02 16	Επικίνδυνα συστατικά στοιχεία που έχουν αφαιρεθεί από απορριπτόμενο εξοπλισμό άλλα από αυτά που αναφέρονται στο σημείο 16 02 15

Ως υποσημείωση στον κωδικό 16 02 13, αναφέρεται ότι επικίνδυνα κατασκευαστικά στοιχεία από ΗΗΕ μπορεί να περιλαμβάνουν συσσωρευτές και μπαταρίες που αναφέρονται στο σημείο 16 06 (μπαταρίες & συσσωρευτές) και τα οποία επισημαίνονται ως επικίνδυνα απόβλητα, διακόπτες υδραργύρου, γυαλί από καθοδικούς σωλήνες και άλλες μορφές ενεργοποιημένης υάλου κ.λπ.. Επιπροσθέτως, σημειώνεται ότι στις κατηγορίες με τον κωδικό 16 και 20 – μπαταρίες και συσσωρευτές, και δημοτικά απόβλητα, οικιακά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα, περιλαμβανομένων μερών χωριστά συλλεγμένων, αντίστοιχα – ταξινομούνται τα εξής απόβλητα που δύναται κάλλιστα να περιέχονται στα ΑΗΗΕ (πίνακας 13):

**Πίνακας 13:** Απόβλητα τα οποία δύνανται να περιέχονται στα ΑΗΗΕ [36].

16 06 01*	Μπαταρίες μολύβδου
16 06 02*	Μπαταρίες Ni-Cd
16 06 03*	Μπαταρίες που περιέχουν υδράργυρο
16 06 04	Αλκαλικές μπαταρίες (εκτός από το σημείο 16 06 03)
16 06 05	Άλλες μπαταρίες και συσσωρευτές
16 06 06*	Ιδιαίτερα συλλεγνέτες ηλεκτρολύτες μπαταριών & συσσωρευτών
20 01 21*	Σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο
20 01 23*	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
20 01 35*	Απορριπτόμενος ΗΗΕ άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21 & 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία
20 01 36	Απορριπτόμενος ΗΗΕ άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21, 20 01 23 και 20 01 35

#### 1.4.1.2. Επικινδυνότητα των ΑΗΗΕ

Στο Παράρτημα II της οδηγίας 2002/96/EK παρατίθενται τα κατασκευαστικά στοιχεία ΗΗΕ που πρέπει να αφαιρούνται από το ρεύμα των ΑΗΗΕ, καθώς περιέχουν επικίνδυνες ουσίες. Στον ακόλουθο πίνακα 14 παρατίθενται τα εν λόγω κατασκευαστικά μέρη, η κωδικοποίησή των βάσει του ΕΚΑ και του ΚΕΑ, καθώς και οι επικίνδυνες ουσίες που περιέχουν.

**Πίνακας 14:** Υλικά και κατασκευαστικά στοιχεία ΗΗΕ, τα οποία θα πρέπει να αφαιρούνται από το ρεύμα των ΑΗΗΕ, επικίνδυνες ουσίες που περιέχουν και κωδικοποίηση των βάσει του ΕΚΑ [1,35].

Κατασκευαστικό στοιχείο-εξάρτημα	Επικίνδυνη Ουσία	Κωδικοποίηση
Πυκνωτές που περιέχουν πολυχλωριωμένα διφαινύλια	PCB	16 02 09* M <sup>14</sup>

<sup>14</sup> Η επισήμανση M ή A, αντιστοιχεί σε κατηγοριοποίηση των εν λόγω στοιχείων ΑΗΗΕ ως *absolute* και *mirror entry*, αντίστοιχα, στον ΕΚΑ και τον ΚΕΑ όσον αφορά την επικινδυνότητα των. Η επισήμανση M υποδηλώνει ότι το απόβλητο είναι «απολύτως» επικίνδυνο ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση των επικίνδυνων ουσιών σε αυτό. Η επισήμανση A υποδηλώνει ότι το απόβλητο είναι επικίνδυνο μονάχα εάν η συγκέντρωση των επικίνδυνων ουσιών σε αυτό είναι μεγαλύτερη ή ίση από την οριακή τιμή (Threshold Limit Value, *TLV*) των εν λόγω ουσιών («δυνάμει επικίνδυνα» απόβλητα). Λόγω του ότι ένας ικανός αριθμός ουσιών, ενώσεων και στοιχείων ΑΗΗΕ που παρατίθενται στον ΕΚΑ επισημαίνονται ως «δυνάμει επικίνδυνα» απόβλητα, θα πρέπει να εκτιμάται η επικινδυνότητα των, ούτως ώστε να καθορίζεται το εάν αυτά κατατάσσονται ή όχι στα επικίνδυνα απόβλητα [35,38].



Κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν υδράργυρο, όπως διακόπτες και οπισθοφωτιστικές λυχνίες	Hg	16 01 08* M
Μπαταρίες	Βαρέα μέταλλα όπως Pb, Cd και Hg	16 06 01* A 16 06 02* A 16 06 03* A
Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων <sup>15</sup> από κινητά τηλέφωνα εν γένει και από άλλες συσκευές, εάν η επιφάνεια της πλακέτας υπερβαίνει τα 10 cm <sup>2</sup>	BFRs <sup>16</sup> , Be, Pb, Hg	16 02 13* M
Δοχεία υγρών ή κολλωδών μελανιών καθώς και έγχρωμων		16 02 15* ή 16 02 16
Πλαστικά υλικά που περιέχουν βρωμιούχους φλογοεπιβραδυντές	BFRs	16 02 15* ή 16 02 16
Αμιαντούχα απόβλητα και κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν αμιάντο	Αμιάντος	16 02 12* M
Καθοδικές λυχνίες	Pb, φωσφόροι στο φθορίζον επίχρισμα	16 02 15* A
CFCs, HCFCs, HFCs & HCs	ODS <sup>17</sup>	16 02 11* M ή 20 01 23* M
Λαμπτήρες εκκένωσης αερίων	Hg	20 01 21* A
Οθόνες υγρών κρυστάλλων <sup>18</sup> , η επιφάνεια των οποίων υπερβαίνει τα 100 cm <sup>2</sup> & οθόνες φωτιζόμενες από το πίσω μέρος τους με λαμπτήρες εκκένωσης αερίων	Hg, υγροί κρύσταλλοι	16 02 13* M
Εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια	BFRs, πλαστικοποιητές <sup>19</sup>	16 02 13* M
Κατασκευαστικά στοιχεία με πυρίμαχες κεραμικές ίνες	RCFs <sup>20</sup>	16 02 13* M
Κατασκευαστικά στοιχεία με ραδιενεργές ουσίες	Ραδιονουκλίδια	
Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες <sup>21</sup> , με ύψος & διάμετρο > 25mm ή ανάλογο όγκο		16 02 15* A ή 16 02 16

Σημειώνεται ότι για τις καθοδικές λυχνίες, τους χλωροφθοράνθρακες και τους λαμπτήρες εκκένωσης αερίων ορίζεται κατάλληλος τρόπος επεξεργασίας στο παράρτημα II της 2002/96/EK.

Επιπλέον, όσον αφορά διεθνείς πρωτοβουλίες, οι οποίες έχουν να κάνουν με τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, αυτά διέπονται και από τη συνθήκη της Βασιλείας (Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal), η οποία συντάχθηκε το 1989 και η έναρξη της ισχύος της έλαβε χώρα το 1992. Τα ΑΗΗΕ, καθώς και ουσίες, συστατικά και κατασκευαστικά στοιχεία των, καλύπτονται από τη συνθήκη αυτή (πίνακας 15), καθώς θεωρούνται επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον [3]. Η συνθήκη της Βασιλείας διέπει κυρίως τη διασυνοριακή μεταφορά των επικίνδυνων αποβλήτων.

<sup>15</sup> Πλακέτες μικρότερου εμβαδού πιθανώς καλύπτονται από την HWD. Προς το παρόν όμως παραμένει άγνωστο το ακριβές περιεχόμενο των σε επικίνδυνες ουσίες.

<sup>16</sup> BFRs: Brominated Flame Retardants, βρωμιωμένα (ή βρωμιούχα) επιβραδυντικά φλόγας. Δεν υφίστανται προς το παρόν φράσεις R (risk phrases) για την επισήμανση των BFRs (πλήρης κατάλογος των υφιστάμενων φράσεων R δύναται να ανευρεθεί μεταξύ άλλων στην παραπομπή [37] και την οδηγία 2001/59/EK, παράρτημα III [39]).

<sup>17</sup> ODS: Ozone Depleting Substances, ουσίες οι οποίες προκαλούν μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος.

<sup>18</sup> Liquid Crystal Displays (LCDs). Οθόνες μικρότερες από αυτές που καλύπτονται από την 2002/96/EK πιθανότατα καλύπτονται από την HWD, πάντως αναφέρεται ότι απαιτείται η διερεύνηση του περιεχομένου των σε υδράργυρο.

<sup>19</sup> Οι εστέρες του φθαλικού οξέος που χρησιμοποιούνται ως πλαστικοποιητές να μην διαθέτουν φράσεις R, δεν είναι όμως γνωστή η % κ.β. σύσταση των πλαστικών σε αυτούς.

<sup>20</sup> RCFs: Refractory Ceramic Fibres, πυρίμαχες κεραμικές ίνες ειδικών εφαρμογών. Τεχνητές υαλώδεις (πυριτικές) ίνες άτακτου προσανατολισμού, με περιεκτικότητα σε οξειδία αλκαλίων και αλκαλικών γαιών (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, BaO) κατώτερη ή ίση του 18% κ.β.. Αναφέρεται ότι απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της έκτασης της χρησιμοποίησης των RCFs, καθώς και των ορυκτών ινών (mineral wools) – ομοίως τεχνητές υαλώδεις (πυριτικές) ίνες ειδικών εφαρμογών άτακτου προσανατολισμού, με περιεκτικότητα όμως σε οξειδία αλκαλίων και αλκαλικών γαιών ανώτερη του 18% κ.β. – στις μονώσεις οικιακών συσκευών [35].

<sup>21</sup> Απαιτείται διευκρίνιση επί των εν λόγω επικίνδυνων ουσιών.

**Πίνακας 15:** Ουσίες, συστατικά και κατασκευαστικά στοιχεία ΑΗΗΕ, τα οποία διέπονται από τη συνθήκη της Βασιλείας [40].

	<b>Κωδικός</b>	<b>Περιγραφή</b>
<b>Παράρτημα Ι</b>	Y20	Βηρύλλιο & ενώσεις του
	Y25	Σελήνιο & ενώσεις του
	Y26	Κάδμιο & ενώσεις του
	Y27	Αντιμόνιο & ενώσεις του
	Y29	Υδράργυρος & ενώσεις του
	Y31	Μόλυβδος & ενώσεις του
	Y36	Σκόνη & ίνες αμιάντου
	Y45	Αλογονωμένες οργανικές ενώσεις
<b>Παράρτημα VIII</b>	A1010	Απόβλητα μέταλλα και απόβλητα αποτελούμενα από κράματα των: Sb, As, Be, Cd, Pb, Hg, Se, Te, Tl
<b>Κατάλογος Α</b>	A1020	Απόβλητα, τα οποία έχουν ως συστατικά ή μολυντές οιαδήποτε εκ των Sb, Be, Cd, Pb, Se, Te και των ενώσεων των, εξαιρουμένων αποβλήτων μετάλλων σε ογκώδη μορφή (massive form)
	A1030	Απόβλητα, τα οποία έχουν ως συστατικά ή μολυντές οιαδήποτε εκ των As, Hg, Tl
	A1090	Τέφρα προερχόμενη από την αποτέφρωση μονωμένων χάλκινων καλωδιώσεων
	A1150	Τέφρα περιέχουσα πολύτιμα μέταλλα, προερχόμενη από την αποτέφρωση πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων
	A1170	Αταξινόμητες απόβλητες μπαταρίες
	A1180	ΑΗΗΕ ή scrap, τα οποία περιέχουν συστατικά όπως συσσωρευτές και άλλες μπαταρίες που περιλαμβάνονται στο σημείο A1170, διακόπτες υδραργύρου, γυαλί από καθοδικές λυχνίες και άλλες μορφές ενεργοποιημένης υάλου και πυκνωτές περιέχοντες PCBs, ή έχουν μολυνθεί με ουσίες (π.χ. Cd, Pb, Hg, PCBs) που αναφέρονται στο παράρτημα Ι
	A2010	Απόβλητο γυαλί από καθοδικές λυχνίες και άλλες μορφές ενεργοποιημένης υάλου
	A3180	Απόβλητα, ουσίες και αντικείμενα, τα οποία περιέχουν ή αποτελούνται από ή έχουν ρυπανθεί με PCB, PCT, PCN ή PBB <sup>22</sup> , ή οιαδήποτε άλλα βρωμιωμένα ανάλογα των ενώσεων αυτών, σε συγκέντρωση $\geq 50$ mg/kg

Τα βαρέα μέταλλα, όπως π.χ. Pb, Hg, Cd, Cr(VI), αλογονωμένες ενώσεις (π.χ. τα CFCs), PCBs, καθώς και πλαστικά και PWBs που περιέχουν BFRs θεωρούνται ως τα πλέον επικίνδυνα συστατικά στοιχεία των ΑΗΗΕ. Επιπροσθέτως, άλλα επικίνδυνα συστατικά που πιθανώς περιέχονται στα ΑΗΗΕ είναι τα: αμιάντος, αρσενικό, νικέλιο και χαλκός (δρα ως καταλύτης για το σχηματισμό διοξινών κατά την αποτέφρωση). Ακολούθως λαμβάνει χώρα η περιγραφή, των επικινδύνων ουσιών και συστατικών που ανευρίσκονται σε κατασκευαστικά στοιχεία και εξαρτήματα προϊόντων ΗΗΕ, όπου κάποια εξ αυτών χρίζουν απομάκρυνσης βάσει της 2002/96/ΕΚ.

#### 1.4.1.2.1. Πυκνωτές

Από την οδηγία 2002/96/ΕΚ, παράρτημα ΙΙ, απαιτείται η αφαίρεση από τα ΑΗΗΕ των πυκνωτών που περιέχουν PCBs, καθώς και των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών μεγέθους πέραν ενός ορισμένου ορίου, οι οποίοι περιέχουν επικίνδυνες ουσίες (substances of concern στο αγγλικό κείμενο της οδηγίας). Χρειάζεται περαιτέρω διευκρίνιση επί των εν λόγω επικινδύνων ουσιών, ενώ συν τοις άλλοις, από την οδηγία 2002/95/ΕΚ<sup>23</sup>, η οποία και αφορά στον περιορισμό της χρήσης ορισμένων

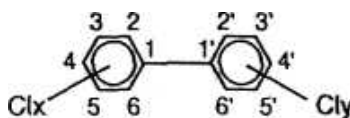
<sup>22</sup> PCT: polychlorinated terphenyl, πολυχλωριωμένο τριφαινύλιο. PCN: polychlorinated naphthalene, πολυχλωριωμένο ναφθαλένιο. PBB: polybrominated biphenyl, πολυβρωμιωμένο διφαινύλιο.

<sup>23</sup> Η οδηγία αυτή αναφέρεται στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία και ως RoHS (Restriction on Hazardous Substances) Directive.

επικίνδυνων ουσιών σε είδη ΗΗΕ, δεν τίθεται κάποιος περιορισμός σχετικά με τις εν λόγω ουσίες [41].

#### 1.4.1.2.1.1. Πυκνωτές που περιέχουν PCBs

Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια ανήκουν στην κατηγορία των ρύπων οι οποίοι στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως Επίμονοι Οργανικοί Ρύποι (Persistent Organic Pollutants, *POPs*). Αποτελούν συνθετικές χημικές ενώσεις, με γενικό χημικό τύπο ο οποίος παρουσιάζεται στο κάτωθι σχήμα 1.



**Σχήμα 1:** Ο γενικός χημικός τύπος των PCBs [42].

Άτομα χλωρίου μπορούν να συνδεθούν με οποιοδήποτε από τα 10 ελεύθερα άτομα άνθρακα του διφαινυλίου, κι έτσι τα PCBs συνιστούν θεωρητικά μια ομάδα ενώσεων αποτελούμενη από 209 διακριτά μέλη, αν και στην πράξη μονάχα 130 ενώσεις έχουν συντεθεί και χρησιμοποιηθεί. Συνήθως 4 έως 6 από τις 10 διαθέσιμες θέσεις καταλαμβάνονται από άτομα χλωρίου [43]. Οι ακριβείς αναλογίες των *x* και *y* εξαρτώνται από τα άτομα χλωρίου στο διφαινύλιο, καθώς και από το χρόνο και τη θερμοκρασία της αντίδρασης σχηματισμού [42]. Αξίζει επίσης να σημειωθεί το γεγονός ότι τα PCBs αποτελούν συγγενή χημικά ανάλογα των διοξινών και των φουρανίων (polychlorinated dibenzodioxins και -furans, *PCDDs* και *PCDFs* αντίστοιχα), όπως και των PBBs και PCTs.

Όσον αφορά τις χρήσεις των PCBs, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν, και ίσως χρησιμοποιούνται ακόμη μεταξύ άλλων σε [43]:

- ✓ Ηλεκτρικούς μετασχηματιστές, πυκνωτές, διακόπτες, ρελαί, καλώδια και λαμπτήρες φθορισμού
- ✓ Υδραυλικά συστήματα (π.χ. φρένα, αντλίες, στρόβιλοι) και συστήματα μεταφοράς θερμότητας (θερμαντήρες και εναλλάκτες θερμότητας)
- ✓ PVC, νεοπρένιο κτλ., ως πλαστικοποιητές
- ✓ Βαφές, πλαστικές επικαλύψεις, μελάνια, συγκολλητικά, λιπαντικές και στεγανωτικές ουσίες

Όπως καθίσταται σαφές από τα ανωτέρω, τα PCBs χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν εκτενέστατα στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Εκτιμάται ότι η συνολική παγκόσμια παραγωγή PCBs – με εμπορικές ονομασίες όπως Aroclor, Clophen κ.λπ. – ανήλθε στους 1,2 εκατομμύρια τόνους εκ των οποίων το 31% έχει ήδη μολύνει το περιβάλλον με κάποιον τρόπο, μόνο το 4% έχει καταστραφεί ενώ το υπόλοιπο 65% χρησιμοποιείται ακόμη. Σημειώνεται ότι το 1970 απαγορεύθηκε διεθνώς η παραγωγή και διάθεση τους, με πλήρη απαγόρευση της παραγωγής τους το 1977 [43]. Ακόμη, η χρήση τους σε ανοικτού τύπου εφαρμογές απαγορεύθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1972 [35].

Οι πυκνωτές που περιέχουν PCBs ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος των:

- ✓ μικροί πυκνωτές χρησιμοποιήθηκαν κατ' αρχάς σε φωτιστικά συστήματα φθορισμού<sup>24</sup>, υδραργύρου και νατρίου υψηλής πίεσης, καθώς και φώτα νέον (neon lights). Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν στα μοτέρ οικιακών συσκευών, όπως ψυγεία, πλυντήρια, ηλεκτρικές κουζίνες, κλιματιστικά μηχανήματα κ.λπ. (λευκά αγαθά).
- ✓ μεγάλου μεγέθους πυκνωτές χρησιμοποιήθηκαν για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος (power factor correction) ηλεκτρικών συσκευών και ανάλογες εργασίες.

<sup>24</sup> Σε πυκνωτές με μέσο βάρος 100 έως 300 gr, περιέχονταν 30 με 90 gr PCBs [8].



Είναι σημαντικό το γεγονός, ότι θα πρέπει να θεωρείται ως δεδομένο μέχρις αποδείξεως του ενάντιου, ότι οι πυκνωτές οποιουδήποτε μεγέθους, οι οποίοι κατασκευάστηκαν πριν από το 1976 περιέχουν PCBs. Όσον αφορά αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση (Environmentally Sound Management, *ESM*) αποβλήτων τα οποία περιέχουν ή αποτελούνται από PCBs ή έχουν ρυπανθεί με PCBs, ο αναγνώστης παραπέμπεται στη μεθοδολογία, η οποία προτείνεται από τις κατευθυντήριες οδηγίες της προαναφερθείσας συνθήκης της Βασιλείας (§ 1.4.1.2.) [44]. Επισημαίνεται ότι σε εγκαταστάσεις διαχείρισης και επεξεργασίας ΑΗΗΕ θα πρέπει να δίδεται εξαιρετική προσοχή σε πυκνωτές επισημασμένους ως περιέχοντες PCBs.

Όσον αφορά τις αρνητικές επιδράσεις των PCBs στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, αναφέρονται συνοπτικά τα εξής: τα υπάρχοντα επιστημονικά δεδομένα για την τοξικότητα των PCBs είναι επαρκή για να χαρακτηριστούν ως δυνητικά καρκινογόνα για τον άνθρωπο (probable human carcinogens). Επίσης, τα PCBs επηρεάζουν τη λειτουργία σημαντικών ορμονών του οργανισμού, όπως αυτών του γεννητικού συστήματος (π.χ. οιστρογόνα, ανδρογόνα, προγεστερόνη) και του θυρεοειδούς αδένα. Οι τοξικές αυτές ιδιότητες των PCBs που αφορούν στην έκκριση και τη λειτουργία τέτοιων βασικών ορμονών, οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας και καλής λειτουργίας των διαφόρων οργάνων του οργανισμού μπορούν να εκθέσουν τον οργανισμό σε αυξημένη επικινδυνότητα, καθιστώντας τον περισσότερο ευάλωτο στην εκδήλωση δυσλειτουργιών ή ακόμα και ασθενειών. Ακόμη, ο πιο ευαίσθητος στόχος στην εκδήλωση των τοξικών ενεργειών των PCBs φαίνεται να αποτελεί το ανοσοποιητικό σύστημα καθώς επηρεάζεται η λειτουργία του νωτιαίου μυελού, προκαλείται ατροφία του θύμου αδένα και της σπλήνας που συνδυάζεται με ανοσοκαταστολή, ενώ μειώνεται η αντίσταση στην εμφάνιση μικροβιακών μολύνσεων, καθώς επίσης προκαλείται και μειωμένη ικανότητα επιτήρησης των μηχανισμών ελέγχου του ανοσοποιητικού συστήματος στην εκδήλωση καρκίνου. Επιπλέον, η ύπαρξη PCBs στον οργανισμό κάτω από την επίδραση των υπεριώδων ηλιακών ακτίνων ενισχύει την εμφάνιση καρκίνου του δέρματος ακόμα και σε περιοχές του που δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το ηλιακό φως. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερης σημασίας θεωρείται το γεγονός ότι τα PCBs και οι συναφείς τους ενώσεις έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν τα ένζυμα που εμπλέκονται στον μεταβολισμό των φαρμάκων, αλλά και άλλων τοξικών ουσιών στον οργανισμό. Αυτό το γεγονός δείχνει ότι η εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία σε μακροπρόθεσμη βάση θα πρέπει να επεκταθεί και στην πιθανότητα τροποποίησης της δράσης ορισμένων φαρμάκων ή ακόμα και σε φαινόμενα εμφάνισης τοξικών ενεργειών από άλλες χημικές ουσίες, των οποίων ο μεταβολισμός στον οργανισμό μεταβάλλεται από τα PCBs. Συν τοις άλλοις, τα PCBs δρουν συνεργιστικά με τα διάφορα παρασιτοκτόνα και το αρσενικό. Στη συνεργιστική δράση των PCBs με το DDT<sup>25</sup> αποδόθηκε το γεγονός ότι πολλά είδη θαλασσιών πτηνών πέθαιναν, ενώ ο φλοιός των αβγών των γινόταν ολοένα λεπτότερος, ώστε κατά την επώαση έσπαζε. Ύστερα από πολλές έρευνες διαπιστώθηκε ότι τα DDT και PCBs ενεργοποιούν ένζυμα στο ήπαρ, τα οποία μετατρέπουν τα φυσικά οιστρογόνα σε υδατοδιαλυτή μορφή, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται εύκολα από το σώμα. Η ελάττωση των οιστρογόνων οδηγεί σε ελάττωση των αποθεμάτων ασβεστίου, οπότε διατίθεται λιγότερο ασβέστιο για το σχηματισμό του φλοιού των αυγών. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι τα PCBs δεν μεταβολίζονται και δεν διασπώνται σε σημαντικό βαθμό, αλλά και δεν απομακρύνονται εύκολα από τον οργανισμό, σημαίνει ότι μακροχρόνια έκθεση σε υποτοξικές συγκεντρώσεις εύκολα μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση τους σε τοξικά επίπεδα και στην επακόλουθη εκδήλωση συμπτωμάτων χρόνιας τοξικότητας. Αντίστοιχα βέβαια, επίτευξη υψηλών συγκεντρώσεων PCBs στον οργανισμό άμεσα, ύστερα π.χ. από κατανάλωση μολυσμένης τροφής ή εισπνοή ατμών που περιέχουν υψηλά επίπεδα PCBs, οδηγεί σε εκδήλωση φαινομένων οξείας τοξικότητας [42,43].

Τέλος, οι φράσεις R για τη φύση των ειδικών κινδύνων που αφορούν τα PCBs, οι χαρακτηρισμοί των ως επικίνδυνα απόβλητα, καθώς και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις κατωφλιού (threshold) παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 16.

<sup>25</sup> DDT: διχλωροδιφαινυλοτριχλωροαιθάνιο ((π-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CHCCl<sub>3</sub>). Το πλέον ευρύτερα χρησιμοποιούμενο και γνωστό εντομοκτόνο κατά την περίοδο 1940-60, σήμερα απαγορευμένο.

**Πίνακας 16:** Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για τα PCBs [35].

Φράση R	Ιδιότητα	Φύση του κινδύνου	Συγκέντρωση κατωφλιού
R33	—	Κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων	—
R50-53	H14	Οικοτοξικό: πολύ τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	≥ 0,25%

#### 1.4.1.2.1.2. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Ιδιαίτερης προσοχής χρίζει το γεγονός ότι οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές που απαιτείται να αφαιρούνται από το ρεύμα των ΑΗΗΕ σύμφωνα με την 2002/96/EK, απαντώνται συνήθως σε συστήματα όπου χρησιμοποιείται κάποιος μετασχηματιστής (π.χ. στερεοφωνικά). Οι πυκνωτές που περιέχονται σε Η/Υ (προσωπικούς και φορητούς) είναι αρκετά μικρών διαστάσεων, ούτως ώστε να εξαιρούνται από την υποχρέωση για αφαίρεση των. Επίσης, οι πυκνωτές ταπταλίου (tantalum capacitors) είναι συνήθως εξαιρετικά μικροί σε διαστάσεις, συνεπώς δε πολύ μικρότερου όγκου από το όριο που θέτει η οδηγία για τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές που χρίζουν αφαίρεσης από το ρεύμα των ΗΗΕ.

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές είναι οι πυκνωτές αργιλίου, οι οποίοι είναι αρκούντως μικρού μεγέθους και φθινοί, δύνανται να ανεβρεθούν σε ένα εύρος χωρητικότητας από <1μF έως πάνω από 1F (farad), ενώ είναι διαθέσιμοι σε τάση λειτουργίας έως 450V (volt), με μερικούς εξ αυτών να ξεπερνούν τα 600V, πολύ περισσότερα από οιοδήποτε άλλο τύπο πυκνωτών. Οι αρχικοί τύποι ηλεκτρολυτών που χρησιμοποιήθηκαν με τους πυκνωτές αυτούς χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1930, και αποτελούνται συνήθως από μια γλυκόλη ή αμίνη, στην οποία ένα αγωγίμο άλας (π.χ. βορικό νάτριο) διαλύεται μαζί με ίχνη νερού (1-2%). Πολλές παραλλαγές της αρχικής αυτής σύνθεσης έχουν χρησιμοποιηθεί έκτοτε, η γλυκόλη όμως χρησιμοποιείται πάντοτε. Η συνήθης σύσταση ενός πυκνωτή αργιλίου (χωρητικότητας 100μF και τάσης λειτουργίας 10V) απεικονίζεται στον πίνακα 17 που ακολουθεί.

**Πίνακας 17:** Συνήθης σύσταση ενός πυκνωτή αργιλίου (100μF & 10V) [35].

Τμήματα	Σύσταση (gr)	Σύσταση (% κ.β.)
Φύλλο αλουμινίου	0,17	16%
Χαρτί & ηλεκτρολύτης	0,18	17%
Κάψα (capsule) αλουμινίου	0,35	33%
Χαλκός	0,12	11%
Ελαστικό πώμα (lid)	0,23	22%

Η γλυκόλη θεωρείται επιβλαβής σε περίπτωση κατάποσης (R22), για συγκέντρωση μεγαλύτερη ή ίση με 25%. Βάσει του παραπάνω πίνακα, όπου καταδεικνύεται ότι η συγκέντρωσή της σε πυκνωτές αργιλίου δεν ξεπερνά το όριο αυτό, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι δεν απαιτείται η απομάκρυνσή των, παρά τα όσα αναφέρονται στο παράρτημα II της 2002/96/EK.

Σημειώνεται ότι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αργιλίου στερεού πολυμερούς ηλεκτρολύτη (solid polymer electrolyte, όπως π.χ. το ημιαγωγίμο πολυμερές TCNQ) – οι οποίοι διαθέτουν βελτιωμένες ηλεκτρικές ιδιότητες – υφίστανται ήδη από τη δεκαετία του 1980. Συγκεντρώσεις κατωφλιού ή φράσεις R για τα περιεχόμενα σε αυτούς τους πυκνωτές συστατικά δεν είναι ακόμη διαθέσιμες [35].

#### 1.4.1.2.2. Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων

Εκτιμάται ότι δεν υφίσταται κανένα άλλο προϊόν ΗΗΕ, για το οποίο ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της παραγωγής, χρήσης και διάθεσης του είναι τόσο εκτεταμένος, όσο για τις PWBs [22]. Μια PWB δύναται να περιέχει μια ποικιλία επικίνδυνων ουσιών (π.χ. βαρέα μέταλλα όπως Sb, Ag, Cr, Zn, Ga, Pb, Sn και Cu), για τις οποίες πραγματοποιείται αναφορά στις αμέσως επόμενες παραγράφους.

#### 1.4.1.2.2.1. Βρωμιωμένα επιβραδυντικά φλόγας

Το φύλλο πλαστικού των PWBs συνίσταται σε ενισχυμένη με ίνες γυαλιού εποξειδική ρητίνη, και περιέχει πιθανότατα βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας σε ποσοστό έως 15%. Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο για τέτοιες εφαρμογές επιβραδυντικό είναι η τετραβρωμοδιφαινόλη-Α (tetrabromobisphenol-A, *TBBPA*) – μέλος της ομάδας των φαινολικών BFRs, η οποία αναφέρεται ότι έχει μικρότερο δυναμικό σχηματισμού βρωμιωμένων διοξινών και φουρανίων (polybrominated dibenzodioxins και -furans, *PBDDs* και *PBDFs* αντίστοιχα) σε σχέση με άλλα ευρέως χρησιμοποιούμενα BFRs (για τα οποία θα πραγματοποιηθεί αναφορά στη συνέχεια) σε θερμικές διεργασίες. Επίσης, παράγεται και χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερες ποσότητες από οιοδήποτε άλλο μέλος της ομάδας των BFRs (το μερίδιο της στην αγορά των αντιστοιχεί περίπου στο 50%<sup>26</sup>).

Από την άλλη, δεν έχουν καθορισθεί ακόμη φράσεις R για την *TBBPA*, αν και έχει προταθεί για αυτήν η R50-53 (οικοτοξικό: πολύ τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον). Ενέχεται επίσης η υποψία ότι δύναται να προκαλέσει ορμονικές διαταραχές [35].

#### 1.4.1.2.2.2. Υδράργυρος

Εκτιμάται ότι περίπου το 22% της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης υδραργύρου χρησιμοποιείται στην παραγωγή ΗΗΕ (π.χ. λαμπτήρων φθορισμού<sup>27</sup>). Ο υδράργυρος χρησιμοποιείται κατά το παρελθόν σε πληθώρα εφαρμογών: θερμοστάτες, διακόπτες, όργανα μέτρησης, μπαταρίες, λαμπτήρες φθορισμού και εκκένωσης αερίων, καθώς και σε κινητά τηλέφωνα, ιατροτεχνολογικές συσκευές, PWBs<sup>28</sup> και τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό. Πάντως, η χρήση του έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια και πρόκειται να απαγορευτεί από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006, όπως ορίζεται από την οδηγία 2002/95/ΕΚ, άρθρο 4, παράγραφος 1 [41], αν και υφιστάμενη τροποποίηση αυτής επιτρέπει τη χρήση υδραργύρου σε ΗΗΕ έως ποσοστού 0,1% κ.β. για ομοιογενή υλικά<sup>29</sup>, λόγω του ότι θεωρείται αδύνατο να αποφευχθούν πλήρως τα βαρέα μέταλλα σε ορισμένες περιστάσεις [46].

Τέλος, οι φράσεις R για τον υδράργυρο, οι αντίστοιχοι χαρακτηρισμοί, καθώς και οι ανάλογες συγκεντρώσεις κατωφλίου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 18. Οι επιδράσεις του υδραργύρου στον άνθρωπο αφορούν κυρίως στα νεφρά, το κεντρικό νευρικό σύστημα (χρόνιες βλάβες στον εγκέφαλο), και τα κυοφορούμενα έμβρυα. Επίσης, ο ανόργανος υδράργυρος μετατρέπεται στο νερό σε μεθυλοϋδράργυρο (methylated mercury) στα ιζήματα του πυθμένα. Ο μεθυλιωμένος υδράργυρος συσσωρεύεται εύκολα στους ιστούς ζώντων οργανισμών, ενώ παρατηρείται και βιοσυγκέντρωση (bioconcentration) αυτού μέσω της τροφικής αλυσίδας – κυρίως μέσω των ψαριών [6,22].

<sup>26</sup> Επί τούτου βλ. και § 1.4.1.2.4..

<sup>27</sup> Αναφέρεται ότι οι σύγχρονοι λαμπτήρες φθορισμού περιέχουν 3-20 mg Hg, ενώ οι παλαιότερης τεχνολογίας 15-30 mg έκαστος. Οι ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων περιέχουν περίπου 6 mg Hg ανά λαμπτήρα [8]. Για επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια του περιεχομένου σε Hg διαφόρων ειδών λαμπτήρων φθορισμού, ο αναγνώστης παραπέμπεται στο παράρτημα της 2002/95/ΕΚ (παράγραφοι 1 έως 4). Επίσης, αναφέρεται ότι η εξέταση της εφαρμογής του υδραργύρου σε ευθείς λαμπτήρες φθορισμού ειδικών εφαρμογών χρίζει προτεραιότητας (παράγραφος 10).

<sup>28</sup> Αν και οι χρησιμοποιούμενες ανά κατασκευαστικό στοιχείο-εξάρτημα ΗΗΕ ποσότητες Hg είναι μικρές, αναφέρεται ότι η σύμφωνα με εκτιμήσεις απόρριψη  $315 \cdot 10^6$  υπολογιστών στις Η.Π.Α. το διάστημα 1997 με 2004, θα επιφέρει την απόρριψη σχεδόν 150 μετρικών τόνων υδραργύρου στο περιβάλλον (για συγκέντρωση Hg σε PCs 0,002% κ.β.) [35].

<sup>29</sup> Ως ομοιογενές νοείται το υλικό το οποίο δεν δύναται να διαχωριστεί μηχανικά σε άλλα συστατικά υλικά, ήτοι έχει την ίδια σύσταση σε όλη την έκτασή του. Ως μηχανικός διαχωρισμός νοούνται διεργασίες όπως ξεβίδωμα, τεμαχισμός, κονιορτοποίηση, απόξεση κτλ. Συνεπώς, ένα πλαστικό πλαίσιο είναι ομοιογενές εάν αποτελείται από έναν μόνο τύπο πλαστικού (π.χ. ABS), άνευ επικαλύψεων και άλλων υλικών εντός του ή προσκολλημένα με αυτό. Από την άλλη, ένα καλώδιο αποτελούμενο από μεταλλικό σύρμα περιβαλλόμενο από μη μεταλλικά μονωτικά υλικά δεν είναι ομοιογενές, καθότι τα διάφορα υλικά δύναται να διαχωριστούν μέσω μηχανικών διεργασιών [45].

**Πίνακας 18:** Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλίου για τον υδράργυρο [35].

Φράση R	Ιδιότητα	Φύση του κινδύνου	Συγκέντρωση κατωφλίου
R23	H6 (H5)	Τοξικό (επιβλαβές): τοξικό όταν εισπνέεται	$\geq 3\%$
R33	—	Κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων	—
R50-53	H14	Οικοτοξικό: πολύ τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	$\geq 0,25\%$

#### 1.4.1.2.2.3. Βηρύλλιο

Το βηρύλλιο είναι ένα ελαφρύ, σκληρό, θερμικά και ηλεκτρικά αγωγίμο, μη μαγνητικό μέταλλο, κατάλληλο για πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών. Κράματα βηρυλλίου-χαλκού χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές συνδέσεις, στις οποίες επιθυμείται η δυνατότητα συνεχούς σύνδεσης-αποσύνδεσης και ακριβώς για το λόγο αυτό δεν απαιτείται μόνιμη συγκόλληση. Οι συνδέσεις αυτές είναι συχνά καλυμμένες με χρυσό, ούτως ώστε να αποτρέπεται ο επιφανειακός σχηματισμός οξειδίου του χαλκού και η επακόλουθη διαμόρφωση ενός μη αγωγίμου ηλεκτρικά στρώματος. Οι εφαρμογές του μεταλλικού βηρυλλίου περιλαμβάνουν ακόμη πλαίσια (chassis), πλακέτες κυκλωμάτων για αεροδιαστημικές εφαρμογές, περιστρεφόμενους καθρέπτες εκτυπωτών λέιζερ, παράθυρα γεννητριών ακτινών X, και ανιχνευτές ερευνητικών και ιατρικών εφαρμογών (π.χ. μαστογραφία) [6,35].

Το βηρύλλιο χρησιμοποιείται επίσης υπό τη μορφή οξειδίου (βηρυλλία, beryllia, BeO), ως προστατευτικό υλικό για συσκευές η χρήση των οποίων συνεπάγεται την παραγωγή θερμότητας, λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας, χαμηλής διηλεκτρικής σταθεράς και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και χημικής του αδράνειας. Το οξείδιο του βηρυλλίου απαντάται ακόμη στα διπολικά τρανζίστορ επαφής (bipolar junction transistors, BJTs), όπου χρησιμοποιείται ως θερμικά αγωγίμος ηλεκτρικός μονωτής. Τα τελευταία χρόνια πάντως, τα συμβατικά BJTs αντικαθίστανται σε ορισμένες εφαρμογές από την τεχνολογία της πλευρικής διάχυσης μεταλλικού οξειδίου πυριτίου (laterally diffused metal oxide silicon, LDMOS) [35].

Όσον αφορά το μεταλλικό βηρύλλιο, αποτελεί ένα από τα τοξικότερα μέταλλα και κίνδυνος για την υγεία δύναται να προκληθεί εάν δημιουργηθεί σκόνη ή καπνός από υλικά που το περιέχουν, κυρίως σε εγκαταστάσεις παραγωγής ή ανακύκλωσης ΗΗΕ. Για το λόγο αυτό προτείνεται τα κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν βηρύλλιο να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο ρεύμα των ΑΗΗΕ. Επίσης, κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν BeO θα πρέπει και αυτά να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο ρεύμα των ΑΗΗΕ, ενώ δεν συνιστάται να υφίστανται διεργασίες μείωσης μεγέθους για την ανακύκλωση των, λόγω του κινδύνου δημιουργίας σκόνης. Πάντως, τα κράματα βηρυλλίου-χαλκού αναφέρεται ότι δύναται να ανακυκλωθούν σε διεργασίες ανακύκλωσης χαλκού, χωρίς να απαιτείται πρωτότερος διαχωρισμός των [35]. Ακόμη, το μεταλλικό βηρύλλιο και η βηρυλλία θεωρούνται επικίνδυνα απόβλητα σύμφωνα με τη συνθήκη της Βασιλείας και την οδηγία 91/689/EK.

Τέλος, οι φράσεις R για το βηρύλλιο, τη βηρυλλία και τα κράματα βηρυλλίου-χαλκού, οι αντίστοιχες ιδιότητες, καθώς και οι ανάλογες συγκεντρώσεις κατωφλίου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 19. Το βηρύλλιο θεωρείται καρκινογόνο για τον άνθρωπο, λόγω της δυνατότητας ανάπτυξης καρκίνου του πνεύμονα, μέσω της εισπνοής σκόνης ή καπνού. Εργαζόμενοι εκτιθέμενοι σε βηρύλλιο δύνανται να αναπτύξουν μια θανατηφόρα ασθένεια (berylliosis) η οποία επηρεάζει κυρίως τους πνεύμονες, ενώ η έκθεση σε βηρύλλιο δύναται να προκαλέσει επίσης δερματικές παθήσεις. Επιπλέον, ακόμη και χρόνια μετά την παύση της έκθεσης σε βηρύλλιο, ενέχεται η δυνατότητα ανάπτυξης των προαναφερθέντων νόσων στον ανθρώπινο οργανισμό [6].

**Πίνακας 19:** Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλίου για τα Be και BeO [35].

Φράση R	Ιδιότητα	Φύση του κινδύνου <b>Be &amp; BeO</b>	Συγκέντρωση κατωφλίου
R26	H6 (H5)	Τοξικό (επιβλαβές): πολύ τοξικό όταν εισπνέεται	≥ 0,1%
R49	H7	Καρκινογόνο: μπορεί να προκαλέσει καρκίνο όταν εισπνέεται	≥ 0,1%
		<b>Κράματα Be-Cu</b>	
R23	H6 (H5)	Τοξικό (επιβλαβές): τοξικό όταν εισπνέεται	≥ 3,0%
R49	H7	Καρκινογόνο: μπορεί να προκαλέσει καρκίνο όταν εισπνέεται	≥ 0,1%

#### 1.4.1.2.2.4. Μόλυβδος

Το καλάνι συγκόλλησης<sup>30</sup> (solder) μολύβδου-κασσιτέρου μιας PWB αποτελεί περίπου το 4 με 6% κ.β. αυτής, συνεπώς ο μόλυβδος αντιπροσωπεύει περίπου το 2-3% του βάρους της. Η κύρια ανησυχία-μέριμνα όσον αφορά το μόλυβδο έγκειται στην πιθανή διαφυγή του στο περιβάλλον μέσω των στραγγισμάτων λόγω της απόθεσης-ταφής του στο έδαφος – με συνέπεια τη ρύπανση υπόγειων υδροφορέων – καθώς και στο γεγονός ότι η επεξεργασία του μεταλλικού μολύβδου προκαλεί το σχηματισμό ενώσεων του, οι οποίες κατατάσσονται ως επικίνδυνες [35].

Οι επιδράσεις του μολύβδου στο περιβάλλον είναι γνωστές εδώ και χρόνια. Ο μόλυβδος προκαλεί στον άνθρωπο βλάβες στο κεντρικό και το περιφερειακό νευρικό σύστημα, τα νεφρά, καθώς και το ανοσοποιητικό, μυϊκό, κυκλοφορικό και αναπαραγωγικό σύστημα, ενώ ενέχεται και η δυνατότητα πρόκλησης καρκίνου. Έχουν επίσης αναφερθεί βλάβες στο ενδοκρινικό σύστημα, επηρεάζει την εγκεφαλική ανάπτυξη των παιδιών, ενώ προκαλεί εξασθένηση της ακοής των και παρεμπόδιση του μεταβολισμού της βιταμίνης D. Επιπλέον, ο μόλυβδος συσσωρεύεται στο περιβάλλον, δυνάμενος να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις σε ολόκληρα οικοσυστήματα, και προκαλεί οξείες και χρόνιες επιδράσεις σε φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς [6,22,47].

Άλλες εφαρμογές του μολύβδου, καθώς και ενώσεων του (οξείδιο του μολύβδου), έγκεινται στη χρησιμοποίησή του σε μπαταρίες, καθοδικές λυχνίες (80% της κατανάλωσης οξειδίου του Pb – η κυριότερη χρήση του Pb σε ΗΗΕ [48]), λαμπτήρες, ζυγαριές, ως στοιχείο ανάμιξης (alloying element) για την κατεργασία των μετάλλων κ.λπ.. Αναφέρεται ότι ο Pb αποτελεί κατά μέσο όρο το 0,5% κ.β. των προϊόντων ΗΗΕ [48]. Επίσης, στις Η.Π.Α. και την Ευρώπη το 17 και το 40%, αντίστοιχα, του περιεχομένου σε μόλυβδο των MSW οφείλεται σε ΑΗΗΕ, ενώ στο μέλλον προβλέπεται ότι θα αποτελούν και την κύρια πηγή μολύβδου σε αυτά [11]. Σημειώνεται ότι, όπως και για τον υδράργυρο, η χρήση μολύβδου στον ΗΗΕ πρόκειται να απαγορευτεί από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006, όπως ορίζεται από την 2002/95/ΕΚ [41] – αν και υφίσταται τροποποίηση αυτής, η οποία και επιτρέπει τη χρήση μολύβδου σε ΗΗΕ έως ποσοστού 0,1% κ.β. για ομοιογενή υλικά [46], ενώ συνάμα στο παράρτημα της οδηγίας παρατίθενται εξαιρέσεις επί της απαγόρευσης τούτης.

#### 1.4.1.2.2.5. Κινητά τηλέφωνα

Στις μέρες μας παρατηρείται παγκοσμίως μια αλματώδης αύξηση της χρήσης κινητών τηλεφώνων<sup>31</sup>. Για το λόγο αυτό, καθώς και λόγω του όλο και μικρότερου χρόνου ζωής των – και παρά το ολόένα και μικρότερο μέγεθος των (βλ. § 1.2.2.), αναμένεται η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων απόβλητων κινητών τηλεφώνων στο εγγύς μέλλον, δυνάμενες να επιφέρουν ποικίλα προβλήματα, τόσο από τη

<sup>30</sup> Η χρήση μολύβδου αποτελεί την κύρια στη βιομηχανία ηλεκτρονικών ειδών χρησιμοποιούμενη μέθοδο συγκόλλησης διαφόρων συστατικών μερών επί των PWBs και άλλων εξαρτημάτων [47]. Αναφέρεται ότι το 2% της συνολικής κατανάλωσης Pb στη Γερμανία το 1997 χρησιμοποιήθηκε στις συγκολλήσεις αυτές [48]. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται εξαιρετική επιστημονική κινητικότητα σχετικά με την αντικατάσταση του μολύβδου σε αυτήν την εφαρμογή του, η οποία αντανακλάται μεταξύ άλλων στα άρθρα [49-52].

<sup>31</sup> Τα οποία ανήκουν στην 3<sup>η</sup> κατηγορία (ICT) ΑΗΗΕ σύμφωνα με το παράρτημα I Β της 2002/96/ΕΚ.

σκοπία της διαχείρισης και ανακύκλωσης, όσο και της πιθανής διασυνοριακής μεταφοράς αυτού του μέχρι στιγμής μη ταξινομημένου ως προς την επικινδυνότητα του τύπου αποβλήτων [47]. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με εκτιμήσεις, μονάχα στις Ηνωμένες Πολιτείες αναμένεται να απορριφθούν περίπου  $130 \cdot 10^6$  κινητά τηλέφωνα το έτος 2005, δημιουργώντας σχεδόν 65.000 τόνους αποβλήτων (με άνω των 40 εξ αυτών να αποτελούν ποσότητες μολύβδου) [3,47].

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι τα κινητά τηλέφωνα αποτελούνται από πλαστικά, PWBs, LCD, μέταλλα και έλασμα μαγνησίου (τα συστατικά αυτά αντιστοιχούν κατά μέσο όρο στο 45, 40, 4, 8 και 3% κ.β. της σύστασης των αντίστοιχα), εξαιρουμένων των μπαταριών. Στα χρησιμοποιούμενα υλικά αυτά δύναται να ανευρεθεί πληθώρα επικίνδυνων ουσιών, όπως Pb, BFRs, Be, Cr(VI), As, Cd και Sb [47]. Επίσης, ένας ακόμη από τους λόγους για τους οποίους συμπεριλήφθηκαν οι πλακέτες των κινητών τηλεφώνων στο παράρτημα της οδηγίας 2002/96/EK συνδέεται πιθανότατα με την υψηλή πυκνότητα των διαφόρων περιεχόμενων συστατικών στις πλακέτες αυτές [35]. Ακόμη, σύμφωνα με το παράρτημα της 2002/96/EK, προβλέπεται να αξιολογηθεί κατά προτεραιότητα το κατά πόσον θα πρέπει να τροποποιηθεί η καταχώριση που αφορά στις PWBs των κινητών τηλεφώνων [1].

Αναφορικά με τις μπαταρίες των κινητών τηλεφώνων, εκτιμάται ότι περίπου το 60% των συνολικών πωλήσεων επαναφορτιζόμενων μπαταριών παγκοσμίως αφορούν σε κινητά τηλέφωνα. Οι μπαταρίες αυτές περιέχουν επικίνδυνες ουσίες όπως κάδμιο και BFRs, ενώ σημειώνεται ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών δεν εξαρτώνται μονάχα από το περιεχόμενο των σε επικίνδυνα συστατικά, αλλά και από το χρόνο ζωής των, ο οποίος συνήθως είναι μικρότερος από αυτόν του καθαυτού κινητού τηλεφώνου [47].

Λόγω της πρωτύτερης παράθεσης των απαραίτητων για το βηρύλλιο και τα BFRs σε PWBs πληροφοριών, η παρούσα υποπαράγραφος θα ασχοληθεί με τα υπόλοιπα εκ των περιεχόμενων επικίνδυνων συστατικών.

#### *1.4.1.2.2.5.1. Περιεχόμενο σε μολύβδο*

Παρότι μέχρις προσφάτως δεν υπήρχαν στην επιστημονική βιβλιογραφία μελέτες ικανές να παράσχουν επαρκή επιστημονικά δεδομένα σχετικά με την τοξικότητα των κινητών τηλεφώνων, το 2004 δημοσιεύτηκε μια έκθεση του MKO Basel Action Network, η οποία στοχεύει στην πλήρωση του συγκεκριμένου κενού. Στην έκθεση αυτή παρατίθενται τα πορίσματα δύο διαφορετικών ερευνητικών εργασιών, οι οποίες είχαν μεταξύ άλλων ως στόχο τον καθορισμό της τοξικότητας αποβλήτων κινητών τηλεφώνων, μέσω του προσδιορισμού της συγκέντρωσης μολύβδου σε στραγγίσματα των αποβλήτων αυτών, υπό πρότυπες, καθορισμένες συνθήκες, βάσει της εξέτασης Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), η οποία προσομοιάζει εν πολλοίς τις συνθήκες που επικρατούν σε πραγματικές χωματερές [47].

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργασιών αυτών, η συγκέντρωση μολύβδου στα στραγγίσματα της πλειοψηφίας των υπό εξέταση τηλεφώνων (χωρίς τις μπαταρίες) ξεπερνούσε κατά πολύ το αντίστοιχο ανώτατο επιτρεπτό όριο – η πρώτη μελέτη κατέδειξε μέση συγκέντρωση 20 mg Pb ανά lt με ανώτατο όριο τα 5 mg/lt [53], με την δεύτερη να αναφέρει ακόμη μεγαλύτερη υπέρβαση του ορίου. Συνεπώς, βάσει των προαναφερθέντων τα κινητά τηλέφωνα μπορούν-απαιτείται να κατηγοριοποιηθούν ως επικίνδυνα απόβλητα, καθότι κατέχουν την ιδιότητα H13 του παραρτήματος III της 91/689/ΕΟΚ (παρασκευάσματα ή ουσίες τα οποία, μετά από διάθεση, μπορούν να δημιουργήσουν, με οποιοδήποτε μέσο, μια άλλη ουσία, π.χ. ένα προϊόν έκπλυσης, το οποίο έχει ένα από τα χαρακτηριστικά H1 έως 12) [47].

#### *1.4.1.2.2.5.2. Εξασθενές χρώμιο*

Το εξασθενές χρώμιο έχει χρησιμοποιηθεί από τη βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών στην επιχρωμίωση μεταλλικών επιφανειών ως αναστολέας διάβρωσης (corrosion inhibitor) μη



επεξεργασμένων και γαλβανισμένων πλακών χάλυβα, ως υλικό ηλεκτρικής θωράκισης (electrical shielding material) για φύλλα συγκεκριμένων μετάλλων, καθώς και ως «διακοσμητικό» ή σκληρυντής (hardener) χαλύβδινων περιβλημάτων. Βρίσκει επίσης εφαρμογή σαν χρωστική ουσία σε πιγμέντα, καθώς και σαν πρόσθετο για προστασία από τη διάβρωση σε συστήματα κυκλοφορούντος ύδατος, π.χ. απορροφητικές αντλίες και εναλλάκτες θερμότητας σε ψυγεία και καταψύκτες βιομηχανικών εφαρμογών [35,47]. Αν και οι χρησιμοποιούμενες ανά κατασκευαστικό στοιχείο-εξάρτημα ΗΗΕ ποσότητες Cr(VI) είναι μικρές, αναφέρεται ότι η σύμφωνα με εκτιμήσεις απόρριψη  $315 \cdot 10^6$  υπολογιστών στις Η.Π.Α. το διάστημα 1997 με 2004, θα επιφέρει την απόρριψη σχεδόν 450 μετρικών τόνων εξασθενούς χρώμιου στο περιβάλλον [22]<sup>32</sup>. Σημειώνεται ότι η χρήση Cr(VI) στον ΗΗΕ πρόκειται να απαγορευτεί από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006, όπως ορίζεται στην 2002/95/EK [41] – αν και υφιστάμενη τροποποίηση επιτρέπει τη χρήση του σε ΗΗΕ έως ποσοστού 0,1% κ.β. για ομοιογενή υλικά [46], ενώ στο παράρτημα της οδηγίας αναφέρεται επίσης ότι εξαιρείται η χρήση του ως αντιδιαβρωτικό στο ψυκτικό σύστημα από ανθρακούχο χάλυβα ψυγείων απορρόφησης.

Το περιεχόμενο σε απόβλητα εξασθενές χρώμιο θεωρείται ότι μπορεί εύκολα να μεταφερθεί στα εκχυλίσματα χωματερών. Επίσης, η αποτέφρωση τέτοιων αποβλήτων οδηγεί την παραγωγή ιπτάμενης τέφρας, από την οποία δύναται να εκχυλισθεί ή να εξατμισθεί το Cr(VI), και συνεπώς συνιστάται να αποφεύγεται η αποτέφρωση αποβλήτων περιεχόντων Cr(VI) [22].

Συν τοις άλλοις, οι ενώσεις του Cr(VI) είναι τοξικές για το περιβάλλον. Το Cr(VI) διαπερνά εύκολα την κυτταρική μεμβράνη και απορροφάται από τα κύτταρα, προκαλώντας ποικίλες τοξικές επιδράσεις. Επίσης, προκαλεί σοβαρές αλλεργικές αντιδράσεις ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις (μεταξύ άλλων αλλεργική βρογχίτιδα), καθώς και βλάβες στο DNA, ενώ όταν εισπνέεται, έχει καρκινογόνο δράση στους ανθρώπους [6, 22]. Οι φράσεις R για το εξασθενές χρώμιο, οι αντίστοιχες ιδιότητες, καθώς και οι ανάλογες συγκεντρώσεις κατωφλιού παρουσιάζονται στον πίνακα 20.

**Πίνακας 20:** Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλιού για το Cr(VI) [35].

Φράση R	Ιδιότητα	Φύση του κινδύνου	Συγκέντρωση κατωφλιού
R25	H6 (H5)	Τοξικό (επιβλαβές): τοξικό σε περίπτωση καταπόσεως	$\geq 0,1\%$
R26	H6 (H5)	Πολύ τοξικό όταν εισπνέεται	$\geq 0,1\%$
R43	—	Μπορεί να προκαλέσει ευαισθητοποίηση σε επαφή με το δέρμα	—
R46	H11	Μεταλλαζογόνο: μπορεί να προκαλέσει κληρονομικές γενετικές βλάβες	$\geq 0,1\%$
R49	H7	Καρκινογόνο: μπορεί να προκαλέσει καρκίνο όταν εισπνέεται	$\geq 0,1\%$
R50-53	H14	Οικοτοξικό: πολύ τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	$\geq 0,25\%$

#### 1.4.1.2.2.5.3. Κάδμιο

Το κάδμιο και κάποιες εκ των ενώσεων του, χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών ΗΗΕ [35,47]:

- ✓ Το μεταλλικό κάδμιο χρησιμοποιείται ως τμήμα του υλικού του αρνητικού ηλεκτροδίου στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), για την επικάλυψη μεταλλικών επιφανειών σιδήρου, χάλυβα, κραμάτων τιτανίου και άλλων κραμάτων μη σιδηρούχων μετάλλων, καθώς και ως στοιχείο ανάμιξης σε κράματα ειδικών εφαρμογών π.χ. κράματα συγκόλλησης (soldering, brazing alloys).

<sup>32</sup> Σύμφωνα με άλλη πηγή, η χρήση Cr(VI) σε ΗΗΕ αποτελεί μικρό μονάχα μερίδιο της συνολικής χρήσης του, ενώ συνάμα πολλοί παραγωγοί ΗΗΕ έχουν παύσει πλέον εξ ολοκλήρου τη χρησιμοποίησή του [11].

- ✓ Το οξείδιο του καδμίου (CdO) χρησιμοποιείται συχνά ως τμήμα του υλικού του αρνητικού ηλεκτροδίου στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, στις στρατιωτικών εφαρμογών μπαταρίες Ag-Cd, καθώς και στα ειδικά κράματα αργύρου-οξειδίου του καδμίου.
- ✓ Το θειούχο κάδμιο (CdS) χρησιμοποιείται σε κόκκινα, πορτοκαλί και κίτρινα πιγμέντα για πλαστικά, κεραμικά και υάλινα υλικά και υαλώματα (enamels). Επίσης, βρίσκει εφαρμογή στους φωσφόρους (phosphors) οθονών ακτινών-X, ως φωσφορίζον υλικό σε παλαιούς τύπους καθοδικών λυχνιών, ημιαγωγούς, ανιχνευτές καπνού και φωτοβολταϊκά συστήματα.

Επίσης, το κάδμιο χρησιμοποιείται στους ανιχνευτές υπερύθρου, καθώς και ως σταθεροποιητής σε πλαστικά υλικά. Αν και οι χρησιμοποιούμενες ανά κατασκευαστικό στοιχείο ΗΗΕ ποσότητες καδμίου είναι μικρές, αναφέρεται ότι η σύμφωνα με εκτιμήσεις απόρριψη  $315 \cdot 10^6$  PCs στις Η.Π.Α. το διάστημα 1997 με 2004, θα επιφέρει την απόρριψη σχεδόν 747 τόνων καδμίου στο περιβάλλον [22]. Ακόμη, αναφέρεται ότι σε ΑΗΗΕ οφείλεται το 9% των ολικών ποσοτήτων καδμίου των αστικών στερεών αποβλήτων, όπου όμως το 95% αυτών των ποσοτήτων καδμίου οφείλεται σε απόβλητες μπαταρίες (κυρίως επαναφορτιζόμενες) και το 0,1% σε καθοδικές λυχνίες [11]. Σημειώνεται ότι η χρήση καδμίου στον ΗΗΕ πρόκειται να απαγορευτεί από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006, όπως ορίζεται στην οδηγία 2002/95/EK [41] – αν και υφίσταται τροποποίηση, η οποία επιτρέπει τη χρήση του έως ποσοστού 0,01% κ.β. για ομοιογενή υλικά [46], ενώ από την 2002/96/EK επιβάλλεται ρητώς η αφαίρεση των μπαταριών από το ρεύμα των υπολοίπων ΑΗΗΕ.

Μειονέκτημα του καδμίου και των ενώσεων του αποτελεί η τοξικότητά τους, η οποία οδηγεί σε καρκινογένεση και τερατογένεση, με ενδεχόμενο κίνδυνο πρόκλησης μη αναστρέψιμων επιδράσεων στην ανθρώπινη υγεία, όπου το κάδμιο απορροφάται μέσω της αναπνοής, αλλά και των τροφών. Επίσης, το κάδμιο και οι ενώσεις του συσσωρεύονται στο ανθρώπινο σώμα και κυρίως στα νεφρά, ενώ λόγω του μεγάλου χρόνου βιολογικής ημίσειας ζωής του (30 έτη), μπορεί εύκολα να συσσωρευτεί σε ποσότητες ικανές να προκαλέσουν συμπτώματα δηλητηρίασης. Επειδή μοιάζει με τον ψευδάργυρο, ο ανθρώπινος οργανισμός παραπλανάται και δεσμεύει ποσά καδμίου που περιέχουν σε ίχνη οι τροφές και σε μεγαλύτερες ποσότητες ο καπνός του τσιγάρου. Πέρα από κάποια όρια όμως, παρουσιάζονται προβλήματα στη νεφρική λειτουργία. Πάντως, οι οξείες δηλητηριάσεις είναι σπάνιες, επειδή οι ενώσεις του καδμίου έχουν εμετικές ιδιότητες. Επιπλέον, το κάδμιο παρουσιάζει τον κίνδυνο αθροιστικών επιδράσεων στο περιβάλλον, λόγω της οξείας και της χρόνιας τοξικότητας του [6,47,54].

Τέλος, οι φράσεις R για το κάδμιο, το οξείδιο του καδμίου και το θειούχο κάδμιο, οι αντίστοιχες ιδιότητες, καθώς και οι συγκεντρώσεις κατωφλίου καταδεικνύονται στον ακόλουθο πίνακα 21.

**Πίνακας 21:** Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλίου των Cd, CdO και CdS [35].

Φράση R	Ιδιότητα	Φύση του κινδύνου	Συγκέντρωση κατωφλίου
<b>Cd</b>			
R26	H6 (H5)	Τοξικό (επιβλαβές): πολύ τοξικό όταν εισπνέεται	$\geq 0,1\%$
R45	H7	Καρκινογόνο: μπορεί να προκαλέσει καρκίνο	$\geq 0,1\%$
R52	H14	Οικοτοξικό: επιβλαβές για τους υδρόβιους οργανισμούς	$\geq 25\%$
<b>CdO</b>			
R22	H6 (H5)	Τοξικό (επιβλαβές): επιβλαβές σε περίπτωση καταπόσεως	$\geq 25\%$
R23	H6 (H5)	Τοξικό όταν εισπνέεται	$\geq 3\%$
R25	H6 (H5)	Τοξικό σε περίπτωση καταπόσεως	$\geq 3\%$
R48	H6 (H5)	Κίνδυνος σοβαρής βλάβης της υγείας έπειτα από παρατεταμένη έκθεση	$\geq 3\%$
R49	H7	Καρκινογόνο: Μπορεί να προκαλέσει καρκίνο όταν εισπνέεται	$\geq 0,1\%$
<b>CdS</b>			



R22	H6 (H5)	Επιβλαβές σε περίπτωση καταπόσεως	≥ 25%
R23	H6 (H5)	Τοξικό όταν εισπνέεται	≥ 3%
R25	H6 (H5)	Τοξικό σε περίπτωση καταπόσεως	≥ 3%
R40	H7	Καρκινογόνο: ύποπτο καρκινογένεσης	≥ 1%
R48	H6 (H5)	Κίνδυνος σοβαρής βλάβης της υγείας έπειτα από παρατεταμένη έκθεση	≥ 3%
R53	H14	Οικοτοξικό: μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	≥ 25%

#### 1.4.1.2.3. Δοχεία μελανιών (toners)

Τα πλαστικά δοχεία μελανιών εκτυπωτών (toner cartridges), μαύρων ή έγχρωμων, αποτελούν ένα προϊόν ΑΗΗΕ, το οποίο απαντάται συχνότατα. Το κύριο συστατικό των μαύρων μελανιών αναφέρεται ότι είναι το πιγμέντο carbon black (γενικός όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον άμορφο άνθρακα σε μορφή σκόνης). Τον κύριο τρόπο έκθεσης στο υλικό αυτό αποτελεί η αναπνοή, ενώ οξεία έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε ερεθισμό της αναπνευστικής οδού. Επίσης, από τον οργανισμό International Agency for Research on Cancer (*IARC*) το carbon black κατατάσσεται ως ενδεχόμενα καρκινογόνος ουσία (κατηγορία 2B, possibly carcinogenic) για τον άνθρωπο [6].

Από την άλλη, στη βιβλιογραφία υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τη σύσταση και την επικινδυνότητα των έγχρωμων μελανιών. Ενέχεται μονάχα η υποψία ότι στα μελάνια αυτά (κυανό, κίτρινο και magenta) περιέχονται βαρέα μέταλλα [6].

#### 1.4.1.2.4. Πλαστικά που περιέχουν BFRs

Το βρώμιο αποτελεί τον βασικότερο υποκαταστάτη για κάποιες από τις πλέον δραστικές και πολυχρησιμοποιούμενες φλογεπιβραδυντικές (Flame Retardants, *FRs*) ενώσεις στη σύγχρονη βιομηχανία πλαστικών – τα βρωμιωμένα επιβραδυντικά φλόγας (BFRs). Όπως άλλωστε υποδηλώνει η ονομασία τους, αποσκοπούν στη μείωση του κινδύνου ανάφλεξης, μειώνοντας την αναφλεξιμότητα των πλαστικών και αυξάνοντας την αντοχή των στη φωτιά. Όσον αφορά ειδικότερα τα προϊόντα ΗΗΕ<sup>33</sup>, σε αυτά απαντώνται διάφορες ομάδες οργανικών ενώσεων με φλογεπιβραδυντικές ιδιότητες, με κύριους υποκαταστάτες τα χλώριο, βρώμιο, φώσφορο ή άζωτο, ενώ υφίστανται επίσης και ανόργανες ενώσεις με τις ιδιότητες αυτές. Στην παράγραφο τούτη, το ενδιαφέρον εστιάζεται αποκλειστικά στα BFRs και την επικινδυνότητα των, λόγω του ότι τα αλογονωμένα επιβραδυντικά φλόγας είναι λίαν διαδεδομένα (περίπου το 12,5% των πλαστικών ΗΗΕ περιέχουν αλογονωμένους επιβραδυντές φλόγας<sup>34</sup>), και εξ αυτών τα βρωμιωμένα έχουν καλύτερη απόδοση και επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό τις ιδιότητες του πολυμερούς σε σχέση με τα χλωριωμένα, ενώ έχουν και αρκούτως χαμηλό κόστος [55]. Συν τοις άλλοις, στην 2002/96/EK ορίζεται σαφώς ότι τα περιέχοντα BFRs πλαστικά θα πρέπει να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο ρεύμα των χωριστά συλλεγόμενων ΑΗΗΕ προς επιλεκτική επεξεργασία.

Στα πλαστικά ΗΗΕ χρησιμοποιούνται δύο βασικές κατηγορίες βρωμιούχων επιβραδυντών φλόγας: η πρώτη περιλαμβάνει πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (polybrominated diphenyl ethers, *PBDPEs* ή *PBDEs*) και η δεύτερη φαινόλες όπως η TBBPA, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε PWBs (βλ. § 1.4.1.2.2.1.), ενώ σε μικρότερες ποσότητες χρησιμοποιούνται τα PBBs (περίπου 1%, σε σχέση με το 10 και 50% του ποσοστού χρήσης των BFRs που αντιστοιχεί στους PBDEs και την TBBPA αντίστοιχα<sup>35</sup> [6]) και το εξαβρωμοκυκλοδωδεκάνιο (hexabromocyclododecane, *HBDCD*) [47]. Η

<sup>33</sup> Η χρήση ή όχι FRs σε κάποιο προϊόν ΗΗΕ εξαρτάται από τον τύπο της συσκευής [8].

<sup>34</sup> Σύμφωνα με άλλη πηγή, BFRs χρησιμοποιούνται περίπου στο 20% των πλαστικών ΗΗΕ. Στην ίδια πηγή αναφέρεται ότι τα πλαστικά με FRs οιοδήποτε τύπου αντιστοιχούν στο 5,5% κ.β. του ΗΗΕ (5-10% σύμφωνα με την ΕΕΑ [8]) και 25% των ολικών πλαστικών ΗΗΕ [11].

<sup>35</sup> Από την άλλη, σύμφωνα με το σύγγραμμα [56], στην αγορά των BFRs αντιστοιχεί στην TBBPA ποσοστό ίσο με 40%, 15% στο HBDCD, 21% στα PBDPEs και PBBs, και το υπόλοιπο 24% σε άλλου τύπου BFRs.

ομάδα των PBDEs περιλαμβάνει ενώσεις όπως οι οκτα-, δεκα- και πενταβρωμοδιφαινυλαιθέρες (octa-, deca- και pentabromodiphenylether ή oxide, *OBDE*, *DBDE* και *PeBDE*, αντίστοιχα), οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε πλαστικά περιβλήματα τηλεοράσεων και Η/Υ (περίπου 80% της συνολικής χρήσης των [48]), σε οικιακές συσκευές κουζίνας, καθώς και σε μικρό βαθμό στις PWBs. Στη βιομηχανία ηλεκτρονικών ειδών, τον πλέον συχνά χρησιμοποιούμενο εκ των PBDEs αποτελεί ο DBPE, εφαρμοζόμενος ως πρόσθετο κυρίως σε πλαίσια και περιβλήματα Η/Υ (computer housings) [35]. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, από τις 75 συνολικά υπάρχουσες ενώσεις της κατηγορίας των BFRs, μονάχα οι PBDEs και τα PBBs υπόκεινται σε μέτρα εξάλειψης – δυνάμει της οδηγίας 2002/95/EK, άρθρο 4, παράγραφος 1 – από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006, αν και υπάρχει τροποποίηση της οδηγίας αυτής, η οποία επιτρέπει τη χρήση των έως συγκέντρωσης 0,1% κ.β. για ομοιογενή υλικά [46].

Η κύρια ανησυχία όσον αφορά τους PBDEs έγκειται στο γεγονός ότι δύνανται να σχηματισθούν βρωμιωμένες διοξίνες και φουράνια κατά την καύση-θερμική επεξεργασία αυτών. Επίσης, εάν στα προς αποτέφρωση απόβλητα περιέχεται χαλκός – όπως π.χ. στις PWBs – ο οποίος δρα ως καταλύτης για το σχηματισμό PBDDs και PBDFs κατά την αποτέφρωση, αυξάνονται άρδην οι πιθανότητες σχηματισμού των. Επιπλέον, εάν η αποτέφρωση λάβει χώρα σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως πολύ συχνά συμβαίνει σε πολλές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης σε αναπτυσσόμενα κράτη, η ατελής καύση επιφέρει το σχηματισμό ακόμη μεγαλύτερων ποσοτήτων PBDDs και PBDFs. Ακόμη, το παραγόμενο κατά την αποτέφρωση HBr διαβρώνει τα μέταλλα και το μπετόν. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αντικατάσταση ενός BFR στις εφαρμογές του από οιαδήποτε άλλη βρωμιωμένη ένωση – λ.χ. προς συμμόρφωση με την οδηγία 2002/95/EK – θα έχει τις ίδιες ανωτέρω περιγραφείσες επιπτώσεις, χωρίς να έχει καταστεί ο παραγόμενος HHE αρκούντως περιβαλλοντικά «φιλικός» [47]. Λίαν ανησυχητικό είναι συνάμα το γεγονός ότι PBDDs και PBDFs δύνανται να σχηματισθούν και κατά την έλαση (ή εξώθηση, extrusion) πλαστικών περιεχόντων PBDEs και PBBs, παρεμποδίζοντας την ανακύκλωση των<sup>36</sup>. Συνεπεία αυτού, από το 1986 διεκόπη η παραγωγή PBDEs και PBBs από τη γερμανική χημική βιομηχανία [22, 56].

Συν τοις άλλοις, διάφορες έρευνες έχουν καταδείξει ότι τα BFRs βιοσυσσωρεύονται στους ιστούς ζώων οργανισμών, ενώ δύνανται να εκχυλίσουν στα στραγγίσματα χωματερών, ρυπαίνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο υπόγειους υδροφορείς [47,56]. Ακόμη, οι μεγαλύτερου βαθμού αλογόνωσης PBDEs (π.χ. οι DBDE, OBDE) δύνανται να υποστούν αφαλογόνωση προς τετρα- και PeBDEs, ενώσεις οι οποίες είναι τοξικές και ανευρίσκονται στην τροφική αλυσίδα υδρόβιων οργανισμών [35,56]. Οι PBDEs αναφέρεται επίσης ότι συνδέονται με την ανάπτυξη καρκίνου, ηπατικών βλαβών, προβλημάτων στο νευρικό και το κυκλοφορικό σύστημα, δυσλειτουργία του θυρεοειδούς αδένα και ενδοκρινικές διαταραχές [47], ενώ συνάμα ο ODBE ταξινομείται ως τερατογόνο (H10), με φράση R63 (πιθανός κίνδυνος δυσμενών επιδράσεων στο έμβρυο κατά τη διάρκεια της κύησης) και συγκέντρωση κατωφλίου  $\geq 5\%$  [35].

Επιπροσθέτως, έχουν ανιχνευθεί ποσότητες PBDEs σε ανθρώπινο μητρικό γάλα τόσο στη Βόρειο Αμερική, όσο και στη Σουηδία, ενώ θεωρείται ότι τα επίπεδα των σε αυτό διπλασιάζονται ανά πενταετία. Πολύ υψηλές συγκεντρώσεις PBDEs έχουν ευρεθεί και στο αίμα εργαζομένων σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης AHHE, λόγω του ότι εκπέμπεται στον αέρα σκόνη περιέχουσα BFRs κατά τη διάρκεια των διεργασιών ανακύκλωσης τηλεοράσεων, μηχανών φαξ ή άλλων προϊόντων HHE. Επιπλέον, ηλεκτρονικές συσκευές που περιέχουν BFRs, όπως οι δέκτες των τηλεοράσεων και

<sup>36</sup> Η παρουσία BFRs καθιστά δυσχερέστερη την ανακύκλωση των πλαστικών, καθότι αποτελούν ανεπιθύμητες προσμείξεις για πολλές δυνατές μετέπειτα χρήσεις του ανακυκλωμένου υλικού. Πιο συγκεκριμένα, τα BFRs αποικοδομούνται προς ρίζες R\* και X\* (ο χημικός τύπος ενός BFR ή γενικότερα οποιουδήποτε αλογονωμένου FR παρίσταται ως R-X). Οι εξαιρετικά δραστικές ρίζες X\* αντιδρούν με το υδρογόνο της αλυσίδας C-H του πολυμερούς σχηματίζοντας αλογονίδια HX. Οι προαναφερθείσες αντιδράσεις θεωρείται ότι δύνανται να λάβουν χώρα υπό τις συνήθεις συνθήκες επεξεργασίας και έχουν ως αποτέλεσμα τον αποχρωματισμό και την χειροτέρευση των ιδιοτήτων του πλαστικού, ιδίως εάν αυτό υποστεί πολλαπλή επεξεργασία. Συνεπεία αυτού, απαιτείται η εφαρμογή διεργασιών καθαρισμού και η προσθήκη επιπλέον σταθεροποιητών από το σύνθετο, προς βελτίωση των ιδιοτήτων του παραγόμενου πλαστικού σε ανεκτά επίπεδα [56].

οι υπολογιστές, μπορεί να αποτελέσουν πηγές εκπομπής BFRs και PBDDs/DFs στο περιβάλλον και ειδικά στον αέρα των εσωτερικών χώρων: έχει αναφερθεί ότι σε συλλεχθείσα από το εσωτερικό τηλεοράσεων που περιέχουν BFRs σκόνη, ανιχνεύθηκαν επίπεδα PBDEs και TBBPA της τάξεως μεγέθους των mg/g και PBDDs/DFs της τάξεως των ppm (μg/g). Τούτο καταδεικνύει ότι τα BFRs και οι παραγόμενες εξ αυτών PBDDs/DFs μπορούν να εξατμισθούν και τη συνέχεια να απελευθερωθούν-μεταναστεύσουν στον αέρα εσωτερικών χώρων προερχόμενα από προϊόντα που τα περιέχουν [22,56]. Τέλος όσον αφορά τα PBBs, ως ομάδα ενώσεων μελετώνται και αντιμετωπίζονται από κοινού με τα PCBs, αλλά και τα PCTs.

Βέβαια, υφίσταται και διαφορετική από την ανωτέρω άποψη, όσον αφορά στην επικινδυνότητα των PBDPEs για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Αναφέρεται συγκεκριμένα, ότι παραμένει ακόμη υπό διερεύνηση το ερώτημα του κατά πόσον οι εν λόγω ενώσεις εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους για το περιβάλλον, καθώς και για ποιες συγκεντρώσεις. Αναφέρονται έρευνες οι οποίες κατέδειξαν ότι δεν παρουσιάζουν χαρακτηριστικά βιοσυσώρευσης ή εμμονής (persistence) στο περιβάλλον, ενώ μια πραγματοποιηθείσα από το βρετανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος, Τροφίμων και Γεωργίας (DEFRA) ανάλυση επικινδυνότητας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι δεν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα για την μείωση της χρησιμοποίησης του DBDE σε ΗΗΕ. Επίσης, αναφέρεται ότι στο εγγύς μέλλον αναμένονται τα πορίσματα περαιτέρω νέων ερευνών για την επικινδυνότητα των OBDE και PBDE. Τέλος, στην ίδια πηγή αναφέρεται ότι τόσο τα PBBs, όσο και ο PeBDE δεν χρησιμοποιούνται καθόλου σε εφαρμογές ΗΗΕ, τουτέστιν η συμπερίληψη τους στην 2002/95/EK κρίνεται ως μη αναγκαία [35].

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί, ότι ως συνεργιστικό επιβραδυντικό φλόγας σε πλαστικά χρησιμοποιείται το τριοξείδιο του αντιμονίου ( $Sb_2O_3$ ), το οποίο συμβάλλει στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των χρησιμοποιούμενων BFRs, ελαχιστοποιώντας κατ' αυτόν τον τρόπο το απαιτούμενο επίπεδο προσθήκης των. Συνεπώς, η χρήση τριοξειδίου του αντιμονίου σε εφαρμογές BFRs επιφέρει μείωση του κόστους, καθώς και συχνότατα βελτίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των πλαστικών όπου εφαρμόζεται [35]. Βέβαια, από την άλλη μεριά, το  $Sb_2O_3$  αποσυντίθεται εάν θερμανθεί, παράγοντας τοξικούς ατμούς αντιμονίου, ενώ υπό συγκεκριμένες συνθήκες δύναται να αντιδράσει με το υδρογόνο σχηματίζοντας το λίαν τοξικό αέριο αντιμονίνη (stibine). Επίσης, το  $Sb_2O_3$  εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής, προκαλεί ερεθισμό των ματιών, του δέρματος και της αναπνευστικής οδού, ενώ επαναλαμβανόμενη ή παρατεταμένη επαφή με αυτό δύναται να προκαλέσει δερματίτιδα και να επηρεάσει αρνητικά τους πνεύμονες. Επίσης, θεωρείται ότι δύναται να προκαλέσει καρκίνο, ενώ μελέτες σε πειραματόζωα καταδεικνύουν ότι μπορεί να έχει τοξικές επιδράσεις στο ανθρώπινο αναπαραγωγικό σύστημα [56]. Τέλος, το  $Sb_2O_3$  ταξινομείται ως καρκινογόνο (H7), με φράση R40 (ύποπτο καρκινογένεσης) και συγκέντρωση κατωφλίου  $\geq 1\%$  [35].

Επιπλέον, ως επιβραδυντικά φλόγας και σταθεροποιητές στο ελαστικό, τις βαφές και τις επικαλύψεις προϊόντων ΗΗΕ χρησιμοποιούνται χλωριωμένες παραφίνες μικρού μήκους αλυσίδας (Short Chain Chlorinated Paraffins, SCCPs). Η χρήση τους αναφέρεται μελλοντικά ότι αναμένεται να αυξηθεί λόγω της χρησιμοποίησης των σε μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών ΗΗΕ. Οι SCCPs παρουσιάζουν βιοσυγκέντρωση στους ιστούς ψαριών και μαλακίων, και ταξινομούνται ως οικοτοξικές (H14) με φράσεις R50 και R53 (πολύ τοξικές για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορούν να προκαλέσουν μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον) και συγκέντρωση κατωφλίου  $\geq 25\%$  [35,56].

Τέλος, δεδομένου ότι οι κατασκευαστές ΗΗΕ μελλοντικά θα στραφούν στη χρήση εναλλακτικών χημικών ενώσεων αντί των BFRs, οι μονάδες επεξεργασίας ΑΗΗΕ θα πρέπει να επικεντρώσουν τις προσπάθειές τους στον επιτυχή διαχωρισμό των πλαστικών που περιέχουν τις επίμαχες ουσίες από το υπόλοιπο ρεύμα των πλαστικών ΑΗΗΕ [35].

#### 1.4.1.2.5. Πλαστικά – Εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια

Όσον αφορά επιπλέον στοιχεία τα οποία αφορούν ειδικά στα εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια, τα οποία χρίζουν απομάκρυνσης δυνάμει της 2002/96/EK, αλλά και το σύνολο του κλάσματος των πλαστικών των ΑΗΗΕ, η υποπαράγραφος αυτή αναφέρεται στο πολυβινυλοχλωρίδιο (*PVC*), καθώς και τους πλαστικοποιητές και σταθεροποιητές που χρησιμοποιούνται στα πλαστικά ΗΗΕ.

#### 1.4.1.2.5.1. *PVC*

Το PVC χρησιμοποιείται κατά κόρον από τη βιομηχανία ΗΗΕ, αποτελώντας το 26% των χρησιμοποιούμενων πλαστικών υλικών, αν και τα τελευταία χρόνια η χρήση του τείνει να μειωθεί, καθώς αντικαθίσταται από το ABS. Παρά το γεγονός αυτό, στα ΑΗΗΕ περιέχεται ακόμη ένας πολύ μεγάλος όγκος PVC, ο οποίος και αυξάνεται λόγω της συνεχούς αύξησης του όγκου των [22].

Το PVC χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικών καλωδίων, καθώς και πλαισίων-περιβλημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι κυριότεροι κίνδυνοι όσον αφορά τη χρήση και διαχείριση του PVC έγκεινται στα εξής [35]:

- ✓ Όπως κάθε υλικό που περιέχει χλώριο, δύνανται να σχηματισθούν διοξίνες και φουράνια από την ανεξέλεγκτη καύση και αποτέφρωση, εντός συγκεκριμένου θερμοκρασιακού εύρους, αποβλήτων που περιέχουν PVC.
- ✓ Επίσης, ανεξάρτητα από τον κίνδυνο παραγωγής διοξινών και φουρανίων, η αποτέφρωση του PVC επιφέρει το σχηματισμό σημαντικών ποσοτήτων επικίνδυνων καταλοίπων [56].
- ✓ Κατά την καύση του απελευθερώνεται επίσης αέριο HCl.
- ✓ Το PVC ανακυκλώνεται δύσκολα (εκτιμάται ότι ο βαθμός ανακύκλωσης των ποσοτήτων PVC δεν δύναται να ξεπεράσει το 5% το 2020, εφόσον τηρούνται τα απαραίτητα οικολογικά κριτήρια κατά τη διάρκεια των ανάλογων διεργασιών [56]) και συνάμα δύναται να επιμολύνει άλλα πλαστικά στις διεργασίες ανακύκλωσης των.

Επιπλέον, το PVC χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικών καλωδίων λόγω κυρίως των εγγενών φλογοεπιβραδυντικών ιδιοτήτων του. Πάντως, ενέχεται η υποψία ότι από τη στιγμή που αναφλεγεί, οι σχηματιζόμενοι καπνοί μπορούν να αποβούν θανατηφόροι. Συνεπεία αυτού, υφίστανται πιέσεις και προτάσεις για την αντικατάσταση του από άλλα πολυμερή – π.χ. πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας ή θερμοπλαστικές ολεφίνες – για λόγους ασφαλείας [22]. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι διάφορες εταιρίες έχουν ήδη ξεκινήσει να υποκαθιστούν το PVC στις εφαρμογές του. Παραδείγματα αποτελούν η Sony και η Electrolux, από την οποία χρησιμοποιήθηκε μίγμα συμπολυμερούς αιθυλενίου-προπυλενίου και PP/SEBS<sup>37</sup> για την κατασκευή πρωτοτύπου ψυγείου-καταψύκτη [56].

#### 1.4.1.2.5.2. *Πλαστικοποιητές – Σταθεροποιητές*

Αναφορικά με τα συστατικά αυτά, η κύρια ανησυχία έγκειται στην επικινδυνότητα των χρησιμοποιούμενων ως πλαστικοποιητών εστέρων του φθαλικού οξέος, καθώς και των σταθεροποιητών βαρέων μετάλλων. Τα πρόσθετα αυτά χρησιμοποιούνται κατά την κατεργασία τόσο του PVC, όσο και άλλων πλαστικών.

Την κύρια κατηγορία σταθεροποιητών βαρέων μετάλλων αποτελούν οι σταθεροποιητές μολύβδου. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η βιομηχανία παραγωγής PVC έχει εθελοντικά δεσμευθεί να αντικαταστήσει τους σταθεροποιητές αυτούς με άλλες, λιγότερο επικίνδυνες ουσίες, σύμφωνα με το ακόλουθο χρονοδιάγραμμα, χρησιμοποιώντας ως βάση των υπολογισμών τα επίπεδα κατανάλωσής των το έτος 2000 [35]:

- ✓ 15% μείωση μέχρι το 2005
- ✓ 50% μείωση μέχρι το 2010
- ✓ 100% εξάλειψη μέχρι το 2015

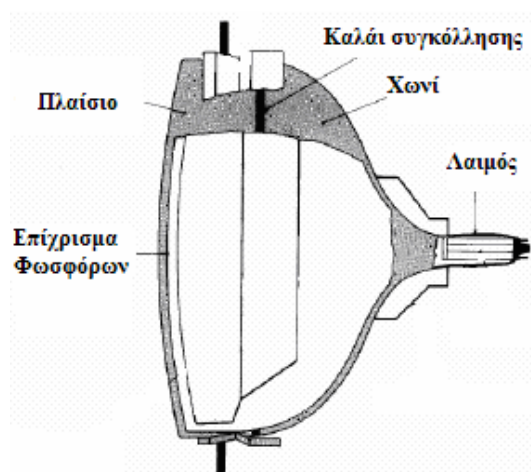
<sup>37</sup> PP/SEBS: Πολυπροπυλένιο/στυρόλιο-αιθυλένιο-βουτένιο-στυρόλιο.

Από την άλλη, τον κύριο τύπο πλαστικοποιητών που χρησιμοποιούνται σε ΗΗΕ αποτελούν οι εστέρες του φθαλικού οξέος. Επί παραδείγματι, ο διβουτυλεστέρας και ο διεθυλεξυλεστέρας του φθαλικού οξέος ταξινομούνται ως τερατογόνα (H10), με συγκέντρωση κατωφλίου  $\geq 0,5\%$ . Πάντως, οι ουσίες αυτές αναφέρεται ότι χρησιμοποιούνται πάνω από 40 χρόνια χωρίς να έχουν παρατηρηθεί επιπτώσεις, είτε στο περιβάλλον, είτε στην ανθρώπινη υγεία, ενώ συν τοις άλλοις δεν λαμβάνει διόλου χώρα κάποια αναφορά σε αυτές από την 2002/95/EK. Επίσης, η έκταση της χρησιμοποίησης των ουσιών αυτών σε ΗΗΕ χρίζει επιπλέον διερεύνησης [35].

Σημειώνεται ότι στο PVC και το ελαστικό που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή καλωδίων χρησιμοποιούνται επίσης χλωριωμένες παραφίνες μεσαίου μήκους αλυσίδας (Mid-Chain Chlorinated Paraffins, MCCPs) ως δευτερεύοντες πλαστικοποιητές και επιβραδυντικά φλόγας [35] (90% της συνολικής κατανάλωσης των για την παραγωγή ΗΗΕ [48]).

#### 1.4.1.2.6. Καθοδικές λυχνίες

Οι καθοδικές λυχνίες (cathode ray tubes, CRTs) οθονών υπολογιστών και τηλεοράσεων περιέχουν μια ποικιλία επικινδύνων για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον ουσιών, όπως μόλυβδο, κάδμιο, υδράργυρο, βάριο, αργίλιο, αντιμόνιο, φωσφόρους κτλ. Ακολουθεί η περιγραφή, σε αδρές γραμμές, των κυριότερων επικινδύνων ουσιών των CRTs για τις οποίες δεν έχει ακόμη πραγματοποιηθεί αναφορά σε προηγούμενες παραγράφους (για τα Pb, Cd, και Hg βλ. § 1.4.1.2.2.4., 1.4.1.2.2.5.3. και 1.4.1.2.2.2. αντίστοιχα) του παρόντος συγγράμματος. Επίσης, για λόγους καλύτερης κατανόησης των επόμενων παραγράφων, στην εικόνα 2 παρουσιάζονται τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται μια CRT.



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση της δομής μιας καθοδικής λυχνίας [57].

##### 1.4.1.2.6.1. Περιεχόμενο σε μόλυβδο

Ανά CRT περιέχονται κατά μέσο όρο 0,5 έως 5 kg μολύβδου, ο οποίος χρησιμοποιείται σε διάφορα τμήματα της (π.χ. στο υάλινο πλαίσιο και το καλάι συγκόλλησης, panel και solder glass αντίστοιχα) [20]. Για το λόγο αυτό απαιτείται η αποτροπή της εκπομπής-έκλυσης αυτού στο έδαφος, το νερό ή την ατμόσφαιρα, εξαιτίας οιασδήποτε άστοχης επιλογής πρακτικών διαχείρισης. Συν τοις άλλοις, και βάσει αποτελεσμάτων τα οποία στηρίζονται στην προαναφερθείσα στην § 1.4.1.2.2.5.1 εξέταση TCLP, οι CRTs θα πρέπει να κατατάσσονται στην κατηγορία των απολύτως επικινδύνων αποβλήτων, καθότι από διάφορες μελέτες έχει καταδειχθεί ότι η συγκέντρωση μολύβδου στα στραγγίσματα της πλειοψηφίας των υπό εξέταση κατασκευαστικών στοιχείων ξεπερνά (ενίοτε κατά πολύ) το αντίστοιχο για το μέταλλο αυτό ανώτατο επιτρεπτό όριο [17,53,58-60]. Σημειώνεται ότι ο μόλυβδος στο γυαλί των CRTs εξαιρείται της απαγόρευσης χρήσης Pb σε ΗΗΕ από την 2002/95/EK (βλ. παράρτημα αυτής), από την άλλη όμως, επισημαίνεται ότι οι CRTs τηλεοράσεων και οθονών

αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή μολύβδου στα ΑΗΗΕ (χωρίς πάντως να δύνανται να παραβλεφθούν οι ποσότητες αυτού που χρησιμοποιούνται στις PWBs<sup>38</sup>) [11].

#### 1.4.1.2.6.2. Βάριο

Το βάριο είναι ένα σχετικά μαλακό αργυρόλευκο μέταλλο, το οποίο χρησιμοποιείται στο εμπρόσθιο τμήμα των CRT. Αναφορικά με την επικινδυνότητα του, έρευνες έχουν καταδείξει ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αυτό προκαλεί μεταξύ άλλων βλάβες στην καρδιά, το ήπαρ και τη σπλήνα, καθώς και μυϊκή αδυναμία. Επίσης, μέχρι στιγμής δεν υφίστανται επαρκή δεδομένα για την εκτίμηση των επιπτώσεων από τη χρόνια έκθεση σε αυτό, μελέτες όμως σε πειραματόζωα κατέδειξαν ότι δύνανται να προκαλέσει υπέρταση και καρδιακή δυσλειτουργία [6].

#### 1.4.1.2.6.3. Φωσφόροι

Οι φωσφόροι αποτελούν ομάδα ανόργανων αλάτων, τα οποία εκπέμπουν φως χαρακτηριστικών μηκών κύματος δεχόμενα δέσμη ηλεκτρονίων, και χρησιμοποιούνται ως επίχρισμα στο εσωτερικό του πλαισίου των έγχρωμων οθονών CRT τηλεοράσεων και Η/Υ. Επί παραδείγματι, το άλας  $YVO_4$ , μαζί με μικροποσότητες ευρωπαϊού (Eu), παράγει ερυθρό χρώμα. Η επικινδυνότητα των χρησιμοποιούμενων στις CRTs φωσφώρων δεν έχει ακόμη πλήρως τεκμηριωθεί, το γεγονός όμως ότι το επίχρισμα αυτό περιέχει βαρέα μέταλλα και σπάνιες γαίες όπως κάδμιο, ψευδάργυρο, βανάδιο, ύτριο, σελήνιο, ευρώπιο κ.λπ. ως πρόσθετα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι φωσφόροι αποτελούν λίαν τοξικές χημικές ενώσεις. Το γεγονός αυτό θέτει τους εργαζόμενους σε εγκαταστάσεις μη αυτοματοποιημένης αποσυναρμολόγησης ΑΗΗΕ προ ενδεχόμενων σοβαρών κινδύνων για την υγεία των [6].

#### 1.4.1.2.7. Μόνωση

Επικίνδυνα συστατικά που πιθανώς περιέχονται (κυρίως) στη μόνωση των ΑΗΗΕ είναι ο αμιάντος, οι πυρίμαχες κεραμικές ίνες, καθώς και ουσίες που προκαλούν μείωση της στοιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος.

##### 1.4.1.2.7.1. Αμιάντος

Ο αμιάντος χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν σε συσκευές όπως τα ηλεκτρικά σίδερα, οι τοστιέρες κ.λπ.. Αποτελούσε επίσης συστατικό σε κάποιες θερμάστρες και άλλα αντικείμενα, τα οποία εκμεταλλεύονταν τις θερμομονωτικές ιδιότητες του. Οι σύγχρονες συσκευές ΗΗΕ δεν περιέχουν αμιάντο, ενώ σήμερα τα προϊόντα που περιέχουν αμιάντο επισημαίνονται καταλλήλως και έχει απαγορευθεί η χρήση των πλέον επικίνδυνων μορφών του. Πάντως, δεδομένου ότι σε κάποιες χώρες δεν έχουν ακόμη απαγορευθεί ή έστω ρυθμισθεί οι πωλήσεις προϊόντων που περιέχουν αμιάντο, είναι πολύ πιθανό να περιέχεται αμιάντος σε εισαγόμενα από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) προϊόντα. Επίσης, εάν μια συσκευή θέρμανσης είναι αρκετά παλαιά (π.χ. έχει παραχθεί πριν το 1985), η παρουσία αμιάντου σε αυτήν θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη, μέχρις αποδείξεως του ενάντιου [35].

Όσον αφορά την επικινδυνότητα του αμιάντου, είναι αποδεδειγμένα καρκινογόνος για τον άνθρωπο: τόσο από επιδημιολογικές μελέτες, όσο και από πειραματικά αποτελέσματα έχει καταστεί σαφές, ότι η εισπνοή σκόνης ή ινών αμιάντου προκαλεί αμιάντωση, καρκίνο του πνεύμονα και μεσοθηλίωμα. Οι καρκινογόνες ιδιότητες του αμιάντου οφείλονται στη γεωμετρία των ινών του και στην αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα της δομής του. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι ο κίνδυνος πρόκλησης καρκίνου του πνεύμονα για καπνιστές είναι δεκαπλάσιος από αυτόν για μη καπνιστές,

<sup>38</sup> Υποστηρίζεται ακόμη ότι ο μόλυβδος στο γυαλί των καθοδικών λυχνιών είναι πολύ δύσκολο να διαφύγει από την υάλινη μήτρα και να ρυπάνει εδάφη ή υπόγεια ύδατα. Συνεπώς, ενδέχεται την κύρια πηγή μολύβδου από ΑΗΗΕ σε χωματερές να την αποτελούν οι συγκολλήσεις των PWBs, παρά το γεγονός ότι οι χρησιμοποιούμενες σε αυτές ποσότητες Pb είναι χαμηλές [48].

όταν αμφότεροι εκτίθενται στα ίδια επίπεδα αμιάντου για το ίδιο χρονικό διάστημα. Συν τοις άλλοις, δεν προτείνεται κανένα ασφαλές επίπεδο έκθεσης του ανθρώπου στον αμίαντο, δεδομένου ότι δεν υφίσταται κάποια γνωστή ασφαλής συγκέντρωση κατωφλίου. Συνεπώς, η συγκέντρωση έκθεσης σε αμίαντο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη [61].

#### 1.4.1.2.7.2. Πυρίμαχες κεραμικές & ορυκτές ίνες

Η συνολική χρήση RCFs στο Ηνωμένο Βασίλειο αναφέρεται ως ίση με 8000 τόνους, με 50% των ποσοτήτων αυτών να καταναλώνεται ως επένδυση σε φούρνους, θερμάστρες και κλιβάνους, 20% σε άλλες οικιακές συσκευές, 10% στην κατεργασία μετάλλων (π.χ. χύτευση και σφυρηλάτηση χάλυβα), και το υπόλοιπο 20% σε γενικές βιομηχανικές εφαρμογές, εφαρμογές πυροπροστασίας και αυτοκίνητα. Θεωρείται επίσης εξαιρετικά πιθανό να περιέχονται RCFs σε δομικά συστήματα θέρμανσης [35].

Οι αναπνεύσιμες RCFs κατατάσσονται από τον IARC ως ανήκοντες στην κατηγορία 2 (πιθανά ή ενδεχόμενα, probably ή possibly) καρκινογόνες ουσίες, έχοντας υπόψη παρατηρήσεις από πρόσφατες μελέτες με πειραματόζωα, όπου καταδείχθηκε ότι οι RCFs δύνανται να προκαλέσουν καρκίνο του πνεύμονα ή μεσοθηλίωμα στον άνθρωπο. Βέβαια, η κατηγοριοποίηση αυτή δεν συνεπάγεται απαγόρευση της χρήσης των, από την άλλη όμως σημαίνει ότι οποιαδήποτε εργασία με RCFs υπόκειται σε αυστηρούς ελέγχους. Συγκεντρώσεις κεραμικών ινών στην ατμόσφαιρα της τάξης των 100, 10 και 1 ινών/lit επιφέρουν επικινδυνότητα για την ανθρώπινη ζωή της τάξης των  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  και  $10^{-6}$  αντίστοιχα [61]. Πάντως, τα μονωτικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές είναι πιθανότερο να περιέχουν ορυκτές ίνες κι όχι RCFs. Προληπτικά, και εφόσον δεν υφίστανται επαρκή δεδομένα για συγκεκριμένες ορυκτές ίνες, θα πρέπει να κατατάσσονται ως ανήκοντες στην κατηγορία 3 (μη ταξινομημένες μέχρι τώρα από τον IARC) καρκινογόνες ουσίες [35]. Επίσης, υαλώδεις ίνες διαμέτρου μεγαλύτερης των 3 μm δύναται να προκαλέσουν προσωρινό ερεθισμό και φλεγμονή στο δέρμα, στα μάτια και στο άνω αναπνευστικό σύστημα, ενώ οι επιπτώσεις στο κάτω αναπνευστικό σύστημα ποικίλουν ανάλογα με την ονομαστική διάμετρο του υλικού [61].

Τέλος, οι φράσεις R για τις πυρίμαχες κεραμικές, καθώς και τις ορυκτές ίνες, οι αντίστοιχες ιδιότητες, καθώς και οι συγκεντρώσεις κατωφλίου καταδεικνύονται στον ακόλουθο πίνακα 22.

**Πίνακας 22:** Φράσεις R, ιδιότητες και συγκεντρώσεις κατωφλίου για τις ορυκτές, καθώς και τις πυρίμαχες κεραμικές ίνες [35].

Φράση R	Ιδιότητα	Φύση του κινδύνου	Συγκέντρωση κατωφλίου
		<b>RCFs</b>	
R38	H4	Ερεθιστικό: ερεθίζει το δέρμα	≥ 20%
R49	H7	Καρκινογόνο: μπορεί να προκαλέσει καρκίνο όταν εισπνέεται	≥ 0,1%
		<b>Ορυκτές Ίνες</b>	
R38	H4	Ερεθιστικό: ερεθίζει το δέρμα	≥ 20%
R40	H7	Καρκινογόνο: ύποπτο καρκινογένεσης	≥ 1%

#### 1.4.1.2.7.3. ODS

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια μείωση της ποσότητας του στρατοσφαιρικού όζοντος, η οποία έχει ως συνέπεια την αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας UVB που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Η UVB ακτινοβολία δύναται να προκαλέσει εγκαύματα στο δέρμα και να μεταλλάξει το DNA των ανθρώπινων κυττάρων, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες δημιουργίας καρκίνου του δέρματος, ενώ πορεί να προκαλέσει προβλήματα στο ανοσοποιητικό σύστημα και τα μάτια. Επίσης, δύναται να επιφέρει βλάβες στα φυτά, καθώς και στους οργανισμούς οι οποίοι ζουν κοντά στην επιφάνεια ποταμών, λιμνών και ωκεανών. Ως κύρια υπεύθυνες για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος θεωρούνται οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα ανθρωπογενών προωθητικών



αερίων και αερίων ψυκτικών κυκλωμάτων, και κυρίως των Freon-11 (ή CFC-11) και Freon-12 (ή CFC-12<sup>39</sup>), χωρίς βέβαια να αποσιωπείται και η συμβολή άλλων χημικών ενώσεων όπως οι υδροχλωροφθοράνθρακες, οι halons<sup>40</sup> κ.λπ. σε αυτή [62].

Στον ΑΗΗΕ, οι ODS ανευρίσκονται σε ψυκτικά συστήματα (ψυγεία, καταψύκτες), συσκευές αυτόματης διανομής που περιλαμβάνουν σύστημα ψύξης, καθώς και κλιματιστικό εξοπλισμό (σταθερό ή φορητό) και παρόμοια προϊόντα [56]. Σύμφωνα με το παράρτημα II της οδηγίας 2002/95/EK, απαιτείται η αφαίρεση από το ρεύμα των υπολοίπων ΑΗΗΕ, όπως και η μετέπειτα κατάλληλη επεξεργασία, των κατασκευαστικών στοιχείων εξοπλισμού που περιέχει CFCs, HCFCs, HFCs και HCs<sup>41</sup>, καθότι αποτελούν αέρια τα οποία πιθανώς είτε καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος, είτε παρουσιάζουν δυναμικό αύξησης της θέρμανσης του πλανήτη<sup>42</sup> με τιμή άνω του 15 [1]. Ως μέτρο της καταστροφής που προκαλείται στο στρατοσφαιρικό όζον από μια συγκεκριμένη ουσία χρησιμοποιείται το δυναμικό μείωσης του όζοντος<sup>43</sup>.

Αναφορικά με τις ομάδες ενώσεων που αναφέρονται στην οδηγία για τα ΑΗΗΕ, οι CFCs είναι ενώσεις οι οποίες αποτελούνται από άτομα χλωρίου, φθορίου και άνθρακα, και είναι πολύ σταθερά στην τροπόσφαιρα<sup>44</sup>. Στη στρατόσφαιρα διασπώνται υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας και ελευθερώνουν άτομα χλωρίου τα οποία στη συνέχεια καταλύουν τις αντιδράσεις καταστροφής της στιβάδας του όζοντος. Οι CFCs χρησιμοποιούνται σε ψυκτικά κυκλώματα, ως διαλύτες και ως προωθητικά αέρια. Επίσης, οι HCFCs είναι ενώσεις οι οποίες αποτελούνται από άτομα χλωρίου, υδρογόνου, φθορίου και άνθρακα και χρησιμοποιήθηκαν προς αντικατάσταση των CFCs στις εφαρμογές των. Επειδή περιέχουν χλώριο συμβάλλουν και αυτοί στην καταστροφή του όζοντος, σε μικρότερο όμως βαθμό: η τιμή του ODP των κυμαίνεται από <0,01 έως 0,1 (ουσίες 2<sup>ης</sup> τάξης, με ODP<2). Τέλος οι υδροφθοράνθρακες και οι υδρογονάνθρακες συνιστούν ομάδες αντικαταστατών των CFCs και HCFCs στις εφαρμογές τους (π.χ. ψυκτικά και προωθητικά αέρια), έχοντας το πλεονέκτημα ότι έχουν ODP ίσο με το μηδέν [62]. Πάντως, εν αντιθέσει με τους HCs, οι HFCs (μαζί με τους PFCs και το SF<sub>6</sub>)<sup>45</sup> διέπονται από το πρωτόκολλο του Κιότο, ως αέρια συμβάλλοντα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Προβλέπεται ότι άνευ επαρκούς ελέγχου και επιτήρησης, οι εκπομπές HFCs θα αντιπροσωπεύουν το 15 και 40% των εκπομπών ισοδυνάμων CO<sub>2</sub> αερίων του θερμοκηπίου τα έτη 2040 και 2100 αντίστοιχα, καθότι το GWP των HFCs κυμαίνεται από 140 έως 11700, ανάλογα με την ένωση (ενώ για τους HCs είναι μικρότερο του 15, π.χ. για το ισοβουτάνιο έχει τιμή 8). Επίσης, οι εκπομπές των HFCs προβλέπεται να αυξάνονται ραγδαία και πέραν το έτους 2010, λόγω του ότι πολλές ψυκτικές συσκευές οι οποίες σήμερα είναι σε λειτουργία θα φτάνουν στο τέλος του χρόνου ζωής των και θα καθίστανται απόβλητες [56].

Θα πρέπει τέλος να επισημανθεί ότι, συνεπεία των ανωτέρω προαναφερθέντων, έχει επιβληθεί στην παραγωγή, διάθεση στην αγορά και χρήση των CFCs, HCFCs, HFCs, halons, HBFCs (υδροβρωμοφθοροάνθρακες) κ.λπ. πλήθος ελέγχων και απαγορεύσεων δυνάμει του κανονισμού 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου: π.χ. για τους HCFCs απαγορεύθηκε η χρήση τους σε κάθε εξοπλισμό παραγόμενο μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2003 [63]. Επίσης, στο παράρτημα I του

<sup>39</sup> Τα CFC-11 και CFC-12 αποτελούν χλωροφθοράνθρακες με μοριακό τύπο CFCI<sub>3</sub> και CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> αντίστοιχα.

<sup>40</sup> Halons: ενώσεις αποτελούμενες από άτομα Cl, Br και C, χρησιμοποιούμενες ως μέσα πυρόσβεσης.

<sup>41</sup> CFCs: χλωροφθοράνθρακες, HCFCs: υδροχλωροφθοράνθρακες, HFCs: υδροφθοράνθρακες, και HCs: υδρογονάνθρακες.

<sup>42</sup> Δυναμικό αύξησης της θέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential, *GWP*): δείκτης ο οποίος αναφέρεται στη θέρμανση του πλανήτη που προκαλείται από μια συγκεκριμένη ουσία. Το *GWP* είναι ο λόγος της θέρμανσης που προκαλείται από μια ουσία, προς τη θέρμανση που προκαλείται από το CO<sub>2</sub>, στο οποίο προσδίδεται τιμή για το *GWP* ίση με 1. Το *GWP* μιας ουσίας μετράται βάσει καθορισμένου χρονικού ορίζοντα 20 ή 100 ετών (*GWP*-20 και *GWP*-100 αντίστοιχα). Το *GWP*-100 είναι το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μέγεθος [56,62].

<sup>43</sup> Δυναμικό μείωσης του όζοντος (Ozone Depletion Potential, *ODP*): δείκτης ο οποίος αντιπροσωπεύει τη δυνητική επίδραση μιας ουσίας στη στιβάδα του όζοντος, και ισούται με την επίδραση στο όζον τη εν λόγω ουσίας προς την επίδραση του CFC-11, στο οποίο προσδίδεται τιμή για το *ODP* ίση με 1 [62].

<sup>44</sup> Η περιοχή της ατμόσφαιρας που βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια της γης.

<sup>45</sup> Οι HFCs, PFCs (υπερφθοράνθρακες, ενώσεις αποτελούμενες από F και C, με μηδέν *ODP*, αλλά πολύ υψηλό *GWP* και μεγάλη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα) και το SF<sub>6</sub> συνιστούν την ομάδα ονομαζόμενη ως *F-gases* [56].



κανονισμού αυτού παρατίθεται ένας διεξοδικός κατάλογος των χημικών ενώσεων που συνεισφέρουν στην μείωση της στοιβάδας του στρατοσφαιρικού όζοντος.

#### 1.4.1.2.8. Οθόνες υγρών κρυστάλλων

Η τεχνολογία των οθονών υγρών κρυστάλλων (LCDs) αρχικά χρησιμοποιήθηκε στους φορητούς υπολογιστές (laptop), αλλά πλέον έχει διεισδύσει και στην αγορά των desktop υπολογιστών. Συν τοις άλλοις, οι LCDs απαντώνται σε πληθώρα άλλων συσκευών ΗΗΕ, όπως π.χ. τις καφετιέρες, τα κινητά τηλέφωνα ή τις οθόνες που χρησιμοποιούνται στα ταμπλό αυτοκινήτων, όπου οι χρησιμοποιούμενοι υγροί κρύσταλλοι ενσωματώνονται ως ηλεκτρικά ενεργό (electroactive) στρώμα, ανάμεσα σε λεπτές στρώσεις γυαλιού και ηλεκτρικών στοιχείων ελέγχου (electrical control elements). Επίσης, η οθόνη ενός κινητού τηλεφώνου και ενός υπολογιστή τσέπης (notebook) αναφέρεται ότι δύνανται να περιέχουν έως 0,5 mg και 0,5 gr υγρών κρυστάλλων, αντίστοιχα, ενώ η παγκόσμια παραγωγή υγρών κρυστάλλων το 1999 ανερχόταν σε περίπου 40 τόνους, με έντονα αυξητικές τάσεις [35].

Οι διατιθέμενοι στο εμπόριο υγροί κρύσταλλοι αποτελούν συνήθως μίγματα 10 έως 20 ενώσεων, οι οποίες ανήκουν στις ομάδες των υποκατεστημένων αλκυλοβενζολίων, φαινυλοκυκλοεξανίων και κυκλοεξυλοβενζολίων, όπως π.χ. οι MBBA (4-methoxybenzylidene-4-butylaniline) και 5CB (4-pentyl-4-cyanobiphenyl). Οι ενώσεις αυτές αποτελούνται από άτομα οξυγόνου, φθορίου, υδρογόνου και άνθρακα. Σήμερα, περίπου 50.000 διαφορετικές χημικές ενώσεις είναι γνωστό ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά οθονών υγρών κρυστάλλων. Όμως, μονάχα 250 εξ αυτών αποτελούν τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες, ως συστατικά των άνω των 1000 εμπορικά διαθέσιμων μιγμάτων υγρών κρυστάλλων [35].

Μέχρι στιγμής δεν υφίστανται επαρκή αποτελέσματα τοξικολογικών ερευνών για τα συστατικά των LCD, και για το λόγο αυτό ορίζεται η διερεύνηση της παραμέτρου αυτής ως ζήτημα προτεραιότητας στο παράρτημα II της 2002/96/EK. Στη βιβλιογραφία υφίστανται άρθρα και εκθέσεις τα οποία αναφέρουν την ύπαρξη καρκινογόνων αζωχρωμάτων<sup>46</sup> (azo-dyes) και άλλων επικίνδυνων συστατικών όπως ο υδράργυρος<sup>47</sup> στις LCDs, από την άλλη όμως, δεν παρατηρήθηκαν ενδείξεις δυναμικού δημιουργίας καρκίνου ή οξείας τοξικότητας για μεγάλο αριθμό συστατικών οθονών LCD από υπάρχουσες τοξικολογικές μελέτες [35].

Η 2002/96/EK προβλέπει την απομάκρυνση από το ρεύμα των συλλεγόμενων ΑΗΗΕ, τόσο των LCD με επιφάνεια μεγαλύτερη από 100 cm<sup>2</sup>, όσο και των φωτιζόμενων από το πίσω μέρος τους με λαμπτήρες εκκένωσης αερίων οθονών. Οι περισσότερες οθόνες υγρών κρυστάλλων περιέχουν αυτού του είδους λαμπτήρα – εκτός των φτηνών φορητών συσκευών και των υπολογιστών τσέπης (calculators), συνεπώς η κύρια μέριμνα εγκαταστάσεων αποσυναρμολόγησης συσκευών ΑΗΗΕ με μικρής επιφάνειας LCDs έγκειται στην παρουσία ή όχι των εν λόγω λαμπτήρων (απουσία αυτού θα απαιτείται δύναμη της οδηγίας η αφαίρεση της LCD ενός φωτοαντιγραφικού μηχανήματος, αλλά όχι και μιας κονσόλας βιντεοπαιχνιδιών, η οποία δεν θα πληροί την απαίτηση για επιφάνεια μεγαλύτερη από 100 cm<sup>2</sup>). Πάντως, απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση το ερώτημα του κατά πόσον η απομάκρυνση του εν λόγω λαμπτήρα από τις LCD τις καθιστά ακίνδυνες για το περιβάλλον, εφόσον διερευνάται ακόμη η επικινδυνότητα πολλών συστατικών των υγρών κρυστάλλων. Επίσης, οθόνες μικρότερες από αυτές που καλύπτονται από την 2002/95/EK πιθανότατα καλύπτονται από την HWD (91/689/EOK), όμως αναφέρεται ότι απαιτείται η ενδελεχής διερεύνηση του περιεχομένου των σε υδράργυρο [35].

#### 1.4.1.2.9. Ραδιενεργά συστατικά

<sup>46</sup> Αζωχρώματα: χρώματα που περιέχουν τη χρωμοφόρο ομάδα -N=N-.

<sup>47</sup> Συν τοις άλλοις αναφέρεται ότι ο Hg δεν δύναται να υποκατασταθεί από κάποια άλλη ουσία στις LCD [48].

Σύμφωνα με το παράρτημα II της 2002/96/EK, απαιτείται η αφαίρεση των κατασκευαστικών στοιχείων ΑΗΗΕ με ραδιενεργές ουσίες, εξαιρουμένων αυτών που κείνται κάτω συγκεκριμένων κατωφλίων εξαιρέσεως (exemption thresholds) που ορίζονται στο άρθρο 3 και στο παράρτημα της οδηγίας 96/29/Ευρατόμ. Τέτοια συστατικά απαντώνται σε ιατροτεχνολογικές συσκευές, και πιθανώς σε όργανα παρακολούθησης και ελέγχου (8<sup>η</sup> και 9<sup>η</sup> κατηγορία ΗΗΕ, αντίστοιχα). Σημειώνεται ότι ο εξοπλισμός αυτού του τύπου πιθανότατα αποστέλλεται ήδη σε ειδικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας στο τέλος του χρόνου ζωής του [35].

Όσον αφορά ειδικά σε οικιακούς ανιχνευτές καπνού, οι ανιχνευτές θαλάμου ιονισμού (ionisation chamber smoke detectors, *ICSDs*) χρησιμοποιούν αμερίκιο-241 (<sup>241</sup>Am). Σύμφωνα με υπολογισμούς του βρετανικού οργανισμού National Radiological Protection Board (*NRPB*), εκτιμάται ότι η μέγιστη ετήσια ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας ενός χρήστη *ICSD* είναι πιθανά περίπου ίση με 0,1 μSv<sup>48</sup> (εξαιρετικά μικρή συγκρινόμενη με τη μέση ετήσια ισοδύναμη δόση ακτινοβολίας που δέχεται ο άνθρωπος λόγω της φυσικής ραδιενέργειας, η οποία ανέρχεται σε 2,4 mSv [64]). Επίσης, η ίδια η κατασκευή της πηγής ακτινοβολίας των *ICSDs* ελαχιστοποιεί την οφειλόμενη σε ανεξέλεγκτη διάθεση πιθανή δόση σε ανθρώπους. Έρευνα του *NRPB* κατέδειξε ότι για άτομα που διέμεναν πλησίον χώρων διάθεσης *ICSDs*, η μέση ετήσια δόση ακτινοβολίας που ήταν πιθανό να δεχτούν ήταν μικρότερη από 1 μSv. Το γεγονός αυτό καθιστά ακίνδυνη την απόρριψη των σύγχρονων *ICSDs* μαζί με το ρεύμα των υπολοίπων οικιακών αποβλήτων [35].

#### 1.4.1.2.10. Άλλα

Αναφορικά με τα παρασκευάσματα και κατασκευαστικά στοιχεία τα οποία χρίζουν απομάκρυνσης από το ρεύμα των ΑΗΗΕ και δεν αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους – μπαταρίες, διακόπτες, οπισθοφωτιστικές λυχνίες και λαμπτήρες εκκένωσης αερίων – τα επικίνδυνα συστατικά τα οποία περιέχουν, κυρίως υδράργυρος, αναλύθηκαν διεξοδικά προηγουμένως. Στο σημείο αυτό λοιπόν κρίνεται σκόπιμη η αναφορά των κάτωθι:

- ✓ Σε υλικά οπτικών εφαρμογών χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες των In, Ga και As [48].
- ✓ Το γάλλιο, το ίνδιο και το αρσενικό χρησιμοποιούνται στην παραγωγή *PWBs* και ημιαγωγών: το Ga θεωρείται ύποπτο καρκινογένεσης και οι τοξικές επιδράσεις του As είναι πολυποικίλες [8,17].
- ✓ Στην παραπομπή [35] αναφέρονται τα αποτελέσματα μιας εκτίμησης επικινδυνότητας διαφόρων προϊόντων ΗΗΕ (βάσει μεθοδολογίας η οποία περιγράφεται στα συγγράμματα [35] και [37]). Στα αποτελέσματα της εκτίμησης αυτής αναφέρεται ότι:
  1. οι καλωδιώσεις και σωληνώσεις ενός πλυντηρίου ρούχων είναι επικίνδυνα απόβλητα, λόγω του περιεχομένου των σε φθαλικούς εστέρες και σταθεροποιητές
  2. όχι μόνον ο μονωτικός αφρός και οι ψυκτικές ουσίες, αλλά και ολόκληρα τα ψυγεία αποτελούν επικίνδυνα απόβλητα λόγω της συγκέντρωσης των *ODS* που περιέχονται σε αυτά
  3. η συγκέντρωση μολύβδου στις *CRTs* είναι αρκετά υψηλή, ούτως ώστε τόσο αυτές, όσο και οι ίδιες οι τηλεοράσεις και οθόνες που τις περιέχουν να αποτελούν επικίνδυνα απόβλητα
  4. η αφαίρεση της *PWB* των τηλεφωνικών συσκευών (η οποία πιθανώς αποτελεί επικίνδυνο απόβλητο), τα καθιστά αυτομάτως μη επικίνδυνα
  5. οι φούρνοι μικροκυμάτων δεν αποτελούν επικίνδυνα απόβλητα, αν και απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της ακριβούς σύστασης των
  6. εάν η συγκέντρωση φθαλικών εστέρων στα πλαστικά μιας ηλεκτρικής σκούπας είναι μεγαλύτερη του 2% κ.β., τότε η συσκευή αυτή κατηγοριοποιείται ως επικίνδυνο απόβλητο
- ✓ Ακόμη, στην παραπομπή [53] παρατίθενται τα αποτελέσματα μιας μελέτης, στην οποία διεξήχθη η *TCLP* για ποικιλία ηλεκτρονικών προϊόντων. Η μελέτη αυτή ως σκοπό της είχε να παράσχει

<sup>48</sup> Sv: sievert, η μονάδα ισοδύναμης δόσης ακτινοβολίας στο διεθνές σύστημα SI.

ενδείξεις σχετικά με τη δυνατότητα-πιθανότητα διάφορα προϊόντα HHE να κατηγοριοποιηθούν ως επικίνδυνα απόβλητα. Όσον αφορά το μόλυβδο καταδείχθηκε ότι:

1. όλοι οι τύποι ηλεκτρονικών συσκευών (CPUs, laptops, οθόνες CRT και LCD, εκτυπωτές, έγχρωμες τηλεοράσεις, βίντεο, κινητά τηλέφωνα, ηλεκτρολόγια, ποντίκια, τηλεχειριστήρια και ανιχνευτές καπνού) οι οποίοι περιέχουν Pb δύνανται να τον εκχυλίσουν σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του ανωτάτου ορίου των 5 mg Pb/lit. Πάντως, η υπέρβαση αυτή του ορίου δεν έλαβε χώρα για όλα τα μοντέλα ειδών HHE που υποβλήθηκαν στην TCLP (π.χ. 3 εκ των 8 LCDs<sup>49</sup> και 5 εκ των 9 εκτυπωτών που εξετάστηκαν υπερέβησαν το όριο)
2. οι φορητοί υπολογιστές δύνανται να εκχυλίσουν Pb σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τους desktop, πιθανότατα λόγω του λίαν χαμηλότερου περιεχομένου τους σε σιδηρούχα μέταλλα (7 εν συγκρίσει με 68%)

Κλείνοντας την παράγραφο 1.4.1., κρίνεται σκόπιμη η συγκεντρωτική παράθεση των εξαιρέσεων που προβλέπονται στο παράρτημα της οδηγίας 2002/95/EK, καθώς και από τις μετέπειτα πρόσφατες τροποποιήσεις που υπέστη, αναφορικά με την απαγόρευση της χρήσης των Pb, Hg, Cd, Cr(VI), PBBs και PBDEs σε είδη HHE (πίνακας 23).

**Πίνακας 23:** Συγκεντρωτική παράθεση των προβλεπόμενων εξαιρέσεων επί της επιβαλλόμενης από την οδηγία 2002/95/EK απαγόρευσης της χρήσης επικίνδυνων ουσιών σε HHE [41,46,65,66,67].

Ουσία	Χρήση	Συγκέντρωση
Υδράργυρος	λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων	≤ 5 mg ανά λαμπτήρα
	ευθείς λαμπτήρες φθορισμού γενικών εφαρμογών	αλοφωσφορικός: ≤ 10 mg τριφωσφορικός σε κοινούς λαμπτήρες: ≤ 5 mg τριφωσφορικός σε λαμπτήρες μεγάλης διάρκειας ζωής: ≤ 5 mg
	ευθείς λαμπτήρες φθορισμού ειδικών εφαρμογών	—
	άλλοι λαμπτήρες που δεν κατονομάζονται ρητώς	—
	ομοιογενή υλικά	≤ 0,1 % κ.β.
Μόλυβδος	γυαλί καθοδικών λυχνιών, ηλεκτρονικών κατασκευαστικών στοιχείων & λαμπτήρων φθορισμού	—
	συστατικό κράματος	χάλυβα: ≤ 0,35 % κ.β. αλουμινίου: ≤ 0,4 % κ.β. χαλκού: ≤ 4,0 % κ.β.
	κολλήσεις υψηλού σημείου τήξεως	κράματα με βάση τον Pb που περιέχουν ≥ 85 % Pb κ.β.
	κολλήσεις για εξυπηρετητές, συστήματα αποθήκευσης & συστήματα αποθήκευσης με συστοιχίες, εξοπλισμό υποδομής δικτύων για μεταγωγή, σηματοδότηση, διαβίβαση & διαχείριση δικτύου για τηλεπικοινωνίες	—
	ηλεκτρονικά κεραμικά μέρη (π.χ. πιεζοηλεκτρονικές διατάξεις)	—
	συμβατά συστήματα συζευκτήρα ακροδεκτών	—
	υλικό επίστρωσης για τον δακτύλιο c του δομοστοιχείου θερμικής αγωγιμότητας (TCM)	—
	οπτικό γυαλί και γυαλί φίλτρου	—
	κολλήσεις αποτελούμενες από περισσότερα των δύο στοιχείων για σύνδεση μεταξύ ακροδεκτών & δέσμης των μικροεπεξεργαστών	περιεχόμενο σε Pb ≥ 80 % κ.β. και ≤ 85 % κ.β.
	κολλήσεις με σκοπό την ολοκλήρωση εκμεταλλεύσιμης ηλεκτρικής σύνδεσης μεταξύ μήτρας ημιαγωγού & φορέα, σε μονολιθικά (Flip Chip) ολοκληρωμένα κυκλώματα	—
	έδρανα και έμβολα από Pb/ορείχαλκο	—
	ευθείς λαμπτήρες πυράκτωσης με περίβλημα επικαλυμμένο με πυρίτιο	—
	ενεργοποιητής σε φθορίζουσα σκόνη σε λαμπτήρες εκκένωσης	≤ 1,0 % κ.β.

<sup>49</sup> Το περιεχόμενο των LCDs σε Pb οφείλεται στην PWB των.

	εφόσον χρησιμοποιούνται για ηλιοθεραπεία και περιέχουν φωσφορίζουσες ουσίες & στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται στους ειδικούς λαμπτήρες των οργάνων αναπαραγωγικής εκτύπωσης diazo, τη λιθογραφία, παγίδες εντόμων, φωτοχημικές και θεραπευτικές διαδικασίες με φωσφορίζουσες ουσίες	
	PbBiSn-Hg και PbInSn-Hg σε ειδικές συστάσεις ως κύριο αμάλγαμα & ως PbSn-Hg ως επικουρικό αμάλγαμα σε λίκαν συνεπτυγμένους λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας (ESL)	—
	ομοιογενή υλικά	$\leq 0,1 \text{ \% κ.β.}$
οξείδιο Pb	γυαλί που χρησιμοποιείται για τη δέσμευση εμπρόσθιων & οπίσθιων υποστρωμάτων σε επίπεδους λαμπτήρες φθορισμού που χρησιμοποιούνται σε LCD	—
αλογονούχος Pb	παράγων ακτινοβολήσης σε λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης (HID) για επαγγελματικές εφαρμογές αναπαραγωγικής	—
	κάδμιο & ενώσεις του σε ηλεκτρικές επαφές & επιστρώσεις με Cd εκτός των εφαρμογών που έχουν απαγορευθεί δυνάμει της οδηγίας 91/338/ΕΟΚ	—
Κάδμιο	οπτικό γυαλί και γυαλί φίλτρου	—
	ομοιογενή υλικά	$\leq 0,01 \text{ \% κ.β.}$
Cr(VI)	αντιδιαβρωτικό του ψυκτικού συστήματος από ανθρακούχο χάλυβα στα ψυγεία απορρόφησης	—
	ομοιογενή υλικά	$\leq 0,1 \text{ \% κ.β.}$
PBDEs	δεκαπολυβρωμοδιφαινύλιο (DBDE) σε εφαρμογές πολυμερών	—
	ομοιογενή υλικά	$\leq 0,1 \text{ \% κ.β.}$
PBBs	ομοιογενή υλικά	$\leq 0,1 \text{ \% κ.β.}$

**ΕΝΟΤΗΤΑ 2<sup>Η</sup>****ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 2.0. Στόχοι της εργασίας

Όπως καταδείχθηκε στο προηγούμενο μέρος της παρούσας εργασίας, η σημασία των σχετιζόμενων με τα ΑΗΗΕ προβλημάτων κίνησε την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας σχετικά πρόσφατα. Ωστόσο, αυτή επικεντρώθηκε σε προϊόντα μεγάλου μεγέθους (π.χ. λευκά αγαθά) ή σε μικρού μεγέθους συσκευές με μεγάλη υπολειμματική αξία όπως τα κινητά τηλέφωνα. Παρά ταύτα είναι σημαντικό να δοθεί προσοχή και στα μικρού μεγέθους ΑΗΗΕ. Αν και χώρες όπως η Γερμανία δύνανται να εκπληρώσουν σχετικά εύκολα τους στόχους χωριστής συλλογής και αξιοποίησης της 2002/96/ΕΚ με τα υπάρχοντα συστήματα που επικεντρώνονται στις μεγάλες συσκευές, από την ίδια οδηγία απαιτείται να αντιμετωπίζονται όλοι οι τύποι ΑΗΗΕ. Παρότι τα λευκά αγαθά αποτελούν την πλειοψηφία κατά βάρος, συσκευές μικρού και μεσαίου μεγέθους αποτελούν την συντριπτική αριθμητική πλειονότητα. Στην εικόνα 3 καταδεικνύονται μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα μικρών προϊόντων ΗΗΕ τα οποία καλύπτονται από την οδηγία.



Εικόνα 3: Παραδείγματα μικρών συσκευών ΗΗΕ.

Μια μεγάλη ποικιλία ΑΗΗΕ απορρίπτεται από τους καταναλωτές, με διάφορους τρόπους οι οποίοι πολύ συχνά εξαρτώνται από το μέγεθος των. Μικρές συσκευές (όπως ηλεκτρικά σίδερα) απορρίπτονται ευκολότερα από μεγαλύτερες (π.χ. ψυγεία). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν οικονομικά κίνητρα για την ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση πολλών προϊόντων, ενώ στην περίπτωση των ψυγείων νομική υποχρέωση να διατεθούν με περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο. Ωστόσο, η πλειονότητα των μικρών ΑΗΗΕ (small WEEE ή *sWEEE*) παρουσιάζει ένα πλήθος μοναδικών προβλημάτων αναφορικά με την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση, λόγω του μεγέθους και της πληθώρας των. Είναι σημαντικό λοιπόν να δημιουργηθούν συστήματα τα οποία δεν θα παραβλέπουν τις ιδιαιτερότητες αυτές [68,69]:

- ◇ το μικρό των μέγεθος συνεπάγεται ότι είναι ευκολότερο να απορριφθούν στον κάδο των κοινών απορριμμάτων, καθότι δεν υφίστανται οι δυσκολίες που παρουσιάζονται από την απόρριψη ογκωδών αντικειμένων π.χ. ενός πλυντηρίου λόγω βάρους και μεγέθους
- ◇ δεν υπάρχει επαρκής υποδομή για τη χωριστή συλλογή *sWEEE*
- ◇ το φάσμα διαφορετικών τύπων, μεγέθους και βάρους των προϊόντων είναι τεράστιο
- ◇ πολλά *sWEEE* δεν παρήχθησαν ως ανθεκτικά στο χρόνο και τη χρήση προϊόντα (π.χ. παιχνίδια με ηλεκτρονικά εξαρτήματα), συνεπώς δεν έχουν κατασκευαστεί λαμβάνοντας υπόψη την ικανότητα αναβάθμισης ή επαναχρησιμοποίησης

- ◇ η πληθώρα, πολυπλοκότητα και το κόστος των sWEEE, μαζί με τη μικρή ζήτηση στην αγορά, καθιστούν συχνά τις επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση λιγότερο βιώσιμες από ότι για μεγαλύτερες συσκευές
- ◇ τα αρκετά μικρά για τον κοινό κάδο απορριμμάτων ΑΗΗΕ (bin-suited, mülltonnengängig) θεωρούνται ένα ετερογενές, σύνθετο και δύσκολο να αποσυναρμολογηθεί ρεύμα αποβλήτων
- ◇ υφίσταται σημαντικό έλλειμμα γνώσης όσον αφορά τη συλλογή και επεξεργασία sWEEE.

Το σύστημα χωριστής συλλογής ΑΗΗΕ στη Γερμανία δεν είναι μέχρι στιγμής απόλυτα επιτυχές στο να πείσει τους καταναλωτές να διαθέτουν τις συσκευές τους μέσω αυτού. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα sWEEE, οι καταναλωτές διατηρούν τη συνήθεια να τα απορρίπτουν στον κάδο για υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα (*Restabfall*). Συνεπεία αυτού, παρά την υποχρέωση για χωριστή συλλογή, πρόσφατες μελέτες (waste sorting analyses) αποκαλύπτουν ότι τα sWEEE συνιστούν στη Γερμανία έως και 1,5% κ.β. του συνολικού βάρους των υπολειμματικών οικιακών αποβλήτων [69]. Συν τοις άλλοις, πρόσφατη βρετανική μελέτη κατέδειξε ότι άνω του 60% μικρών συσκευών απορρίπτονται κατ' αυτόν τον τρόπο [68]. Από τη σκοπιά αυτή, στο μέλλον αναμένεται να ανευρίσκονται σημαντικές ποσότητες sWEEE στο ρεύμα των MSW, εκτίμηση η οποία υποστηρίζεται και από πρόσφατα ευρήματα στην Ελβετία [70]. Στον πίνακα 24 παρουσιάζονται οι κατηγορίες ΑΗΗΕ, το μέγεθος των συσκευών των οποίων είναι αρκετά μικρό έτσι ώστε να δύναται να απορρίπτονται σε κοινούς κάδους (*bin-suitability*). Μείζονος σημασίας είναι επίσης ο βαθμός συμμετοχής των νοικοκυριών για την επιτυχία της ανακύκλωσης των sWEEE, διότι σε μεγάλο βαθμό επαφίεται στη διάθεση να αλλάξουν συνήθειες. Η διαπίστωση αυτή αφορά ειδικότερα προϊόντα όπως τα sWEEE, τα οποία και παρουσιάζουν μεγάλες προκλήσεις κατά την ανακύκλωση. Ελλιπής συνειδητοποίηση του κοινού, και απλή απόρριψη των sWEEE στα *Restabfall*, βρίσκεται σε αντίθεση με τον τρόπο διάθεσης μεγαλύτερων συσκευών. Ο όγκος των τελευταίων προκαλεί μεγαλύτερα προβλήματα, ενώ στέλνει και ένα σαφές μήνυμα για τον όγκο των αποβλήτων που παράγονται [68]. Όλα αυτά καταδεικνύουν με σαφήνεια την ανάγκη τροποποίησης των υπάρχοντων συστημάτων συλλογής.

**Πίνακας 24:** Κατηγορίες ΑΗΗΕ με προϊόντα είναι αρκετά μικρά έτσι ώστε να δύναται να απορριφθούν σε κοινούς κάδους απορριμμάτων.

No.	Κατηγορία ΗΗΕ	"bin-suitability"
1	Μεγάλες οικιακές συσκευές	Όχι
2	Μικρές οικιακές συσκευές	Ναι
3	Εξοπλισμός πληροφορικής & τηλεπικοινωνιών	Ναι
4	Καταναλωτικά είδη	Ναι
5	Φωτιστικά είδη	Ναι
6	Ηλεκτρικά & ηλεκτρονικά εργαλεία	Ναι
7	Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας & αθλητισμού	Ναι
8	Ιατροτεχνολογικές συσκευές	Ναι
9	Όργανα παρακολούθησης & ελέγχου	Ναι
10	Συσκευές αυτόματης διανομής	Όχι

Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι τα sWEEE συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στο ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cd, Pb, Hg κ.α. Για παράδειγμα, η εισαγωγή sWEEE στην τροφοδοσία αποτεφρωτήρων αποβλήτων έχει ως αποτέλεσμα αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στη σκωρία και την υπολειμματική τέφρα. Η παραγόμενη τέφρα δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή προϊόντων οδοποιίας. Όμως, για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί κατά περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο, θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες φυσικές και τεχνικές προδιαγραφές, ιδιαίτερα όσον αφορά την εκχυλισιμότητα κάποιων συστατικών της. Ακόμη και εάν η περιέχουσα βάρεια μέταλλα τέφρα επεξεργαστεί κατάλληλα προς απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων, εξακολουθεί να διέπεται επιπλέον περιβαλλοντικών όρων. Έχει λοιπόν υπολογιστεί, ότι εάν μικρά λευκά και καφέ αγαθά δεν αποτεφρώνονται πλέον με τα υπόλοιπα MSW, το ρυπαντικό φορτίο της τέφρας μειώνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να πληροί τα σχετικά προδιαγραφόμενα όρια [71]. Συνεπώς, επιπλέον στόχο της παρούσας εργασίας αποτελεί το να συνεισφέρει στην αποτροπή της εισόδου των sWEEE στα MSW και επακόλουθης επιμόλυνσης των τελευταίων.

Εξάλλου, υφίσταται περιορισμένο εύρος πληροφοριών όσον αφορά το περιεχόμενο των sWEEE σε ανακυκλώσιμα υλικά, αλλά και επικίνδυνες ουσίες και παρασκευάσματα, πληροφορίες εξαιρετικά πολύτιμες για μονάδες ανακύκλωσης sWEEE. Ναι μεν το περιεχόμενο των σε χαλκό και πολύτιμα μέταλλα θεωρείται σημαντικό, από την άλλη όμως στη Γερμανία αναφέρεται μονάχα περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον για τα sWEEE εκ μέρους της τοπικής βιομηχανίας ανακύκλωσης, λόγω των προαναφερθέντων «ενδημικών» προβληματικών χαρακτηριστικών και της χαμηλής αγοραστικής «ελκυστικότητας» μη μεταλλικών ανακυκλωμένων προϊόντων [72]. Ακόμη, δεν έχει μέχρι στιγμής δοθεί η δέουσα προσοχή στη διαχωριστική ικανότητα φυσικών και χειρωνακτικών διεργασιών ανακύκλωσης, ειδικότερα όσον αφορά δυνητικά παρόντα επικίνδυνα συστατικά στα sWEEE. Ως εκ τούτου, για πολλούς λόγους απαιτείται η ανάπτυξη συγκεκριμένων αξιώσεων για τεχνολογίες διαχωρισμού των sWEEE από τα MSW. Η λύση του προβλήματος των ΑΗΗΕ αποτελεί συνάμα και ένα σημαντικό επιπλέον βήμα για την περιβαλλοντικά αειφόρο διαχείριση αποβλήτων και φυσικών πόρων. Επίσης, η σύνθεση των sWEEE μπορεί να αλλάξει σημαντικά συνεπεία νομοθετημάτων, ή τεχνολογικής, οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης. Η ανάλυση επομένως των περιεχόμενων στα sWEEE υλικών και ουσιών αντιπροσωπεύει ένα χρήσιμο εργαλείο προς τον καθορισμό αλλαγών στη σύσταση και εκτίμηση της αποτελεσματικότητας νομικών, θεσμικών και τεχνολογικών μέτρων που αφορούν στα sWEEE.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, ένας μεγάλος αριθμός ερωτημάτων προκύπτει αναφορικά με τη μελλοντική διαχείριση των sWEEE:

- ◇ πώς θα ήταν δυνατό να εκτραπούν επιτυχώς τα sWEEE από το ρεύμα των MSW;
- ◇ ποιο είναι το δυναμικό επαναχρησιμοποίησης αυτού του τύπου αποβλήτων;
- ◇ ποιες είναι οι αποτελεσματικότερες στρατηγικές προς πλήρωση των στόχων αξιοποίησης της οδηγίας 2002/96/EK, έχοντας πάντα υπόψη τη σύσταση των sWEEE;
- ◇ ποιοι τύποι sWEEE απαιτούν επιλεκτική επεξεργασία, σύμφωνα με το παράρτημα II της ίδιας οδηγίας;
- ◇ πως θα μπορούσε να επηρεάσει η οδηγία RoHS τη μελλοντική σύσταση των sWEEE;

Συνεπώς, και έχοντας πάντοτε γνώμονα την ως άνω αιτιολόγηση, στις ακόλουθες παραγράφους του πειραματικού μέρους της παρούσας εργασίας λαμβάνει χώρα μια ενδελεχής εξέταση όσον αφορά την ποσοτικοποίηση των ανακυκλώσιμων υλικών και τον προσδιορισμό των επικίνδυνων ουσιών και παρασκευασμάτων σε sWEEE προερχόμενα από υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα της γερμανικής πόλης της Δρέσδης (Dresden). Κατ' αρχάς, εκτιμάται η σύσταση των Restabfall της πόλεως σε sWEEE, ενώ εξακριβώνεται το ποια προϊόντα και κατηγορίες ΗΗΕ συνεισφέρουν περισσότερο στη σύσταση των. Στη συνέχεια μετρώνται φυσικές και λειτουργικές παράμετροι, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια διαχωρισμού, ενώ προσδιορίζονται τα κυριότερα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα sWEEE, επιτρέποντας έτσι την εκτίμηση διαφορετικών σεναρίων ανακύκλωσης. Προσδιορίζεται επίσης το ρυπαντικό φορτίο «βάσης» των MSW, σαν πρώτο βήμα για την εκτίμηση της συνεισφοράς των sWEEE σε αυτό, καθώς και το περιεχόμενο σε βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) και αλογόνα (Cl, Br) επιλεχθέντων κατασκευαστικών στοιχείων των sWEEE μέσω φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης, ιοντικής χρωματογραφίας και φασματομετρίας φθορισμού ακτινών Χ. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα που αφορούν στην ανάπτυξη υποδομής και την εφαρμογή στην πράξη της οδηγίας 2002/96/EK, σε σχέση με τη διαχείριση και ανακύκλωση μικρών αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

## 2.1. ΑΗΗΕ στα οικιακά απόβλητα

Ως πρώτο βήμα προς επίτευξη των στόχων που ετέθησαν από την παρούσα εργασία, έλαβε χώρα ο χειρωνακτικός διαχωρισμός sWEEE από οικιακά απόβλητα συγκεκριμένων περιοχών της ανατολικογερμανικής πόλης της Δρέσδης (με πληθυσμό περί τις 500.000 κατοίκους), και δη εκ των *Gorbitz*, *Dölszchen* και *Striesen*, το δεύτερο εξάμηνο του 2006. Η επιλογή των τριών συγκεκριμένων περιοχών έλαβε χώρα κατά τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να μπορεί να υπάρξει αντιπροσωπευτική δειγματοληψία από περιοχές της ίδιας πόλεως, οι οποίες όμως να εμφανίζουν κατ' αρχήν



διαφορετικά πολεοδομικά, οικιστικά, και εν τέλει οικονομικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά μεταξύ των. Οι διαφορές στα πολεοδομικά και οικιστικά χαρακτηριστικά των επιλεγέντων περιοχών καθορίζονται από τον τύπο «χωροταξικής δομής» των (*Bebauungsstruktur*, πίνακας 25).

**Πίνακας 25:** Χωροταξική δομή για τις επιλεγείσες περιοχές & χαρακτηριστικά των.

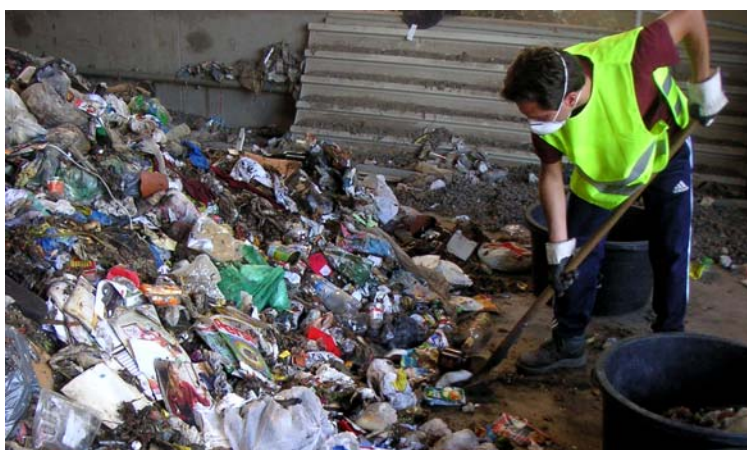
Περιοχή	Bebauungsstruktur	Χαρακτηριστικά
Gorbitz	5	Μεγάλες πολυκατοικίες, υψηλή πυκνότητα πληθυσμού, κοινή χρήση κάδου απορριμμάτων (660, 770 ή 1100 lt)
Dölszchen	1	Μεμονωμένα οικήματα, μικροί οικισμοί, «ατομική» χρήση κάδου ( $\leq 240$ lt)
Striesen	3	Περιοχές με μονο-, διπλο- ή μικρές πολυκατοικίες, συνήθως προάστια, «ατομική» χρήση κάδου ( $\leq 240$ lt)

Η διεκπεραίωση των διαφόρων βημάτων προς διαχωρισμό των μικρών ΑΗΗΕ και μπαταριών από τον όγκο του δείγματος των παραληφθέντων MSW πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- ♦ σε κατάλληλο χώρο της μονάδας επεξεργασίας υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων της πόλεως έλαβε χώρα η παραλαβή από απορριμματοφόρο (εικόνα 4) ~15 τόνων MSW, για κάθε περιοχή
- ♦ από τον όγκο των αποβλήτων αυτών, ποσότητες των μεταφέρονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα επί κόσκινου διαχωρισμού (εικόνα 5)
- ♦ επί του κόσκινου πραγματοποιείτο ο χειρωνακτικός διαχωρισμός των ανευρεθέντων μικρών ΑΗΗΕ από τα υπόλοιπα στερεά απόβλητα (εικόνα 6).



**Εικόνα 4:** Παραλαβή του όγκου του δείγματος.



**Εικόνα 5:** Μεταφορά στο κόσκινο διαχωρισμού.

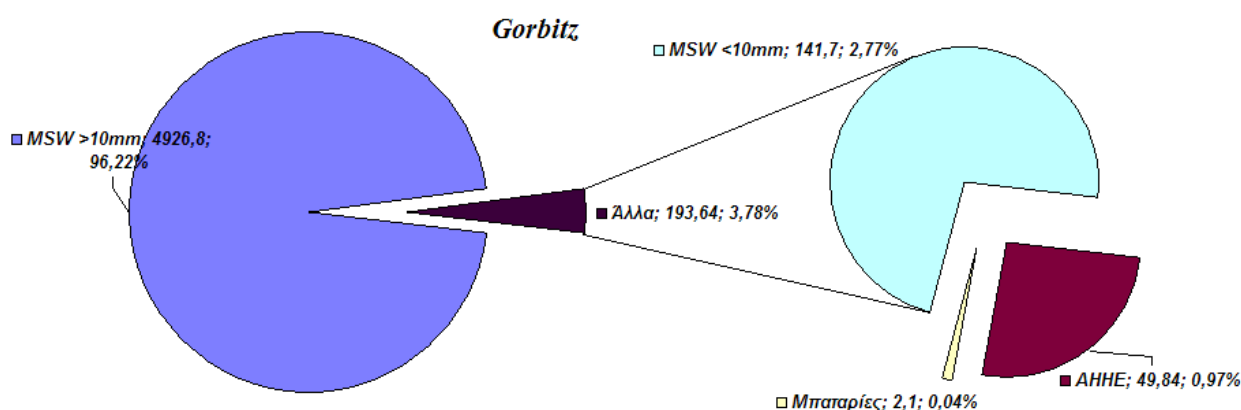


**Εικόνα 6:** Διαχωρισμός των sWEEE από τα MSW.

Για κάθε περιοχή διαχωρίστηκαν ΑΗΗΕ από οικιακά απόβλητα συνολικής μάζας περίπου 5 τόνων. Η ποσότητα αυτή κρίθηκε αρκετή, ως συμβιβασμός ανάμεσα στον απαιτούμενο κάματο των πειραματιστών και τον διαχωρισμό αντιπροσωπευτικών ποσοτήτων αποβλήτων. Συνολικά ανακτήθηκαν περί τα 180 kg sWEEE, μαζί με κατασκευαστικά στοιχεία και εξαρτήματα, και 5,6 kg μπαταριών. Σημειώνεται ότι οι πόροι του κόσκινου είχαν διάμετρο ίση με 10mm. Συνεπώς, τα τελικά κλάσματα που προέκυψαν από το διαχωρισμό ήταν οικιακά απόβλητα μεγέθους κόκκων >10 mm, οικιακά απόβλητα μεγέθους κόκκων <10 mm, μπαταρίες και sWEEE<sup>50</sup>. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν παρουσιάζονται στον πίνακα 26 και τα διαγράμματα 18 έως 21.

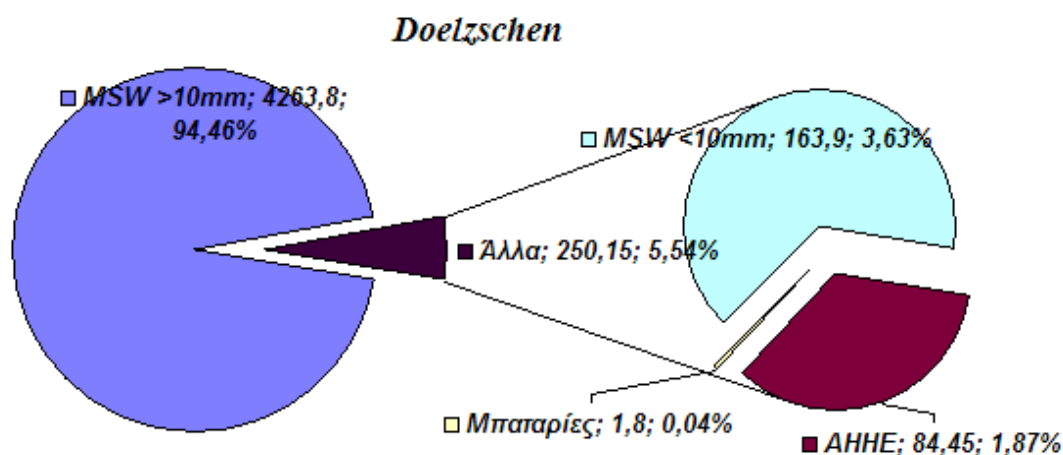
**Πίνακας 26:** Αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων αναλύσεων διαχωρισμού για τα κλάσματα των αποβλήτων (kg & % κ.β. σύσταση).

Περιοχή	MSW >10 mm		MSW <10 mm		sWEEE		Μπαταρίες	
	kg	% κ.β.	kg	% κ.β.	kg	% κ.β.	kg	% κ.β.
Gorbitz	4926,8	96,22	141,7	2,77	49,84	0,97	2,1	0,04
Dölszchen	4263,8	94,46	163,9	3,63	84,45	1,87	1,8	0,04
Striesen	4176,4	92,48	292,1	6,47	45,6	1,01	1,7	0,04
<b>Σύνολο</b>	<b>13367,0</b>	<b>94,46</b>	<b>597,7</b>	<b>4,22</b>	<b>179,89</b>	<b>1,27</b>	<b>5,6</b>	<b>0,04</b>

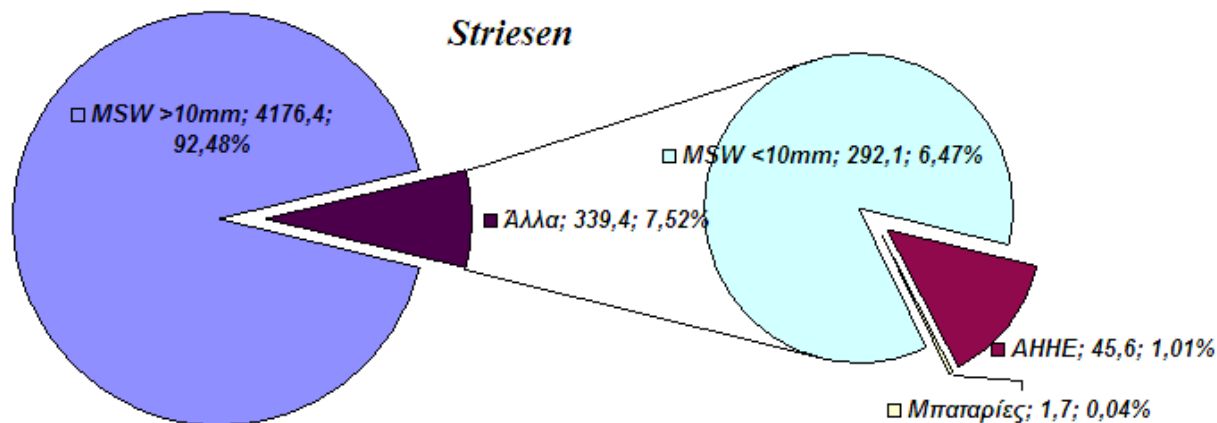


**Διάγραμμα 18:** Αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον διαχωρισμό των MSW του Gorbitz (kg & % κ.β. σύσταση).

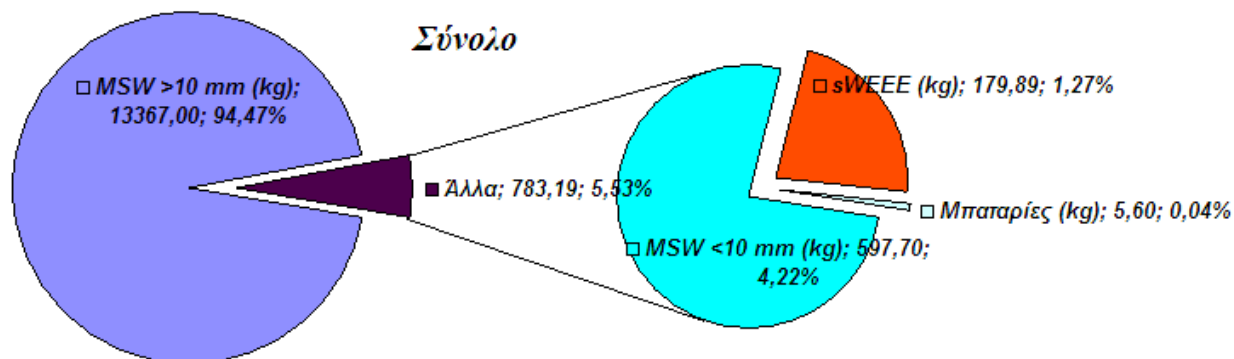
<sup>50</sup> Η λήψη-κατηγοριοποίηση των MSW σε περαιτέρω επιμέρους κλάσματα (π.χ. πλαστικά, ύφασμα, ξύλο, γυαλί κτλ.) δεν πραγματοποιήθηκε, διότι ξεφεύγει άρδην του σκοπού της παρούσας διατριβής.



**Διάγραμμα 19:** Αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον διαχωρισμό των MSW του Dölszchen (kg & % κ.β. σύσταση)



**Διάγραμμα 20:** Αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον διαχωρισμό των MSW του Striesen (kg & % κ.β. σύσταση).



**Διάγραμμα 21:** Συνολικά αποτελέσματα που ελήφθησαν και για τις 3 περιοχές (kg & % κ.β. σύσταση) για τις υπό μελέτη κατηγορίες αποβλήτων.

Επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι από τα παραπάνω αποτελέσματα δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί η ετήσια κατά κεφαλήν ποσότητα sWEEE η οποία απορρίπτεται στα οικιακά απόβλητα στις περιοχές αυτές. Ο λόγος έγκειται στο ότι οι παραληφθείσες ποσότητες αποβλήτων δεν είναι γνωστό σε πόσους κατοίκους αντιστοιχούν, ενώ επίσης δεν υπήρχαν στοιχεία για το ρυθμό αποκομιδής απορριμμάτων από τις συγκεκριμένες περιοχές. Αξιοσημείωτο είναι βέβαια το γεγονός ότι στην

πλέον αραιοκατοικημένη περιοχή (Dölszchen), το περιεχόμενο των Restabfall σε μικρά ΑΗΗΕ ήταν κατά πολύ μεγαλύτερο από ότι για τα άλλα δύο διαμερίσματα. Ωστόσο, τα ως άνω δεδομένα μπορούν να συσχετιστούν με κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες, οι οποίοι πιθανότατα επηρεάζουν τον τρόπο διάθεσης που επιλέγουν οι τελικοί χρήστες των προϊόντων όταν αυτά καταστούν απόβλητα. Κάτι τέτοιο όμως δεν ήταν δυνατό στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθώς ξεφεύγει του σκοπού της, ενώ συνάμα απαιτεί πληθώρα στοιχείων προερχόμενων από διάφορες πηγές, τονίζεται όμως η σημασία των συμπερασμάτων που μπορούν να εξαχθούν από μια τέτοια προσέγγιση. Επί παραδείγματι, οι Darby et al [68] πραγματοποιώντας μια τέτοια μελέτη κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το εισόδημα ενός νοικοκυριού επηρεάζει τον τελικό τρόπο διάθεσης των ΑΗΗΕ. Νοικοκυριά με μεγαλύτερο εισόδημα απέρριπταν συχνότερα sWEEE σε εγκαταστάσεις χωριστής συλλογής, απέρριπταν ωστόσο sWEEE με τα οικιακά απόβλητα σε μεγαλύτερη συχνότητα από νοικοκυριά με χαμηλότερο εισόδημα. Τούτο έγκειται πιθανά στο ότι στα τελευταία, τα sWEEE είτε αποθηκεύονται επί μακρόν προτού απορριφθούν, είτε δίδονται προς επαναχρησιμοποίηση [68].

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν όσον αφορά το μερίδιο των μικρών ΑΗΗΕ, αλλά και των μπαταριών στα Restabfall, δύναται να συγκριθούν με αυτά προηγούμενων μελετών που έλαβαν χώρα στη Γερμανία (πίνακας 27).

**Πίνακας 27:** Βιβλιογραφικά δεδομένα & ιδία αποτελέσματα για το % ποσοστό μικρών ΑΗΗΕ & μπαταριών σε υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα (Restabfall) στη Γερμανία.

	Πόλη ή περιοχή	Χρονική περίοδος	sWEEE στα υπολειμματικά στερεά απόβλητα (% κ.β.)	Ετήσια κατά κεφαλήν ποσά sWEEE που απορρίπτονται στα Restabfall (kg/y*κάτοικο)	Ποσοστό των μπαταριών στα Restabfall (% κ.β.)
1	Ανόβερο	καλοκαίρι 1995	0,6	1,04	—
2	Schweinfurt	χειμώνας 1995	0,9	0,52	—
3	Böblingen	1995	0,9	0,52	—
4	Paderborn	καλοκαίρι 1995	0,9	1,60	—
5	Brandenburg	φθινόπωρο 1995	1,4	3,60	—
6	Βερολίνο	2002/03	1,0	—	0,07
7	Βερολίνο	1997	0,5	—	0,05
8	Düsseldorf	1997/98	0,5	—	0,11
9	Mettmann	1998/99	0,5	—	0,02
10	Potsdam	1997	0,7	—	0,05
11	Βαυαρία	1999-2003	0,8	—	0,09
12	Βερολίνο	φθινόπωρο 2004	0,4	—	—
13	Βερολίνο	φθινόπωρο 2005	1,0	—	—
14	Σαξονία	χειμώνας 2005	0,8	—	—
15	Σαξονία	φθινόπωρο 2005	1,3	—	—
16	Brandenburg	καλοκαίρι 2005	0,6	—	—
17*	Δρέσδη-Gorbitz	καλοκαίρι 2006	0,97	—	0,04
18*	Δρέσδη-Dölszchen	καλοκαίρι 2006	1,87	—	0,04
19*	Δρέσδη-Striesen	φθινόπωρο 2006	1,01	—	0,04
20*	Δρέσδη-σύνολο	2 <sup>ο</sup> εξάμηνο 2006	1,27	—	0,04
	Μέσος όρος		0,83	—	0,06

\* Ιδία εργασία

Τα στοιχεία που παρατίθενται για τις περιοχές 1-5, 6-11 και 12-16 προέρχονται από τις μελέτες [73], [74] και [72] αντίστοιχα. Επίσης, ο τελικός μέσος όρος όλων των αναλύσεων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με προσοχή καθώς αποτελεί μονάχα έναν αριθμητικό μέσο, αφού δεν υπήρχαν πάντα στοιχεία για τις ποσότητες (σε kg) των sWEEE και Restabfall που μελετήθηκαν.

Από άλλες επίσης μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 1995, προκύπτει ότι την χρονική αυτή περίοδο η ετήσια κατά κεφαλήν ποσότητα sWEEE η οποία απορριπτόταν σε Restabfall ήταν κατά μέσο όρο ίση με 0,7 kg/y\*κάτοικο για όλη τη Γερμανία [32]. Από την άλλη, εάν με βάση τον μέσο όρο του 0,83 % κ.β. υπολογιστούν οι αντίστοιχες ποσότητες, προκύπτει μια τιμή της τάξης των 1,65



kg/y\*κάτοικο, καταδεικνύοντας έναν λίγο πολύ αναμενόμενο υπερδιπλασιασμό, ενώ οι απόλυτες ποσότητες sWEEE που διατέθηκαν με τα Restabfall ήταν ~135.000 tn/y. Αν όμως ληφθεί υπόψη μόνον η τιμή που προέκυψε από την παρούσα εργασία για την πόλη της Δρέσδης, τα ποσά αυτά ανέρχονται στα 2,52 kg/y\*κάτοικο και 208.000 tn/y, αντίστοιχα<sup>51</sup>. Η αυξητική αυτή τάση μπορεί να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι η γερμανική αγορά ΗΗΕ πιθανότατα δεν είναι κορεσμένη, ενώ σε τούτο συμβάλλει και το πραγματοποιούμενο έντονο μάρκετινγκ. Επίσης, η αλματώδης τεχνολογική εξέλιξη, ειδικά στην ICT κατηγορία έχει ως αποτέλεσμα την συχνότερη και εύκολη αντικατάσταση εξοπλισμού, συνεπώς και την παραγωγή αυξημένων ποσοτήτων ΑΗΗΕ, και δη sWEEE.

Αναφορικά με τις μπαταρίες (όλων των τύπων, επαναφορτιζόμενες ή μη), στον παραπάνω πίνακα καταδεικνύεται το ποσοστό των στα Restabfall, καθώς και οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται κατά τόπους για τα διάφορα έτη. Παρατηρείται το γεγονός ότι οι διακυμάνσεις αυτές δεν είναι ιδιαίτερα έντονες, ενώ εάν υποθεθεί ότι το δείγμα της παρούσας εργασίας είναι αντιπροσωπευτικό για όλη τη Γερμανία, δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η τάση απόρριψης μπαταριών στα MSW μειώνεται, ως αποτέλεσμα αποτελεσματικότερων συστημάτων χωριστής συλλογής, αν και εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό παλαιών μπαταριών διατίθεται ακόμη κατ' αυτόν τον τρόπο από τους χρήστες [74].

## 2.2. Κατηγοριοποίηση των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ

Ως συνέχεια του διαχωρισμού των μικρών ΑΗΗΕ από το ρεύμα των οικιακών αποβλήτων, έλαβε χώρα η ταξινόμηση των συσκευών που ανακτήθηκαν ανά κατηγορίες, σύμφωνα με το παράρτημα Ι Β της 2002/96/EK και τον εκάστοτε τύπο της συσκευής. Ο αριθμός των τύπων των διάφορων συσκευών που βρέθηκαν ήταν εξαιρετικά μεγάλος, και καλύπτει προϊόντα ΗΗΕ όλων των κατηγοριών του παραρτήματος της οδηγίας. Ο πίνακας 28 παρουσιάζει παραδείγματα από τις σημαντικότερες συσκευές κάθε κατηγορίας, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατηγοριοποίηση των sWEEE.

**Πίνακας 28:** Προϊόντα ΑΗΗΕ που ευρέθησαν στο δείγμα ανά κατηγορίες αυτών.

Κατηγορία ΑΗΗΕ	Παραδείγματα ανευρεθέντων προϊόντων
1	φουρνάκια
2	ηλεκτρικές σκούπες, σεσουάρ, ηλ. οδοντόβουρτσες, σίδερα, ρολόγια, τοστιέρες, ψηστιέρες, βραστήρες, καφετιέρες κ.α.
3	υπολογιστές τσέπης, κινητά & σταθερά τηλέφωνα, τηλεφωνητές, περιφερειακά υπολογιστών
4	ραδιόφωνα, ηχεία, τηλεχειριστήρια, φωτογραφικές μηχανές
5	λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας, φωτιστικά
6	ραπτομηχανές, τρυπάνια, φορτιστές
7	βιντεοκονσόλες, υπολογιστές ποδηλάτων
8	τμήμα οδοντιατρικής καρέκλας
9	ανιχνευτής κίνησης
10	ταμειακή μηχανή
“11”	μεμονωμένα κατασκευαστικά στοιχεία & άλλα

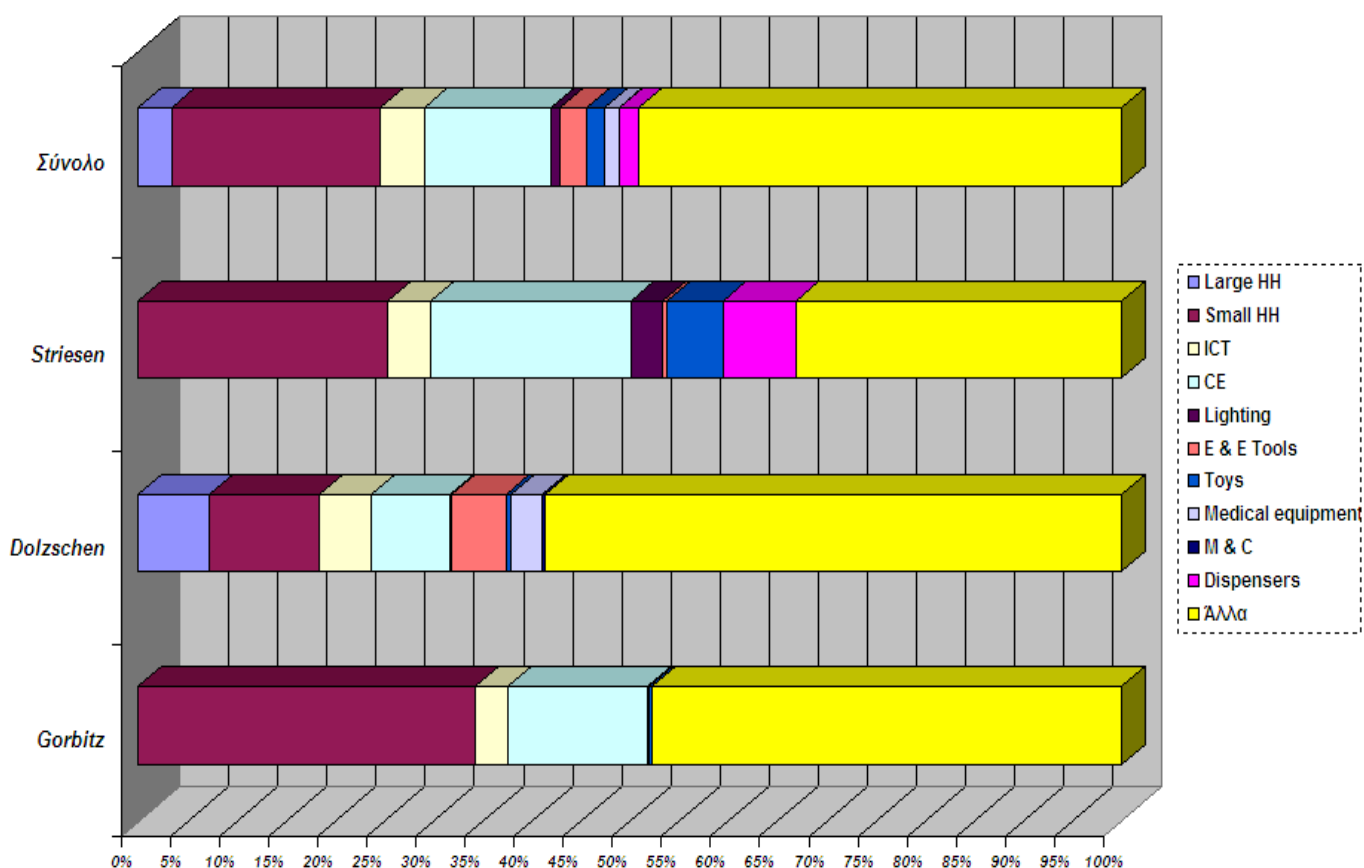
Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμη και για τις κατηγορίες 1 και 10 βρέθηκε μικρός αριθμός ΑΗΗΕ, παρότι το μέγεθος της συντριπτικής πλειοψηφίας των προϊόντων των κατηγοριών αυτών δεν είναι αρκετά μικρό έτσι ώστε να δύναται να απορρίπτονται σε κοινούς κάδους απορριμμάτων. Επίσης, ως «κατηγορία 11» ταξινομήθηκαν μεμονωμένα κατασκευαστικά στοιχεία, αλλά και προϊόντα ΗΗΕ τα οποία ήταν αδύνατο να κατηγοριοποιηθούν αλλιώς, καθότι είτε εξαιρούνται της οδηγίας, είτε ήταν αδύνατη η αναγνώριση της λειτουργίας που επιτελούν. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για οικιακά φωτιστικά σώματα, διακόπτες, μεταλλικά και πλαστικά πλαίσια, CDs, DVDs, PWBs, δισκέτες,

<sup>51</sup> Έλαβε χώρα η παραδοχή ότι το έτος 2005 συλλέχθηκαν σε όλη την Γερμανία κατά μέσο όρο περί τους 199,5 tn Restabfall ανά κάτοικο. Τούτος ο αριθμός προκύπτει από τις συνολικά συλλεγόμενες ποσότητες, που ανήλθαν περίπου στους  $16,5 \times 10^6$  τόνους για το αυτό έτος.

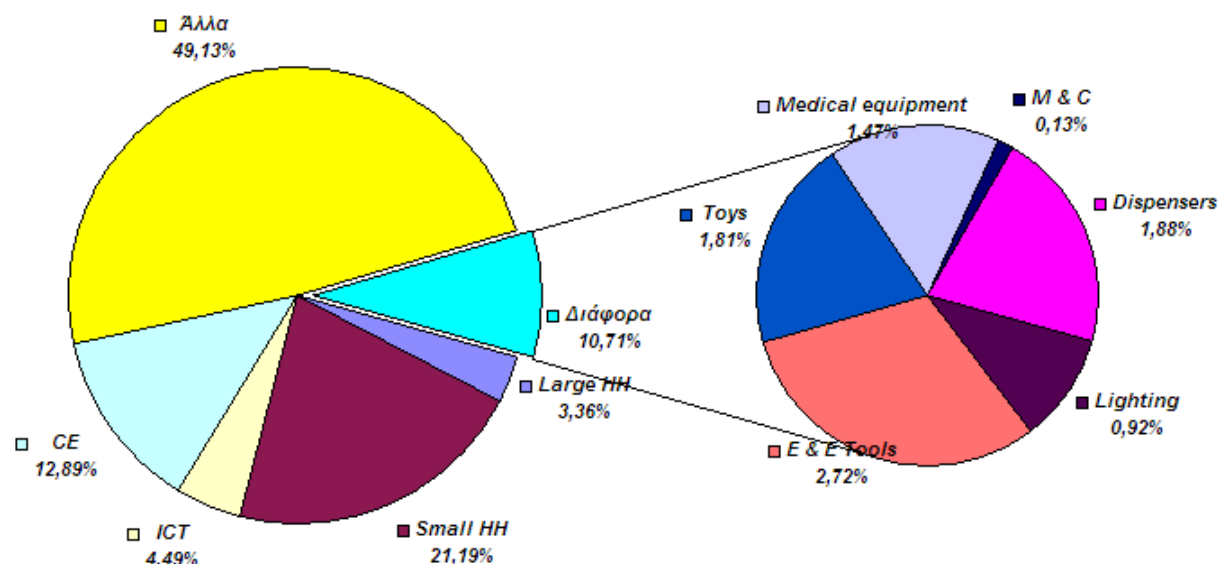
κασέτες, βιντεοκασέτες, λαμπτήρες πυρακτώσεως, δοχεία μελανιών εκτυπωτών και άλλα μη ταξινομήσιμα κατασκευαστικά στοιχεία. Αναφέρεται επίσης ότι πολύ συχνά βρισκόταν μονάχα ένα τμήμα μιας συσκευής (π.χ. από εκτυπωτή βρέθηκε μονάχα κομμάτι του πλαστικού πλαισίου), εάν όμως ήταν δυνατό να αναγνωριστεί κατατασσόταν αυτόματα στην αντίστοιχη κατηγορία. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κατηγοριοποίηση του δείγματος των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 29 και τα διαγράμματα 22 και 23.

**Πίνακας 29:** Σύνοψη του δείγματος ανά κατηγορία ΗΗΕ.

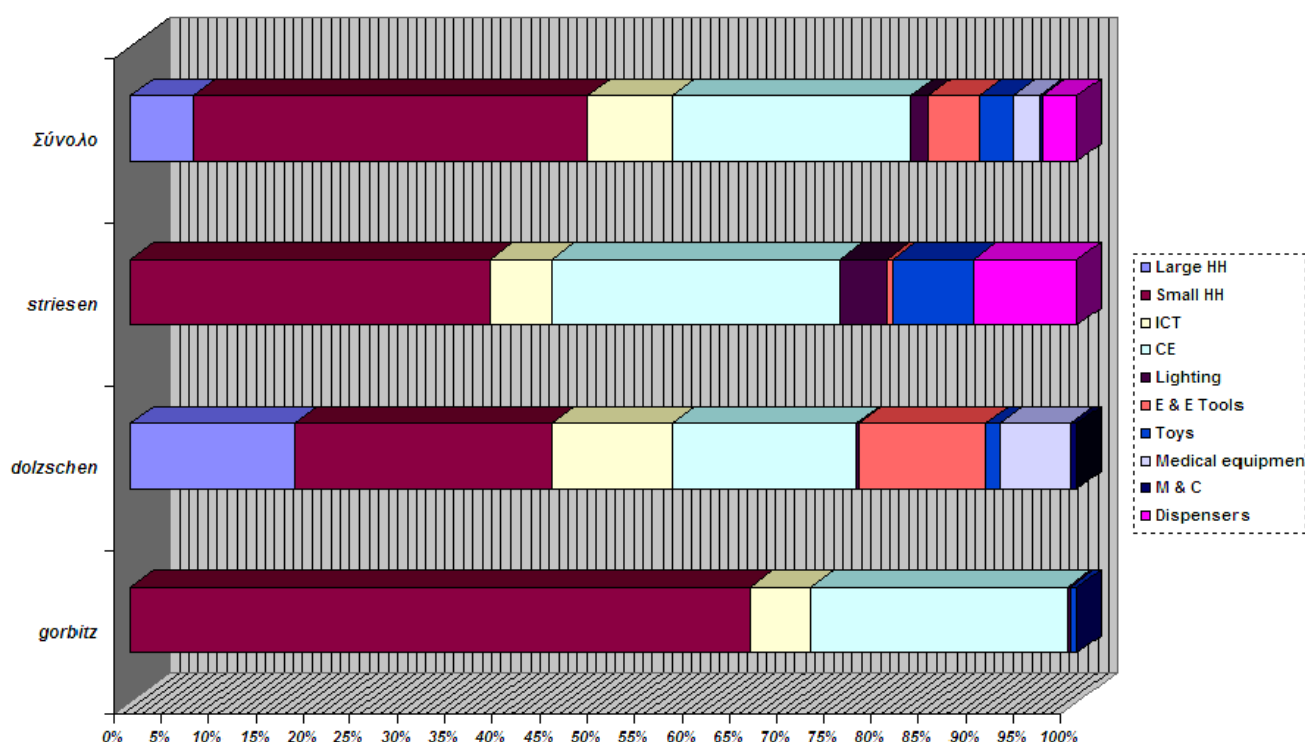
No.	Gorbitz			Dölszchen			Striesen			Σύνολο		
	Αριθμός συσκευών	Βάρος (kg)	Ποσοστό % κ.β.	Αριθμός συσκευών	Βάρος (kg)	Ποσοστό % κ.β.	Αριθμός συσκευών	Βάρος (kg)	Ποσοστό % κ.β.	Αριθμός συσκευών	Βάρος (kg)	Ποσοστό % κ.β.
1	—	—	—	5	6,05	7,17	—	—	—	5	6,05	3,36
2	14	17,07	34,26	16	9,47	11,21	17	11,58	25,40	47	38,12	21,19
3	3	1,65	3,32	8	4,46	5,28	8	1,97	4,31	19	8,08	4,49
4	3	7,10	14,25	6	6,80	8,06	8	9,28	20,35	17	23,18	12,89
5	1	0,06	0,12	2	0,09	0,11	3	1,51	3,31	6	1,66	0,92
6	—	0,00	—	3	4,68	5,54	2	0,21	0,46	5	4,89	2,72
7	1	0,19	0,38	3	0,51	0,60	5	2,56	5,62	9	3,26	1,81
8	—	—	—	1	2,64	3,13	—	—	—	1	2,64	1,47
9	—	—	—	1	0,24	0,28	—	—	—	1	0,24	0,13
10	—	—	—	—	—	—	1	3,38	7,40	1	3,38	1,88
11	—	23,76	47,67	—	49,51	58,62	—	16,20	33,15	—	88,38	49,13
Σύνολο	22	49,84	100	45	84,45	100	44	45,60	100	111	179,89	100



**Διάγραμμα 22:** Οι επιμέρους κατηγορίες που απαρτίζουν το δείγμα των sWEEE ανά περιοχή & συνολικά (% κ.β.).



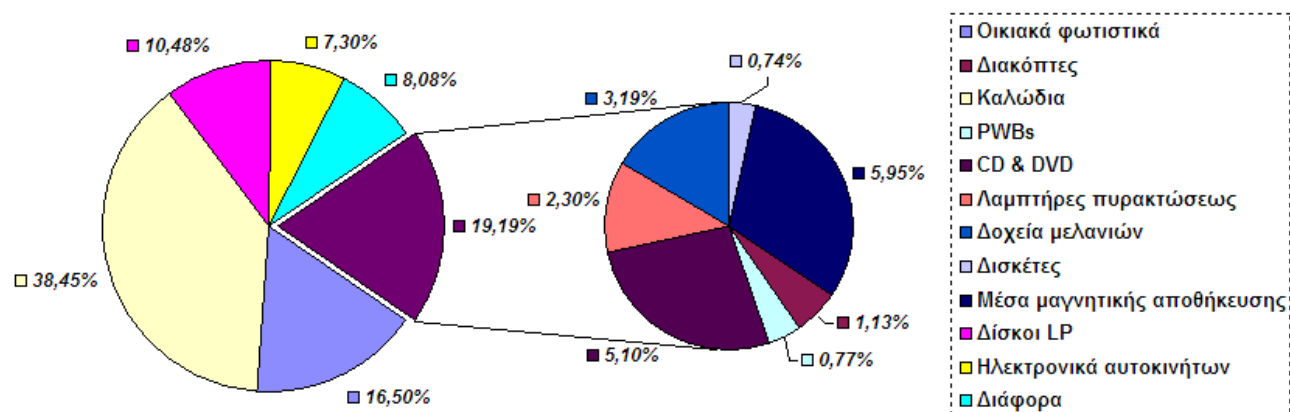
**Διάγραμμα 23:** Οι κατηγορίες ΑΗΗΕ που απαρτίζουν το δείγμα των sWEEE συνολικά (% κ.β.).



**Διάγραμμα 24:** Κατηγορίες ΗΗΕ που απαρτίζουν το δείγμα των sWEEE, σύμφωνα με την 2002/96/EK (% κ.β.).

Λόγω του ότι «ενδέκατη κατηγορία» ΑΗΗΕ δεν υφίσταται για την οδηγία, στο άνωθεν διάγραμμα 24 παρουσιάζεται συνάμα η σύσταση του δείγματος για τις διάφορες πόλεις, χωρίς να ληφθεί υπόψη η κατηγορία αυτή. Από τα ανωτέρω καταδεικνύεται ότι μεγάλο μέρος των απόβλητων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών που βρέθηκαν στα Restabfall συνιστά εξοπλισμός που εξαιρείται της οδηγίας, μεμονωμένα κατασκευαστικά στοιχεία και άλλα. Το ποσοστό των αγγίζει συνολικά το 50% κ.β., ενώ ανά περιοχή κυμαίνεται από 33% για το Striesen έως σχεδόν 60% για το Dölzschon, γεγονός το οποίο καταδεικνύει τη σημασία που θα πρέπει να δοθεί και σε αυτά όσον αφορά τη διαχείριση των. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 25, την πλειονοψηφία των κ.β. αποτελούν μεμονωμένα καλώδια (κυρίως εξωτερικά), σε σημαντικά όμως ποσοστά παρουσιάζονται και οικιακά φωτιστικά σώματα, μαγνητικά μέσα αποθήκευσης (κασέτες), ηλεκτρονικά αυτοκινήτων κ.α. Σημαντικό επίσης ποσοστό καταλαμβάνουν μη ταξινομήσιμα προϊόντα ΗΗΕ και μεμονωμένα

εξαρτήματα (Διάφορα). Το ποσό των PWBs ήταν αντιθέτως ιδιαίτερα χαμηλό. Η ύπαρξη των οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη συμπίεση που υπέστησαν τα sWEEE εντός του απορριμματοφόρου, αλλά και στην πιθανή απόρριψη εξαρτημάτων από τους καταναλωτές.



Διάγραμμα 25: Η σύσταση της «ενδέκατης κατηγορίας» sWEEE (% κ.β.).

Από τα παραπάνω διαφαίνεται επίσης ότι η επιμέρους σύσταση του δείγματος διαφέρει ανάλογα με την περιοχή από την οποία προήλθε. Ωστόσο, είναι σαφές ότι οι μικρές οικιακές συσκευές και τα καταναλωτικά είδη απαντώνται σε μεγαλύτερα ποσοστά, ενώ ο ICT εξοπλισμός κυμαίνεται μεταξύ 3,3 και 5,3% κ.β.. Παιχνίδια και ηλεκτρικά εργαλεία συναντώνται σε ικανές ποσότητες. Η ύπαρξη μικρού μεγέθους μεγάλων οικιακών συσκευών στο δείγμα (κατηγορία 1) ήταν μη αναμενόμενη, αν και προέκυψε μονάχα στο Dölzsch. Επισημαίνεται ότι μεμονωμένα μεγάλου βάρους προϊόντα ΗΗΕ μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο ποσοστό το συνολικό βάρος μιας κατηγορίας. Στο Gorbitz, το 30% της κατηγορίας 2 καταλαμβάνει μια ηλεκτρική σκούπα (Siemens), ενώ το 48% κ.β. των CE ένα και μοναδικό ραδιόφωνο. Στο Dölzsch, το 47% των ICT και CE και το 53% κ.β. των εργαλείων καταλαμβάνει ένα σταθερό τηλέφωνο, ένα ραδιόφωνο και ένα πετάλι ραπτομηχανής, αντίστοιχα. Στο Striesen, το 47, 58 και 67% κ.β. των κατηγοριών 3, 4 και 7 καταλαμβάνεται από έναν οδηγό CD-ROM, έναν ενισχυτή και μια εγκατάσταση για βελάκια, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το μερίδιο των επιμέρους κατηγοριών της οδηγίας στα sWEEE των Restabfall δύναται να συγκριθούν με αυτά προηγούμενων μελετών (πίνακας 30). Τα αποτελέσματα διαφέρουν πολύ συχνά άρδην μεταξύ των. Τιμές σημειωμένες με πράσινο χρώμα υποδηλώνουν απόκλιση από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας (Δρέσδη-σύνολο) μικρότερη από 5%, με πορτοκαλί μεταξύ 5 και 10%, και με κόκκινο >10%. Η ίδια επισήμανση χρησιμοποιείται και για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις Gorbitz, Dölzsch και Striesen με τα συνολικά.

Πίνακας 30: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής με τη βιβλιογραφία [73,75].

Κατηγορία	Περιοχή										
	Böblingen	Brandenburg	Ανόβερο	Schweinfurt	NRW*	Βερολίνο	Σαξονία	Δρέσδη-Gorbitz	Δρέσδη-Dölzsch	Δρέσδη-Striesen	Δρέσδη-Σύνολο
1	7,1	—	—	—	0,9	—	—	—	7,17	—	3,34
2	63,0	69,5	47,8	39,3	22,5	7,8	28,1	34,26	11,21	25,40	21,07
3	0,4	0,2	10,7	0,1	25,7	15,4	24,2	3,32	5,28	4,31	4,47
4	13,4	28,8	5,2	36,7	37,9	33,9	14,5	14,25	8,06	20,35	12,81
5	0,5	1,0	4,6	0,3	6,4	1,4	3,8	0,12	0,11	3,31	0,92
6	0,7	—	—	—	4,3	5,7	6,8	—	5,54	0,46	2,70
7	3,4	0,1	2,4	0,6	1,8	16,1	1,5	0,38	0,60	5,62	1,80
8	0,1	—	—	—	—	—	—	—	3,13	—	1,46
9	—	—	—	—	0,5	—	3,0	—	0,28	—	0,13
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,40	1,86
Άλλα	11,5	0,5	29,4	23,1	—	19,7	18,1	47,67	58,62	33,15	49,43

\* Βόρεια Ρηνανία-Βεστφαλία (Nordrhein-Westfalen)



Εκ πρώτης όψεως, παρατηρείται ικανή συμφωνία των ιδίων αποτελεσμάτων με τη βιβλιογραφία για τις κατηγορίες 1, 5, 6, 7, 8, και 9, τούτο οφείλεται όμως περισσότερο στο ούτως ή άλλως χαμηλό ποσοστό αντιπροσώπευσης των κατηγοριών αυτών στα sWEEE, το οποίο και κινείται σχεδόν πάντοτε σε τιμές μικρότερες του 5%. Για τις κατηγορίες 2 και 4, οι οποίες είναι οι πιο σημαντικές, μικρότερες αποκλίσεις εμφανίζονται με τις περιοχές Böblingen, Ανόβερο, Σαξονία, Βερολίνο και βόρεια Ρηνανία-Βεστφαλία. Καθότι η πόλη της Δρέσδης βρίσκεται στο ομόσπονδο κρατίδιο της Σαξονίας, η συμφωνία αυτή είναι λίγο πολύ αναμενόμενη. Επίσης, αν συνδυαστούν οι τιμές της παρούσας εργασίας με τα αποτελέσματα για τις NRW, Βερολίνο και Σαξονία (προέρχονται από το 2003 και 2005 αντίστοιχα), καταδεικνύεται ότι προ 10 ετών (οι υπόλοιπες μελέτες που παρατίθενται είναι από το 1995) η σύσταση των sWEEE στα Restabfall ήταν σε γενικές γραμμές διαφορετική. Όμως το μικρό ποσοστό των ICT στη Δρέσδη αποτελεί παράδοξο, καθότι θεωρείται ότι με την πάροδο του χρόνου το ποσοστό των ανεβαίνει, όπως καταδεικνύεται από τα αποτελέσματα για Βερολίνο, Σαξονία (2005) και NRW (2003), σαν αποτέλεσμα της ταχύτατης διείσδυσης των στην αγορά. Επίσης, η κατηγορία «Άλλα» εμφανίζει πολύ μεγάλες αποκλίσεις. Κάτι τέτοιο οφείλεται πιθανότατα στις εκάστοτε παραδοχές, καθώς και στην «αυστηρότητα» κατηγοριοποίησης των sWEEE – στην παρούσα εργασία, διαχωρίστηκε από τα MSW οποιοδήποτε μεμονωμένο κατασκευαστικό στοιχείο ή εξάρτημα βρέθηκε, καθώς και CDs, κασέτες, καλώδια κτλ. τα οποία δεν αποτελούν HHE σύμφωνα με την οδηγία. Στην NRW, η κατηγορία «Άλλα» απουσιάζει παντελώς, υπονοώντας ότι τέτοια προϊόντα δεν ελήφθησαν υπόψη. Ακόμη, η οδηγία 2002/96/EK θεσμοθετήθηκε μόλις το 2002, συνεπώς η πιθανότητα της διαφορετικής κατηγοριοποίησης των HHE σε μελέτες παλαιότερες της χρονιάς αυτής είναι αυξημένη. Το γεγονός αυτό συνιστά ιδιαίτερη προσοχή στη χρησιμοποίηση των δεδομένων των. Τέλος, η σύγκριση των αποτελεσμάτων των επιμέρους περιοχών της Δρέσδης με τα συνολικά δείχνει ότι τα τελευταία εν πολλοίς αποτελούν το μέσο όρο των πρώτων.

### 2.3. Χαρακτηριστικά των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ

Ο χαρακτηρισμός των ανευρεθέντων στα Restabfall sWEEE έλαβε χώρα έχοντας υπόψη μια ποικιλία φυσικών και τεχνικών χαρακτηριστικών, κάποια από τα οποία θα μπορούσαν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη αυτόματων μεθόδων διαχωρισμού. Ο χαρακτηρισμός αυτός αποτελεί συνάμα το πρώτο βήμα της επακόλουθης αποσυναρμολόγησης της κάθε συσκευής. Για την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων τα οποία και θα παρουσιαστούν στην παράγραφο αυτή, αλλά και σε επόμενες, χρησιμοποιήθηκε μια βάση δεδομένων η οποία αναπτύχθηκε στην MS Access. Η βάση αυτή επέτρεψε την επιτυχή ταξινόμηση των πληροφοριών που ελήφθησαν για κάθε εξάρτημα, συσκευή, και κατηγορία HHE του δείγματος. Στον πίνακα 31 παρουσιάζονται συνοπτικά οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν για κάθε συσκευή στο στάδιο αυτό.

**Πίνακας 31:** Προσδιοριζόμενες παράμετροι για τα ανευρεθέντα ΑΗΗΕ.

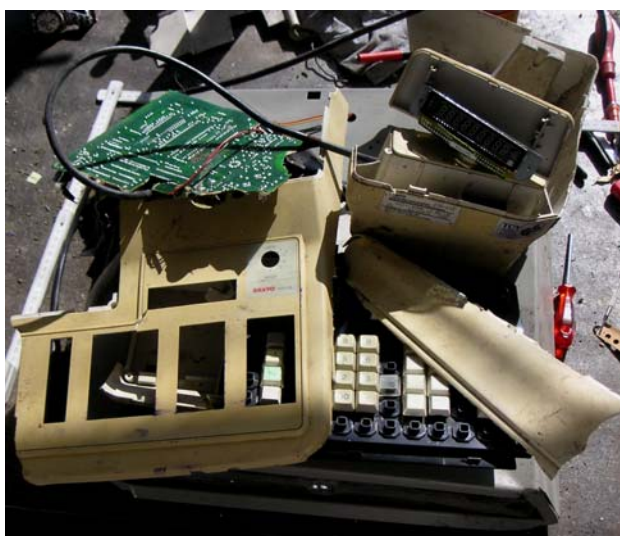
Παράμετρος	Μέθοδος προσδιορισμού	Σχόλιο
Κατάσταση	Ιδία εκτίμηση	Ανεύρεση της συσκευής σε 1 κομμάτι ή περισσότερα
Βαθμός ζημίας	Ιδία εκτίμηση	Εκτίμηση της ικανότητας συνέχισης λειτουργίας
Ηλικία	Ιδία εκτίμηση	Παρουσία ετικέτας παραγωγού χρήσιμη
Σχήμα	Ιδία εκτίμηση	
Βάρος	Ζυγός	Ολικό βάρος συσκευής
Μέγεθος	Κανόνας	Προσδιορισμός επιφάνειας προβολής & όγκου

#### 2.3.1. Κατάσταση

Κατά τη διάρκεια του διαχωρισμού των sWEEE από τα Restabfall παρατηρούνταν το γεγονός ότι ένα μόνον μέρος των ΑΗΗΕ που διαχωρίζονταν ήσαν ολόκληρες συσκευές. Πολύ συχνά μια συσκευή βρισκόταν κομματιασμένη, ή μπορούσαν να ανευρεθούν μονάχα μεμονωμένα μέρη της. Στις ακόλουθες εικόνες 7 και 8 απεικονίζονται δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα συσκευών που ανακτήθηκαν ολόκληρες ή σε τμήματα, αντίστοιχα.

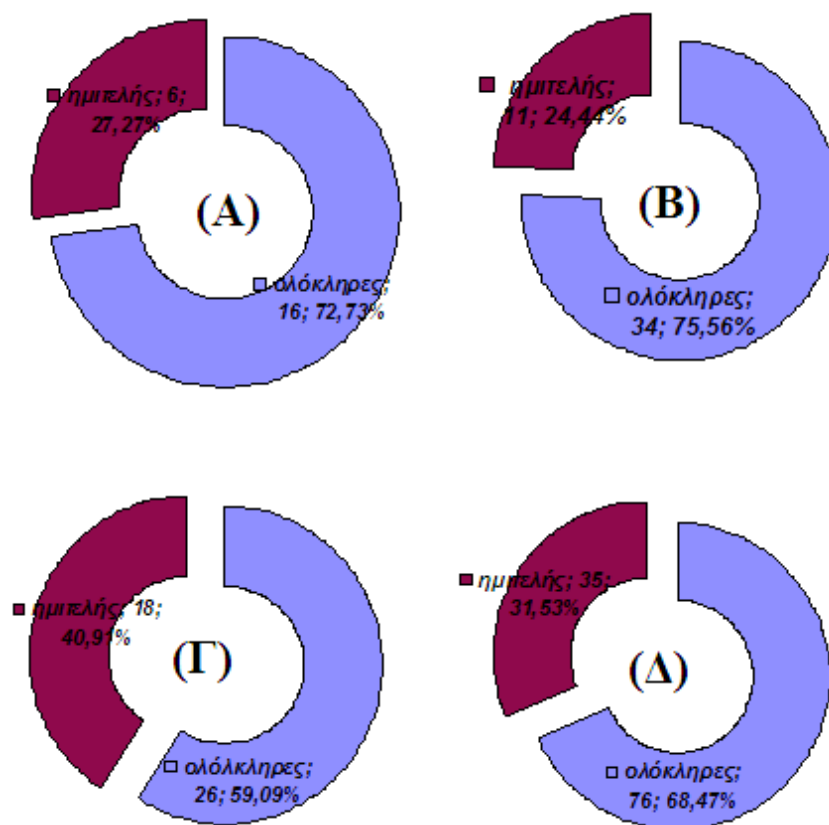


*Εικόνα 7: Τηλεφωνική συσκευή η οποία διαχωρίστηκε ως ένα κομμάτι.*



*Εικόνα 8: Ταμειακή μηχανή, η οποία ανεβρέθηκε σε τμήματα.*

Δια να μπορέσει να ποσοτικοποιηθεί η παρατήρηση αυτή, οι εκάστοτε διαχωρισμένες συσκευές χωρίζονταν σε δυο ομάδες: ολόκληρες και ημιτελείς. Το διάγραμμα 26 παρουσιάζει τα προκύπτοντα αποτελέσματα ανά περιοχή και συνολικά. Σε αυτό καταδεικνύεται ότι περί τα δύο τρίτα των συσκευών που απαρτίζουν το δείγμα ανακτήθηκαν ως ολόκληρες συσκευές, ενώ το υπόλοιπο σε τμήματα (35 επί συνόλου 111). Για τις επιμέρους περιοχές, στο Striesen οι ολόκληρες και οι ημιτελείς συσκευές αποτελούν το 59 και 41% του συνολικού αριθμού των, ενώ στις άλλες περί το 75% και 25% αντίστοιχα. Το υψηλό ποσοστό των «κομματιασμένων» συσκευών αποτελεί έναν πρώτο μεν, σημαντικό δε στοιχείο για την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης των ΑΗΗΕ, κάτι που θα αναλυθεί λεπτομερέστερα στην επόμενη παράγραφο. Σημειώνεται τέλος ότι τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με τα σχετικά πορίσματα της εργασίας [75], όπου και αναφέρεται ότι τα ποσοστά των ολόκληρων και ημιτελών ΑΗΗΕ που βρέθηκαν σε Restabfall ήταν ίσα με 24 και 76% αντίστοιχα.



**Διάγραμμα 26:** Κατάσταση στην οποία διαχωρίζονταν οι διάφορες συσκευές sWEEE από τα οικιακά στερεά απόβλητα για το: (A) Gorbitz, (B) Dölzschen, (Γ) Striesen & (Δ) Σύνολο.

### 2.3.2. Βαθμός ζημίας

Ο βαθμός ζημίας αποτελεί εκτίμηση της βλάβης που έχει υποστεί η αρχική ικανότητα λειτουργίας μιας συσκευής λόγω εξωτερικών επιδράσεων. Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 32 έλαβε χώρα η διαβάθμιση του βαθμού αυτού. Σημειώνεται ότι για συσκευές με βαθμό ζημίας 0 ή 1 δεν επιβεβαιώθηκε το εάν ακόμη λειτουργούσαν μέσω της σύνδεσης τους με το ρεύμα.

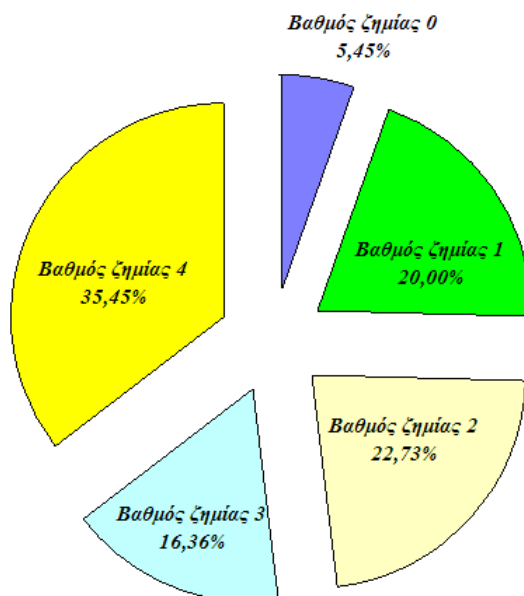
**Πίνακας 32:** Κριτήρια για την εκτίμηση του βαθμού ζημίας μιας συσκευής.

Βαθμός ζημίας		Περιγραφή
	0	καμία εξωτερική ζημία
Χαμηλός	1	δεν αναμένεται βλάβη της συσκευής
Μέσος	2	αναμένεται ζημία στο εξωτερικό της συσκευής
Μεγάλος	3	αναμένεται μεγάλη βλάβη στη λειτουργικότητα
Πολύ μεγάλος	4	σχεδόν ολοκληρωτική καταστροφή της συσκευής

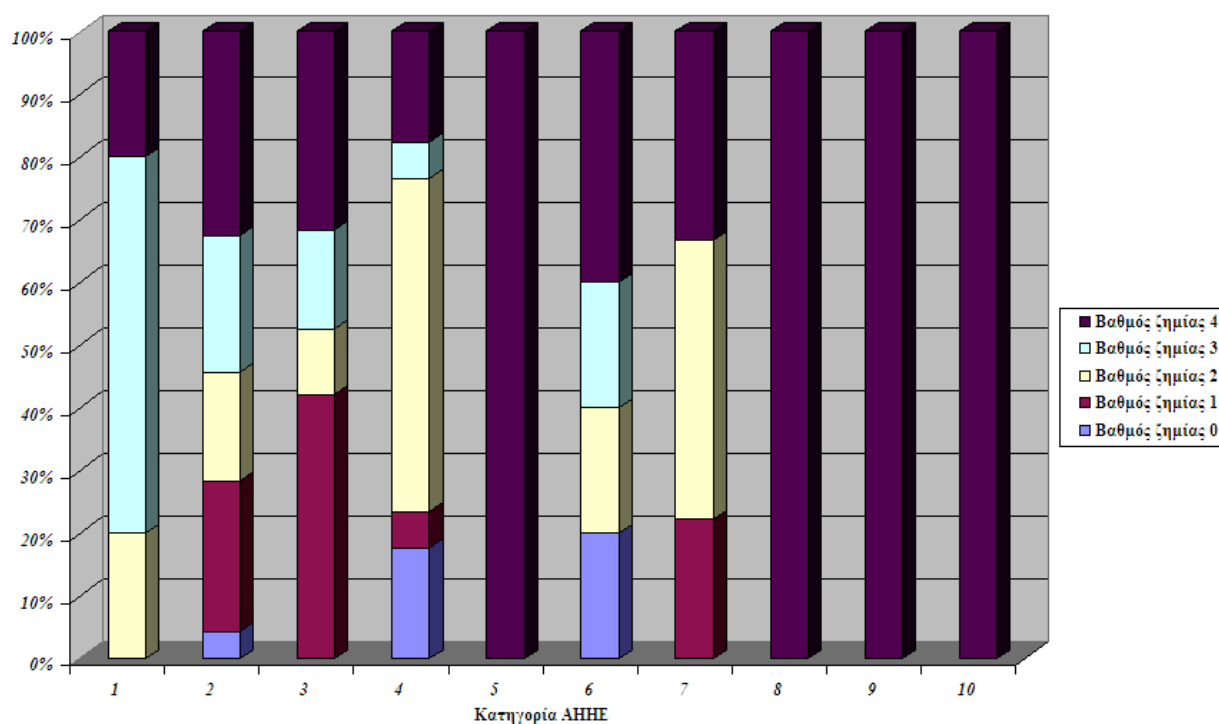
Η εκτίμηση του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού των sWEEE είναι εξέχουσας σημασίας, καθότι σύμφωνα με την οδηγία 2002/96/EK θα πρέπει να δίδεται προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση των ΑΗΗΕ και των κατασκευαστικών στοιχείων αυτών, εφόσον είναι τεχνικά δυνατό και οικονομικά βιώσιμο. Προς τούτο, τα όποια οικονομικά κίνητρα αυξάνονται όσο υψηλότερη η αξία και χαμηλότερη η ηλικία της απόβλητης συσκευής. ΑΗΗΕ των κατηγοριών 1, 3 και 4 θεωρείται ότι αποτελούν ιδιαίτερα ενδεδειγμένα προς επαναχρησιμοποίηση προϊόντα. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την εκτίμηση του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού παρουσιάζονται ανά περιοχή και συνολικά στον πίνακα 33 και το διάγραμμα 27, ενώ στο διάγραμμα 28 απεικονίζεται ο βαθμός ζημίας των sWEEE ανά κατηγορία αυτών. Δεν εκτιμήθηκε ο βαθμός ζημίας ΗΗΕ που δεν άπτεται της οδηγίας, αλλά και των εξαρτημάτων που απάρτιζαν το δείγμα (κατηγορία 11 «Άλλα»).

**Πίνακας 33:** Βαθμός ζημίας των συσκευών του δείγματος ανά περιοχή και συνολικά (αριθμός συσκευών & % ποσοστό αριθμού συσκευών).

Βαθμός Ζημίας	Gorbitz		Dölszchen		Striesen		Δρέσδη-Σύνολο	
	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %	Ποσοστό %	Ποσοστό %
0	1	4,55	1	2,27	4	9,09	6	5,45
1	4	18,18	3	6,82	15	34,09	22	20,00
2	5	22,73	13	29,55	7	15,91	25	22,73
3	4	18,18	12	27,27	2	4,55	18	16,36
4	8	36,36	15	34,09	16	36,36	39	35,45
Σύνολο	22		44		44		110	



**Διάγραμμα 27:** Βαθμός ζημίας των sWEEE του δείγματος συνολικά για την πόλη της Δρέσδης (% ποσοστό αριθμού συσκευών).



**Διάγραμμα 28:** Βαθμός ζημίας των sWEEE ανά κατηγορία αυτών (% ποσοστό αριθμού συσκευών).



Η επαναχρησιμοποίηση ολόκληρων συσκευών ή εξαρτημάτων ουσιαστικά αποκλείεται. Όπως καταδεικνύεται, ένα μεγάλο μέρος του δείγματος (~52%) αποτελείται από σχεδόν κατεστραμμένες συσκευές. Ο αυξημένος βαθμός ζημίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη συμπίεση που υπέστησαν εντός του απορριμματοφόρου (εικόνα 9(A)), κυρίως όσον αφορά συσκευές οι οποίες απορρίφθηκαν ολόκληρες. Για μικρότερες, «στέρεες» συσκευές όπως υπολογιστές τσέπης, κινητά τηλέφωνα και σίδερα αναμενόταν μικρός βαθμός ζημίας, πρόβλεψη που γενικότερα επιβεβαιώθηκε. Όμως, εκτιμάται ότι λόγω της προερχόμενης από τα Restabfall ρυπαρότητας, αλλά και της μεγάλης ηλικίας των (βλ. επόμενη παράγραφο), δεν υφίστανται κίνητρα για την επαναχρησιμοποίηση ακόμη και συσκευών υψηλής υπολειμματικής αξίας των κατηγοριών 3 και 4 που έχουν υποστεί χαμηλές βλάβες (~25% με βαθμό ζημίας 0 και 1, εικόνα 9(B)). Από αυτή τη σκοπιά, η επαναχρησιμοποίηση εκτιμάται ότι θα ήταν σκόπιμη μονάχα για ΑΗΗΕ τα οποία έχουν συλλεχθεί από ειδικά συστήματα χωριστής συλλογής, καθότι γενικά βρίσκονται σε πολύ καλύτερη κατάσταση [72]. Απαιτείται όμως πάντοτε η διερεύνηση του αγοραστικού ενδιαφέροντος για μεταχειρισμένο ΗΗΕ.



Εικόνα 9: (Α) Ζημία λόγω πιθανής συμπίεσης στο απορριμματοφόρο & (Β) Κινητά τηλέφωνα με βαθμό ζημίας 1.

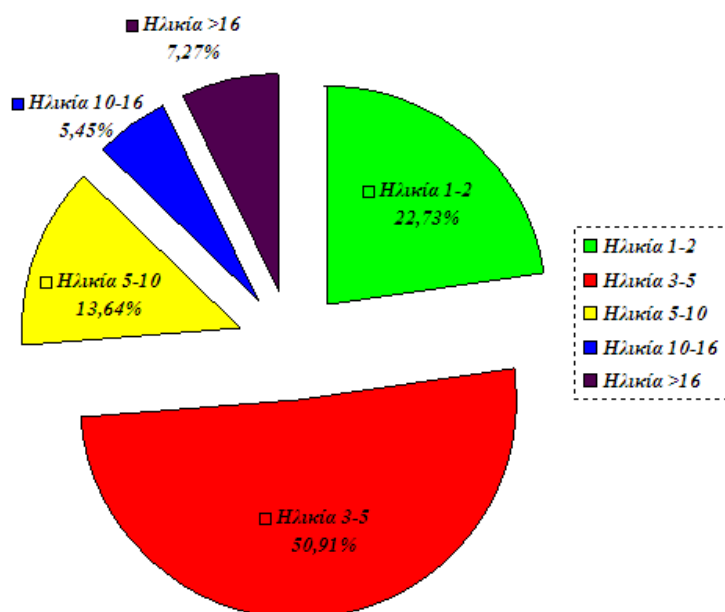
### 2.3.3. Παλαιότητα

Για κάθε συσκευή sWEEE που βρέθηκε στον όγκο του δείγματος των MSW έλαβε χώρα η εκτίμηση της ηλικίας της βάσει του τύπου της συσκευής, του βαθμού ζημίας, των χαρακτηριστικών των εξαρτημάτων και υλικών που την αποτελούν, αλλά και ετικετών που τυχόν υπήρχαν. Η παλαιότητα των συσκευών κυμαίνεται μεταξύ μερικών μηνών έως και άνω των 16 ετών (πίνακας 34, διάγραμμα 29).

Πίνακας 34: Εκτιμώμενη ηλικία των συσκευών ΑΗΗΕ του δείγματος.

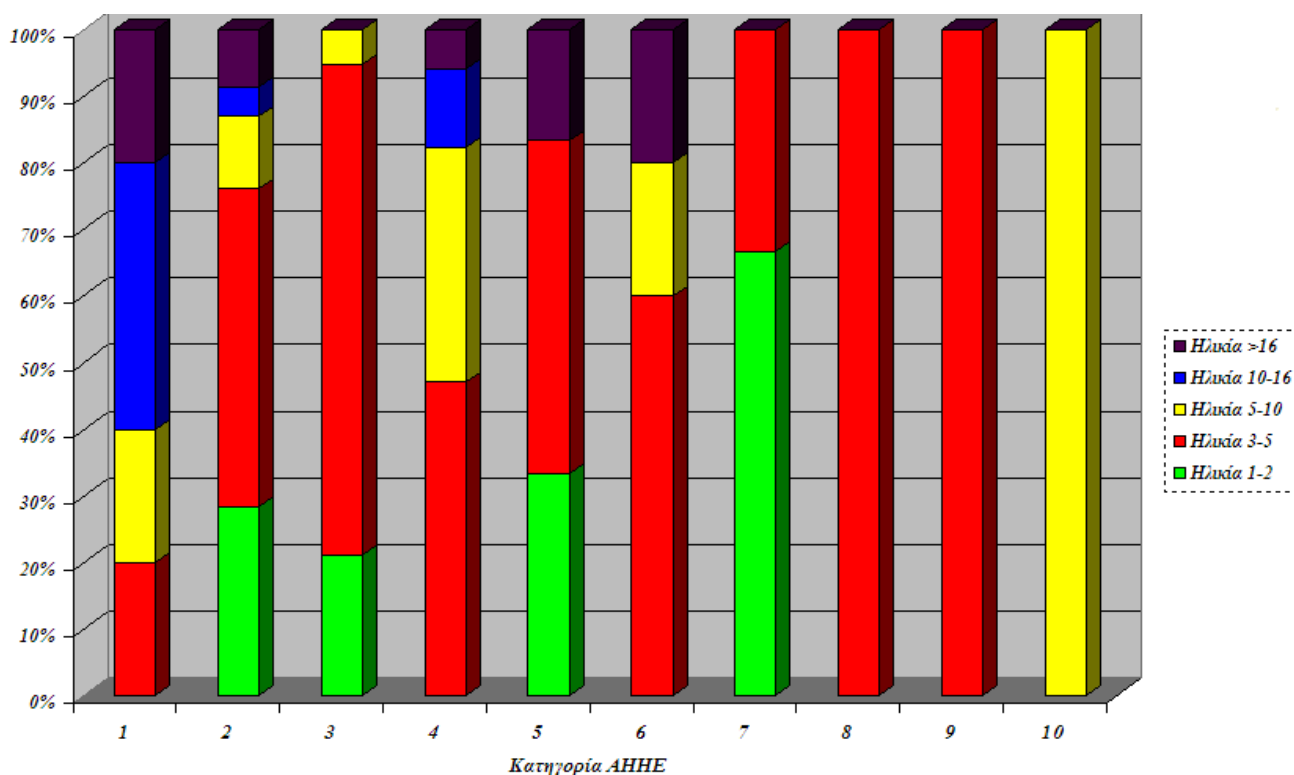
Ηλικία (έτη)	Gorbitz		Dölszchen		Striesen		Δρέσδη-Σύνολο	
	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %	Αριθμός Συσκευών	Ποσοστό %
1-2	3	13,64	9	20,45	13	29,55	25	22,73
3-5	11	50,00	22	50,00	23	52,27	56	50,91
5-10	5	22,73	6	13,64	4	9,09	15	13,64
10-16	0	0,00	4	9,09	2	4,55	6	5,45
>16*	3	13,64	3	6,82	2	4,55	8	7,27
Σύνολο	22		44		44		110	

\* Χαρακτηρίζει ΗΗΕ που χρονολογείται πριν την ένωση των δύο Γερμανιών (BRD και DDR).



**Διάγραμμα 29:** Εκτιμώμενη παλαιότητα των sWEEE του δείγματος (% αριθμού συσκευών).

Σχετικά μικρή ηλικία παρατηρείται κυρίως σε συσκευές χαμηλής αξίας (παιχνίδια, εξοπλισμό ψυχαγωγίας, λαμπτήρες φθορισμού) ή μικρού ωφέλιμου χρόνου ζωής (ηλεκτρικές οδοντόβουρτσες, περιφερειακά Η/Υ). Σχεδόν τα δύο τρίτα του δείγματος είναι παλαιότητας ενός έως πέντε ετών, συμπεριλαμβανομένων τεχνολογικά ξεπερασμένων σε αυτήν την ηλικία συσκευών, όπως κινητά τηλέφωνα (3<sup>η</sup> κατηγορία ΗΗΕ). Από την άλλη, ακριβά είδη ΗΗΕ (π.χ. στερεοφωνικά) και είδη με μεγάλο χρόνο ζωής (μικρές συσκευές κουζίνας, ηλεκτρικές σκούπες) απορρίπτονται αρκετά χρόνια μετά την αρχική αγορά (διάγραμμα 30). Έκπληξη προκάλεσε η εύρεση σχετικά νέων ηλεκτρικών σίδερων και σεσουάρ (2<sup>η</sup> κατηγορία), όπως φάνηκε όμως προέκυψε από βλάβες που συνδέονται με τη χρήση των από τους καταναλωτές.



**Διάγραμμα 30:** Εκτιμώμενη παλαιότητα των συσκευών ανά κατηγορία ΑΗΗΕ (% αριθμού συσκευών).

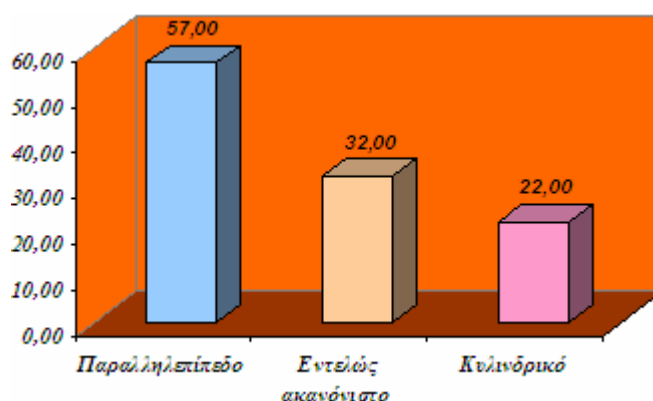
Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα της υποπαραγράφου αυτής με τον παρατηρούμενο βαθμό ζημίας των sWEEE επιβεβαιώνεται το πόρισμα ότι η επαναχρησιμοποίηση ολόκληρων συσκευών ή έστω εξαρτημάτων ουσιαστικά αποκλείεται. Μεγάλο μέρος του δείγματος αποτελούν κατεστραμμένες συσκευές, ενώ η μικρή αξία και μεγάλη παλαιότητα των τις καθιστά συχνότατα τεχνολογικά ξεπερασμένες, δεδομένα τα οποία αποθαρρύνουν τις όποιες κινήσεις προς την κατεύθυνση αυτή.

#### 2.3.4. Σχήμα

Η τεράστια πληθώρα των χρήσεων και εφαρμογών των sWEEE αντανακλάται μεταξύ άλλων στο σχήμα, αλλά και το μέγεθος των. Μέρος των συσκευών του δείγματος αποτελούσαν προϊόντα σταθερής κυλινδρικής ή παραλληλεπίπεδης μορφής, ενώ ήταν δυνατό να αναγνωριστούν γενικά οι εξής τύποι σχήματος:

- i. Παραλληλεπίπεδο (π.χ. οδηγός CD-ROM)
  - a. Ακανόνιστο, αλλά με κλίση προς παραλληλεπίπεδο (π.χ. ραδιόφωνα)
- ii. Κυλινδρικό (π.χ. σεσουάρ)
  - a. Ακανόνιστο, αλλά με κλίση προς κυλινδρικό (π.χ. λαμπτήρες)
- iii. Εντελώς ακανόνιστο (π.χ. ακουστικά, ηλ. σίδερα)

Στο παρακάτω διάγραμμα 31 απεικονίζεται η ταξινόμηση των sWEEE βάσει του σχήματος των. Διαπιστώνεται μεγάλη διασπορά μεταξύ των διαφόρων σχημάτων. Η εκτίμηση αυτή αποτελεί μια επιπλέον τροχοπέδη στην ανάπτυξη αυτόματων διεργασιών διαχωρισμού των sWEEE από τα MSW, καθότι εάν το σχήμα ήταν ομοιογενές, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο διαχωρισμού (βλ. φιάλες εμφιαλωμένων ποτών). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρούσα επεξεργασία όμως καταδεικνύουν ότι στην περίπτωση αυτή κάτι τέτοιο είναι αδύνατο.



*Διάγραμμα 31: Ταξινόμηση των συσκευών του δείγματος βάσει του σχήματος (απόλυτος αριθμός).*

#### 2.3.5. Βάρος

Το βάρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο διαχωρισμού για πολλές φυσικές διεργασίες όπως καταδεικνύει η υπάρχουσα ερευνητική και βιομηχανική εμπειρία. Για το λόγο αυτό προσδιορίστηκε το βάρος της κάθε επιμέρους συσκευής. Στους πίνακες 35 και 36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας πρώτης στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων ανά περιοχή και κατηγορία ΗΗΕ αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, για ένα πλήθος 110 συσκευών η μέση τιμή του βάρους ανέρχεται στα ~832 g. Όμως, η μεγάλη πλειοψηφία των συσκευών έχει μικρότερο βάρος (διάμεσος ~350 g), ενώ το εύρος των τιμών κυμαίνεται μεταξύ 0,17 g και 5,35 kg. Επίσης, οι κατηγορίες 3, 5 και 7 αποτελούνται από ελαφρύτερες συσκευές σε σχέση με τις υπόλοιπες, γεγονός σχετικά αναμενόμενο, λόγω της φύσης των συσκευών που συμπεριλαμβάνονται σε αυτές – στις κατηγορίες 1, 2 και 4 κατατάσσονται πλείστα μεγάλου σχετικά βάρους προϊόντα π.χ. φουρνάκια, ηλεκτρικές σκούπες, ραδιόφωνα κτλ. Πάντως, σε όλες ανεξαιρέτως τις κατηγορίες ΗΗΕ απαντώνται, έστω μεμονωμένα, συσκευές μεγάλου βάρους (βλ. και διάγραμμα 32).

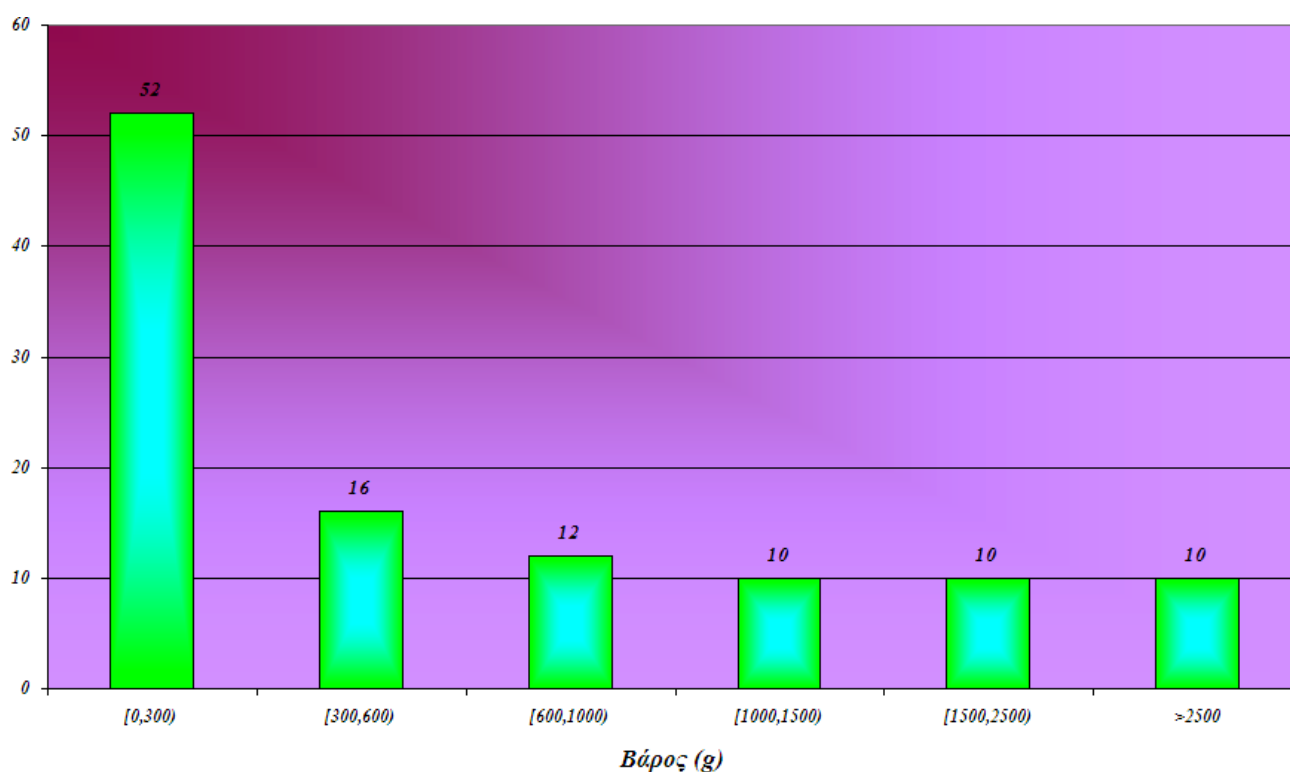
**Πίνακας 35:** Στατιστικά στοιχεία για το βάρος των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά περιοχή.

Περιοχή	Gorbitz	Dölzschen	Striesen	Δρέσδη-Σύνολο
Μέση τιμή (g)	1185,44	776,55	708,90	831,88
Διάμεσος (g)	667,14	361,02	208,00	349,22
Ελάχιστη τιμή (g)	28,18	5,00	0,17	0,17
Μέγιστη τιμή (g)	5237,11	3210,57	5347,00	5347,00
Τυπική απόκλιση (g)	1354,05	850,11	1112,74	1074,49
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	114,22	109,47	156,97	129,16
n (Αριθμός συσκευών)	22	45	43	110

**Πίνακας 36:** Στατιστικά στοιχεία για το βάρος των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία.

Κατηγορία ΑΗΗΕ*:	1	2	3	4	5	6	7
Μέση τιμή (g)	1210,60	811,15	425,42	1363,74	276,67	1221,52	362,28
Διάμεσος (g)	1318,03	423,99	172,00	655,06	70,00	1101,33	191,19
Ελάχιστη τιμή (g)	187,28	48,00	5,00	0,17	40,00	208,00	35,00
Μέγιστη τιμή (g)	2267,37	5237,11	2103,16	5347,00	1298,00	2475,42	1712,00
Τυπική απόκλιση (g)	773,32	1043,40	555,18	1538,70	501,41	1029,64	534,36
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	63,88	128,63	130,50	112,83	181,23	84,29	147,50
n (Αριθμός συσκευών)	5	47	19	17	6	4	9

\*Στις κατηγορίες 8, 9 και 10 είχε ανεβρεθεί μονάχα μια συσκευή.

**Διάγραμμα 32:** Κατανομή του βάρους των ΑΗΗΕ του δείγματος σε "κλάσεις".

Συγκρίνοντας τα ανωτέρω αποτελέσματα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, παρατηρείται συμφωνία με τη μελέτη [73] όσον αφορά τη μέση τιμή του βάρους των ΑΗΗΕ του δείγματος της (829,23 g), ενώ στην εργασία [75] το μέγεθος αυτό ήταν σχεδόν το μισό (363,16 g). Πάντως, υπερίσχυε κατά κράτος ο αριθμός των μικρού βάρους συσκευών, βαρείς συσκευές βρίσκονταν μονάχα μεμονωμένα, ενώ το εύρος διακύμανσης των τιμών ήταν και πάλι πολύ μεγάλο. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι το βάρος δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον αυτόματο διαχωρισμό σε μεγάλες αποδόσεις



των sWEEE από τα MSW. Το πολύ μεγάλο εύρος διακυμάνσεων του μεγέθους αυτού καθιστά απαγορευτική την επιτυχία μιας τέτοιας προσπάθειας.

### 2.3.6. Μέγεθος

Το μέγεθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτό ως κριτήριο διαχωρισμού, μέσω π.χ. της εφαρμογής διεργασιών οι οποίες βασίζονται στην οπτική ανάλυση της τροφοδοσίας των. Στην παρούσα εργασία έγινε διάκριση ανάμεσα σε δύο ιδιότητες της κατηγορίας αυτής, επιφάνεια προβολής και όγκο. Ο προσδιορισμός των έλαβε χώρα μέσω της «χονδρικής» μέτρησης της χωρικής διαγωνίου, του μήκους, πλάτους και ύψους των προϊόντων που απαρτίζουν το δείγμα. Στους υπολογισμούς δεν συμπεριλήφθηκαν τα όποια εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια υπήρχαν.

#### 2.3.6.1. Επιφάνεια προβολής

Η επιφάνεια προβολής (Projektionsfläche) δύναται να οριστεί ως η μεγαλύτερου εμβαδού έδρα ενός στερεού, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί το εκάστοτε προϊόν ΑΗΗΕ. Πρόκειται για παράμετρο ιδιαίτερης σημασίας όσον αφορά αυτοματοποιημένες διεργασίες διαχωρισμού, καθότι επί αυτής εδράζεται το προς διαχωρισμό απόβλητο επί της χρησιμοποιούμενης μεταφορικής ταινίας. Ο υπολογισμός της έγκειται στον πολλαπλασιασμό του μήκους επί το πλάτος της μεγαλύτερης έδρας. Τα αποτελέσματα ανά περιοχή και κατηγορία ΗΗΕ από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάζουν οι πίνακες 37 και 38.

**Πίνακας 37:** Στατιστικά στοιχεία για την επιφάνεια προβολής των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά περιοχή.

Περιοχή	Gorbitz	Dölzschen	Striesen	Αρέσδη-Σύνολο
Μέση τιμή (cm <sup>2</sup> )	369,23	208,95	359,09	302,73
Διάμεσος (cm <sup>2</sup> )	355,00	127,00	96,00	127,50
Ελάχιστη τιμή (cm <sup>2</sup> )	43,00	12,00	15,00	12,00
Μέγιστη τιμή (cm <sup>2</sup> )	1125,00	880,00	2530,00	2530,00
Τυπική απόκλιση (cm <sup>2</sup> )	301,15	191,48	547,81	397,98
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	81,56	91,64	152,55	131,47
n (Αριθμός συσκευών)	18	35	37	90

**Πίνακας 38:** Στατιστικά στοιχεία για την επιφάνεια προβολής των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία.

Κατηγορία ΑΗΗΕ*:	1	2	3	4	6	7
Μέση τιμή (cm <sup>2</sup> )	469,32	282,13	184,54	308,61	84,94	413,20
Διάμεσος (cm <sup>2</sup> )	475,00	126,50	116,50	95,00	96,00	129,00
Ελάχιστη τιμή (cm <sup>2</sup> )	200,96	20,00	12,00	27,00	22,75	12,56
Μέγιστη τιμή (cm <sup>2</sup> )	880,00	1242,00	608,00	1320,00	125,00	2530,00
Τυπική απόκλιση (cm <sup>2</sup> )	259,73	288,83	177,48	409,94	43,65	860,98
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	55,34	102,37	96,17	132,83	51,40	208,37
n (Αριθμός συσκευών)	5	42	18	9	4	8

\*Στις κατηγορίες 5, 8, 9 και 10 μετρήθηκε η επιφάνεια μιας μονάχα συσκευής.

#### 2.3.6.2. Όγκος

Για παρεμφερείς με τους ανωτέρω λόγους προσδιορίστηκε ο όγκος της κάθε μίας συσκευής του δείγματος. Ο υπολογισμός του έγκειται στον πολλαπλασιασμό του μήκους επί το πλάτος και το ύψος της συσκευής. Στους πίνακες 39 και 40 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων ανά περιοχή και κατηγορία ΗΗΕ αντίστοιχα. Όπως διαπιστώθηκε και για την παράμετρο του βάρους, οι τιμές για την επιφάνεια επαφής και τον όγκο των ΑΗΗΕ παρουσιάζουν συνολικά ένα πολύ μεγάλο εύρος διακυμάνσεων, γεγονός το οποίο αποκλείει την

χρήση των ως αποτελεσματικά κριτήρια διαχωρισμού των sWEEE από το εξαιρετικά ετερογενές στη σύνθεση του ρεύμα των Restabfall [72].

**Πίνακας 39:** Στατιστικά στοιχεία για τον όγκο των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά περιοχή.

Περιοχή	Goritz	Dölzschen	Striesen	Δρέσδη-Σύνολο
Μέση τιμή (cm <sup>3</sup> )	4877,69	2364,74	4874,17	3834,40
Διάμεσος (cm <sup>3</sup> )	4200,00	584,73	1120,00	975,00
Ελάχιστη τιμή (cm <sup>3</sup> )	22,50	6,00	22,50	6,00
Μέγιστη τιμή (cm <sup>3</sup> )	23625,00	19360,00	52920,00	52920,00
Τυπική απόκλιση (cm <sup>3</sup> )	5770,79	4044,36	9991,81	7194,95
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	118,31	171,03	205,00	187,64
n (Αριθμός συσκευών)	17	34	31	82

**Πίνακας 40:** Στατιστικά στοιχεία για τον όγκο των ΑΗΗΕ του δείγματος ανά κατηγορία.

Κατηγορία ΑΗΗΕ:	1	2	3	4	6	7
Μέση τιμή (cm <sup>3</sup> )	9175,00	3680,72	1409,60	2882,11	419,54	2538,46
Διάμεσος (cm <sup>3</sup> )	9025,00	2454,36	525,00	264,00	490,63	975,00
Ελάχιστη τιμή (cm <sup>3</sup> )	2412,00	40,00	6,00	108,00	192,00	19,24
Μέγιστη τιμή (cm <sup>3</sup> )	19360,00	23625,00	9120,00	10560,00	576,00	12650,00
Τυπική απόκλιση (cm <sup>3</sup> )	6906,27	5044,22	2488,26	4051,46	201,63	4576,46
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	75,27	137,04	176,52	140,57	48,06	180,28
n (Αριθμός συσκευών)	5	37	18	9	3	7

### 2.3.7. Σύνοψη

Όπως καταδείχθηκε στις προηγούμενες υποπαραγράφους, ιδιότητες όπως σχήμα, βάρος, όγκος ή επιφάνεια προβολής παρουσιάζουν πολύ μεγάλο εύρος διακύμανσης. Το βάρος κυμαίνεται από 0,17 g έως 5,35 kg, ενώ η μέση τιμή του ανέρχεται στα ~832 g. Η επιφάνεια επαφής ποικίλλει μεταξύ 12 και 2530 cm<sup>2</sup>, ενώ και ο όγκος παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά. Όσον αφορά το σχήμα, διαπιστώνεται μεγάλη διασπορά μεταξύ των συσκευών. Αυτές οι παράμετροι δεν μπόρεσαν να καταδείξουν σαφώς συγκεκριμένες, χαρακτηριστικές ιδιότητες των sWEEE. Συν τοις άλλοις, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι δύσκολο να αναγνωρισθούν από τις εκάστοτε διεργασίες διαχωρισμού λόγω της φθοράς που υπόκεινται τα sWEEE στα MSW (συμπίεση στο απορριμματοφόρο, ρυπαρότητα). Συνεπώς, οι προαναφερθείσες παράμετροι δεν δύνανται να χρησιμοποιηθούν από αυτόματες διεργασίες ως μηχανικά κριτήρια διαχωρισμού προς απομάκρυνση των sWEEE από το εξαιρετικά ετερογενές ρεύμα των Restabfall. Αμφίβολη είναι επίσης η ανεύρεση άλλων σχετικών παραμέτρων οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προς την κατεύθυνση αυτή [72].

## 2.4. Σύσταση των ΑΗΗΕ

Προς αποτελεσματική διαχείριση και ανακύκλωση των sWEEE απαραίτητες είναι πληροφορίες οι οποίες αφορούν στη σύσταση των. Για το σκοπό αυτό, είναι σημαντικό να αναγνωρισθούν οι σημαντικότεροι τύποι συσκευών των sWEEE, οι οποίοι:

- ♦ αποτελούν μεγάλο μέρος της συνολικής μάζας των
- ♦ διαθέτουν υψηλότερα ποσοστά ανακυκλώσιμων υλικών (κυρίως μέταλλα και πλαστικά)
- ♦ περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις επικίνδυνων ουσιών και παρασκευασμάτων

Για να μπορέσει να επιτευχθεί ο ανωτέρω στόχος ήταν αναγκαία η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας κατά την αποσυναρμολόγηση των ΑΗΗΕ, η οποία επιτρέπει τη λήψη όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών αναφορικά με το υπό μελέτη δείγμα. Ο πίνακας 41 που έπεται παρουσιάζει συνοπτικά τις σημαντικότερες παραμέτρους της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Στη συνέχεια αυτού του υποκεφαλαίου παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα που ελήφθησαν για αυτές τις

παραμέτρους, έχοντας πάντοτε ως κύριο γνώμονα τις απαιτήσεις που τίθενται από την οδηγία 2002/96/EK.

**Πίνακας 41:** Προσδιοριζόμενες παράμετροι κατά την αποσυναρμολόγηση.

Παράμετρος	Μέθοδος προσδιορισμού	Σχόλιο
Χρόνος αποσυναρμολόγησης	Χρονόμετρο	Στο βαθμό που προχωρούσε χωρίς πρόβλημα
Ομάδες υλικών	Ιδία εκτίμηση, μαγνητικός διαχωρισμός	
Τύπος & χρώμα πλαστικών	NIR, Ιδία εκτίμηση, ετικέτες παραγωγών	
Περιεχόμενο σε μπαταρίες	Ζυγός	Απομάκρυνση & ζύγιση των

#### 2.4.1. Αποσυναρμολόγηση των ΑΗΗΕ

Ως πρώτο βήμα για την ταυτοποίηση της σύστασης των ΑΗΗΕ του δείγματος έλαβε χώρα η αποσυναρμολόγηση των. Στην παρούσα εργασία οι διάφορες συσκευές αποσυναρμολογήθηκαν με τη χρήση απλών εργαλείων – π.χ. κατσαβίδι, ηλεκτρικό και μη, πένσα, ψαλίδι κτλ – στο βαθμό όπου αυτό ήταν δυνατό χωρίς την άσκηση ιδιαίτερης σωματικής δύναμης. Στέρεα δομημένα εξαρτήματα όπως μετασχηματιστές, πηνία ή PWBs δεν αποσυναρμολογήθηκαν στα συστατικά των, λόγω του αυξημένου κόστους που θα συνεπαγόταν κάτι τέτοιο. Λαμπτήρες και άλλα εξαρτήματα (π.χ. ανταλλακτικά για ηλ. οδοντόβουρτσες) δεν ήταν δυνατό επίσης να αποσυναρμολογηθούν λόγω της δομής των. Τα διάφορα υλικά χωρίστηκαν, είτε μέσω οπτικής αναγνώρισης, είτε με χρήση μαγνήτη (για τα σιδηρούχα μέταλλα) στις εξής κατηγορίες:

- ⇒ σιδηρούχα μέταλλα
- ⇒ μη σιδηρούχα μέταλλα
- ⇒ πλαστικά
- ⇒ ελαστικό (κόμμι)
- ⇒ ηλεκτρονικά κατασκευαστικά στοιχεία (PWBs, LCDs)
- ⇒ ηλεκτρικά και άλλα ηλεκτρονικά κατασκευαστικά στοιχεία (πυκνωτές, ηχεία, κτλ.)
- ⇒ μπαταρίες
- ⇒ καλώδια
- ⇒ μη αποσυναρμολογίσιμοι σύνδεσμοι υλικών
- ⇒ άλλα (γυαλί, ύφασμα, ξύλο, χαρτί κλπ.)

Το βάρος των διαφόρων υλικών μετρήθηκε με εργαστηριακό ζυγό ακριβείας. Επισημαίνεται ότι ο αποτελεσματικός διαχωρισμός των διαφόρων υλικών μεταξύ των είναι μείζονος σημασίας για την μετέπειτα απόδοση διεργασιών ανακύκλωσης. Καθότι επίσης τα sWEEE γενικότερα θεωρούνται ένα ετερογενές, σύνθετο και δύσκολο να αποσυναρμολογηθεί ρεύμα αποβλήτων, η μέτρηση του απαιτούμενου για κάθε συσκευή χρόνου αποσυναρμολόγησης αποτελεί συνάμα παράμετρο χρήσιμη για αντίστοιχες μονάδες. Ο απαιτούμενος χρόνος αποτελεί συνάρτηση της πολυπλοκότητας μιας συσκευής και του επιδιωκόμενου βάθους αποσυναρμολόγησης.

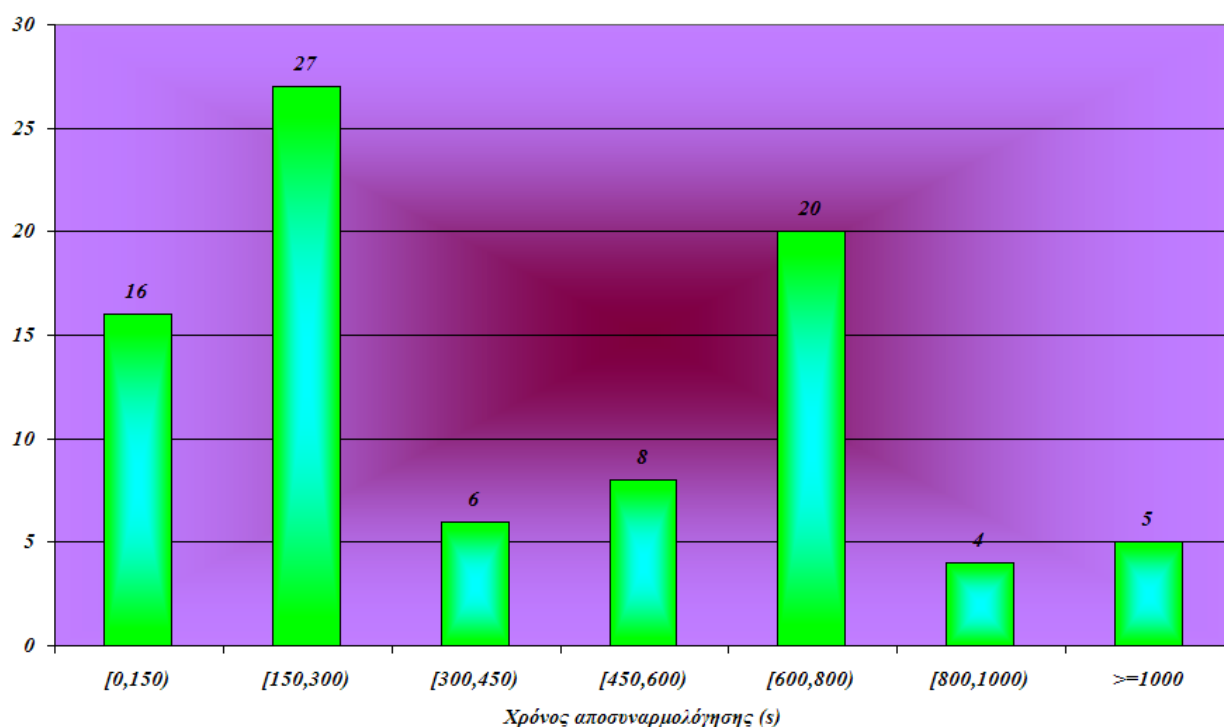
Πάντως, όσον αφορά μονάδες αποσυναρμολόγησης sWEEE, το πλήθος των κατηγοριών των υλικών που παράγονται εξαρτάται από τις απαιτήσεις της ακολουθούμενης μονάδας ανακύκλωσης, αλλά και από την αγορά. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος αποσυναρμολόγησης, τόσο αυξάνεται το εργατικό κόστος. Από την άλλη βέβαια, όσο μεγαλύτερο είναι το μεν, τόσο καθαρότερα είναι τα τελικά ανακυκλώσιμα προϊόντα. Τέλος, η αποσυναρμολόγηση εξυπηρετεί στην απομάκρυνση και απορρύπανση των sWEEE από κατασκευαστικά στοιχεία τα οποία περιέχουν επικίνδυνες ουσίες όπως μπαταρίες, συσσωρευτές, διακόπτες υδραργύρου [31]...

Στον πίνακα 42 και το διάγραμμα 33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν αναφορικά με το χρόνο αποσυναρμολόγησης των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία. Γενικά, τα αποτελέσματα

παρουσιάζουν σχετικά μικρές διακυμάνσεις, ειδικά σε σχέση με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάστηκαν στις αμέσως προηγούμενες παραγράφους. Πάντως, για κάποιες συσκευές της αυτής κατηγορίας, ο χρόνος που απαιτήθηκε ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος από ότι για άλλες, γεγονός που αντικατοπτρίζει την πολυπλοκότητα των προϊόντων. Επίσης, παρατηρήθηκε το γεγονός ότι ακόμη και ανάμεσα σε συσκευές του ίδιου τύπου, ο απαραίτητος χρόνος διέφερε ενίοτε κατά πολύ. Επί παραδείγματι, για ραδιόφωνα κυμάνθηκε μεταξύ 220 και 800 s, για ρολόγια τοίχου από 150 έως 780 sec, ενώ για τηλεκοντρόλ μεταξύ 40 και 200 sec. Πάντως, η πλειοψηφία των ΑΗΗΕ αποσυναρμολογήθηκε εντός 7,5 λεπτών και το 90% αυτών μέσα σε ένα τέταρτο της ώρας. Οι τιμές αυτές βέβαια απεικονίζουν μονάχα τη διακύμανση της δυσκολίας αποσυναρμολόγησης και πολυπλοκότητας των sWEEE, καθότι πιστεύεται ότι ειδικευμένο προσωπικό σχετικών εγκαταστάσεων επιτυγχάνει πολύ χαμηλότερους χρόνους.

**Πίνακας 42:** Χρόνος αποσυναρμολόγησης των συσκευών ανά κατηγορία ΗΗΕ.

Κατηγορία ΑΗΗΕ:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σύνολο
Μέση τιμή (s)	541,00	378,82	400,00	474,55	600,00	323,33	305,56	720,00	540,00	1100,00	411,38
Διάμεσος (s)	360,00	300,00	360,00	220,00	600,00	150,00	150,00	720,00	540,00	1100,00	287,50
Ελάχιστη τιμή (s)	20,00	60,00	110,00	40,00	—	120,00	100,00	—	—	—	20,00
Μέγιστη τιμή (s)	1260,00	780,00	1000,00	1200,00	—	700,00	1200,00	—	—	—	1260,00
n (Αριθμός συσκευών)	5	39	15	11	1	3	9	1	1	1	86



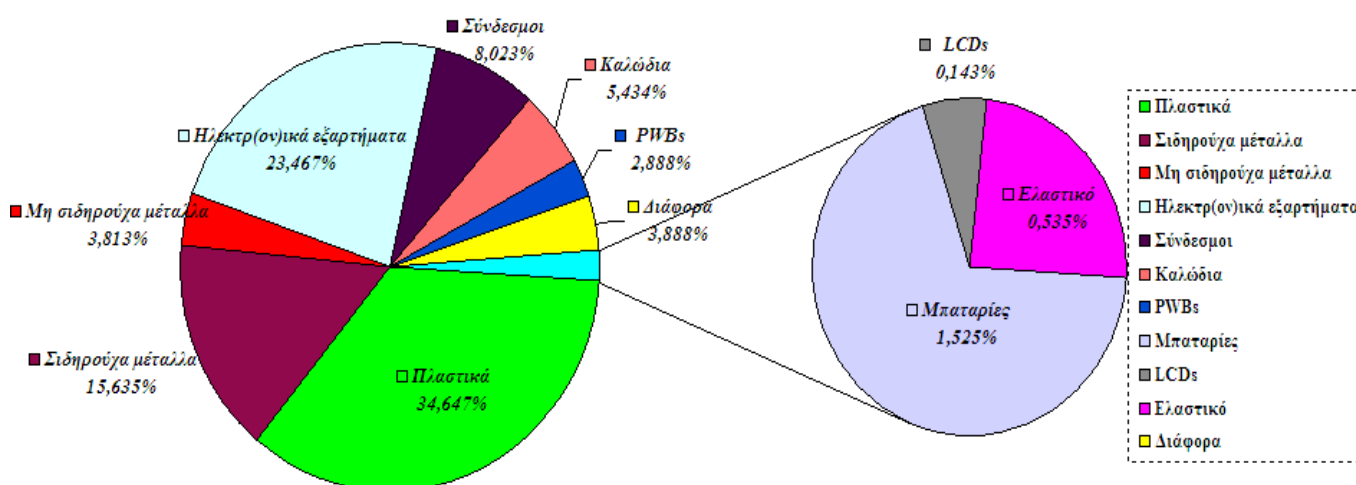
**Διάγραμμα 33:** Κατανομή του χρόνου αποσυναρμολόγησης σε "κλάσεις".

#### 2.4.2. Γενική σύσταση του δείγματος

Η ολική σύσταση του δείγματος των ΑΗΗΕ που διαχωρίστηκαν από τα υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα ανά κατηγορίες υλικών απεικονίζεται στο διάγραμμα 34. Όπως καταδεικνύεται σε αυτό, το μεγαλύτερο κλάσμα αποτελούν τα διάφορα πολυμερή, στα οποία αντιστοιχεί περισσότερο του ενός τρίτου της ολικής μάζας του δείγματος<sup>52</sup>. Επίσης, ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα

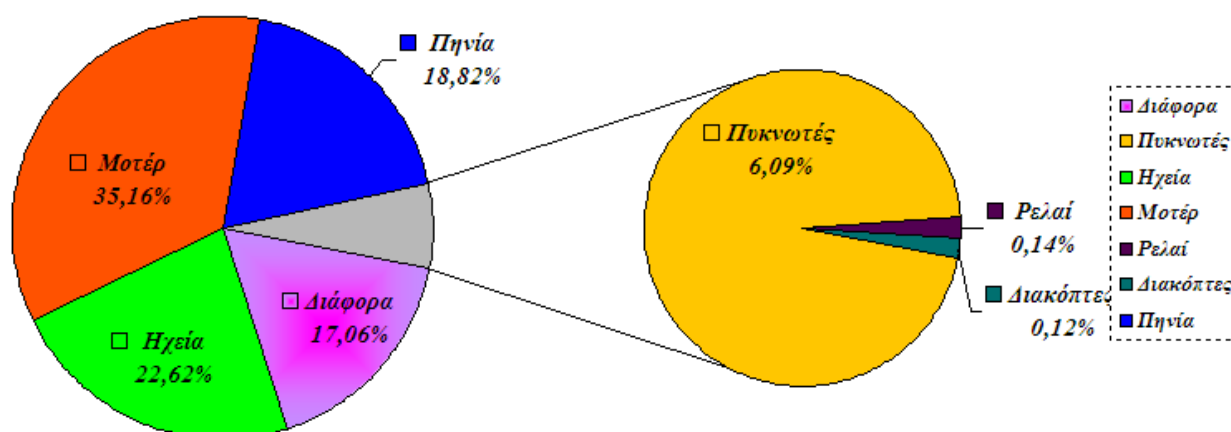
<sup>52</sup> Η αλματώδης εξέλιξη των πολυμερικών υλικών έχει επιτρέψει την σε μεγάλο βαθμό αντικατάσταση άλλων, κυρίως μεταλλικών υλικών στις εφαρμογές των, χωρίς να επέλθει χειροτέρευση αναφορικά με προδιαγραφές ποιότητας και ασφαλείας.

(π.χ. μοτέρ, πηνία) αντιπροσωπεύουν περίπου το εν τέταρτο του συνολικού βάρους, ενώ το μερίδιο των σιδηρούχων μετάλλων είναι και αυτό πολύ σημαντικό (~15,6%). Όπως επίσης αναμενόταν, μη διαχωρίσιμοι σύνδεσμοι, πλακέτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, μη σιδηρούχα μέταλλα και καλώδια απαντώνται σε χαμηλότερα μεν, σημαντικά δε ποσοστά. Άλλα υλικά (γυαλί, ύφασμα, ξύλο), μπαταρίες, ελαστικό και LCDs απαντώνται σε χαμηλά ποσοστά<sup>53</sup>.



**Διάγραμμα 34:** Συνολική σύσταση του δείγματος των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία υλικών (% κ.β.).

Στα ακόλουθα διαγράμματα 35 και 36 παρουσιάζεται επίσης η σύσταση των ανωτέρω αναφερθέντων ηλεκτρονικών-ηλεκτρικών στοιχείων και μη αποσυναρμολογίσιμων συνδέσμων υλικών. Η χωριστή παρουσίαση των κρίνεται εύλογη λόγω του αρκετά υψηλού ποσοστού που κατέχουν στη μάζα του δείγματος. Όπως διαφαίνεται στα εν λόγω διαγράμματα, μοτέρ (εικόνα 10), πηνία, ηχεία (το στέρα συγκολλημένο τμήμα των) και πυκνωτές αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του πρώτου κλάσματος υλικών, στο οποίο βρέθηκαν μεταξύ άλλων και ρελαί, διακόπτες, ηλεκτρική αντίσταση κτλ. Συν τοις άλλοις, την πλειοψηφία των μη διαχωρίσιμων συνδέσμων αποτελούσαν λίαν στέρα «συγκολλημένα» τμήματα πλαστικών με μέταλλα (απαντήθηκαν σε βραστήρες, τηλέφωνα, σίδερα κλπ). Σύνδεσμοι μετάλλου με χαρτί ή χαρτόνι (Papier-Pappe-Karton, PPK) βρέθηκαν σε τοστιέρες, όπου χρησιμοποιούνται πιθανά ως θερμομονωτικό υλικό. Άλλοι τύποι συνδέσμων οι οποίοι δεν ήταν δυνατό να αποσυναρμολογηθούν έγκεινται είτε σε «συγκολλήσεις» ελαστικού με γυαλί ή πλαστικό, είτε σε μη αναγνωρίσιμους...



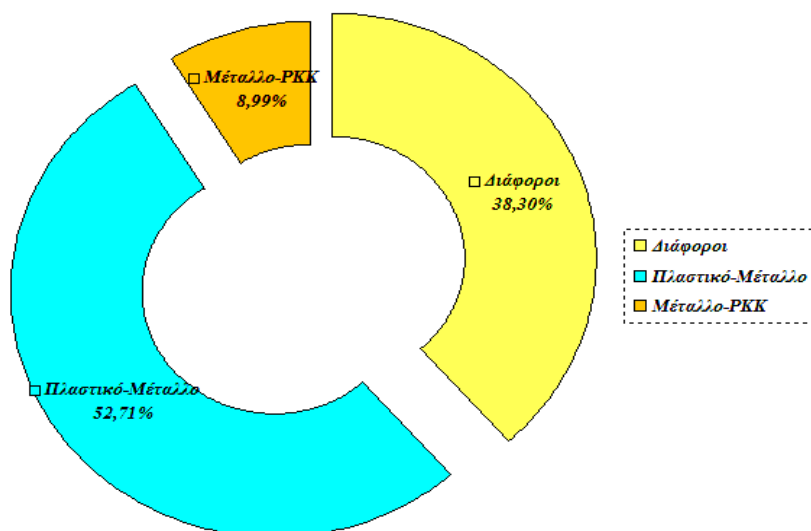
**Διάγραμμα 35:** Επιμέρους σύσταση των ηλεκτρικών & ηλεκτρονικών στοιχείων του δείγματος (% κ.β.).

<sup>53</sup> Στους υπολογισμούς συμπεριλήφθηκαν και 2 προϊόντα της κατηγορίας «11», λόγω της συχνότητας εμφάνισης, αλλά και της δυνητικής περιβαλλοντικής σημασίας των: οικιακά φωτιστικά σώματα και διακόπτες. Το αυτό λαμβάνει χώρα και στις επόμενες υποπαραγράφους.





*Εικόνα 10: Μοτέρ ηλεκτρικής σκούπας.*



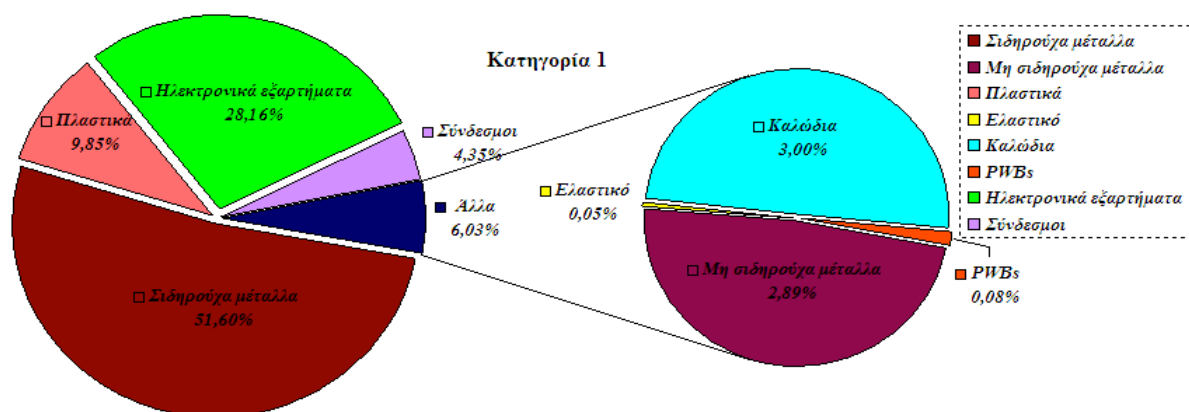
*Διάγραμμα 36: Τύποι συνδέσμων υλικών που απαντήθηκαν στο δείγμα.*

#### 2.4.3. Σύσταση του δείγματος ανά κατηγορία ΗΗΕ

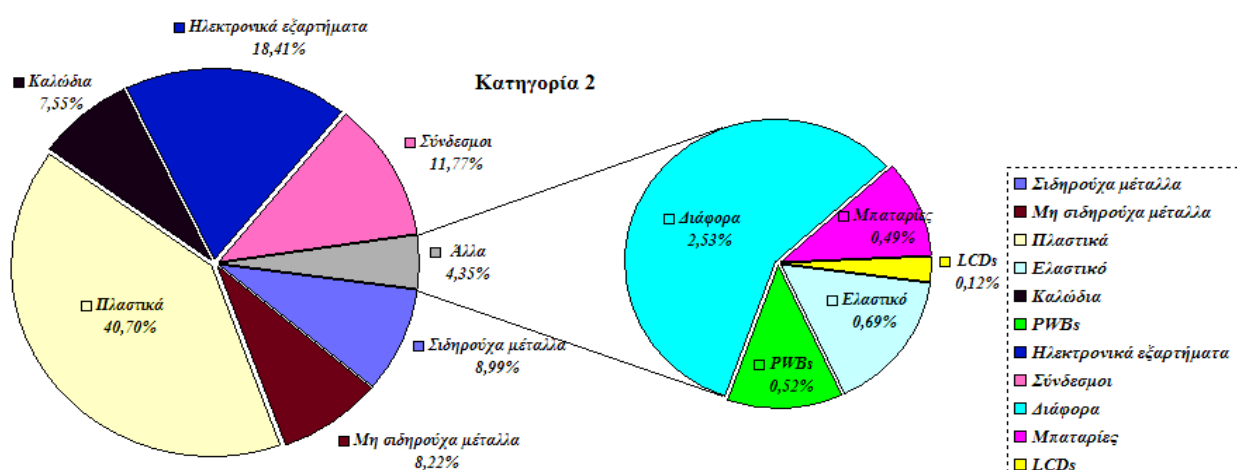
Στον πίνακα 43 και τα διαγράμματα 37 έως 47 παρουσιάζεται η σύσταση της κάθε κατηγορίας ΗΗΕ του δείγματος, εξυπηρετώντας έτσι τη σαφέστερη κατάδειξη των διαφορών που προκύπτουν μεταξύ των. Όπως προκύπτει, οι κατηγορίες ΗΗΕ οι οποίες κυριολεκτικά κυριαρχούνται από τα πλαστικά υλικά είναι οι 2 και 7, στις οποίες περιλαμβάνεται ΗΗΕ ο οποίος επηρεάζεται τα μέγιστα από την τεχνολογική ανάπτυξη της επιστήμης των υλικών και δη των πολυμερικών. Στις υπόλοιπες κατηγορίες (εξαιρουμένων των 5, 8, 9 και 10 για τις οποίες το δείγμα ήταν μη αντιπροσωπευτικό), το μερίδιο των πλαστικών είναι πάνω-κάτω σταθερό (~25-30%), με εξαίρεση την κατηγορία 1, όπου κυριάρχησαν τα σιδηρούχα μέταλλα, κλάσμα το οποίο για τις υπόλοιπες κατηγορίες, πλην των παιχνιδιών, κυμάνθηκε σταθερά λίγο κάτω από το μέσο όρο του 15,6%. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα (Cu, Al) κατείχαν ένα ποσοστό κυμαινόμενο μεταξύ 0,2% (παιχνίδια) και 2,9% (μεγάλες οικιακές συσκευές), με εξαίρεση τις μικρές οικιακές συσκευές, οι οποίες λόγω του όγκου τους στο σύνολο του δείγματος συνεισέφεραν τα πλείστα στο μέσο όρο του 3,8%.

**Πίνακας 43:** Η % κ.β. σύσταση της κάθε κατηγορίας ΗΗΕ του δείγματος ανά κλάσμα υλικών.

Κατηγορία Υλικών	Κατηγορία ΗΗΕ										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	«11»
Σιδηρούχα μέταλλα	51,60	8,99	25,27	12,04	10,40	13,32	2,50	7,42	0,27	–	27,92
Μη σιδηρούχα μέταλλα	2,89	8,22	0,09	1,08	–	2,69	0,23	8,12	–	–	0,70
Πλαστικά	9,85	40,70	27,49	28,17	24,19	9,18	83,60	29,27	76,62	69,48	34,26
Ελαστικό	0,05	0,69	0,79	0,54	–	0,21	1,12	3,25	0,22	–	0,43
Καλώδια	3,00	7,55	3,34	2,80	0,77	7,02	2,26	–	0,46	8,50	6,54
PWBs	0,08	0,52	10,17	6,77	–	0,92	3,84	–	22,44	4,33	0,72
Ηλεκτρ(ον)ικά εξαρτήματα	28,16	18,41	4,45	38,48	64,64	66,11	3,92	20,09	–	1,48	13,78
Σύνδεσμοι	4,35	11,77	11,09	5,28	–	0,53	0,004	–	–	15,32	7,29
Διάφορα	–	2,53	14,03	3,00	–	0,04	1,91	31,84	–	–	3,33
Μπαταρίες	–	0,49	2,63	1,74	–	–	0,53	–	–	0,33	5,04
LCDs	–	0,12	0,64	0,08	–	–	0,09	–	–	0,56	–



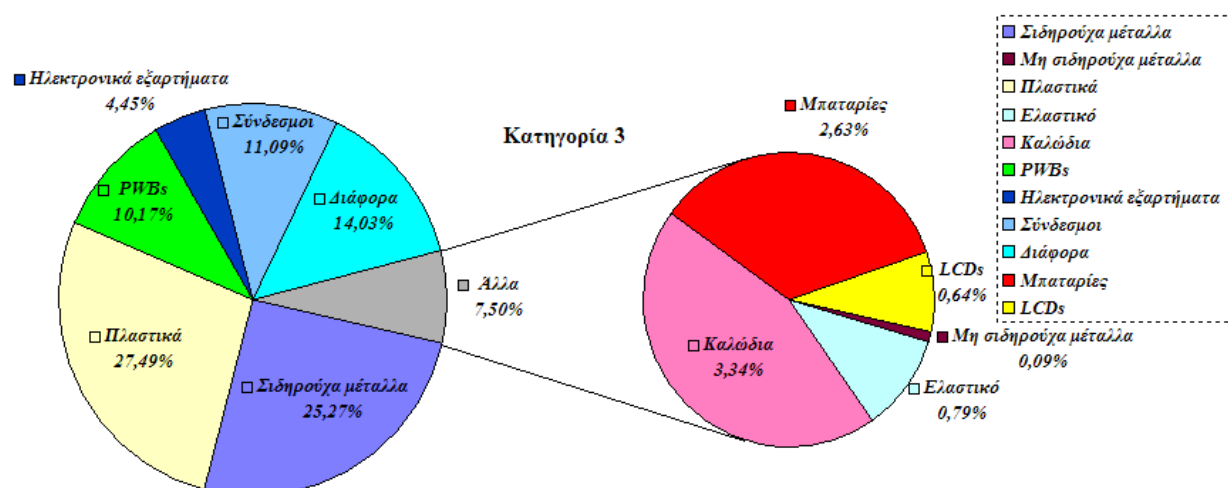
**Διάγραμμα 37:** Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 1 του δείγματος.



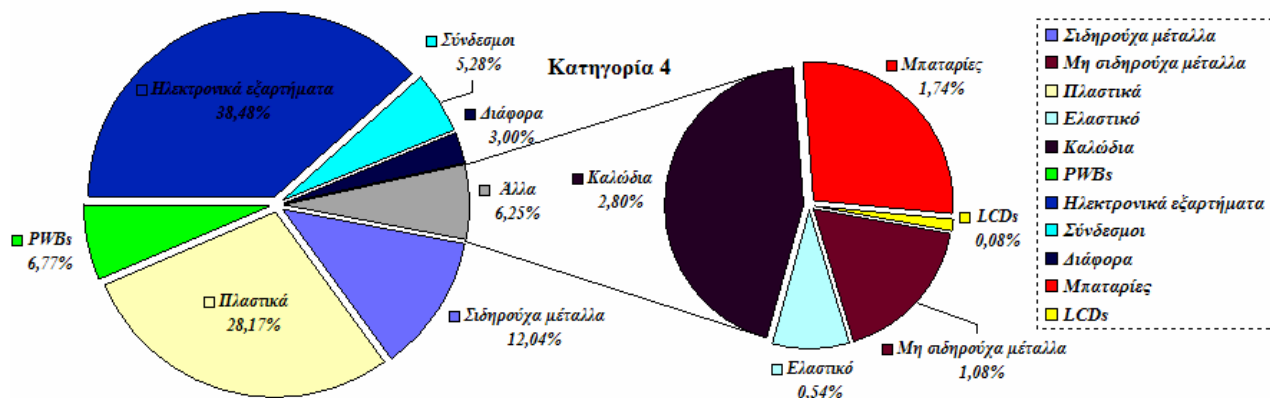
**Διάγραμμα 38:** Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 2 του δείγματος.

Επισημαίνεται επίσης το μεγάλο ποσοστό ηλεκτρικών (κυρίως) και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στον ΗΗΕ των κατηγοριών 6, 4, αλλά και 1, ενώ μη διαχωρίσιμοι σύνδεσμοι απαντήθηκαν ως επί το πλείστον σε προϊόντα των κατηγοριών 2 και 3. Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων υπήρχαν σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες ΗΗΕ, αλλά όπως αναμενόταν κυρίως σε προϊόντα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών. Μπαταρίες, καλώδια και LCDs (κατασκευαστικά στοιχεία τα οποία υπό συνθήκες καθιστούν απαραίτητη την επιλεκτική επεξεργασία του ΗΗΕ μαζί με τις PWBs, βλ. επόμενη §)

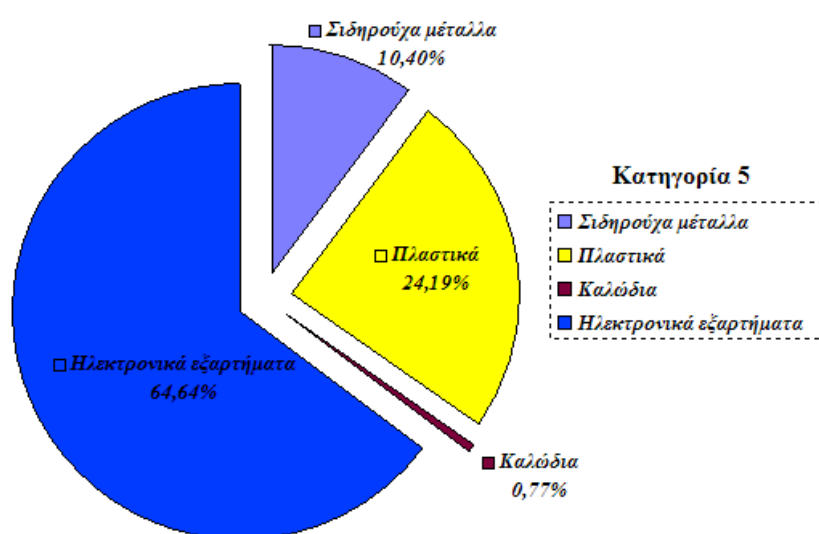
συνιστούν υλικά τα οποία αποτελούν αξιόλογο μέρος της ολικής κ.β. σύστασης του δείγματος. Άλλα κλάσματα υλικών συνιστούν τέλος ένα (συνήθως) μικρό τμήμα του δείγματος.



Διάγραμμα 39: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 3 του δείγματος.

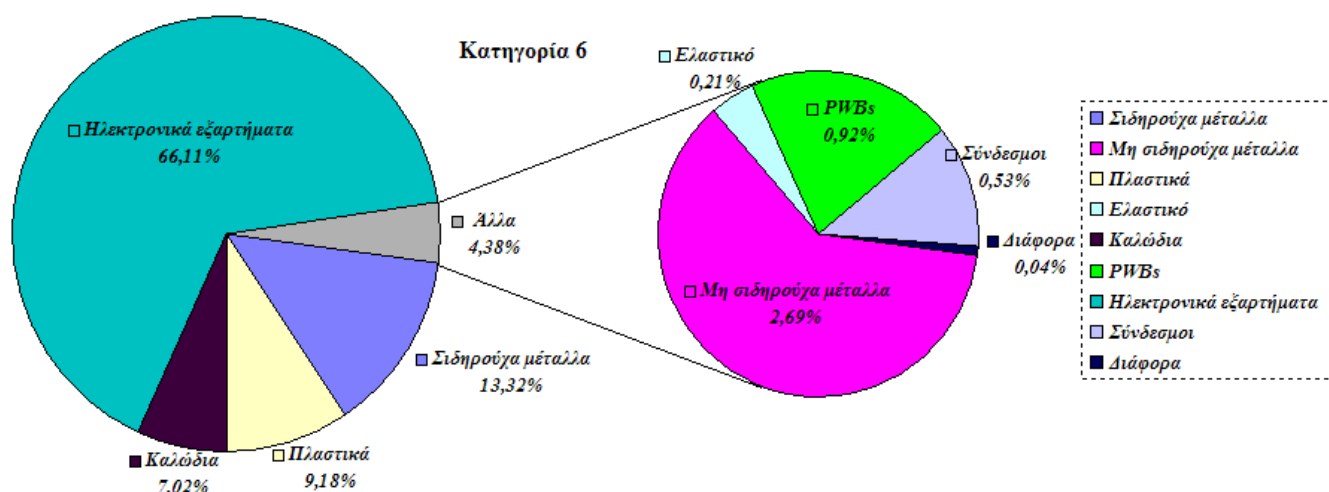


Διάγραμμα 40: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 4 του δείγματος.

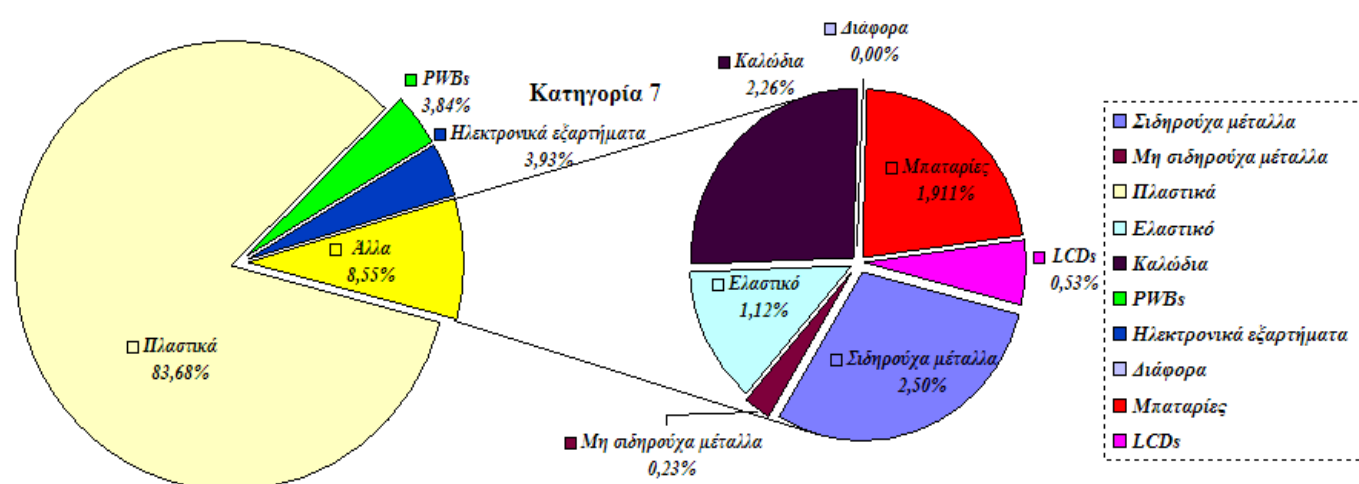


Διάγραμμα 41: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 5 του δείγματος.

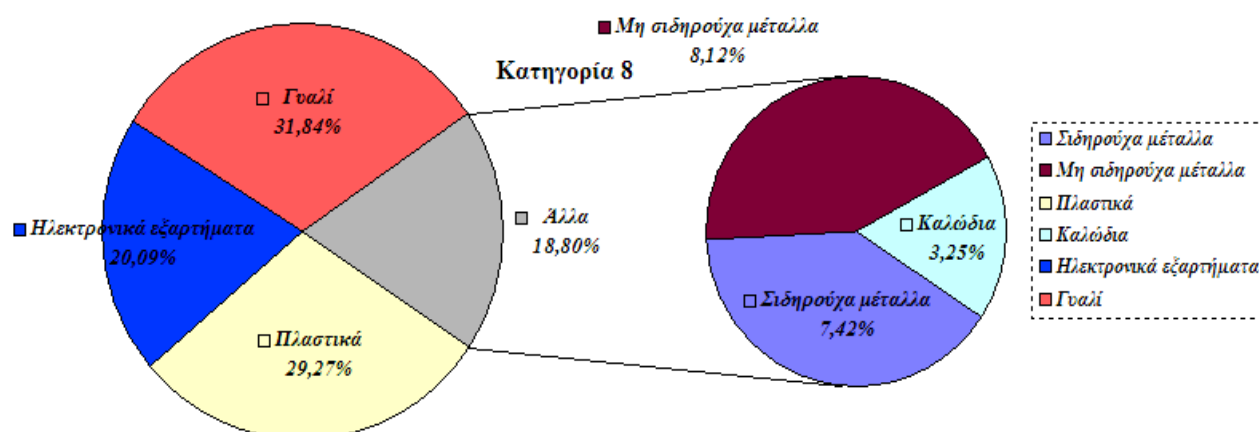




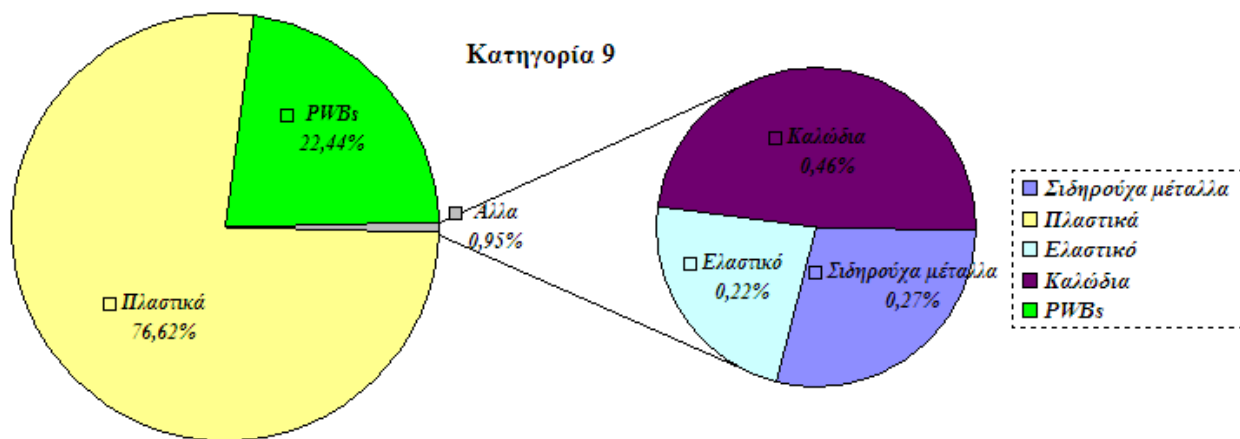
Διάγραμμα 42: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 6 του δείγματος.



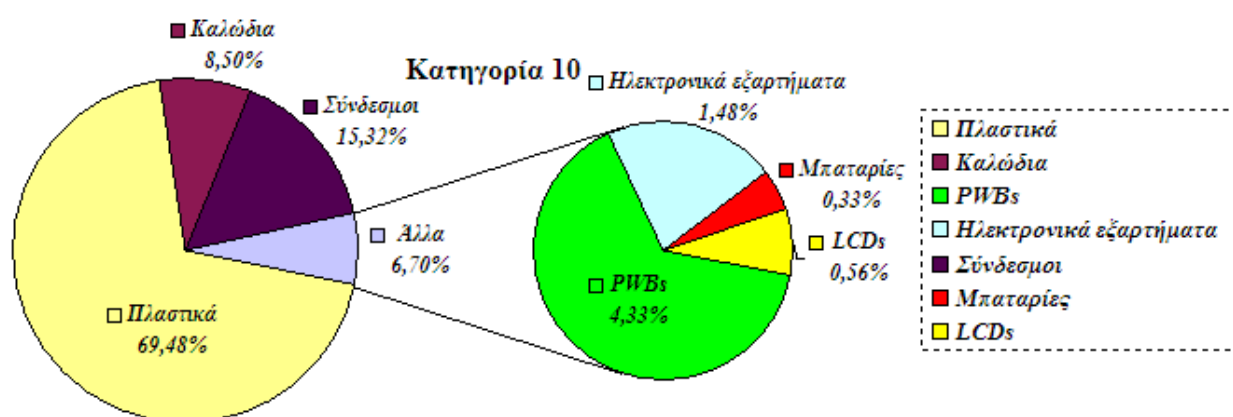
Διάγραμμα 43: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 7 του δείγματος.



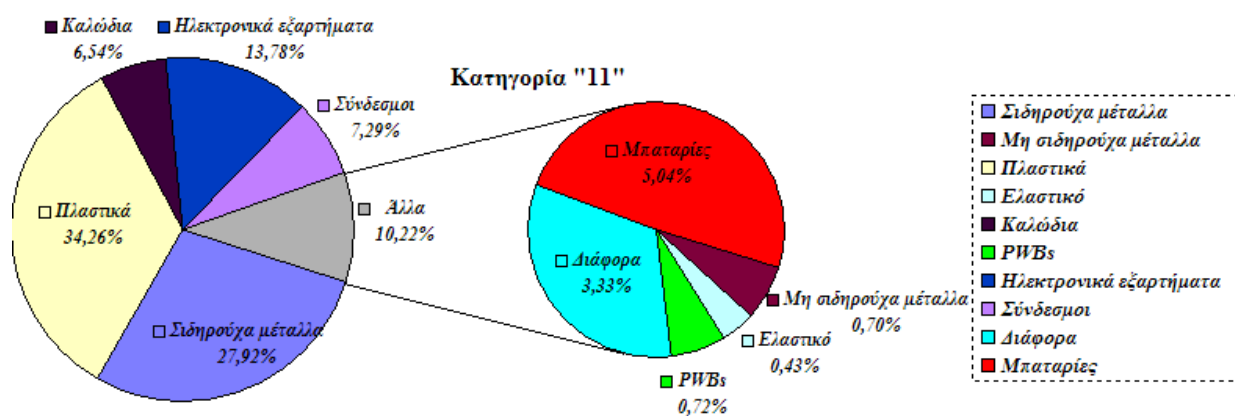
Διάγραμμα 44: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 8 του δείγματος.



Διάγραμμα 45: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 9 του δείγματος.



Διάγραμμα 46: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας 10 του δείγματος.



Διάγραμμα 47: Η % κ.β. σύσταση της κατηγορίας «11» του δείγματος.

#### 2.4.4. Επιλεκτική επεξεργασία των ΑΗΗΕ

Σύμφωνα με το άρθρο 6 της 2002/96/ΕΚ τα συστήματα επεξεργασίας ΑΗΗΕ πρέπει να εφαρμόζουν τις βέλτιστες δυνατές τεχνικές επεξεργασίας, αξιοποίησης και ανακύκλωσης. Η επεξεργασία αυτή θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει την αφαίρεση όλων των ρευστών, αλλά και την επιλεκτική επεξεργασία ορισμένων υλικών και κατασκευαστικών στοιχείων ΑΗΗΕ σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙ της οδηγίας. Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν οι απαιτήσεις για την επιλεκτική επεξεργασία προϊόντων που περιείχαν:

- ◇ μπαταρίες και συσσωρευτές
- ◇ πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων κινητών τηλεφώνων ή επιφάνειας >10 cm<sup>2</sup>

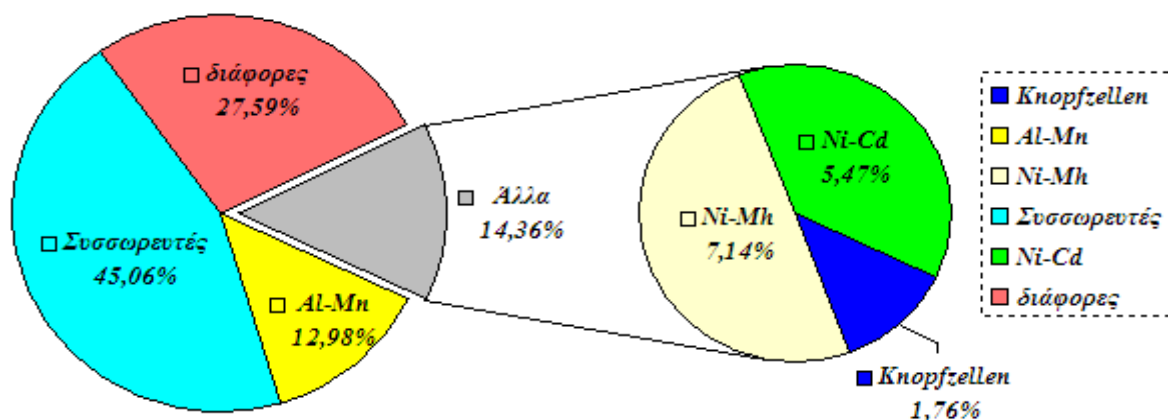
◇ εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια.

◇ οθόνες υγρών κρυστάλλων επιφανείας μεγαλύτερης από 100 cm<sup>2</sup>.

Το παράρτημα II της οδηγίας ορίζει σαφώς ότι τα ως άνω εξαρτήματα θα πρέπει να αφαιρούνται από τα ΑΗΗΕ που συλλέγονται χωριστά [1].

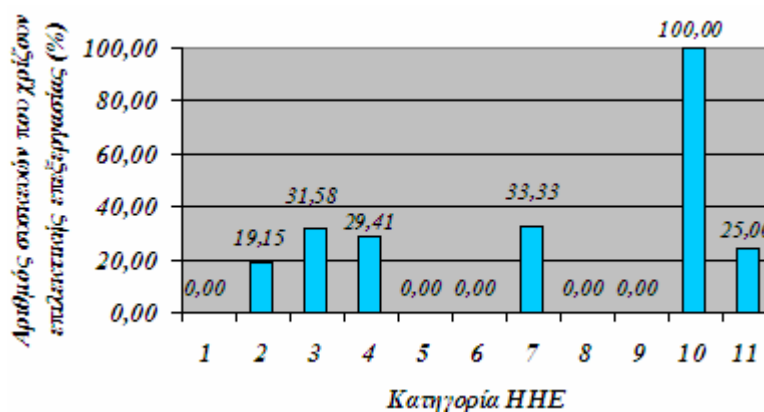
#### 2.4.4.1. Μπαταρίες

Η ύπαρξη μπαταριών και συσσωρευτών στα Restabfall παρότι ανταποκρίνεται σε ένα μικρό μέρος του συνολικού βάρους, συνεισφέρει τα μέγιστα στο συνολικό ρυπαντικό φορτίο των. Πέραν όμως των χωριστά απορριπτόμενων από τους χρήστες, τα ίδια τα ΑΗΗΕ αποτελούν σημαντική δίοδο εισόδου μπαταριών οιαδήποτε τύπου στα οικιακά στερεά απόβλητα [74]. Στο ακόλουθο διάγραμμα 48 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι των, οι οποίοι βρέθηκαν εντός των ΑΗΗΕ του δείγματος. Όπως παρατηρείται, κυριαρχούν οι συσσωρευτές (παρότι βρέθηκαν μόνον τρεις), ενώ σεβαστό είναι το μερίδιο των μπαταριών Al-Mn, Ni-Mh και Ni-Cd. Πολύ μικρές μπαταρίες (Knopfzellen) απαντήθηκαν σε ρολόγια, κομπιουτεράκια και παιχνίδια. Το συνολικό βάρος των αντιστοιχεί στο 1,525% κ.β. του συνόλου του δείγματος, και ανήλθε στα 1610,19 g..



Διάγραμμα 48: Τύποι μπαταριών που βρέθηκαν στα ΑΗΗΕ του δείγματος (% κ.β.).

Η ύπαρξη μπαταριών σε ένα προϊόν ΑΗΗΕ συνεπάγεται την επιλεκτική επεξεργασία του λόγω της απαίτησης για απομάκρυνση των. Στο διάγραμμα 49 παρίσταται γραφικά το ποσοστό % του αριθμού των προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος τα οποία χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας βάσει του κριτηρίου αυτού. Παρατηρείται το γεγονός ότι οι μπαταρίες απουσίαζαν παντελώς στις κατηγορίες 1, 5, 6, 8 και 9, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζονται σε προϊόντα των κατηγοριών 3, 4, 7 και 2. Τέλος, το 21,62% του συνολικού αριθμού και το 24,73% του συνολικού βάρους των ΑΗΗΕ του δείγματος περιείχε μπαταρίες.



Διάγραμμα 49: Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω του περιεχομένου των σε μπαταρίες.

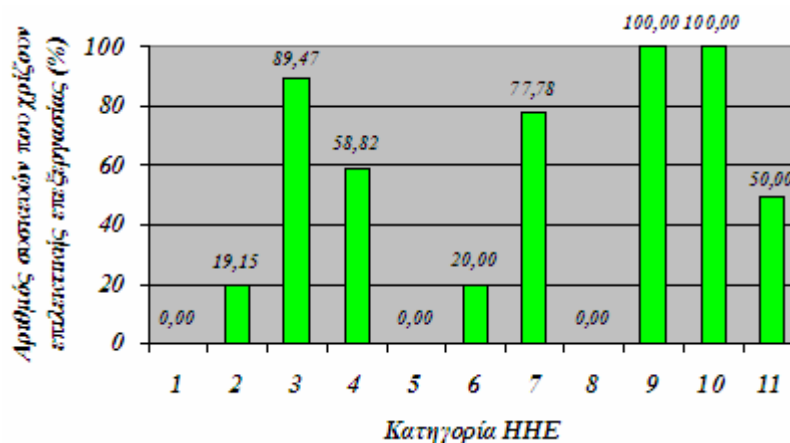
#### 2.4.4.2. Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων

Όμοια με τις μπαταρίες, η ύπαρξη μιας PWB επιφάνειας μεγαλύτερης από 10 cm<sup>2</sup> σε προϊόν ΑΗΗΕ καθιστά αυτόματα απαραίτητη την απομάκρυνση της. Στο δείγμα της παρούσας εργασίας βρέθηκαν συνολικά 101 πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, προερχόμενες από 57 διαφορετικές συσκευές. Για τις PWBs αυτές μετρήθηκε η επιφάνεια των (πίνακας 44). Το γεγονός ότι η διάμεσος της επιφάνειας είναι διπλάσια από το όριο των 10 cm<sup>2</sup> που ορίζει η οδηγία δίνει μια πρώτη ένδειξη για τον αριθμό των PWBs που θα πρέπει να απομακρύνονται από τα sWEEE σε μια μονάδα αποσυναρμολόγησης. 80 εκ των 101 PWBs έχουν επιφάνεια μεγαλύτερη από 10 cm<sup>2</sup>.

**Πίνακας 44:** Στατιστικά στοιχεία για την επιφάνεια των PWBs των ΑΗΗΕ του δείγματος.

Μέγεθος	Τιμή
Μέση τιμή (cm <sup>2</sup> )	42,18
Διάμεσος (cm <sup>2</sup> )	20,3
Ελάχιστη τιμή (cm <sup>2</sup> )	0,1
Μέγιστη τιμή (cm <sup>2</sup> )	336
Τυπική απόκλιση (cm <sup>2</sup> )	56,28
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	133,44
n (αριθμός PWBs)	101

Το διάγραμμα 50 παριστά γραφικά το ποσοστό % του αριθμού των προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος τα οποία χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω της ύπαρξης πλακετών επιφάνειας μεγαλύτερης από 10 cm<sup>2</sup>. Παρατηρείται ότι αρκετά μεγάλες PWBs απουσιάζουν από τις κατηγορίες 1, 5, και 8, ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζονται και πάλι σε προϊόντα των κατηγοριών 3, 4, και 7, όπου στην 3 σχεδόν όλες οι συσκευές περιείχαν ικανά μεγάλες PWBs. Συνολικά, το 41,74% του αριθμού των ΑΗΗΕ περιείχε PWBs >10 cm<sup>2</sup>, (46 συσκευές επί συνόλου 111, συν 2 εκ των 4 της «κατηγορίας 11») αποτελώντας το 53,53% κ.β. του όλου βάρους του δείγματος. Οι PWBs κινητών τηλεφώνων πρέπει πάντοτε να απομακρύνονται ανεξαρτήτως της επιφάνειας των.



**Διάγραμμα 50:** Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω της ύπαρξης PWBs >10 cm<sup>2</sup>.

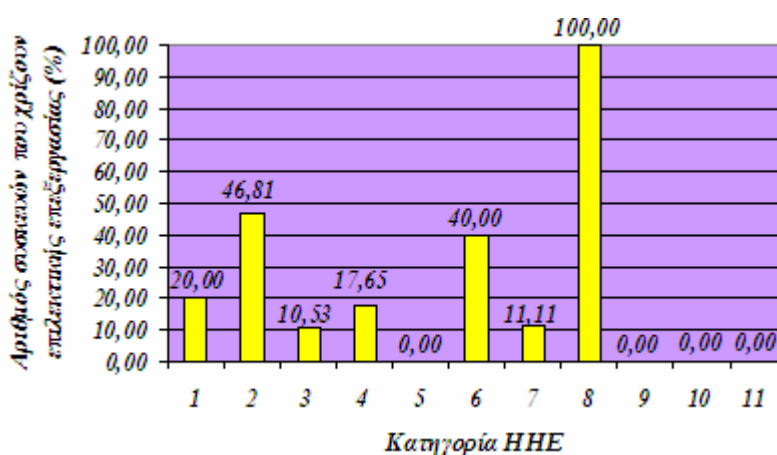
#### 2.4.4.3. Εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια

Η ύπαρξη εξωτερικών ηλεκτρικών καλωδίων προϋποθέτει κι αυτή την απομάκρυνση των πριν από κάθε περαιτέρω επεξεργασία του ΑΗΗΕ. Τα καλώδια – εσωτερικά ή εξωτερικά – αποτελούν το 5,4% κ.β. του δείγματος. Από την άλλη, εξωτερικά καλώδια υπήρχαν συνδεδεμένα με 32 από τις συσκευές του δείγματος (ενέχεται πάντα η πιθανότητα λόγω της μεταφοράς στο απορριμματοφόρο αριθμός καλωδίων να αποκόπηκε από τη συσκευή, και να ταξινομήθηκε έτσι στην κατηγορία 11

«Άλλα»). Τα καλώδια αυτά είχαν κατά μέσο όρο μήκος ίσο με 191,5 cm, ενώ το μακρύτερο εξ αυτών ήταν 665 cm (πίνακας 45). Το διάγραμμα 51 παριστά γραφικά το ποσοστό % του αριθμού των προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος τα οποία χρειάζονται επιλεκτική επεξεργασία λόγω της ύπαρξης εξωτερικών ηλεκτρικών καλωδίων, ανά κατηγορία.

**Πίνακας 45:** Στατιστικά στοιχεία για το μήκος των εξωτερικών ηλεκτρικών καλωδίων του δείγματος.

Μέγεθος	Τιμή
Μέση τιμή (cm)	191,5484
Διάμεσος (cm)	185
Ελάχιστη τιμή (cm)	80
Μέγιστη τιμή (cm)	665
Τυπική απόκλιση (cm)	105,6689
Σχετική τυπική απόκλιση (%)	55,16566
n (αριθμός εξ. καλωδίων)	32



**Διάγραμμα 51:** Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας λόγω της ύπαρξης εξωτερικών ηλεκτρικών καλωδίων.

Στο άνωθεν διάγραμμα παρατηρείται ότι εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια απαντώνται σε μεγαλύτερη συχνότητα στην κατηγορία 2, ενώ στις κατηγορίες 3, 7 και 4 μονάχα για το 10,5 έως 17,6% των συσκευών πληροίται το κριτήριο αυτό. Συνολικά, το 28,82% του αριθμού των ΑΗΗΕ περιείχε εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια (32 συσκευές επί συνόλου 111) αποτελώντας το 39,65% κ.β. του συνολικού βάρους του δείγματος. Επίσης τα καλώδια αυτά συνιστούν το 3,4% κ.β. του δείγματος και το 62,65% κ.β. επί του συνόλου των καλωδίων.

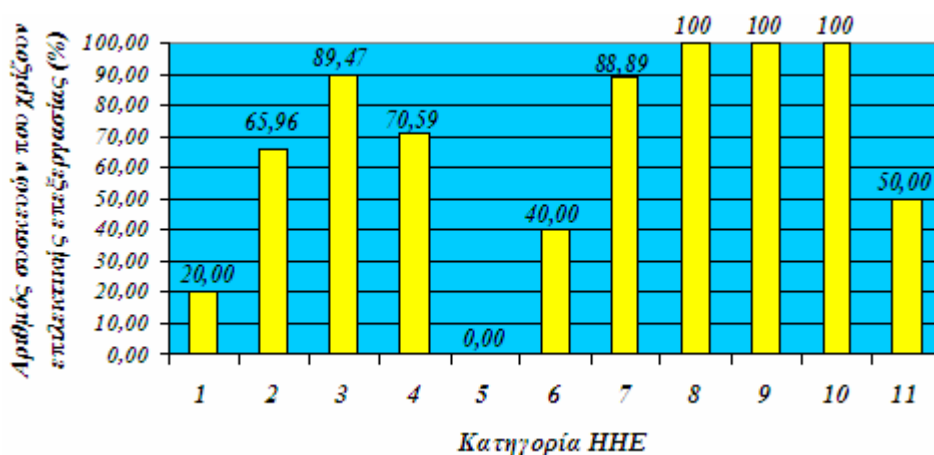
#### 2.4.4.4. LCDs

Οι LCDs απαρτίζουν το 0,14% του συνολικού βάρους του δείγματος και το 0,64% του βάρους της κατηγορίας 3, ενώ απαντώνται σε 22 από τις 111 συσκευές του δείγματος (19,82% του αριθμού των). Ωστόσο, καμία από τις LCDs αυτές δεν είναι μεγαλύτερη από 100 cm<sup>2</sup>. Συνεπώς, τουλάχιστον για το δείγμα τις παρούσας εργασίας, κανένα ΑΗΗΕ δεν χρίζει επιλεκτικής επεξεργασίας δυνάμει του κριτηρίου αυτού.

#### 2.4.4.5. Σόνοψη

Απαριθμώντας τα ΑΗΗΕ του δείγματος τα οποία χρειάζονται επιλεκτική επεξεργασία βάσει του παραρτήματος II της οδηγίας, παρατηρείται ότι τα δύο τρίτα (76 εκ των 115 συσκευών) πληρούν έστω και ένα εκ των ανωτέρω κριτηρίων. Τα μεγαλύτερα ποσοστά παρατηρούνται στα προϊόντα πληροφορικής και τα παιχνίδια, όπου σχεδόν πάντοτε απαιτείται η απομάκρυνση ενός ή και περισσότερων εκ των εν λόγω κατασκευαστικών στοιχείων, ενώ και η πλειοψηφία των μικρών

οικιακών συσκευών και των καταναλωτικών ειδών διέπεται από την υποχρέωση αυτή (βλ. διάγραμμα 52).



**Διάγραμμα 52:** Ποσοστό % αριθμού προϊόντων ΗΗΕ του δείγματος που πληρούν έστω και ένα εκ των κριτηρίων επιλεκτικής επεξεργασίας.

Σημειώνεται ότι εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια και μπαταρίες δύνανται να απομακρυνθούν σχετικά εύκολα κατά την αποσυναρμολόγηση των sWEEE. Ωστόσο δεν ισχύει το ίδιο και για τις PWBs, καθότι βρίσκονται πάντα στέρεα συνδεδεμένες στο εσωτερικό των συσκευών, αποτελώντας έτσι μια ιδιαίτερη πρόκληση για μονάδες αποσυναρμολόγησης. Τέλος, το σύγγραμμα [75] ακολουθώντας παρόμοια μεθοδολογία για τη μελέτη sWEEE σε Restabfall κατέληξε στο πόρισμα ότι το 82% των μικρών ΑΗΗΕ του δείγματος της χρίζει επιλεκτικής επεξεργασίας, επιβεβαιώνοντας το συμπέρασμα της παρούσας εργασίας (66,1% των συσκευών πληρούν έστω και ένα κριτήριο).

#### 2.4.5. Πλαστικά

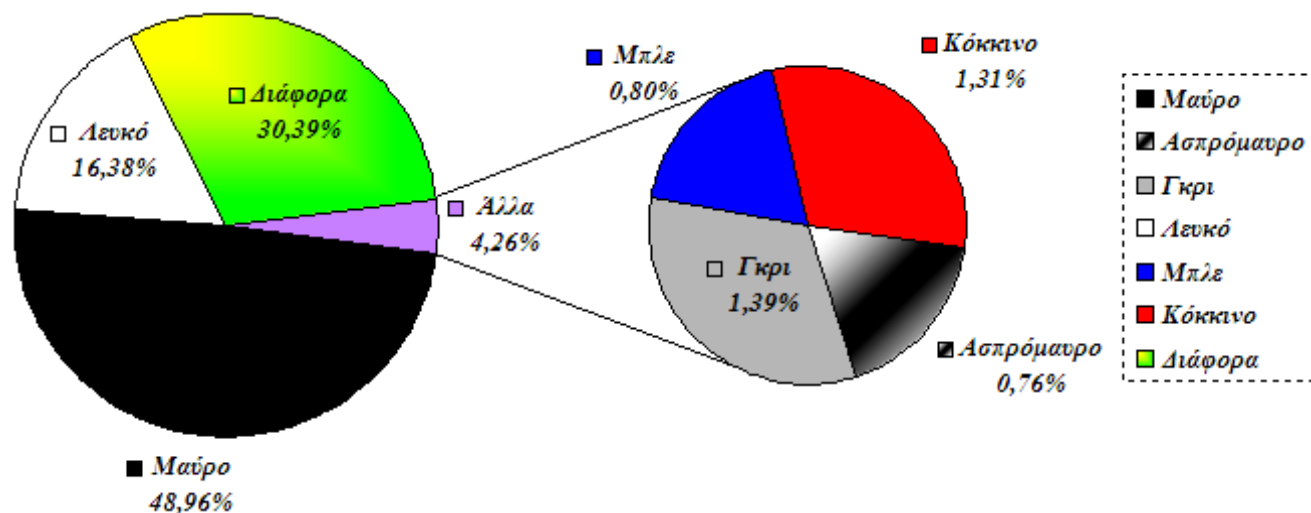
Όπως καταδείχθηκε, τα πλαστικά υλικά κατέχουν εξέχουσας σημασίας θέση στη σύσταση των sWEEE. Όμως, επιπλέον αξία δύνανται να προστεθεί σε αυτό το κλάσμα υλικών μέσω του διαχωρισμού από κατάλληλες διεργασίες των διαφόρων τύπων πλαστικών μεταξύ των. Πολύ συχνά ο ίδιος ο κατασκευαστής παρέχει αυτήν την πληροφορία μέσω ειδικής επισήμανσης (moulding mark) επί της (συνήθως οπίσθιας) επιφανείας του πολυμερούς. Ωστόσο, μερικώς λόγω της αυξημένης ηλικίας ή της προέλευσης των συσκευών, η συντριπτική πλειοψηφία των πλαστικών ΑΗΗΕ στο δείγμα της παρούσας εργασίας δεν έφερε καμία επισήμανση. Επισημαίνεται ότι το αυτό συνέβαινε όσον αφορά και τα τυχόν παρόντα στα πλαστικά FRs. Συνεπώς, κρίθηκε σκόπιμη η χρησιμοποίηση για το σκοπό αυτό κάποιας τεχνικής ανίχνευσης και διαχωρισμού των διαφόρων τύπων πλαστικών του δείγματος, και δη της φασματοσκοπίας εγγύς υπερύθρου (Near-infrared spectroscopy ή Nahinfrarotspektroskopie, εφεξής NIR).

Η NIR επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των διαφορετικών πλαστικών βάσει του χαρακτηριστικού φάσματος των. «NIR ενεργά» υλικά όπως τα πλαστικά και το χαρτί απορροφούν ανάλογα με την πολυμερική δομή των στην περιοχή μηκών κύματος μεταξύ 800 και 2000 nm. Η ανακλώμενη ακτινοβολία ανιχνεύεται από το φασματόμετρο και συγκρίνεται με φάσματα αναφοράς, ενώ η επιτυχής ταυτοποίηση λαμβάνει χώρα εντός χρόνου της τάξεως των msec. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το NIR σύστημα Unisort P (RTT Systemtechnik, Zittau, Γερμανία). Περιορισμοί της τεχνολογίας αυτής έγκεινται στην αδυναμία εξέτασης μαύρων ή πολύ σκούρων πλαστικών τα οποία απορροφούν σε όλο το φάσμα της NIR ακτινοβολίας. Επίσης, ήταν απαραίτητο τα υπό εξέταση κομμάτια πλαστικών να έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από ~30 mm για να μπορέσει να είναι σαφές το αποτέλεσμα. Πολύ «στενά» τμήματα πλαστικών όπως καλώδια ήταν αδύνατο να εξεταστούν. Τέλος, η βάση δεδομένων των φασμάτων αναφοράς δύναται να επεξεργαστεί και αναγνωρίσει επιτυχώς τους συνηθέστερους τύπους πλαστικών όπως ABS, PC, PS, PA, PBT, PE,



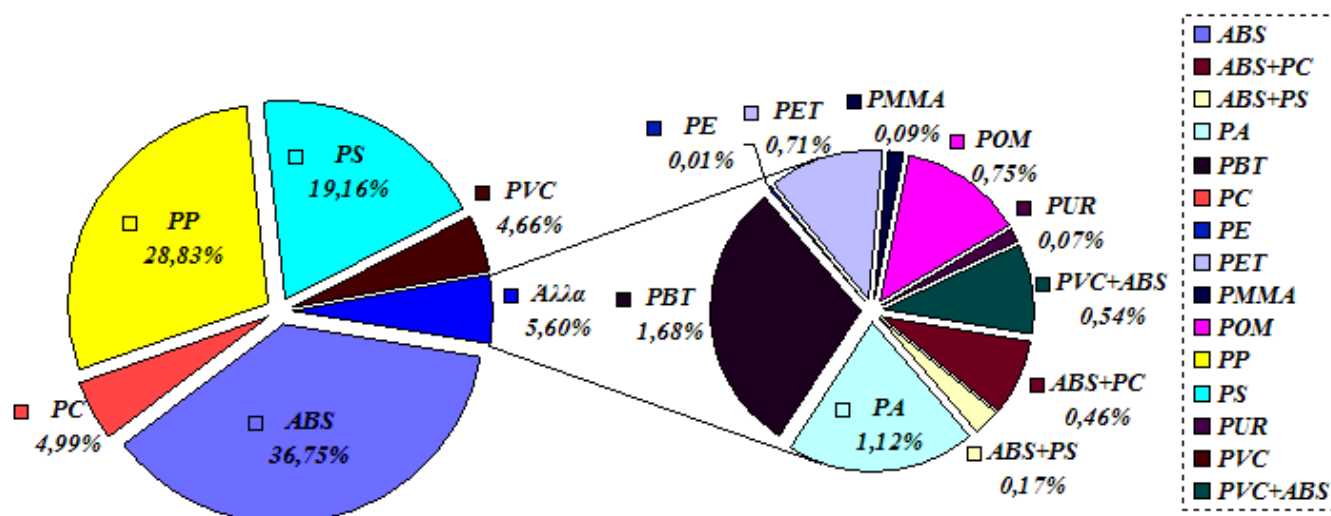
PET, PMMA, POM, PP κλπ. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα κάποιες ποσότητες πλαστικών ΑΗΗΕ του δείγματος να μην δύνανται να ταυτοποιηθούν.

Ως πρώτο βήμα για την ανίχνευση και αναγνώριση των πλαστικών υλικών ανάλογα με τον τύπο των έλαβε χώρα ο διαχωρισμός βάσει του χρώματος. Το διάγραμμα 53 παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Είναι σαφές ότι το ήμισυ των πλαστικών του δείγματος είναι μαύρου χρώματος, αποκλείοντας έτσι τη δυνητική αναγνώριση των μέσω της NIR.



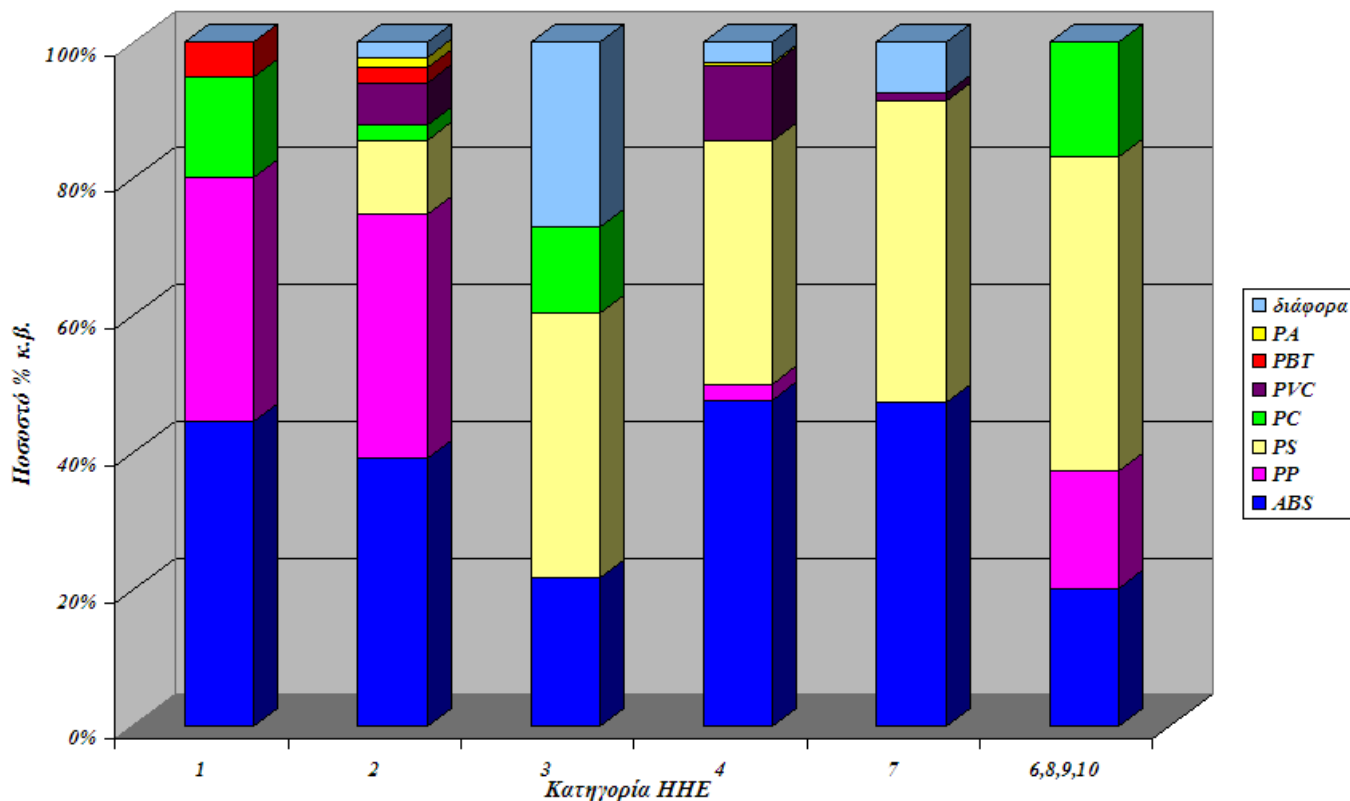
Διάγραμμα 53: Χρώμα των πλαστικών ΑΗΗΕ του δείγματος (% κ.β.).

Τελικώς 14525,50 (46,04%) εκ των συνολικών 31548,57 g των πλαστικών ΑΗΗΕ του δείγματος (κατηγορίες 1 έως 10) μπόρεσαν να αναγνωρισθούν από την NIR. Τα υπόλοιπα συνιστούν, όπως προαναφέρθηκε, είτε μαύρου χρώματος πολυμερή, είτε η πολυμερική δομή των δεν ήταν δυνατό να αναγνωρισθεί. Στο κάτωθι διάγραμμα 54 παρουσιάζεται η % κ.β. σύσταση των πλαστικών που ανιχνεύθηκαν με την NIR. Συνολικά αναγνωρίστηκαν 15 διαφορετικοί τύποι πλαστικών. Το ABS είναι το σημαντικότερο κλάσμα, με τα PP και PS να ακολουθούν. Τα PC και PVC συνιστούν έκαστο ~5% κ.β. της σύστασης. Αξίζει να επισημανθεί ότι το ποσοστό του PVC συνεχώς μειώνεται καθώς αντικαθίσταται λόγω της περιβαλλοντικής επικινδυνότητας του (βλ. § 1.4.1.2.5.1.). Άλλα πολυμερή βρέθηκαν σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 0,01 (PE) και 1,68% (PBT).



Διάγραμμα 54: Ποσοστό % κ.β. των διαφόρων τύπων που συνιστούν τα αναγνωρισθέντα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος.

Ένα άλλο μείζονος σημασίας ερώτημα το οποίο δύναται να απαντηθεί μέσω της NIR είναι το ποιοι τύποι πλαστικών κυριαρχούν στις επιμέρους κατηγορίες των sWEEE του δείγματος (διάγραμμα 55). Την πλειοψηφία κ.β. αποτελεί το ABS, το οποίο κάνει εντονότερη την παρουσία του στις μικρές οικιακές συσκευές και τα καταναλωτικά είδη. Το PP κατέχει επίσης σημαντικό μερίδιο στις κατηγορίες 1 και 2. Από την άλλη, το πολυστυρόλιο ενώ απουσιάζει σχεδόν στις 1 και 2, αποτελεί σημαντικό κομμάτι των υπολοίπων και κυριαρχεί στην ICT κατηγορία.



Διάγραμμα 55: Σύσταση των πλαστικών HHE του δείγματος ανά κατηγορία (% κ.β.).

Συγκρίνοντας το ποσοστό των αναγνωρίσιμων με την NIR πλαστικών με τη συνολική μάζα των ανά κατηγορία HHE (πίνακας 46) δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ιδιαίτερα οι οικιακές συσκευές και τα παιχνίδια αποτελούνται από ανοιχτόχρωμα, αναγνωρίσιμα πλαστικά. Από την άλλη όμως, σε προϊόντα ICT και καταναλωτικά είδη κυριαρχούν τα σκουρόχρωμα πολυμερή, μειώνοντας έτσι δραστικά τις δυνατές επιλογές διαχωρισμού και επακόλουθης ανακύκλωσης.

Πίνακας 46: Ποσοστό αναγνωρίσιμων και μη πολυμερών ανά κατηγορία HHE.

	Κατηγορία HHE						
	1	2	3	4	7	5, 6, 8-10	Σύνολο
Αναγνωρίσιμα πολυμερή (g)	534,72	10139,02	393,37	398,81	874,91	2184,67	14525,5
Σύνολο πολυμερών (g)	596,52	15531,64	2185,14	6509,07	2669,03	4057,17	31548,57
% κ.β. ποσοστό αναγνωρίσιμων πολυμερών	89,64	65,28	18,00	6,13	32,78	53,85	46,04

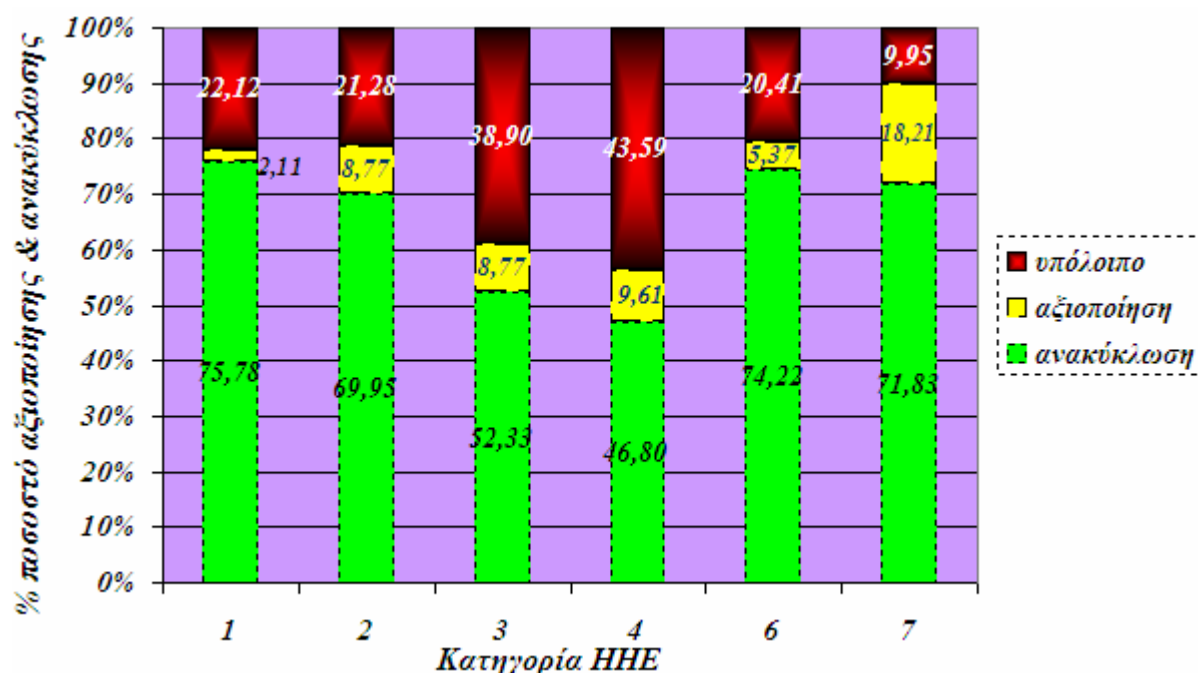
Σημαντικό είναι τέλος να αναφερθεί και πάλι ότι η συντριπτική πλειοψηφία των πλαστικών ΑΗΗΕ στο δείγμα της παρούσας εργασίας δεν έφερε καμία επισήμανση για τον τύπο του πολυμερούς που χρησιμοποιούταν. Μονάχα το 6,8% κ.β. έφερε κάποια επισήμανση (2488,41 g), αριθμώντας 26 κομμάτια, όπου 3 εξ αυτών ήταν μαύρου χρώματος. Για τα υπόλοιπα, στο 87% των περιπτώσεων υπήρχε ταύτιση ανάμεσα στο αποτέλεσμα της NIR και την επισήμανση, ενώ σε 3 περιπτώσεις η επισήμανση αποδείχθηκε εσφαλμένη.



#### 2.4.6. Απαιτήσεις ανακύκλωσης & αξιοποίησης

Πέραν των απαιτήσεων για την επιλεκτική επεξεργασία ΑΗΗΕ που περιέχουν συγκεκριμένα υλικά και κατασκευαστικά στοιχεία, το άρθρο 7 της οδηγίας θέτει ποσοτικούς στόχους όσον αφορά την ανακύκλωση και αξιοποίηση (§ 1.3.3.). Βάσει της σύστασης του δείγματος της παρούσας εργασίας, στη συνέχεια της παραγράφου αυτής εκτιμάται η δυνατότητα πλήρωσης των στόχων αυτών για κάθε κατηγορία ΗΗΕ. Υποτέθηκε ότι τα μέταλλα και τα πλαστικά αποτελούν τα καταλληλότερα προς ανακύκλωση κλάσματα. Συνεπώς, το βέλτιστο σενάριο περιλαμβάνει κατ' αρχάς την 100% ανακύκλωση μετάλλων<sup>54</sup>, την 100% ανακύκλωση αναγνωρίσιμων και διαχωρίσιμων πλαστικών, καθώς και την χημική ανακύκλωση<sup>55</sup> των υπολοίπων πολυμερών.

Αντιστοίχως, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι καλωδιώσεις αποτελούνται κατά μέσο όρο από 40 και 60% κ.β. από μέταλλα και πλαστικό αντίστοιχα [32], θεωρήθηκε ότι ανακυκλώνονται εξ ολοκλήρου τα μέταλλα και τα πλαστικά υπόκεινται ενεργειακής αξιοποίησης. Επίσης, μετά από βιβλιογραφική διερεύνηση βρέθηκε ότι το περιεχόμενο σε μέταλλα για διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία είναι για τις PWBs ίσο με 26,5% κ.β. [32], για μοτέρ 80% και για πηνία 90% κ.β. [75]. Θεωρήθηκε ότι μόνο το μεταλλικό περιεχόμενο των εξαρτημάτων αυτών δύναται να ανακτηθεί επιτυχώς κατά 100% σε κατάλληλες εγκαταστάσεις χυτηρίων (smelters), ενώ τα υπόλοιπα συστατικά των δεν αξιοποιούνται. Αναφορικά με επιπλέον παραδοχές που έλαβαν χώρα, υποτέθηκε ότι συσσωρευτές και μπαταρίες απομακρύνονται πριν από την οιαδήποτε διεργασία ανακύκλωσης, δεν ελήφθησαν λοιπόν υπόψη στους υπολογισμούς. Επίσης, σε αυτούς δεν περιλήφθησαν και οι μικρότερες ποσοτικά κατηγορίες υλικών (διάφορα, ελαστικό, LCDs), εξαρτήματα για τα οποία δεν βρέθηκαν στοιχεία όσον αφορά την ποσοτική των σύσταση, ενώ εξαιρέθηκαν και οι σύνδεσμοι, λόγω αδυναμίας προσδιορισμού της ακριβούς αναλογίας μετάλλων-πλαστικών. Τα αποτελέσματα της ως άνω ανάλυσης<sup>56</sup> παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα 56 ανά κατηγορία ΗΗΕ.



Διάγραμμα 56: Ποσοστά (% κ.β.) ανακύκλωσης & αξιοποίησης των ΑΗΗΕ του δείγματος.

<sup>54</sup> Λόγω του πολυετούς ενδιαφέροντος και των υφιστάμενων οικονομικών κινήτρων στην αγορά των μετάλλων, οι διεργασίες διαχωρισμού και ανακύκλωσης των θεωρείται ότι δύναται να φτάσουν έως βαθμού απόδοσης 98% όσον αφορά την ανάκτηση των. Από την άλλη μεριά, η ανακύκλωση ή αξιοποίηση των πλαστικών προβάλλει πολύ μεγαλύτερες προκλήσεις, ενώ δύναται να πραγματοποιηθεί με τρεις κύρια τρόπους: ενεργειακή αξιοποίηση, μηχανική (mechanical) ανακύκλωση, και τέλος χημική (chemical ή feedstock) ανακύκλωση [20].

<sup>55</sup> Η μέθοδος αυτή ανακύκλωσης πλαστικών θεωρείται ότι εκμεταλλεύεται το 70% της τροφοδοσίας της για την παραγωγή νέων προϊόντων, ενώ το υπόλοιπο 30% αυτής αξιοποιείται ενεργειακά [76].

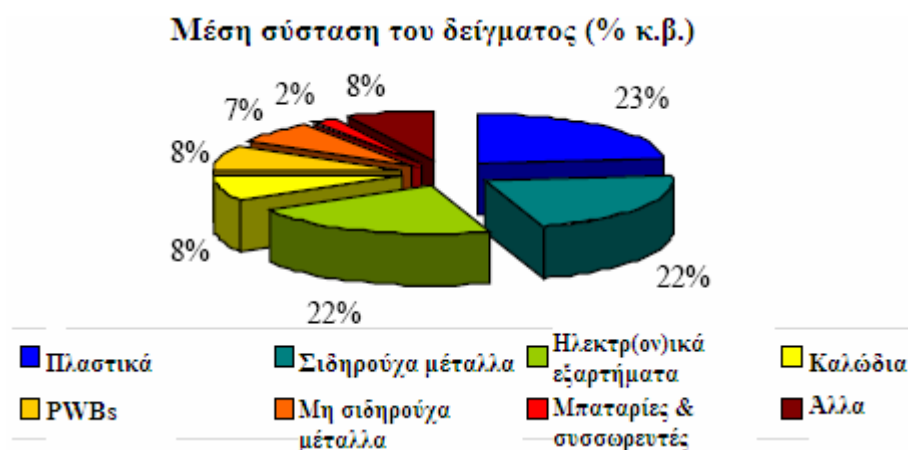
<sup>56</sup> Δεν εφαρμόστηκε για τις κατηγορίες 5, 9 και 10 λόγω του μη αντιπροσωπευτικού των δείγματος.

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι για τις παραδοχές του σεναρίου αξιοποίησης και ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ του δείγματος, οι αξιώσεις του άρθρου 7 της οδηγίας καλύπτονται πλήρως για τις κατηγορίες 2, 6 και 7, ενώ για την 1 πληρείται ο ποσοτικός στόχος ανακύκλωσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα πλαστικά των κατηγοριών αυτών ήταν σε μεγάλο ποσοστό αναγνωρίσιμα από την NIR, εξυπηρετώντας έτσι την πλήρη μηχανική ανακύκλωση των. Από την άλλη, το αντίθετο συνέβη για τα προϊόντα των κατηγοριών 3 και 4, κάτι που οδήγησε στην αδυναμία πλήρωσης των απαιτήσεων της οδηγίας, σύμφωνα πάντοτε με το απλούστατο μοντέλο του «βέλτιστου σεναρίου».

#### 2.4.7. Σύνοψη

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας για τη γενική σύσταση των μικρών ΑΗΗΕ, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές με προηγούμενες μελέτες που άπτονται του ίδιου θέματος (π.χ. [30-32], βλ. § 1.4.). Ενώ τα σιδηρούχα μέταλλα αναφέρεται ότι αποτελούν το 31 με 55% κ.β. των sWEEE, το ποσοστό των στο δείγμα ήταν πολύ μικρότερο (~16%). Ωστόσο, τουλάχιστον για τα πλαστικά παρατηρείται σχετική συμφωνία: οι τιμές της βιβλιογραφίας κυμαίνονται μεταξύ 18 και 28%, ποσοστό που διαφέρει από το 34,7% που προσδιορίστηκε λιγότερο από ότι για τα μέταλλα. Παρόμοιες μεγαλύτερες ή μικρότερες ασυμφωνίες ενσκήπτουν και στα υπόλοιπα κλάσματα υλικών, διαφορές οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη διαφορετική προέλευση των υπό μελέτη sWEEE σε κάθε μελέτη, όπως επίσης και στη διαφορετική μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων που ακολουθήθηκε. Επί παραδείγματι, στην ανάλυση της [30] περιλήφθηκαν CRTs, οι οποίες απουσίαζαν παντελώς από τα ΑΗΗΕ της παρούσας διατριβής, ενώ τα δεδομένα της [32] προέρχονται από εμπορικές μονάδες αποσυναρμολόγησης sWEEE. Πολύ συχνά επίσης δεν αναφερόταν ο όγκος του δείγματος που μελετήθηκε, όπως και παραδοχές που έλαβαν χώρα.

Ωστόσο, παρατηρούνται πολύ μικρότερες διαφορές με εργασίες που άπτονται της σύστασης μικρών ΑΗΗΕ προερχόμενων από τα υπολειμματικά οικιακά απόβλητα (βλ. [73,75], αλλά και [77]). Από το γεγονός αυτό συμπεραίνεται ότι το μέγεθος και η προέλευση του δείγματος της παρούσας εργασίας είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής συχνότητας εμφάνισης και σύστασης των sWEEE από Restabfall. Ειδικότερα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από την [75] είναι παρόμοια με αυτή της παρούσας διατριβής. Τα αποτελέσματα της παρουσιάζονται στο διάγραμμα 57, όπου και καταδεικνύεται ότι οι υπάρχουσες διαφορές είναι μικρές – της τάξεως του 5-10 % ανάλογα με το κλάσμα υλικών.



*Διάγραμμα 57: Μέση σύσταση των sWEEE από Restabfall σύμφωνα με την [75].*

Εκτιμάται επίσης ότι η αύξηση της χωριστής συλλογής των sWEEE, εκτρέποντας τα από τα οικιακά στερεά απόβλητα, δύναται να δυσχεραίνει τη διαχείριση και ανακύκλωση των, καθότι τα δύο τρίτα των συσκευών του δείγματος χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο κάματο και εργατικό κόστος για μονάδες διαχείρισης ΑΗΗΕ, καθώς μπαταρίες, PWBs και εξωτερικά καλώδια θα πρέπει να απομακρύνονται από ένα πολύ μεγάλο πλήθος αποβλήτων προϊόντων με μέσο βάρος μικρότερο από 850 g. Τέλος η σύσταση των ΑΗΗΕ είναι αυτή η οποία εν

πολλοίς καθορίζει τη μέθοδο ανακύκλωσης που δύναται να εφαρμοστεί για να πληρωθούν οι στόχοι της οδηγίας. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται τα πλαστικά ΑΗΗΕ. Οι παραδοχές της § 2.4.6. να μην είναι θεωρητικά δυνατές, από την άλλη όμως η υφιστάμενη στον τομέα της ανακύκλωσης πολυμερών τεχνογνωσία δεν είναι μεγάλη. Η υπάρχουσα ερευνητική και βιομηχανική εμπειρία καταδεικνύει σημαντικές επιτυχείς εφαρμογές, συνοδευόμενες όμως από ποικίλα προβλήματα και δυσκολίες, ειδικά όταν τα ανακυκλούμενα πλαστικά περιέχουν επικίνδυνες ή απαγορευμένες ουσίες και παρασκευάσματα [34,78].

## 2.5. Ρυπαντικό φορτίο των οικιακών αποβλήτων

Όπως έχει προαναφερθεί, τα sWEEE συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στο ρυπαντικό φορτίο των MSW. Σαν πρώτο βήμα για την ποσοτική εκτίμηση αυτής της συνεισφοράς κρίθηκε αναγκαίος ο προσδιορισμός του ρυπαντικού φορτίου βάσης των προερχόμενων από τα Gorbitz, Dölzchen και Striesen υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων, και ειδικά του περιεχόμενου των σε βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) και αλογόνα (Cl, Br) μέσω ιοντικής χρωματογραφίας, ανάλυσης φθορισμού ακτινών X και φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης.

### 2.5.1. Δειγματοληψία & προετοιμασία του δείγματος

Αντιπροσωπευτικά δείγματα υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων βάρους 55,9, 61,7 και 74,6 kg ελήφθησαν για τις περιοχές Dölzchen, Striesen και Gorbitz, αντίστοιχα, από το συνολικό όγκο των διαχωρισμένων αποβλήτων μεγέθους κόκκων >10 mm. Σε πρώτο στάδιο αλέσθηκαν στο θραυστήρα Universalzerkleinerer UC 35 (MeWa, Gechingen, Γερμανία), και ελήφθησαν δείγματα βάρους 5,80, 2,30 και 4,80 kg, αντίστοιχα (εικόνα 11). Η δειγματοληψία έλαβε χώρα σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει το [79]. Από αυτά επιλέχθηκαν τελικά 1,50, 1,10 και 1,25 kg από κάθε περιοχή, για επακόλουθη μείωση μεγέθους και χημική ανάλυση, ενώ το υπόλοιπο των δειγμάτων συντηρήθηκε στους -18 °C στο σκοτάδι (Rückstellproben).



*Εικόνα 11: Δειγματοληψία ποσότητας MSW >10 mm.*

Η ως άνω διαδικασία εφαρμόστηκε και για τα οικιακά απόβλητα μεγέθους κόκκων <10 mm: από ένα σύνολο 163,9, 292,1 και 141,7 kg προερχόμενων από τα Dölzchen, Striesen and Gorbitz, ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα βάρους 2,65, 4,50 και 2,45 kg, αντίστοιχα, από τα οποία επιλέχθηκαν τελικά 2,65, 2,40 και 2,45 kg από κάθε περιοχή για επακόλουθη μείωση μεγέθους και χημική ανάλυση ενώ το υπόλοιπο των δειγμάτων διατηρήθηκε στους -18 °C στο σκοτάδι.

Για τα τελικά αυτά δείγματα των δύο κλασμάτων MSW, η περιεχόμενη υγρασία προσδιορίστηκε ως ακολούθως:

- για τα MSW >10 mm, περίπου 900 g από κάθε δείγμα (χωρισμένα σε 3 επιμέρους δείγματα) ξηράθηκαν στους 105° C για 24h σε κλίβανο WSU 100 (mlw Labortechnik, Ilmenau, Γερμανία), ενώ το υπόλοιπο των 1,50, 1,10 και 1,25 kg επεστράφη στους -18 °C. Υπό αυτές τις συνθήκες ξήρανσης απομακρύνεται όλη η περιεχόμενη υγρασία έως σταθερού βάρους [79]
- ομοίως για τα MSW <10 mm, περίπου 200 με 350 g από κάθε δείγμα ξηράθηκαν υπό τις ίδιες συνθήκες. Το υπόλοιπο των δειγμάτων επεστράφη στους -18 °C.

Η περιεχόμενη στα δείγματα υγρασία κυμάνθηκε μεταξύ 24,8-32,3% κ.β. για MSW <10 mm, και 31,6-41,2% κ.β. για >10 mm. Στη συνέχεια, τα ξηρά δείγματα αλέστηκαν έως μεγέθους κόκκων μικρότερου του 1 mm, με χρήση κοπτικής μηχανής (cutting mill, SM 2000, Retsch, Göttingen, Γερμανία). Πριν από την τελική αυτή άλεση διαχωρίστηκαν όλα τα περιεχόμενα μέταλλα και ταξινομήθηκαν σε Al, Cu και σιδηρούχα μέταλλα. Ο όγκος του δείγματος μειώθηκε περαιτέρω σε διαιρέτη δείγματος (sample divider, Retsch PT) και οδηγήθηκε προς χώνευση και χημική ανάλυση.

### 2.5.2. Αντιδραστήρια & διαλύτες

Για την παρασκευή όλων των υδατικών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκε δισαπασταγμένο νερό (mili-Q). Για τη χώνευση με μικροκύματα (microwave digestion, *MW*) χρησιμοποιήθηκε νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>, 65%, GR για ανάλυση) και υπεροξείδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30%, σταθεροποιημένο, εξαιρετικά καθαρό), προερχόμενα από την Merck (Darmstadt, Γερμανία). Για τις οξειδώσεις βόμβας οξυγόνου και Schöniger (oxygen bomb και Schöniger flask combustions), υπεροξείδιο του νατρίου (NaOH, pellets, GR για ανάλυση), ανθρακικό νάτριο (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, anhydrous, GR για ανάλυση) και όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO<sub>3</sub>, GR για ανάλυση) αγοράστηκαν από τη Merck, και χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του διαλύματος απορρόφησης ως εξής: για την παρασκευή ενός 1l stock διαλύματος, 21,2 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> και 6,3 g NaHCO<sub>3</sub> αραιώθηκαν σε δισαπασταγμένο νερό. 50ml του διαλύματος αυτού αναμίχθηκαν με 25 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 7-8 pellets NaOH και αραιώθηκαν σε 1 l δισαπασταγμένο νερό. Η κινητή φάση για την ιοντική χρωματογραφία παράχθηκε προσθέτοντας 137,8 mg Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> και 168,02 mg NaHCO<sub>3</sub> ανά λίτρο κινητής φάσης σε δισαπασταγμένο νερό.

L(+)-ασκορβικό οξύ (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>, Normapur) αποκτήθηκε από την VWR International (Fontenay/Bois, Γαλλία) και χρησιμοποιήθηκε επιπρόσθετα σαν διάλυμα απορρόφησης 1% w/v σε δισαπασταγμένο νερό για τις οξειδώσεις βόμβας οξυγόνου και Schöniger. Για τα standards των οξειδώσεων, 4-χλωροβενζοϊκό οξύ (C<sub>7</sub>H<sub>5</sub>ClO<sub>2</sub>, για σύνθεση) και 4-βρωμοβενζοϊκό οξύ (C<sub>7</sub>H<sub>5</sub>BrO<sub>2</sub>, για σύνθεση) αγοράστηκαν από τη Merck Schuchardt (Hohenbrunn, Γερμανία).

### 2.5.3. Οργανολογία & αναλυτική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων Zn, Cu, Ni, Pb, Cd και Hg επιλέχθηκε η χώνευση με μικροκύματα ακολουθούμενη από στοιχειακή ανάλυση με φασματομετρία ατομικής εκπομπής. Για τον προσδιορισμό των αλογόνων Cl και Br επιλέχθηκε η χώνευση με οξείδωση βόμβας οξυγόνου, συμπληρωμένη για κάποια δείγματα με χώνευση κατά Schöniger, ακολουθούμενη από ανάλυση με χρωματογραφία ιοντοεναλλαγής, βάσει προτεινόμενης DIN μεθοδολογίας [80]. Συμπληρωματικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια φασματόμετρου φθορισμού ακτινών X.

**Χώνευση με μικροκύματα** Για την χώνευση των δειγμάτων με μικροκύματα χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Mars 5 (CEM, Matthews, NC, H.P.A.), εξοπλισμένο με περιστρεφόμενο δειγματολήπτη για 12 δοχεία χώνευσης υψηλής πίεσης από PTFE χωρητικότητας 100 ml. Περίπου 250-320 mg αλεσμένου, ξηρού δείγματος εισάγονταν σε ξηρό, καθαρό δοχείο και προσθέτονταν 5 ml 65% νιτρικού οξέος και 0,5 ml 30% υπεροξειδίου του υδρογόνου. «Τυφλές» χωνεύσεις ελάμβαναν χώρα κατά τον ίδιο τρόπο. Τα δοχεία σφραγίζονταν και τοποθετούνταν επί της περιστρεφόμενης πλάκας του δειγματολήπτη εντός του Mars 5, ενώ το δοχείο στο οποίο αναμενόταν η μεγαλύτερη αύξηση πίεσης συνδεόταν με το σύστημα ρύθμισης αυτής. Ύστερα, τα δείγματα θερμαίνονταν σύμφωνα με το θερμοκρασιακό πρόγραμμα που παρουσιάζεται στον πίνακα 47. Η παροχή ισχύος ήταν σταθερή και ίση με 600W. Μετά τη θέρμανση, τα δοχεία ψύχονταν σε θερμοκρασία δωματίου κατά τη



διάρκεια της νύχτας και κατόπιν ανοίγονταν εντός απαγωγού προς αποφυγή της έκλυσης νιτρωδών αερίων. Κάθε χωνεμένο διάλυμα μεταφερόταν στη συνέχεια ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml, η οποία συμπληρωνόταν μέχρι τη χαραγή με δισαπεσταγμένο νερό (εικόνα 12). Τα παραγόμενα διαλύματα διηθούνταν σε φίλτρα οξικού εστέρα της κυτταρίνης (cellulose acetate, 0,45μm, Sartorius, Göttingen, Γερμανία) με χρήση διηθητικού σταθμού (SM 16249, Sartorius) εντός φιαλιδίων από πολυαιθυλένιο για επακόλουθη ανάλυση με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης. Όλα τα χωνεμένα διαλύματα συντηρούνταν στους 4 °C στο σκοτάδι, εκτός της διάρκειας της ημέρας ενόσω χρησιμοποιούνταν.

**Πίνακας 47:** Θερμοκρασιακό πρόγραμμα για τη χώνευση με μικροκύματα.

Βήμα	Χρόνος & Θερμοκρασία	Όριο πίεσης (bar)
1	σε 3 min έως 150° C	5 ή 6
2	3 min – σταθερή	5 ή 6
3	σε 5 min έως 175° C	8
4	10 min – σταθερή	8
5	σε 5 min έως 190° C	9 ή 10
6	15 min – σταθερή	9 ή 10

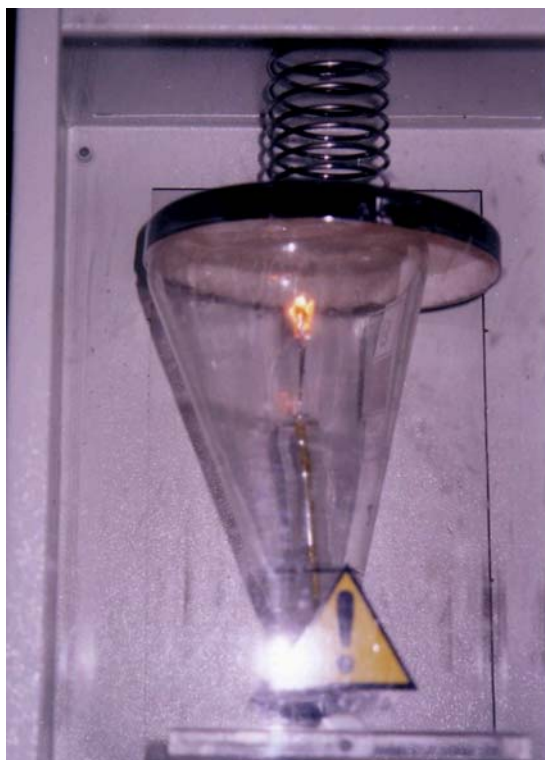


**Εικόνα 12:** Μεταφορά των χωνεμένων διαλυμάτων σε ογκομετρικές φιάλες.

**Οξείδωση βόμβας οξυγόνου** Η χρησιμοποιηθείσα διάταξη ήταν το κελί μετρήσεων θερμιδόμετρου (calorimeter measurement cell) C 7000 (IKA, Staufen, Γερμανία), εξοπλισμένο με σταθμό οξυγόνου C 48 και δοχεία διάσπασης C 7010. Περίπου 200-250 mg αλεσμένου, ξηρού δείγματος εισάγονταν στο κύπελλο του δοχείου (vessel cup), ενώ αφού τοποθετούνταν κατάλληλα το σύρμα ανάφλεξης και το κύπελλο, προσθέτονταν 10 ml διαλύματος απορρόφησης. Το δοχείο διάσπασης σφραγιζόταν, πληρωνόταν με οξυγόνο (καθαρότητας >99,95%) σε πίεση 30 bar και αναφλεγόταν. Το δείγμα μεταφερόταν στη συνέχεια σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml, η οποία συμπληρωνόταν μέχρι τη χαραγή με δισαπεσταγμένο νερό. Τα παραγόμενα διαλύματα διηθούνταν σε φίλτρα οξικού εστέρα της κυτταρίνης (0,20 μm, Sartorius) εντός φιαλιδίων από πολυαιθυλένιο για επακόλουθη ανάλυση με χρωματογραφία ιοντοεναλλαγής. Τα standards χωνεύθηκαν και αραιώθηκαν κατά τον ίδιο τρόπο. Όλα τα χωνεμένα διαλύματα συντηρούνταν στους 4 °C στο σκοτάδι, εκτός της διάρκειας της ημέρας ενόσω χρησιμοποιούνταν.

**Οξείδωση κατά Schöniger** Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Mikro K (Elementar Analysensysteme, Hanau, Γερμανία), κωνικές φιάλες των 750ml (Erlenmeyer flasks) και υάλινες ράβδοι με ελαστικό πώμα και έλιγμα λευκόχρυσου. Περίπου 35-50 mg αλεσμένου, ξηρού δείγματος ζυγίζονταν επί διηθητικού χαρτιού, το οποίο διπλωνόταν και τοποθετούνταν στο έλιγμα. Αφού προσθέτονταν 10 ml διαλύματος απορρόφησης, η φιάλη «πλενόταν» με O<sub>2</sub> προς απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού

αζώτου. Η ράβδος τοποθετούνταν κατόπιν στη φιάλη, η οποία σφραγιζόταν και αναφλεγόταν στη συνέχεια το δείγμα (εικόνα 13). Μετά την οξείδωση, η φιάλη αφηνόταν να ψυχθεί για 1 min και κατόπιν ανακινούταν για 3 min. Τα δείγματα μεταφέρονταν σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml, η οποία συμπληρωνόταν με δισαπασταγμένο νερό. Τα παραγόμενα διαλύματα διηθούνταν όπως περιγράφηκε προηγουμένως σε φιαλίδια για μετέπειτα ανάλυση με χρωματογραφία ιοντοεναλλαγής. Τα standards χωνεύθηκαν κατά τον ίδιο τρόπο. Όλα τα διαλύματα συντηρούνταν στους 4 °C, εκτός της διάρκειας της ημέρας ενόσω χρησιμοποιούνταν.



Εικόνα 13: Οξείδωση κατά Schöniger.

**Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης** Για μετρήσεις φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης με φλόγα (flame atomic absorption spectroscopy, *FAAS*) χρησιμοποιήθηκε το φασματόμετρο Perkin-Elmer 4100 (Bodenseewerk Perkin-Elmer, Überlingen, Γερμανία), εξοπλισμένο με κεφαλή καύσης για φλόγα αέρα-ασετιλίνης ή N<sub>2</sub>O-ασετιλίνης, λυχνίες κοίλης καθόδου (hollow cathode lamp, *HCL*) για μονο- ή πολυστοιχειακή ανάλυση, αυτόματο δειγματολήπτη AS-90, και διόρθωση υποβάθρου δευτέρου (deuterium background correction). Οι πειραματικές παράμετροι του FAAS συνοψίζονται στον πίνακα 48.

Πίνακας 48: Πειραματικές παράμετροι για αναλύσεις με το FAAS.

Στοιχείο	Μήκος κύματος (nm)	Φλόγα (l/min)	Εύρος σχισμής (nm)
Zn	213,9	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 2.5, αήρ 8.0	0,7
Ni	232,0	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 2.5, αήρ 8.0	0,2

Ο υδράργυρος προσδιορίστηκε με τη μέθοδο των υδριδίων (hydride generation AAS, *HGAAS*). Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη MHS-FIAS-400 (Perkin-Elmer) σε σύζευξη με το παραπάνω FAAS. Στο σύστημα αυτό, υδρίδια υδραργύρου παραλαμβάνονταν σε αέρια μορφή από τη συνεχή άντληση δείγματος (σε 0.4% HCl), όξινου διαλύματος (3% HCl) και αναγωγικού αντιδραστηρίου (0,2% NaBH<sub>4</sub> σε 0.05% NaOH) σε διαχωριστήρα υγρού-αερίου μέσω σπειράματος αντίδρασης (reaction coil). Αργό χρησιμοποιήθηκε ως φέρον αέριο. Για την ατομοποίηση των υδριδίων χρησιμοποιήθηκε ρυθμιστής θερμοκρασίας, θερμομανδύας και κυψελίδα χαλαζία (quartz cell) στους 100 °C. Ο Hg ανιχνεύθηκε στα 253,7 nm.

Επιπλέον μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το AAS φούρνου γραφίτη (graphite furnace AAS, *GFAAS*) Perkin Elmer AAS 4100 ZL, εξοπλισμένο με εγκάρσια θερμαινόμενο ατομοποιητή γραφίτη (transversally heated graphite atomizer, *THGA*), HCLs, διόρθωση υποβάθρου δευτέρου και τον αυτόματο δειγματολήπτη AS-70. Όλες οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στην πλέον ευαίσθητη γραμμή συντονισμού των Pb, Cd και Cu (πίνακας 49). Το διάλυμα του δείγματος (20  $\mu$ l) εκχυνόταν στο φούρνο σε θερμοκρασία εισαγωγής ίση με 20 °C. Το χρησιμοποιηθέν θερμοκρασιακό πρόγραμμα για την ατομοποίηση των αναλυτών φαίνεται στον πίνακα 50.

**Πίνακας 49:** Πειραματικές παράμετροι για μετρήσεις με το *GFAAS*.

Στοιχείο	Μήκος κύματος (nm)	Εύρος Σχισμής (nm)
Pb	283,3	0,7
Cd	228,8	0,7
Cu	324,8	0,7

**Πίνακας 50:** Θερμοκρασιακό πρόγραμμα στο φούρνο γραφίτη.

Βήμα	Θερμοκρασία (° C)	«Ράμπα» (s)	Σταθερή T για: (s)	Ρυθμός ροής Ar (mL/min)
1. ξήρανση	110	1	30	250
2. οξείδωση	140	15	30	250
3. αποτέφρωση	850	10	20	250
4. ατομοποίηση	1800	0	6	0
5. καθαρισμός	2450	1	7	250
6. ψύξη	20	1	4	250

Πρότυπα διαλύματα βαθμονόμησης των AAS παρασκευάστηκαν με εμβολιασμό των αναλυτών σε υδατικό διάλυμα 1% HNO<sub>3</sub> (0,4% HCl για το FIAS). Η καμπύλη βαθμονόμησης βασίστηκε σε 4 από αυτά. Όλα τα στοιχεία προσδιορίστηκαν με αραίωση των διαλυμάτων που παρήχθησαν από τη χώνευση με μικροκύματα σε υδατικό διάλυμα 1% HNO<sub>3</sub> (πίνακας 51), με εξαίρεση τον υδράργυρο.

**Πίνακας 51:** Λόγος αραίωσης των στοιχείων για προσδιορισμό με *FAAS*, *GFAAS* & *FIAS*.

Στοιχείο	Λόγος αραίωσης
Zn	1:4 με 1:50
Ni	1:2
Cu	1:100 με 1:200
Pb	1:50 με 1:100
Cd	1:5 με 1:10
Hg	—

**Χρωματογραφία ιοντοεναλλαγής (IEC)** Χρησιμοποιήθηκε το χρωματογραφικό σύστημα 733 IC Separation Center, εξοπλισμένο με αντλία δύο εμβόλων 709 IC, ανιχνευτή ηλεκτρικής αγωγιμότητας 732 IC, αυτόματο δειγματολήπτη 750 και συνεχώς αναγεννούμενο καταστολέα (suppressor), ο οποίος περιείχε τρεις διαχωριστικές μικροστήλες (cartridges) χρησιμοποιούμενες εκ περιτροπής (Metrohm, Herisau, Ελβετία). Ο καταστολέας αναγεννιόταν με διάλυμα 50 mmol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και πλενόταν με απεσταγμένο νερό. Ο διαχωρισμός των ανιόντων έλαβε χώρα με χρήση της στήλης Metrosep Anion Dual 2 (4,6 x 75 mm; 6,0  $\mu$ m) και προστήλης (Metrohm), με πληρωτικό υλικό quaternary ammonium polymethacrylate. Η ισοκρατική έκλυση εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας διάλυμα Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (1.3 mmol)/NaHCO<sub>3</sub> (2 mmol). Ο χρόνος ανάλυσης ήταν ίσος με 13 min, ο ρυθμός ροής 0,80 mL/min και η πίεση 4,1 MPa. Τα δείγματα εκχύνονταν μέσω ειδικού συστήματος με βρόχο 20  $\mu$ l και αναλύονταν άνευ αραίωσης, ή με λόγο 1:2 σε δισαπεσταγμένο νερό. Η καμπύλη βαθμονόμησης βασίστηκε σε 7 πρότυπα διαλύματα των αναλυτών.

**Φασματομετρία φθορισμού ακτινών X (XRF)** Το φασματόμετρο φθορισμού ακτινών X διασποράς ενέργειας (energy dispersive X-ray fluorescence, *EDXRF*) που χρησιμοποιήθηκε από την παρούσα διατριβή ήταν το Spectro XEPOS (Spectro Analytical Instruments, Kleve, Γερμανία), εξοπλισμένο



με λυχνία Pd end-window των 50W για τη διέγερση των δειγμάτων και ανιχνευτή ολίσθησης (drift detector) πυριτίου με ενεργειακή διαχωριστική ικανότητα 160 eV (MnK $\alpha$ ). Για τον προσδιορισμό των στοιχείων στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν οι εξής στόχοι: δευτερεύων Compton μολυβδαινίου, σκεδαστής Barkla  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (κορούνδιο) και σκεδαστής Barkla HOPG (highly ordered pyrolytic graphite). Ο χρόνος μέτρησης ήταν ίσος με 900 s. Το σύστημα βαθμονομήθηκε μέσω της μεθόδου TurboQuant-screening. Για την προετοιμασία των δειγμάτων, περί τα 13-16 g αλεσμένου, ξηρού δείγματος εισάγονταν σε βάζα από οξείδιο του ζirkονίου των 25 ml και κονιοποιούνταν σε μύλο ανάμιξης (mixer mill, MM 301, Retsch). Η κονιοποίηση έλαβε χώρα στους 30 κύκλους ανά sec, για 20 s. Στη συνέχεια, περίπου 4 γραμμάρια του κονιοποιημένου δείγματος πιέζονταν σε ταμπλέτες σε πίεση 11 tn με χρήση χειροκίνητης υδραυλικής πρέσας και μήτρας (die) pellets από ανοξείδωτο χάλυβα (Specac, Orpington, H.B., εικόνα 14). Χρησιμοποιήθηκε pellet υμένιο PF-32-500 (Fluxana, Kleve, Γερμανία). Για τα MSW <10mm δεν χρησιμοποιήθηκε κηρός ως συνδετικό υλικό, ενώ για τα MSW >10mm χρησιμοποιήθηκαν ~0,90 g BM-002-1 Licowax C Micropowder PW (Fluxana). Η διάμετρος των ταμπλέτων ήταν ίση με 32mm. Όλες οι μετρήσεις του EDXRF έλαβαν χώρα για το κάθε δείγμα σε 3 διαφορετικές ταμπλέτες.



*Εικόνα 14: Παρασκευή των ταμπλέτων για το EDXRF.*

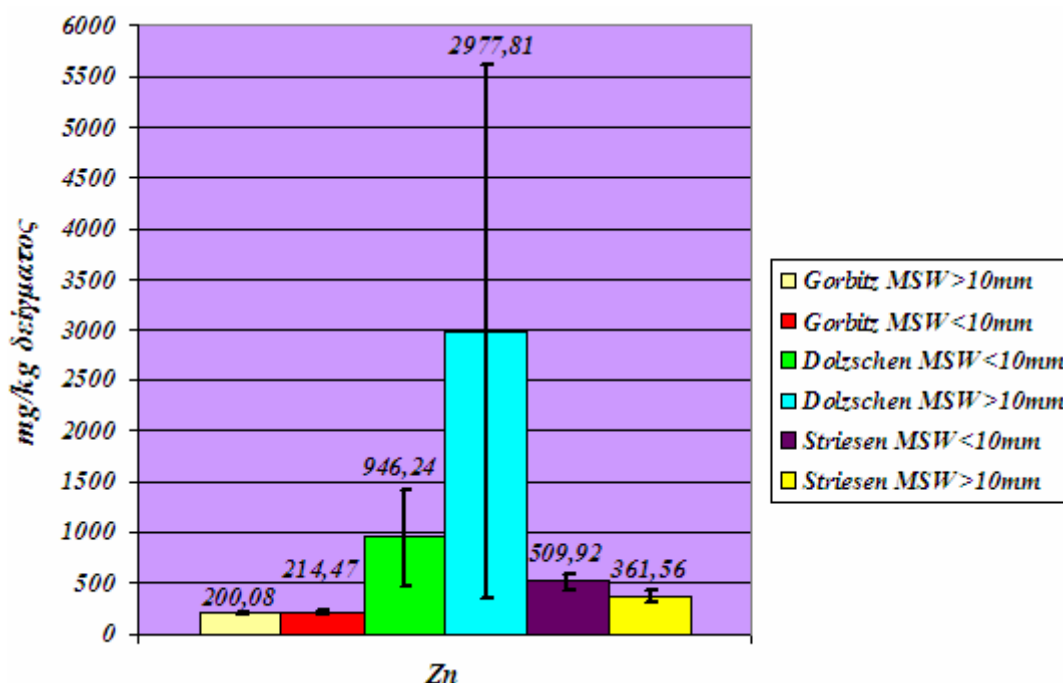
## 2.5.4. Αποτελέσματα & συζήτηση

### 2.5.4.1. Αποτελέσματα για Zn, Cu, Ni, Pb, Cd & Hg

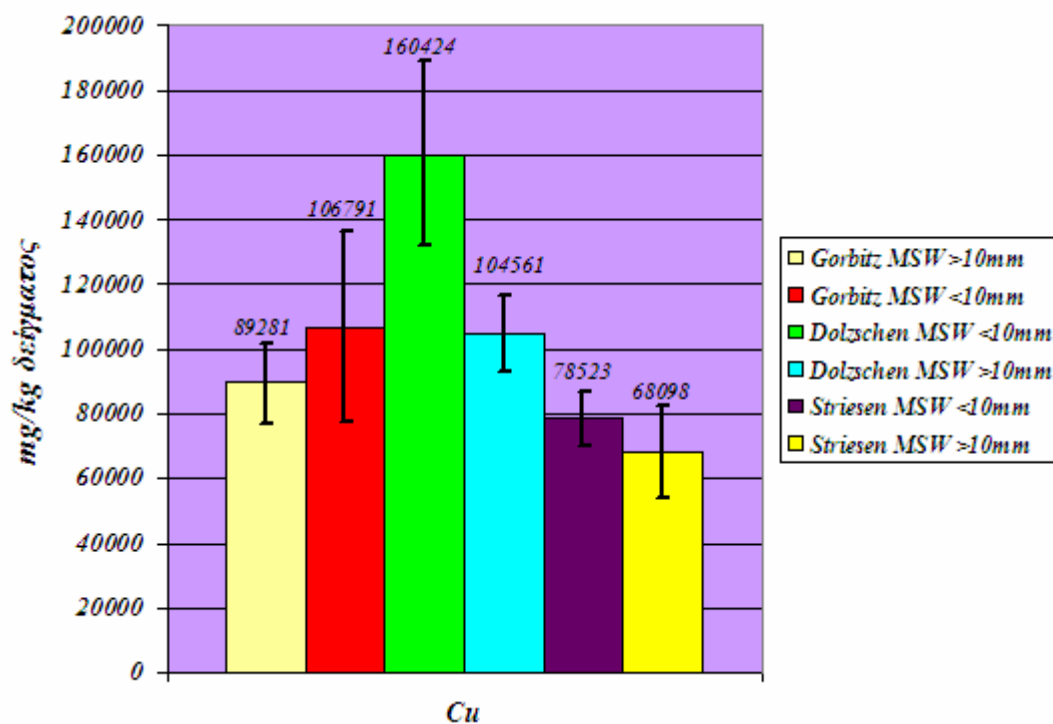
Τα αποτελέσματα τα οποία ελήφθησαν από το AAS για τον προσδιορισμό των Zn, Cu, Ni, Pb, Cd και Hg απεικονίζονται στα κάτωθεν διαγράμματα 58 έως 63. Υπενθυμίζεται (§ 2.5.1.) ότι για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή μείωση της ετερογένειας του προερχόμενου από τα MSW >10 mm των τριών περιοχών δείγματος, το κάθε ένα χωρίστηκε σε 3 επιμέρους δείγματα. Τα αποτελέσματα για τα MSW >10 mm παρουσιάζονται ωστόσο συγκεντρωτικά για τα τρία δείγματα. Για τα MSW <10 mm δεν έλαβε χώρα κάτι παρόμοιο, λόγω του χαμηλότερου συγκριτικά όγκου των. Σημειώνεται ότι παρά τον χωρισμό αυτό, αλλά και τη χρήση διαιρέτη δείγματος, οι σχετικές τυπικές αποκλίσεις οι οποίες εμφανίζονταν για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου δείγματος ήταν ενίοτε πολύ μεγάλες. Για το λόγο αυτό, για κάποια δείγματα πραγματοποιήθηκαν 3 μόνον μετρήσεις, ενώ για κάποια άλλα 10 (αντιστοιχώντας σε ανάλογο αριθμό χωνεύσεων με μικροκύματα). Εφαρμόστηκε επίσης για όλες τις σειρές μετρήσεων το τεστ κατά Grubbs (Test auf Ausreißer nach Grubbs), προς αποκλεισμό αποκλινόντων μετρήσεων σύμφωνα με προτεινόμενη από το DIN [81] μεθοδολογία.

Όσον αφορά τον ψευδάργυρο, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του στοιχείου αυτού είναι σχετικά ομοιόμορφα κατανομημένη στα δύο κλάσματα των MSW των Gorbitz και Striesen, ενώ και η αναπαραγωγισιμότητα των μετρήσεων ήταν πολύ καλή. Το λεπτόκοκκο κλάσμα βέβαια εμφανίζεται περισσότερο επιβαρημένο σε σχέση με το χονδρόκοκκο. Όμως, τα προερχόμενα από το Dölzschen

MSW παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Zn, ενώ η σχετική τυπική απόκλιση για το χονδρόκοκκο κλάσμα φτάνει το 88%. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην σχεδόν δεκαπλάσια μέση τιμή της συγκέντρωσης που εμφανίστηκε για ένα εκ των τριών επιμέρους δειγμάτων του κλάσματος αυτού, λόγω πιθανότατα της ύπαρξης σημειακής πηγής Zn (π.χ. ελαστικό, πλαστικά, ξύλο [82]), η οποία το επιμόλυνε κατά το στάδιο της άλεσης-ομογενοποίησης. Συμπληρωματικές μετρήσεις με το XRF επιβεβαίωσαν την παρατήρηση αυτή.

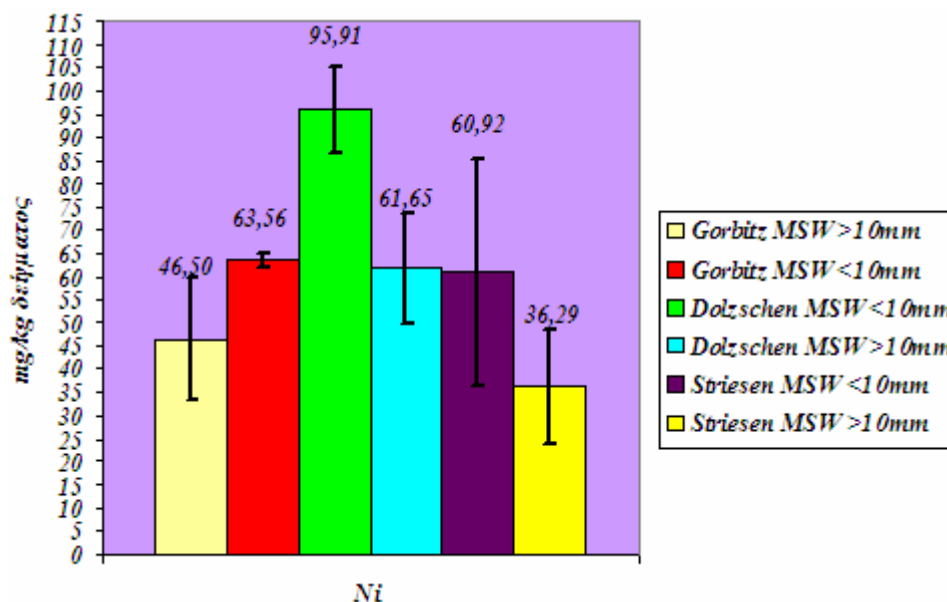


Διάγραμμα 58: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Zn ( $n=3$  έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

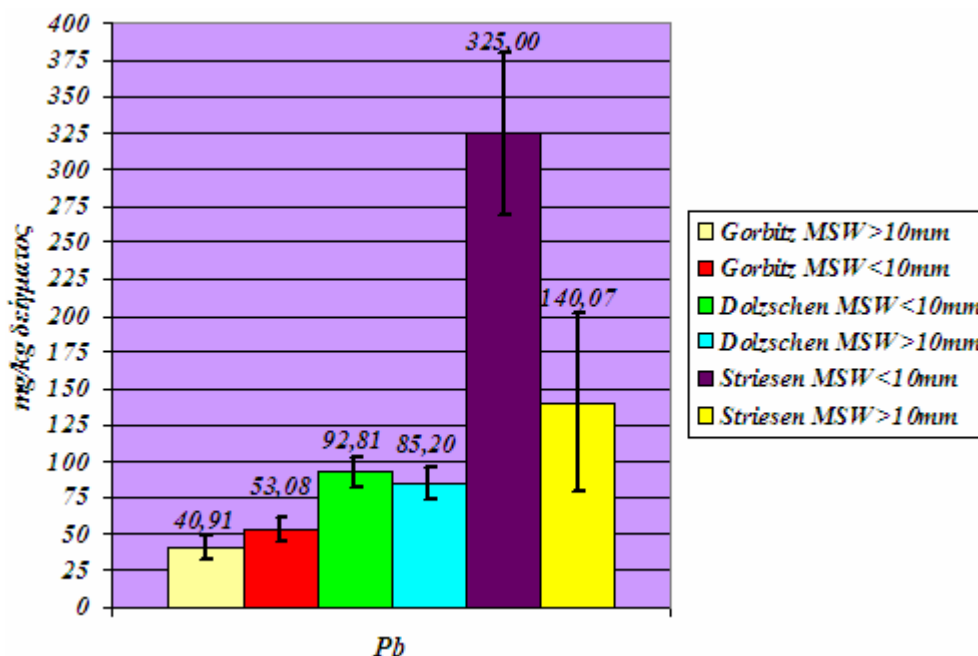


Διάγραμμα 59: Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cu ( $n=3$  έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

Για το χαλκό και το νικέλιο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατέδειξαν, όπως και στην περίπτωση του ψευδαργύρου, ότι η συγκέντρωση των είναι ομοιόμορφα κατανομημένη στα MSW των Gorbitz και Striesen. Το λεπτόκοκκο κλάσμα εμφανίζεται ξανά σχετικά πιο επιβαρημένο συγκριτικά με το χονδρόκοκκο, ενώ η αναπαραγωγισιμότητα ήταν αποδεκτή και «εντός των λογικών πλαισίων» που άπτονται της ανάλυσης εξαιρετικά ετερογενών δειγμάτων όπως τα οικιακά απόβλητα. Ωστόσο, το λεπτόκοκκο ειδικά κλάσμα του Dölzchen εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.



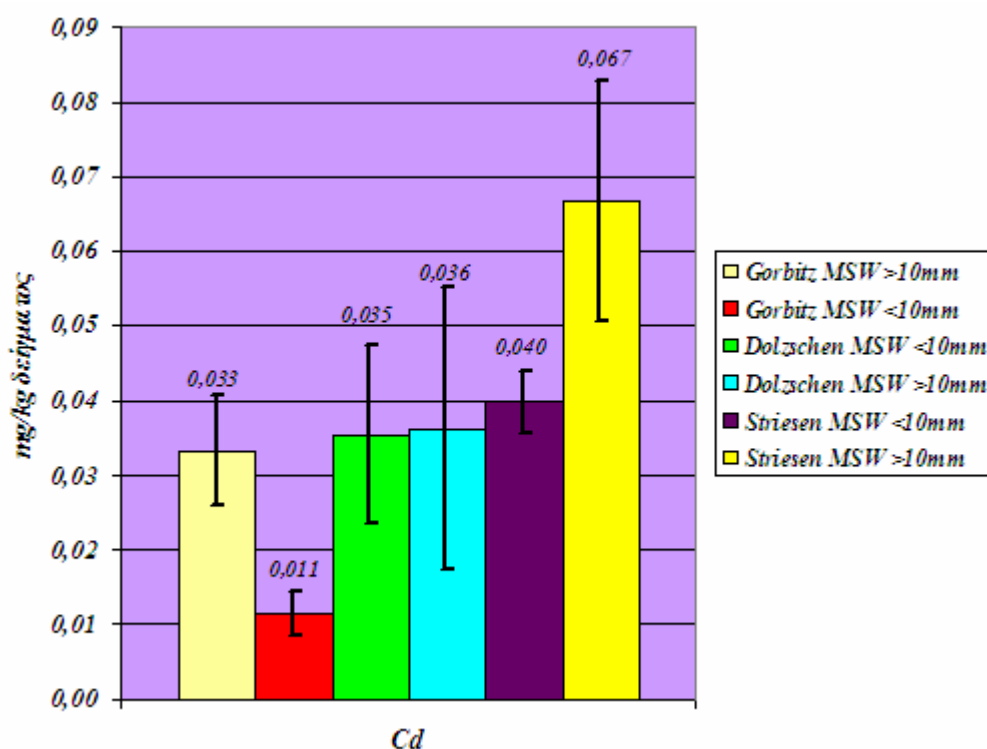
**Διάγραμμα 60:** Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Ni ( $n=3$  έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).



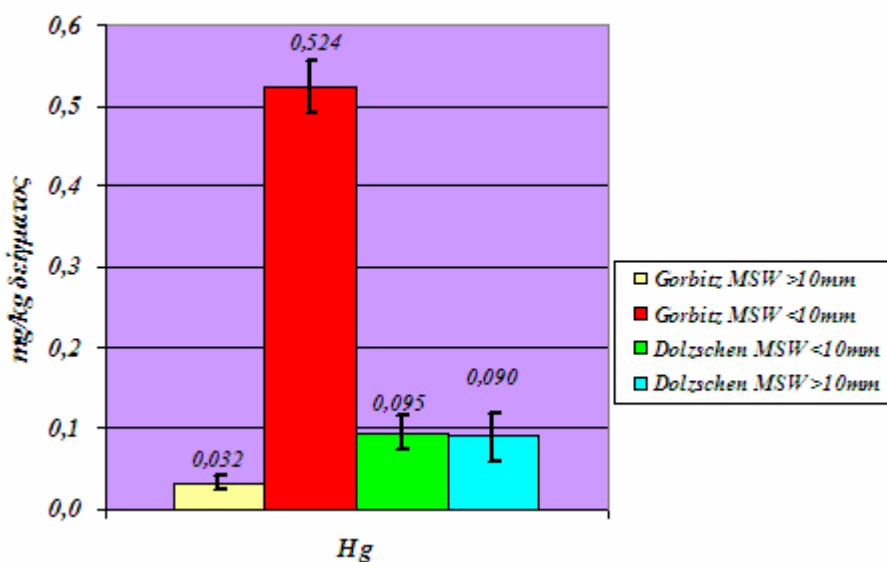
**Διάγραμμα 61:** Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Pb ( $n=3$  έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

Οι συγκεντρώσεις των Pb και Cd εμφανίζουν μια διαφορετική εικόνα σε σχέση με τα προηγούμενα στοιχεία. Το ρυπαντικό φορτίο των προερχόμενων από την περιοχή του Striesen MSW υπερσχύει αυτού των υπολοίπων δειγμάτων, ενώ τα MSW του Gorbitz εμφανίζονται ως τα πλέον «καθαρά». Ακόμη, η συγκέντρωση Hg στα MSW <10 mm του Gorbitz ήταν εξαιρετικά μεγαλύτερη αυτής των

υπολοίπων, οφειλόμενη ίσως στην ύπαρξη πηγών Hg οι οποίες δύναται να τα επιμολύναν (π.χ. υγρά παλιών μπαταριών). Επισημαίνεται όμως ότι σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα βρίσκονται εντός του εύρους συγκεντρώσεων που αναφέρονται από άλλες εργασίες που άπτονται του θέματος της παρουσίας βαρέων μετάλλων στο ρεύμα των οικιακών στερεών απόβλητων [30,32,82,83].



**Διάγραμμα 62:** Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cd (n=3 έως 10, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

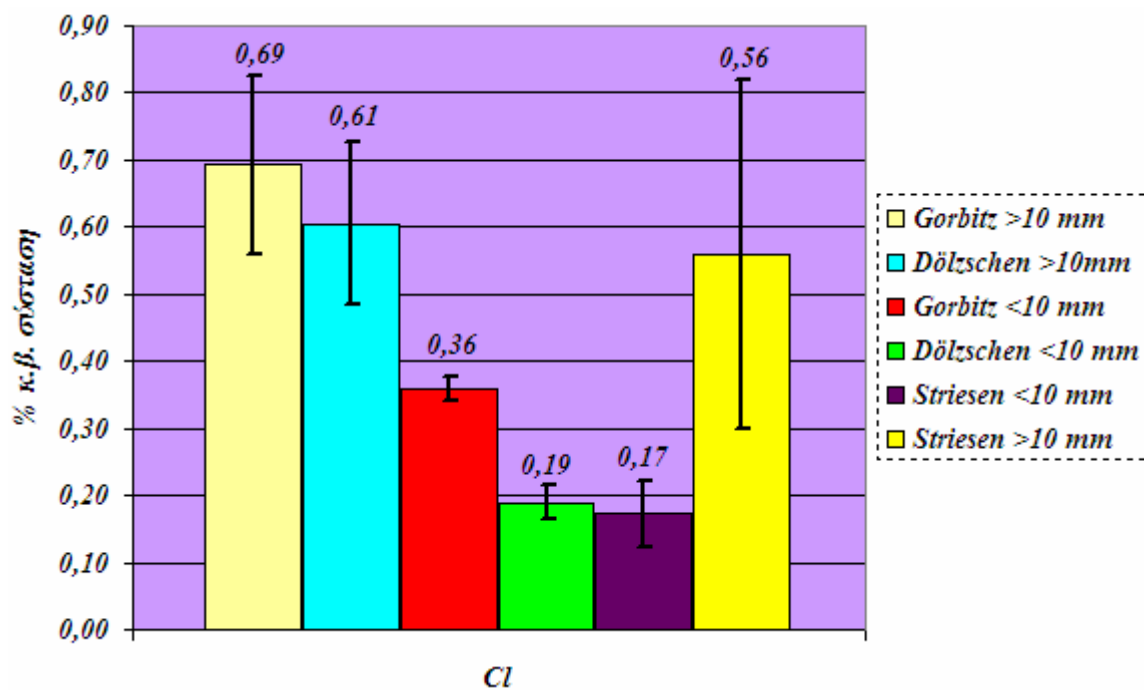


**Διάγραμμα 63:** Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Hg (n=3 έως 4, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

#### 2.5.4.2. Αποτελέσματα για Cl & Br

Τα αποτελέσματα τα οποία ελήφθησαν από την ιοντική χρωματογραφία για τον προσδιορισμό του Cl απεικονίζονται στο διάγραμμα 64. Για τα MSW >10 mm παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και για

τα 3 επιμέρους δείγματα, όπως προηγουμένως (§ 2.5.4.1.). Η τυπική απόκλιση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του ιδίου δείγματος ήταν ενίοτε πολύ μεγάλη. Για το λόγο αυτό, για κάποια δείγματα πραγματοποιήθηκαν 3 μόνον μετρήσεις, ενώ για κάποια άλλα 6 (αντιστοιχώντας σε ανάλογο αριθμό χωνεύσεων στο θερμιδόμετρο). Η ανάκτηση (recovery) της μεθόδου χωνεύσεως ήταν 79,57% και εξακριβώθηκε πραγματοποιώντας χωνεύσεις standards με 4-χλωροβενζοϊκό οξύ. Χρησιμοποιήθηκε διάλυμα απορρόφησης  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}_2\text{-NaOH}$ . Εφαρμόστηκε τέλος το τεστ κατά Grubbs για όλες τις σειρές μετρήσεων [81].



**Διάγραμμα 64:** Ρυπαντικό φορτίο των MSW σε Cl (n=3 έως 6, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

Η περιεκτικότητα σε χλώριο των MSW των τριών περιοχών κυμάνθηκε μεταξύ 0,17 και 0,36 % κ.β. για το λεπτόκοκκο κλάσμα και 0,56-0,69 % για το χονδρόκοκκο. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα των MSW >10 mm οφείλεται εν πολλοίς στην ύπαρξη περισσότερων οργανικών υλικών όπως αποφάγια (Speisereste), τα οποία φέρουν ποσότητες οργανικού χλωρίου (π.χ. ως μαγειρικό άλας NaCl), καθώς και αποβλήτων PVC. Λόγω επίσης της μεγαλύτερης συγκριτικά συγκέντρωσης Cl στο χονδρόκοκκο κλάσμα του Gorbitz, εκτελέστηκαν συμπληρωματικές μετρήσεις με χώνευση κατά Schöniger. Η συμφωνία που προέκυψε από τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου επιβεβαίωσε την αξιοπιστία της αρχικής χρήσης βόμβας οξυγόνου, η οποία είναι συνάμα ~10 φορές περισσότερο ευαίσθητη [80].

Όσον αφορά το βρώμιο, η συγκέντρωση του ήταν μικρότερη των ορίων ανίχνευσης της μεθόδου που εφαρμόστηκε. Η λήψη ωστόσο «παράξεων» κορυφών με έντονο peak tailing στα χρωματογραφήματα των standards 4-βρωμοβενζοϊκού οξέος σε διάλυμα απορρόφησης  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}_2\text{-NaOH}$  οδήγησε στην υποψία ότι η αδυναμία της ακολουθούμενης μεθόδου έγκειται στη χρήση εσφαλμένου διαλύματος απορρόφησης. Δοκιμές με L(+)-ασκορβικό οξύ 1% w/v επιβεβαίωσαν την υποψία αυτή. Συμπληρωματικές όμως αναλύσεις στο XRF κατέδειξαν ότι η συγκέντρωση βρώμιου στα δείγματα κυμαινόταν μεταξύ 5,3 και 21,7 ppm<sup>57</sup>. Το γεγονός αυτό αποθάρρυνε τη διεξαγωγή περαιτέρω χωνεύσεων με ασκορβικό οξύ ως διάλυμα απορρόφησης, διότι θα συνεπαγόταν άσκοπο επιπλέον κόστος για τον πειραματιστή λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλότατη συγκέντρωση του στοιχείου αυτού.

<sup>57</sup> Η χρήση του XRF έγκειται σε συμπληρωματικούς προς τα αποτελέσματα των AAS και IEC λόγους (βλ. και § 2.5.4.1.), λόγω της απουσίας ικανοποιητικών standards βαθμονόμησης για την πολύ ετερογενή μήτρα δειγμάτων Restabfall. Για αυτό το λόγο δεν παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα που ελήφθησαν με αυτό.

### 2.5.5. Σύνοψη

Συνοψίζοντας εν τάχει, οι πραγματοποιηθείσες με τα AAS, IEC και XRF αναλύσεις προσδιόρισαν το ρυπαντικό φορτίο «βάσης» των MSW του δείγματος για τους σημαντικότερους ρύπους που δύνανται να απαντηθούν σε αυτά: βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) και αλογόνα (Cl, Br). Οι τιμές που ελήφθησαν αποτελούν πληροφορία μείζονος σημασίας για τον μετέπειτα καθορισμό της δυνητικής συνεισφοράς των sWEEE στο περιεχόμενο σε επικίνδυνες ουσίες και παρασκευάσματα των υπολειμματικών στερεών οικιακών αποβλήτων. Επίσης, τα αποτελέσματα βρίσκονται εντός του εύρους τιμών που αναφέρονται από άλλες επιστημονικές εργασίες που άπτονται του θέματος τούτου (βλ. π.χ. [30,32,82,83]), ενώ τέλος η αναπαραγωγισιμότητα των μετρήσεων κινήθηκε σε αποδεκτά για το εξαιρετικά ετερογενές ρεύμα των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων πλαίσια.

### 2.6. Ρυπαντικό φορτίο των ανευρεθέντων ΑΗΗΕ

Όπως περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, τα sWEEE συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στο ρυπαντικό φορτίο των MSW σε βαρέα μέταλλα και αλογόνα (έπ' αυτού ο αναγνώστης παραπέμπεται ενδεικτικά στα λίαν παραστατικά διαγράμματα της διατριβής [82], σελ. 78-79). Διότι να αναγνωριστούν όμως οι κυριότερες εισοδοί και πηγές των ρύπων αυτών στα MSW, απαιτείται όχι μόνο η γνώση της σύστασης των sWEEE ανά κατηγορία υλικών, αλλά και ο προσδιορισμός των εν λόγω επικίνδυνων στοιχείων σε μεμονωμένες συσκευές και τύπους προϊόντων, και δη σε συγκεκριμένα κατασκευαστικά στοιχεία και υλικά. Κατ' επέκταση, μπορεί να συσχετιστεί το ρυπαντικό φορτίο των sWEEE με μηχανικές και φυσικές ιδιότητες (§ 2.3.). Κατ' αυτόν τον τρόπο δύνανται να αναπτυχθούν τεχνολογικές στρατηγικές ανίχνευσης, διαχωρισμού και επεξεργασίας ολόκληρων συσκευών ή εξαρτημάτων με μεγάλο ρυπαντικό φορτίο.

Με βάση τη βιβλιογραφία, προς ανάλυση με συγκεκριμένες αναλυτικές τεχνικές επιλέχθηκαν τα πλαστικά ΑΗΗΕ, καθώς και – καθαρά ενδεικτικά – κάποιες PWBs. Μια PWB δύναται να περιέχει τεράστια ποικιλία επικίνδυνων ουσιών όπως τα βαρέα μέταλλα Sb, Ag, Cr, Zn, Ga, Pb, Sn και Cu (§ 1.4.1.2.2.), ενώ τα πλαστικά, περιέχουν μεγάλη πληθώρα προσθέτων, π.χ. επιβραδυντικά φλόγας, σταθεροποιητές, πλαστικοποιητές, πιγμέντα κτλ. (§ 1.4.). Συγκεκριμένα για τα FRs, αναφέρεται ότι περιέχονται στο 12,5 έως 51% των πλαστικών ΗΗΕ [11,55,84], ενώ ο ακριβής προσδιορισμός των επικίνδυνων BFRs, λόγω της έλλειψης κατάλληλης επισήμανσης, είναι δυνατός μονάχα με τη χρήση εξεζητημένων αναλυτικών μεθόδων. Το ποσοστό των πλαστικών με FRs επί του συνόλου αυτών, ανά κατηγορία ΗΗΕ, παρουσιάζεται στον πίνακα 52. Συν τοις άλλοις, τα πλαστικά αποτελούν την πλέον σημαντική κατηγορία υλικών στα μικρά ΑΗΗΕ (§ 2.4.2.).

**Πίνακας 52:** Ποσοστό των πλαστικών με FRs, επί του συνόλου αυτών, ανά κατηγορία ΗΗΕ [84].

Κατηγορία ΗΗΕ	Ποσοστό πλαστικών με FRs (%)
1 & 2	6
3	40-77
4	54
6	80
Μέσος όρος	51

Με γνώμονα τα ανωτέρω, προσδιορίσθηκε κατ' αρχάς με τη βοήθεια φορητού φασματομέτρου φθορισμού ακτινών Χ (handheld XRF, *HXRF*) μια πληθώρα στοιχείων σε επιλεγθέντα πλαστικά ΑΗΗΕ και ενδεικτικά σε PWBs. Εν συνεχεία, βάσει των δεδομένων που προέκυψαν από το *HXRF*, και λόγω της εξέχουσας σημασίας των πλαστικών στα sWEEE του δείγματος, προσδιορίσθηκε το περιεχόμενο των στα βαρέα μέταλλα Pb, Cd, Cr μέσω της αξιόπιστης μεθόδου της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης.

#### 2.6.1. Δειγματοληψία & προετοιμασία του δείγματος



Για τη διεξαγωγή μετρήσεων με το AAS απαιτείται η μείωση μεγέθους των δειγμάτων, για επακόλουθη χώνευση με μικροκύματα<sup>58</sup>. Βάσει των δεδομένων του HXRF (βλ. § 2.6.4.) επιλέχθηκαν συγκεκριμένες συσκευές προς μείωση μεγέθους των πλαστικών που τις αποτελούσαν. Τα δείγματα κόπηκαν σε μικρά κομμάτια, και στη συνέχεια αλέστηκαν έως μεγέθους κόκκων μικρότερου των 2 mm, με χρήση του Retsch SM 2000. Η κοκκομετρική ανάλυση των προκυπτόντων δειγμάτων έλαβε χώρα με χρήση πύργου κοσκίνησης με τάρακτρο (Retsch VE 1000). Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα κόσκινα από ανοξείδωτο χάλυβα διαμέτρου οπών κατά σειρά ίση με 2, 1, 0,630, 0,200, 0,100 και 0,063 mm. Η κοσκίνηση κάθε δείγματος διήρκεσε 10 min (πλάτος ταλάντωσης 1 mm, περίοδος 30 sec). Τα πλαστικά μιας συσκευής αλέστηκαν όλα μαζί, ανεξαρτήτως χρώματος ή τύπου, λόγω του σημαντικά αυξημένου κάματος που θα συνεπαγόταν το αντίθετο για τον πειραματιστή, αλλά και του γεγονότος ότι κύριος σκοπός των αναλύσεων ήταν ο προσδιορισμός των περιεχομένων ρύπων στο σύνολο των πλαστικών μιας συσκευής ΑΗΗΕ. Η κατηγορία και ο τύπος των συσκευών από τις οποίες προήλθαν τα επιλεχθέντα δείγματα πλαστικών παρατίθενται στον πίνακα 53. Συμπεριλήφθησαν πλαστικά ΑΗΗΕ εκ των κατηγοριών ΗΗΕ 2 έως 7.

**Πίνακας 53:** Προέλευση των δειγμάτων πλαστικών ΑΗΗΕ που αναλύθηκαν με AAS.

Κατηγορία ΗΗΕ	Τύπος προϊόντος ΗΗΕ	Πλήθος συσκευών
2	Ηλεκτρική σκούπα	3
	Συσκευή στεγνώματος μαλλιών & εξαρτήματα	5
	Συσκευές βουρτσίσματος δοντιών & εξαρτήματα	4
	Συσκευές μασάζ	1
	Συσκευές ξυρίσματος	1
	Άλλες συσκευές περιποίησης σώματος	4
3	Ρολόγια	7
	Συστήματα τηλεφωνητών	2
	Περιφερειακά Η/Υ	3
	Αριθμομηχανές τσέπης	3
	Κινητά τηλέφωνα & pager	4
4	Ηχεία	3
	Ραδιόφωνα	3
6	Εξοπλισμός για το τρόχισμα ξύλου, μετάλλου & άλλων υλικών	1
	Φορτιστές συσσωρευτών ηλ. εργαλείων	2
7	Φορητές κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών	2
	Βιντεοπαιχνίδια	2
	Αθλητικός εξοπλισμός με ηλεκτρ(ον)ικά κατασκευαστικά στοιχεία	1
Σύνολο		51

Σημειώνεται ότι κατά τη μείωση μεγέθους των πλαστικών ΑΗΗΕ του δείγματος ενέσκηψαν ποικίλα προβλήματα. Λόγω της θέρμανσης του μύλου παρατηρούνταν το φαινόμενο της συσσωμάτωσης των κόκκων πλαστικών μεταξύ των, γεγονός το οποίο απαιτούσε την διακοπή της άλεσης. Επίσης, ιδιαίτερα όσον αφορά πλαστικά ABS, οι κόκκοι των «κόλλαγαν» στα τοιχώματα του μύλου, οδηγώντας σε αυξημένες απώλειες δείγματος (μέχρι και 17% της αρχικής του μάζας πριν την άλεση), γεγονός το οποίο πιθανά οφείλεται στην ηλεκτροστατική φόρτιση των σωματιδίων, παρότι ο μύλος ήταν γειωμένος. Τέλος, ενώ το μικρότερο και τελευταίο κόσκινο στο μύλο άλεσης είχε διάμετρο οπών ίση με 2 mm, κατά την κοσκίνηση στον πύργο αποδείχτηκε ότι το κάθε δείγμα αποτελούνταν σε μεγάλο βαθμό από κόκκους διαμέτρου μεγαλύτερης των 2 mm, σε ποσοστό που κυμάνθηκε από 0,8 έως 68% κ.β. (στη μεγάλη πλειοψηφία των συσκευών ήταν μεγαλύτερο από 25%). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται είτε στην ίδια γεωμετρία των κόκκων, η οποία επέτρεπε την είσοδο διαμέσου του κόσκινου άλεσης, είτε στη συσσωμάτωση θερμών κόκκων μετά από τη διέλευση των από το κόσκινο. Προς χώνευση οδηγούνταν πάντοτε το κλάσμα διαμέτρου μικρότερης των 2 mm, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων όπως θα φανεί στη συνέχεια (§ 2.6.4.2.).

<sup>58</sup> Για αναλύσεις με το HXRF δεν απαιτούνταν και δεν έλαβε χώρα ουδεμία τέτοια προετοιμασία.



### 2.6.2. Αντιδραστήρια & διαλύτες

Για τη διεξαγωγή των χωνεύσεων με μικροκύματα χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι διαλύτες και αντιδραστήρια που είχαν χρησιμοποιηθεί και για την ανάλυση του ρυπαντικού φορτίου των MSW (βλ. § 2.5.2.).

### 2.6.3. Οργανολογία & αναλυτική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων Zn, Cu, Ni, Pb, Cd και Hg επιλέχθηκε ξανά η χώνευση με μικροκύματα ακολουθούμενη από στοιχειακή ανάλυση με φασματομετρία ατομικής εκπομπής. Αναφορικά με το AAS, χρησιμοποιήθηκε η ίδια οργανολογία και αναλυτική διαδικασία με αυτήν της ανάλυσης των οικιακών στερεών αποβλήτων, με εξαίρεση τη μη χρήση EDXRF. Πρότερα του AAS έλαβαν χώρα αναλύσεις για στοιχεία με ατομικό αριθμό >13 με τη βοήθεια του φορητού XRF.

**Φορητό XRF** Χρησιμοποιήθηκε το HXRF φασματόμετρο XLi 700 (Niton, Billerica, MA, USA), το οποίο διαθέτει μικρή λυχνία ακτινών X και δύο κύριες πηγές διέγερσης:  $^{241}\text{Am}$  (30 mCi) και  $^{109}\text{Cd}$  (40 mCi). Το όργανο αυτό ανιχνεύει ένα εύρος στοιχείων του περιοδικού πίνακα με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο του 13, ενώ είναι δυνατός ο ταυτόχρονος προσδιορισμός έως και 25 στοιχείων. Το εγκατεστημένο λογισμικό χρησιμοποιεί επίσης την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων χλωρίου ως δείκτη προς αναγνώριση πλαστικών PVC. Ωστόσο, δεν δύναται να ταυτοποιηθούν άλλοι τύποι πλαστικών. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στο δείγμα παρουσιάζονται ως μέρη στο εκατομμύριο (ppm) μέσω της μοντελοποίησης των δεδομένων στο διαθέσιμο λογισμικό NDT της συσκευής. Το όργανο βαθμονομήθηκε με χρήση προ-εγκατεστημένων στοιχειακών δεδομένων (factory installed elemental rates). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν *in-situ* χωρίς καμία προετοιμασία του δείγματος, ενώ ο δειγματοληπτικός αισθητήρας (probe) του HXRF τοποθετούνταν επακριβώς επί του υπό εξέταση υλικού, ούτως ώστε να καλύπτεται πλήρως (εικόνα 15). Επισημαίνεται ότι μονάχα η επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον δειγματοληπτικό αισθητήρα διατίθεται προς ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των αναλυτών. Τα προκύπτοντα αποτελέσματα απεικονίζονται στην οθόνη LED του οργάνου, και δύνανται να αποθηκευθούν και κατόπιν να μεταφερθούν σε H/Y προς επεξεργασία. Ο χρόνος μέτρησης κάθε δείγματος ήταν 1-2 min, ανάλογα με τον τύπο αυτού (60 sec για τα πλαστικά, 120 sec για τις PWBs). Το χρησιμοποιηθέν φορητό XRF είναι μικρό σε μέγεθος, ελαφρύ (0,8 kg) και δύναται να μεταφέρεται εύκολα.



Εικόνα 15: Διεξαγωγή των μετρήσεων με το φορητό XRF.

### 2.6.4. Αποτελέσματα & συζήτηση

Το υποκεφάλαιο αυτό της παρούσας εργασίας αποσκοπεί στο να απαντήσει ικανοποιητικώς σε μια σειρά ερωτημάτων μείζονος σημασίας όσον αφορά τα πλαστικά ΑΗΗΕ και το περιεχόμενο αυτού του ρεύματος αποβλήτων σε περιβαλλοντικούς ρύπους:

- ◇ πόσα δείγματα πλαστικών sWEEE είναι ρυπασμένα, ιδιαίτερα σε σχέση με ουσίες που απαγορεύονται δυνάμει της οδηγίας 2002/95/EK (RoHS)
- ◇ ποιοι ρύποι απαντώνται σε αυτά
- ◇ ποια η μέση συγκέντρωση των
- ◇ πως μεταβάλλεται η συχνότητα εμφάνισης και η συγκέντρωση των για τις διαφορετικές κατηγορίες HHE.

Παρότι διάφορες παλαιότερες μελέτες έχουν – σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό – ασχοληθεί με το ζήτημα αυτό (βλ. ενδεικτικά [30,34,72,77,82,85]), όσον αφορά το περιεχόμενο των πλαστικών sWEEE σε επικίνδυνες ουσίες υφίσταται ακόμη περιορισμένο εύρος πληροφοριών. Συνεπώς, πιστεύεται ότι η παρούσα διατριβή κατέχει τουλάχιστον εξέχουσα σημασία λόγω της κάλυψης μεγάλου μέρους του υφιστάμενου βιβλιογραφικού κενού, αλλά και της καινοτόμου εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας.

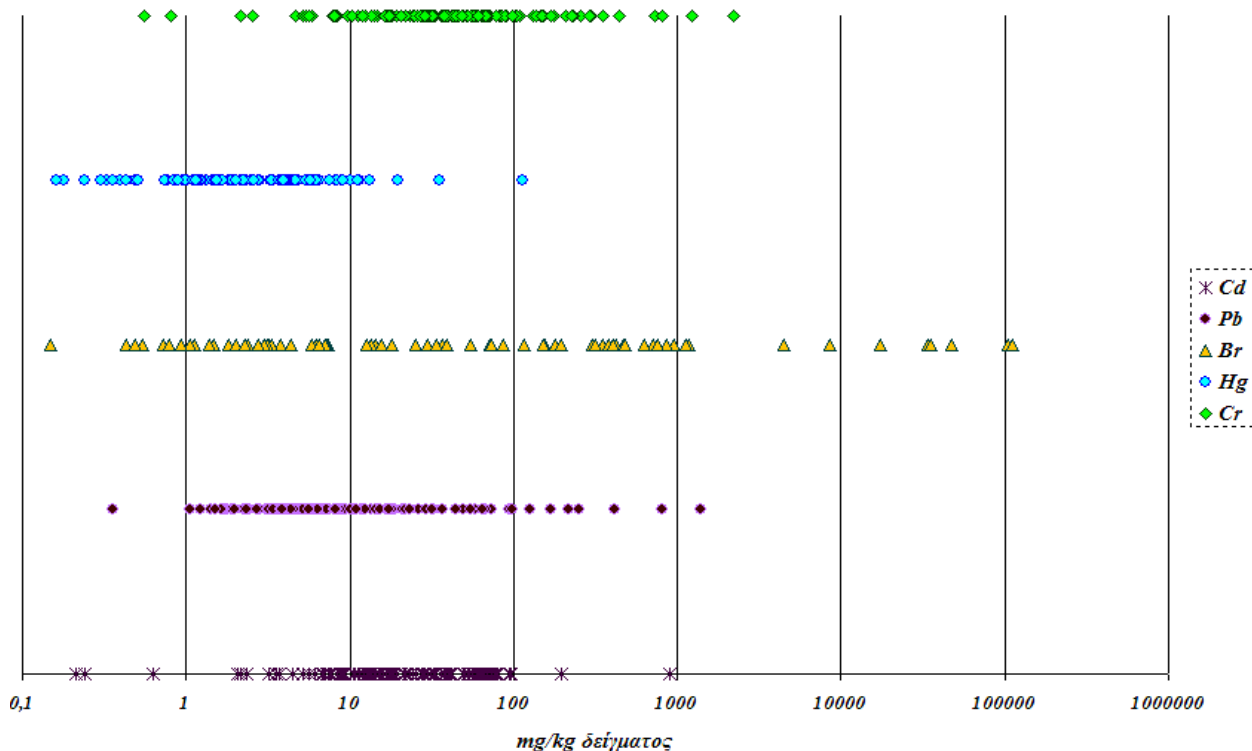
#### 2.6.4.1. Αποτελέσματα φορητού XRF

Η φασματομετρία XRF είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος πολυστοιχειακής ανάλυσης, η οποία εφαρμόζεται πολύ συχνά για μετρήσεις εδαφών, μετάλλων, βαφών κτλ, παρέχει γρήγορους χρόνους ανάλυσης και χαμηλό κόστος ανά δείγμα εν συγκρίσει με άλλες καθιερωμένες φασματοσκοπικές μεθόδους, ενώ η γρήγορη επίδοση των αποτελεσμάτων επιτρέπει τη γοργή λήψη αποφάσεων για μια σειρά δειγμάτων. Η XRF θα μπορούσε συνεπώς να αποτελέσει ένα λίαν διαδεδομένο εργαλείο αξιολόγησης, εφόσον όμως αποδειχτεί ότι τα αποτελέσματα αυτής είναι συγκρίσιμα με αυτά άλλων εργαστηριακών μεθόδων. Ένας μεγάλος αριθμός αναλυτικών μεθόδων εφαρμόζεται ήδη από OEMs προς συμμόρφωση των προϊόντων τους με νομικές διατάξεις όπως η οδηγία RoHS. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει τη μεγάλη χρησιμότητα της ύπαρξης μιας μεθόδου «διαλογής» (screening), η οποία δύναται να παράσχει γρήγορη και ακριβή ποσοτικοποίηση των συγκεντρώσεων διεπόμενων από κανονισμούς ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Η τεχνική της HXRF αποτελεί ένα εύχρηστο και πολύτιμο εργαλείο για τη διεξαγωγή *in-situ* αναλύσεων και ενδείκνυται για την παρακολούθηση και ανίχνευση της ύπαρξης απαγορευμένων ουσιών σε προϊόντα, ακόμη και εντός της μονάδας παραγωγής. Μπορεί να βοηθήσει αποφασιστικά στη λήψη αποφάσεων όσον αφορά τα προαναφερθέντα, και συμβάλλει ταυτόχρονα στην ουσιαστική μείωση του αριθμού των δειγμάτων που αποδεικνύεται ότι περιέχουν μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου συγκεντρώσεις, τα οποία απαιτείται να σταλούν για επαληθευτικές εργαστηριακές αναλύσεις. Από την άλλη όμως, η HXRF δεν ενδείκνυται για χρήση από αυτόματες τεχνολογίες διαχωρισμού, καθότι ο απαιτούμενος χρόνος μέτρησης αυτής είναι 15-30 sec, υπερβολικά μεγάλος για “on-line” διεργασίες αυτού του τύπου.

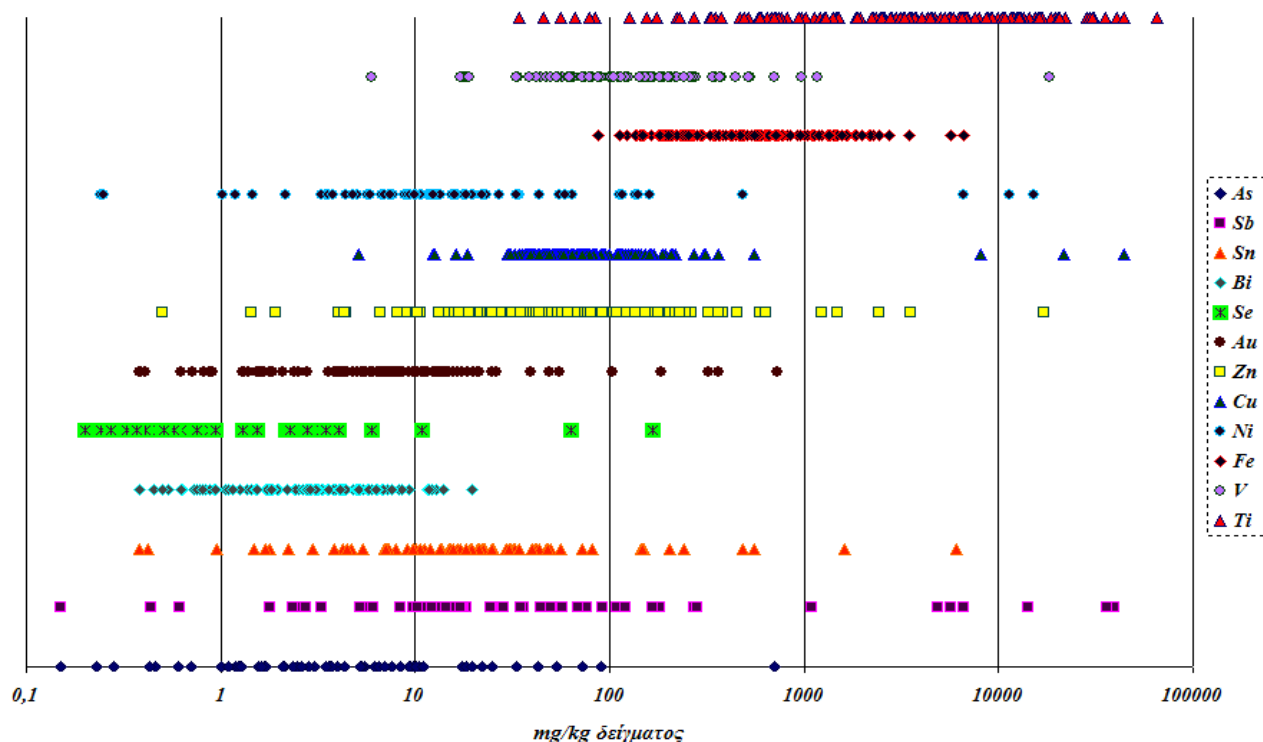
Η τεχνική της φορητής XRF είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία και υφίσταται περιορισμένη ακόμη εμπειρία αναφορικά με την χρησιμοποίηση της για την ποσοτικοποίηση της στοιχειακής σύνθεσης οποιωνδήποτε δειγμάτων. Ωστόσο, χαρακτηρίζεται ήδη ως μια κατάλληλη, αξιόπιστη τεχνική για την εκτίμηση και προσδιορισμό της συγκέντρωσης ποικιλίας επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρ(ον)ικό εξοπλισμό και κατασκευαστικά στοιχεία αυτού, με κάποιους βέβαια περιορισμούς [86,87]. Επίσης, το χρησιμοποιηθέν HXRF περιγράφεται ότι παρέχει στον πειραματιστή εξαιρετική αξιοπιστία και αναπαραγωγισιμότητα στις μετρήσεις, ενώ πρόκειται για μια λίαν ακριβής τεχνική, η οποία δύναται να προσδιορίσει ποσοτικά τα σπουδαιότερα πρόσθετα πλαστικών AHHE σε βάθος ~10 mm εντός του δείγματος. Στοιχεία όπως τα Cd, Pb, Ti, Cr, Sb, Br κτλ δύνανται συνεπώς να προσδιορισθούν επακριβώς, ενώ συνάμα επιφανειακές επιμολύνσεις και επικαλύψεις ανιχνεύονται με επιτυχία. Επισημαίνεται όμως ότι το πάχος του υπό εξέταση δείγματος παίζει σημαίνων ρόλο, καθότι αυτή η τεχνική ενδείκνυται για παχύτερα δείγματα (>5 mm) [87,88]. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ανιχνεύει συγκεντρώσεις ολικού μονάχα βρώμιου ή χρωμίου στο δείγμα, δεν μπορεί συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ενώσεων όπως τα PBBs, PBDEs ή το Cr(VI).

Οι αναλύσεις με το HXRF επικεντρώθηκαν στα στοιχεία τα οποία διέπονται των απαγορεύσεων της οδηγίας RoHS, δηλαδή τα Cd, Pb, Hg, Cr και Br. Ωστόσο, το ενδιαφέρον κατευθύνθηκε και προς άλλα στοιχεία με τοξικολογική σημασία ή στοιχεία που αναμένονταν σε μεγάλη συχνότητα στα δείγματα όπως τα As, Sn, Sb, Ti, V κτλ. Λόγω του μεγάλου πλήθους δειγμάτων πλαστικών (161)

που αναλύθηκαν, πιστεύεται ότι τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής για τη συχνότητα στην οποία απαντώνται, αλλά και το εύρος συγκεντρώσεων των εν λόγω στοιχείων αποδίδουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης όσον αφορά τα πλαστικά ΑΗΗΕ. Τα διαγράμματα 65 και 66 απεικονίζουν το εύρος συγκεντρώσεων των προσδιορισθέντων στοιχείων στα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος, πρώτα για τα «RoHS στοιχεία» και στη συνέχεια για τα υπόλοιπα.

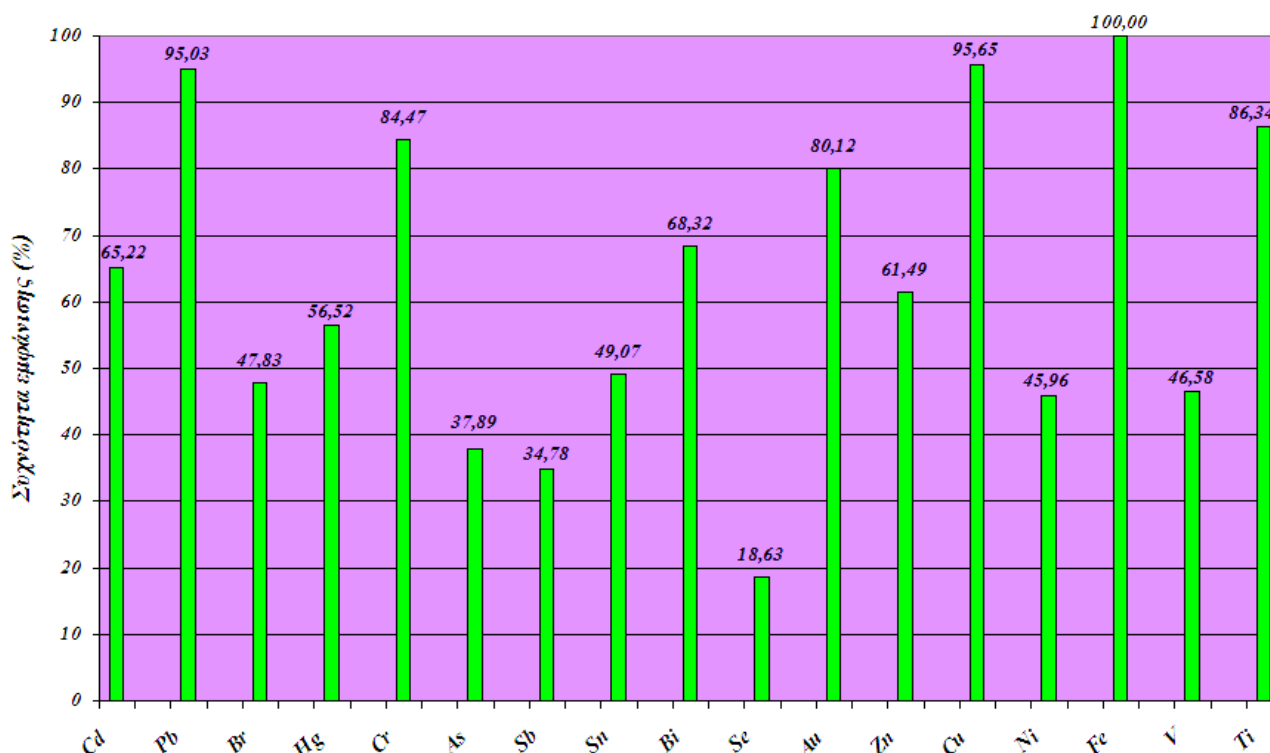


Διάγραμμα 65: Εύρος συγκεντρώσεων των «RoHS στοιχείων» στα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος.



Διάγραμμα 66: Εύρος συγκεντρώσεων των As, Sb, Sn, Bi, Se, Au, Zn, Cu, Ni, Fe, V & Ti στα πλαστικά ΑΗΗΕ του δείγματος.

Τα ως άνω αποτελέσματα συμπληρώνονται από το διάγραμμα 67, στο οποίο και παρουσιάζεται η συχνότητα των περιεχόντων τα εν λόγω στοιχεία δειγμάτων, ως ποσοστό του συνόλου αυτών (161).



**Διάγραμμα 67:** Ποσοστό % των υπό εξέταση δειγμάτων πλαστικών ΑΗΗΕ, στα οποία περιέχεται κάποιο εκ των προσδιορισθέντων στοιχείων.

Μελετώντας τα παραπάνω διαγράμματα διαφαίνεται κατ' αρχάς ότι ένα πολύ μικρό, μη αμελητέο όμως, ποσοστό των υπό μελέτη δειγμάτων περιείχε Cd και Pb σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου (0,01 και 0,1% κ.β. αντίστοιχα), ήτοι 2 και 1 δείγματα αντίστοιχα, εκ των 161. Ακόμη, η συκέντρωση ολικού Br ή Cr ξεπερνά κι αυτή το όριο του 0,1% κ.β. σε 11 και 2 δείγματα αντίστοιχα. Όμως, τα εν λόγω αποτελέσματα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν με προσοχή, καθότι απεικονίζουν το ολικό βρώμιο ή χρώμιο στο δείγμα, δεν μπορούν συνεπώς να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων για ενώσεις όπως τα PBBs, PBDEs ή το Cr(VI). Παρέχουν ωστόσο ικανοποιητικές ενδείξεις για την τυχόν ύπαρξη των εν λόγω απαγορευμένων ουσιών σε ανώτερες του επιτρεπτού ορίου ποσότητες. Επίσης, Cd, Pb και Cr περιέχονταν σε πάνω από τα δύο τρίτα των 161 δειγμάτων, ενώ ο Hg ανευρίσκεται στα μισά περίπου αυτών, χωρίς όμως να υπερβαίνεται το όριο που υφίσταται για την παρουσία του σε ομοιογενή υλικά.

Τα αποτελέσματα για τα βρώμιο και αντιμόνιο καταδεικνύουν επίσης ότι το μισό περίπου των δειγμάτων περιείχε BFRs σε μικρότερες ή μεγαλύτερες δόσεις, ενώ στις πλείστες των περιπτώσεων χρησιμοποιήθηκε  $Sb_2O_3$  σαν συνεργιστικό επιβραδυντικό φλόγας. Από τα αποτελέσματα για τα Ti και Zn διαφαίνεται επίσης ότι η πλειοψηφία των λευκών πλαστικών περιείχε πιγμέντο  $TiO_2$ , ενώ ο Zn χρησιμοποιείται συχνά ως πιγμέντο ή σταθεροποιητής. Σαν σταθεροποιητές βρίσκουν εφαρμογή και οι οργανοκασσιτερικές ενώσεις, σε σχετικά μικρότερη όμως συχνότητα. Σχετικώς αναμενόμενη ήταν και η παρουσία στοιχείων όπως τα Se, As, V, Ni και Bi, η παρουσία των οποίων ανιχνεύθηκε στο 18,63 έως 68,32% των δειγμάτων. Συν τοις άλλοις, Au, Cu και Fe περιέχονται στη συντριπτική πλειοψηφία των εξεταζόμενων πλαστικών ΑΗΗΕ, γεγονός το οποίο παρουσιάζει με εύλωτο τρόπο την πληθώρα των εφαρμογών που βρίσκουν οι ενώσεις των – χωρίς να παραβλέπεται πάντως η εντύπωση που προκάλεσε η συχνή παρουσία του χρυσού, και δη σε σχετικά υψηλές ποσότητες.

Τα ανωτέρω διαγράμματα αποκαλύπτουν επίσης ότι η συγκέντρωση οποιουδήποτε προσθέτου στα πλαστικά ΑΗΗΕ δύναται να κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Στοιχεία όπως τα Cd, Pb, Hg, Cr, As, V, Sn, Bi, Se και Au ανιχνεύτηκαν σε συγκεντρώσεις σχεδόν πάντοτε μικρότερες του 0,1% κ.β., ενώ απεναντίας τα Br, Sb, Zn, Cu, Fe και Ti φτάνουν και συχνά ξεπερνούν το 10% κ.β. Τέλος, το αθροιστικό περιεχόμενο των δειγμάτων σε πρόσθετα δεν εξετάστηκε από την παρούσα διατριβή, όπως όμως αναφέρεται ξεπερνά ενίοτε το 50% κ.β. [89].

Ο επόμενος πίνακας 54 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που ελήφθησαν για τα «RoHS στοιχεία» – στα οποία και επικεντρώνεται το μεγαλύτερο ενδιαφέρον λόγω της εξέχουσας σημασίας που τους προσδόθηκε – αναφορικά με τη συχνότητα εμφάνισης και τη μέση συγκέντρωση των στα πλαστικά των sWEEE του δείγματος, ανά κατηγορία ΗΗΕ. Όπως διακρίνεται, η μέση συγκέντρωση Br υπερβαίνει κατά πολύ αυτή των άλλων στοιχείων, και ανέρχεται συνολικά στο 0,53% κ.β. της μάζας των δειγμάτων, ενώ η μέση  $C_{Hg}$  είναι μακράν μικρότερη όλων των υπολοίπων. Σημειώνεται ότι απαντώνται συγκεντρώσεις Br οι οποίες φτάνουν το 11,12% κ.β., οι οποίες πολύ συχνά ανεβάζουν κατά πολύ το μέσο όρο της  $C_{Br}$  στην εκάστοτε κατηγορία ΗΗΕ όπου ανήκει το εν λόγω δείγμα, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την 1, λόγω της ύπαρξης ενός και μόνο δείγματος με περιεκτικότητα σε Br ίση με 10,42% κ.β..

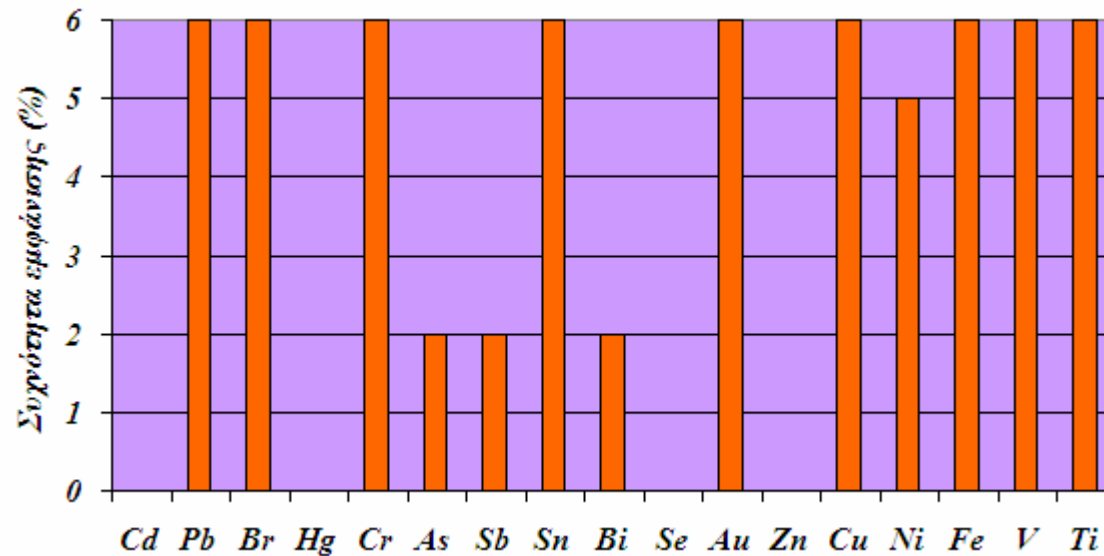
Στο διάγραμμα 68 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την (ενδεικτική) εξέταση 6 PWBs, οι οποίες προέρχονταν από ξυπνητήρι, αυτόματο τηλεφωνητή, δύο διαφορετικά κινητά και ένα σταθερό τηλέφωνο, καθώς και κονσόλα βιντεοπαιχνιδιών, όσον αφορά τη συχνότητα της παρουσίας των οιονδήποτε περιεχόμενων στοιχείων σε αυτές, ως ποσοστό του συνόλου των (6). Όπως ήταν αναμενόμενο, Pb απαντάται στο σύνολο των δειγμάτων, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 265,63 (κονσόλα) και 22979,15 ppm (κινητό τηλέφωνο). Αντίστοιχα για το πανταχού παρόν βρώμιο, παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο για συγκεντρώσεις κυμαινόμενες μεταξύ 68,6 (τηλεφωνητής) και 73368,39 ppm (σταθερό τηλέφωνο). Επαναλαμβάνεται ότι οι αναλύσεις αυτές σε PWBs έλαβαν χώρα εν πολλοίς από καθαρή περιέργεια, ενώ το πλήθος των δειγμάτων δεν είναι σε καμία περίπτωση αντιπροσωπευτικό.

Τα όρια ανίχνευσης που δύνανται να επιτευχθούν από το HXRF εξαρτώνται κύρια από τη μήτρα του δείγματος, ενώ επηρεάζονται μεταξύ άλλων από παράγοντες όπως τον ατομικό αριθμό (στοιχεία με μεγαλύτερο  $Z$  εκπέμπουν συχνότερα φωτόνια  $K_{\alpha}$ ) και το εύρος συγκεντρώσεων στο δείγμα. Επιπρόσθετοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον ποσοτικό προσδιορισμό με HXRF αποτελούν οι επιδράσεις μήτρας (matrix effects), καθώς και η ανομοιογενής σύσταση ή σύνθετη γεωμετρία του δείγματος. Τη μεγαλύτερη επίδραση όσον αφορά την ανίχνευση των βαρέων μετάλλων κατέχει η ανομοιογένεια του δείγματος. Το πάχος του δύναται συνάμα να επηρεάσει το βάθος διείσδυσης της ακτινοβολίας διέγερσης, παράγοντας έτσι λιγότερο ακριβή αποτελέσματα, ιδιαίτερα για χαμηλές συγκεντρώσεις [86,87].

Είναι πολύ σημαντικό να επισημανθεί ότι standards βαθμονόμησης για (H)XRF υφίστανται μονάχα για μέταλλα εμβολιασμένα σε ομογενείς μήτρες όπως PE, ενώ δεν υπάρχουν για ανάλυση πλαστικών ΗΗΕ ή σύνθετων ηλεκτρ(ον)ικών κατασκευαστικών στοιχείων. Ικανοποιητική βαθμονόμηση για μήτρες διαφορετικών ηλεκτρ(ον)ικών προϊόντων συνεπάγεται τη λήψη ακριβέστερων αποτελεσμάτων κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής. Στη βιβλιογραφία εξαιρείται η σημασία της εξωτερικής βαθμονόμησης του HXRF, καθώς σε πολλές περιπτώσεις τα προ-εγκατεστημένα στοιχειακά δεδομένα διαφέρουν κατά πολύ των τιμών που παρέχονται από standards βαθμονόμησης [86]. Τέλος, συνιστάται η επαλήθευση των μετρήσεων του HXRF από ανεξάρτητες εργαστηριακές αναλύσεις, ενώ η τεχνική αυτή θα πρέπει να θεωρείται ως μια χρησιμότητα εξέταση διαλογής, και μόνον, της στοιχειακής σύνθεσης δειγμάτων [86,88]. Στο σημείο αυτό επικεντρώνονται οι επόμενες παράγραφοι του παρόντος υποκεφαλαίου.

Πίνακας 54: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα που ελήφθησαν για τα «RoHS στοιχεία».

Κατηγορία ΗΗΕ	Αριθμός δειγμάτων	Συχνότερος τύπος πολυμερών	Δείγματα με Cd (%)	Μέση C Cd (ppm)	Δείγματα με Pb (%)	Μέση C Pb (ppm)	Δείγματα με Br (%)	Μέση C Br (ppm)	Δείγματα με Hg (%)	Μέση C Hg (ppm)	Δείγματα με Cr (%)	Μέση C Cr (ppm)
1	4	ABS, PP	25,00	10,69	100,00	27,62	75,00	34751,81	50,00	6,24	75,00	139,14
2	80	ABS, PP	62,50	24,51	95,00	31,34	40,00	2322,37	58,75	3,20	80,00	70,48
3	31	PS, ABS	74,19	64,04	96,77	13,83	54,84	2291,56	54,84	6,37	90,32	190,65
4	19	ABS, PS	78,95	40,93	100,00	36,50	57,89	474,49	52,63	2,82	100,00	56,23
6	5	PC	60,00	27,72	80,00	21,34	100,00	5360,96	60,00	4,68	100,00	55,48
7	18	ABS, PS	66,67	42,24	88,89	75,80	33,33	200,59	50,00	3,59	72,22	107,63
8	2	ABS, PP	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
9	1	PC	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
10	1	PS	100,00	49,05	100,00	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Σύνολο	161	ABS, PP	65,22	37,73	95,03	33,64	47,83	5318,96	56,52	5,27	84,47	99,97



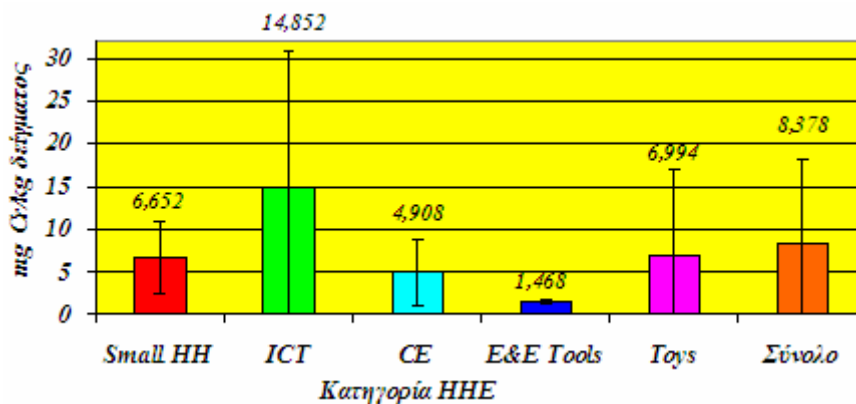
Διάγραμμα 68: Ποσοστό % των υπό εξέταση δειγμάτων PWBs από sWEEE, στις οποίες περιέχεται κάποιο εκ των προσδιορισθέντων στοιχείων.



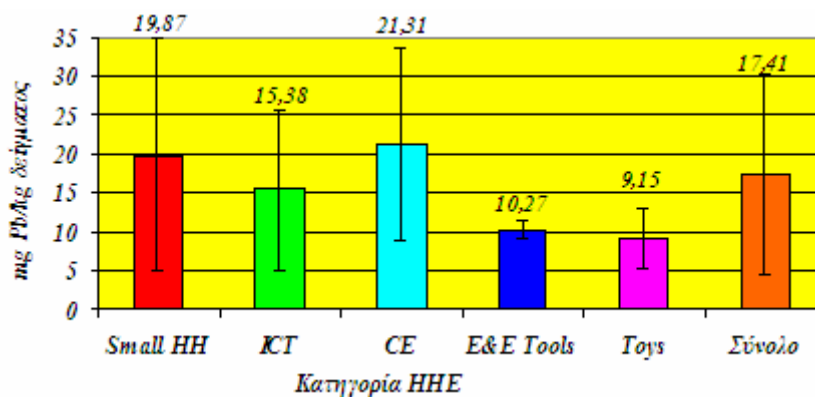
#### 2.6.4.2. Αποτελέσματα AAS

Οι αναλύσεις με την AAS επικεντρώθηκαν σε βαρέα μέταλλα που διέπονται των απαγορεύσεων της RoHS. Στα διαγράμματα 69-71 παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση ολικού Cr, Pb και Cd, αντίστοιχα, ανά κατηγορία HHE και συνολικά για τα δείγματα πλαστικών. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 χωνεύσεις, προς λήψη αντιπροσωπευτικότερων αποτελεσμάτων.

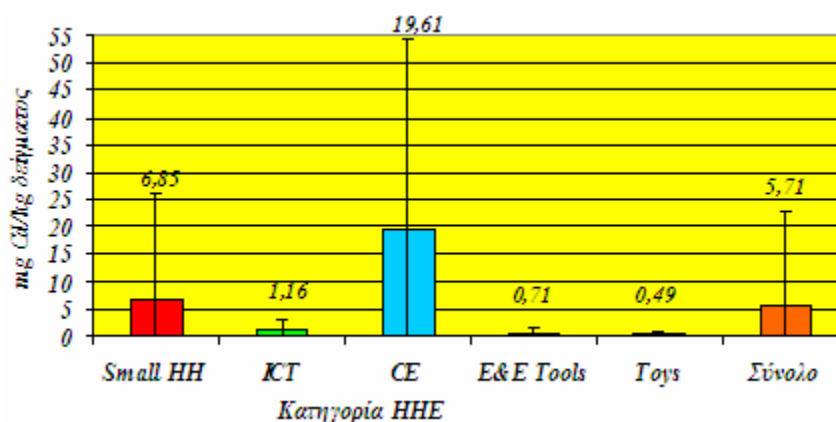
Η πλέον επιβαρημένη σε χρώμιο κατηγορία είναι η 3<sup>η</sup>, ακολουθούμενη, με διαφορά, από τα παιχνίδια και τις μικρές οικιακές συσκευές. Αναφορικά με το μόλυβδο, CE, small HH και ICT εμφανίζονται ως οι κατηγορίες στα πλαστικά των οποίων περιέχεται Pb σε μεγαλύτερο βαθμό. Τέλος, κάδμιο απαντάται κύρια στα καταναλωτικά είδη και στις μικρές οικιακές συσκευές, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό για συσκευές των υπολοίπων κατηγοριών. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι τα πλέον επιβαρημένα σε ρύπους πλαστικά εφαρμόζονται στις κατηγορίες 4 και 2, ενώ ακολουθούν κατά πόδας τα προϊόντα ICT και τα παιχνίδια.



**Διάγραμμα 69:** Μέση συγκέντρωση χρωμίου στα δείγματα πλαστικών ανά κατηγορία HHE & συνολικά (n=3, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).



**Διάγραμμα 70:** Μέση συγκέντρωση μολύβδου στα δείγματα πλαστικών ανά κατηγορία HHE & συνολικά (n=3, οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).



**Διάγραμμα 71:** Μέση συγκέντρωση καδμίου στα δείγματα πλαστικών ανά κατηγορία ΗΗΕ & συνολικά ( $n=3$ , οι γραμμές σφάλματος υποδεικνύουν την τυπική απόκλιση).

Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι για όλα τα δείγματα πλαστικών διαφορετικών συσκευών που αναλύθηκαν, σε κανένα δεν ανιχνεύθηκε κάποιο από τα εν λόγω στοιχεία σε συγκεντρώσεις οι οποίες να υπερβαίνουν τα όρια της RoHS για την παρουσία των σε ομοιογενή υλικά. Σημειώνεται πάντως ότι τα πλαστικά μιας συσκευής υπέστησαν μείωση μεγέθους, χώνευση και στοιχειακή ανάλυση όλα μαζί, ανεξαρτήτως χρώματος ή τύπου. Συνεπώς, τα ως άνω αποτελέσματα κατά βάση δεν αναφέρονται σε ομοιογενή υλικά, ενώ ένα λίαν βεβαρημένο σε ρύπους τμήμα πλαστικού δύναται να έχει αραιωθεί από τα υπόλοιπα, εάν υποθεθεί ότι τα διάφορα πρόσθετα είναι άνισα κατανομημένα ανάμεσα στα διάφορα κομμάτια που απαρτίζουν το σύνολο των πλαστικών μιας συσκευής ΗΗΕ. Σε κάθε περίπτωση όμως, τα παραπάνω αποτελέσματα αποτελούν τουλάχιστον επαρκείς δείκτες για την παρουσία ή όχι, καθώς και σε ποιες συγκεντρώσεις, επικίνδυνων βαρέων μετάλλων σε πλαστικά sWEEE.

Συν τοις άλλοις, από τα αποτελέσματα διαφαίνεται ότι το γεγονός και μόνον της θεσμοθέτησης της RoHS οδήγησε τους διάφορους OEMs στην εξάλειψη των διεπόμενων από αυτήν μετάλλων στα προϊόντα τους. Άνω του 80% των συσκευών ήταν ηλικίας 1 έως 5 ετών, παρήχθησαν δηλαδή ενόσω η οδηγία είχε υιοθετηθεί, προτού όμως τεθούν σε ισχύ οι περιορισμοί αυτής. Οι διάφοροι παραγωγοί φρόντισαν όπως γίνεται προφανές να προσαρμοσθούν στις απαιτήσεις της προτού αυτές καταστούν απολύτως υποχρεωτικές, προτιμώντας μια ομαλότερη μετάβαση στο «νέο καθεστώς». Επιπλέον, το προσχέδιο της οδηγίας χρονολογείται ήδη από το 2000 [71], ενώ υφίστανται επιπλέον εθελοντικές νόρμες μεταξύ OEMs που άπτονται του περιβαλλοντικά φιλικότερου σχεδιασμού των προϊόντων τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου αποτελεί ο Joint Industry Guide [90].

Προς συμπλήρωση των παραπάνω, στον πίνακα 55 παρουσιάζεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν για τα MSW και sWEEE αναφορικά με το περιεχόμενο των σε περιβαλλοντικά επικίνδυνους ρύπους. Όπως διαφαίνεται, η συμβολή των μικρών ΑΗΗΕ στο ολικό ρυπαντικό φορτίο των MSW είναι σημαντικότερη για τα Cd, Br και Ni, ενώ για το μόλυβδο ανέρχεται μόλις και μετά βίας στο 0,06%. Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με την εργασία [82], όπου και αναφέρεται ότι το ποσοστό αυτό ξεπερνά το 38%. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν μονάχα πλαστικά sWEEE, και όχι ολόκληρες συσκευές. Προς υπολογισμό της συνεισφοράς δεν συμπεριλήφθηκε επίσης το ρυπαντικό φορτίο των μπαταριών που βρέθηκαν στα προϊόντα, αλλά και των υπολοίπων κλασμάτων υλικών που απαρτίζουν τα sWEEE. Οι παραδοχές αυτές πιθανότατα μειώνουν κατά πολύ το ποσοστό της συμβολής των μικρών ΑΗΗΕ στο συνολικό ρυπαντικό φορτίο των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων.

**Πίνακας 55:** Σύγκριση του φορτίου περιβαλλοντικών ρύπων σε πλαστικά sWEEE & υπολειμματικά απόβλητα, & % συνεισφορά των μεν στο συνολικό φορτίο των δε (μ.α.σ.: μη ανιχνεύσιμο σήμα).

Στοιχείο	Ρεύμα αποβλήτων						% ΣΦ*
	Restabfall		sWEEE-HXRF		sWEEE-AAS		
	Μέση C (mg/kg)	RSD (%)	Μέση C (mg/kg)	RSD (%)	Μέση C (mg/kg)	RSD (%)	
Pb	120,86	73,53	33,64	404,89	17,41	73,31	0,064
Cd	0,04	53,67	37,73	235,31	5,71	302,34	38,771
Hg	0,14	122,44	5,27	234,52	—	—	14,309
Cl	4.351,57	41,65	—	—	—	—	—
Br	μ.α.σ.	μ.α.σ.	5.318,96	356,86	—	—	>99,99
Ni	0,34	43,64	476,76	483,87	—	—	86,150
Zn	1.172,06	157,64	362,17	490,03	—	—	0,137
Cu	99.674.277,25	34,53	565,98	712,03	—	—	—
Cr	—	—	99,97	237,19	8,38	116,50	—

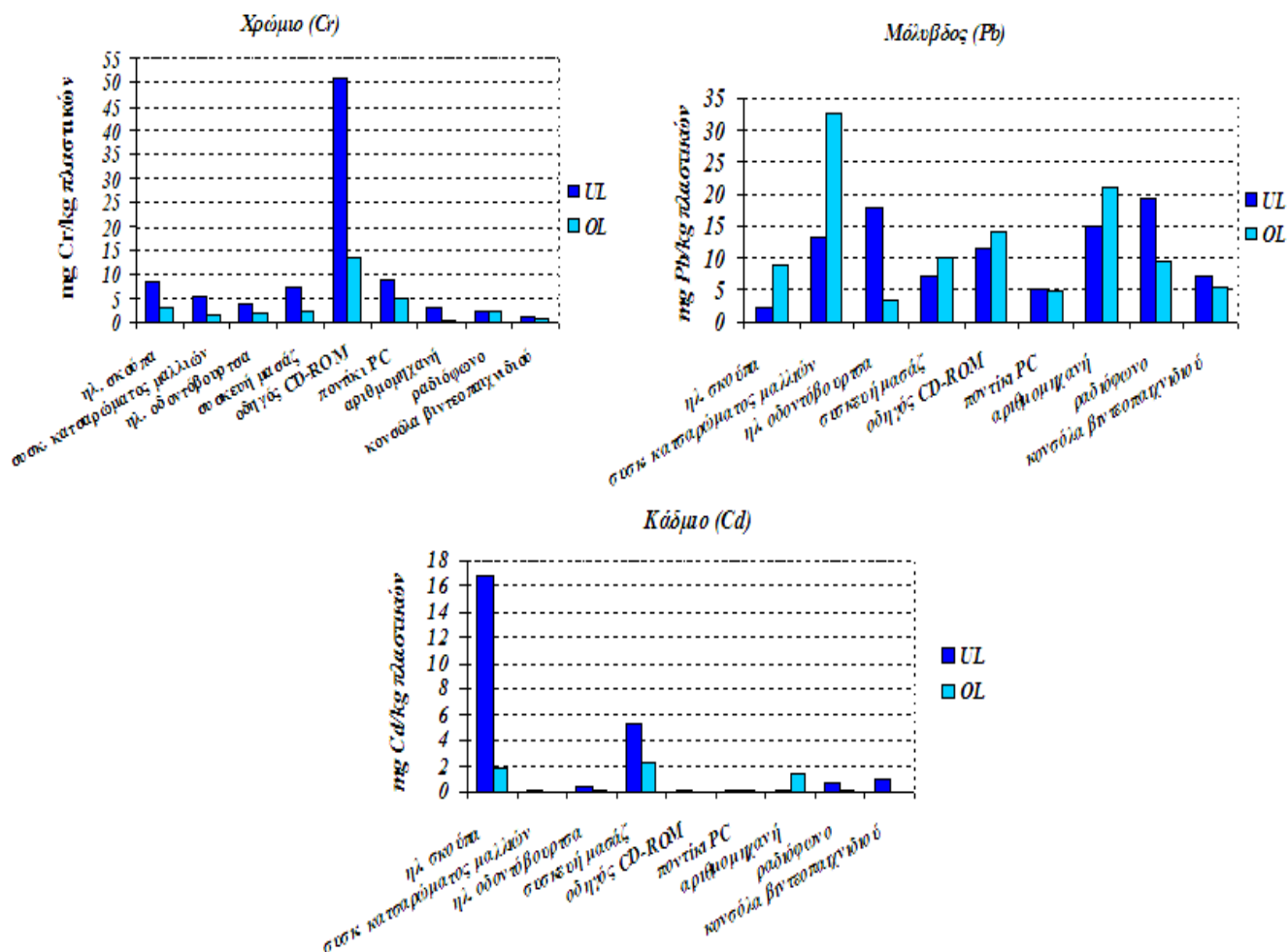
\* ΣΦ: συνεισφορά μικρών ΑΗΗΕ επί του συνολικού ρυπαντικού φορτίου των MSW (ποσοστό %).

Από τα αποτελέσματα του AAS καθίσταται επίσης σαφές ότι, τουλάχιστον για τα «RoHS στοιχεία», το HXRF παρουσιάζει σταθερή τάση υπερεκτίμησης του περιεχομένου των στοιχείων αυτών στα εξεταζόμενα δείγματα, οφειλόμενη πιθανώς στους εγγενείς περιορισμούς της μεθόδου αυτής, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Προϋπάρχουσα βιβλιογραφία ενισχύει αυτή τη θέση [86]. Συνεπώς, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί αυτοί, ενώ τα αποτελέσματα της HXRF θα πρέπει πάντα να εξετάζονται με προσοχή, ειδικότερα στις περιοχές συγκεντρώσεων κοντά στα όρια κατωφλιού της RoHS. Στο σημείο αυτό έγκειται και η χρήση των αποτελεσμάτων της στον παραπάνω πίνακα μόνο για στοιχεία για τα οποία δεν υπήρχαν δεδομένα από την AAS.

Το γεγονός της αδυναμίας ανίχνευσης κάποιου από τα εν λόγω στοιχεία σε συγκεντρώσεις οι οποίες να ξεπερνούν τα όρια της RoHS, καθώς και το γεγονός ότι οι μετρούμενες τιμές σε καμία περίπτωση δεν είναι εξωφρενικά μεγαλύτερες αυτών που μετρήθηκαν στα υπολειμματικά οικιακά στερεά απόβλητα που εξετάστηκαν (με κάποιες βέβαια εξαιρέσεις), καθιστά ίσως άσκοπη την επιλεκτική απομάκρυνση οιωνδήποτε εκ των sWEEE από τα MSW. Ναι μεν ειδικά για τα κάδμιο, βρώμιο και νικέλιο είναι 3 τάξεις μεγέθους υψηλότερες και η συνεισφορά των πλαστικών και μόνο sWEEE στο ρυπαντικό φορτίο των MSW είναι σημαντικότερη, από την άλλη όμως μια τέτοια απόφαση συνεπάγεται μεγάλη αύξηση του κεφαλαιακού αλλά και του λειτουργικού κόστους μιας ανάλογης μονάδας. Ο διαχωρισμός πολύ μικρού μεγέθους συσκευών μέσω βάρους μικρότερου του ενός κιλού προϋποθέτει είτε την ύπαρξη εξειζητημένων διεργασιών – όπου προς το παρόν και δεν υφίστανται επαρκώς αποδοτικές – είτε την πρόσληψη επιπλέον προσωπικού ο οποίος θα απασχολείται με το χειρωνακτικό διαχωρισμό των sWEEE από το υπόλοιπο της τροφοδοσίας αποβλήτων. Αυτό ουσιαστικά αποκλείεται από την τωρινή γερμανική πραγματικότητα, όπου μονάδες επεξεργασίας υπολειμματικών MSW αναφέρεται ότι επιτυγχάνουν χωρίς προβλήματα τη συμμόρφωση προϊόντων και υπολειμμάτων των με τους αυστηρότερους περιβαλλοντικούς όρους που θέτει η εκάστοτε νομοθετική ρύθμιση. Επιπλέον, η χρηματοδότηση ερευνητικών προσπαθειών για την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διεργασιών διαχωρισμού φαντάζει μεν εύλογη, από την άλλη όμως ίσως είναι αδύνατη, δεδομένων των ευρημάτων της § 2.3.. Προτιμότερη κρίνεται η ευαισθητοποίηση-ενημέρωση του κοινού και βελτίωση της αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων ή μη συστημάτων χωριστής συλλογής μικρών ΑΗΗΕ από τη σκοπιά όμως κύρια της αειφόρου διαχείρισης και εξοικονόμησης φυσικών πόρων, όπως και της εκμετάλλευσης πρώτων υλών υψηλής αξίας, καθότι τα ΑΗΗΕ ουσιαστικά αποτελούν πολύτιμες πηγές αυτών (βλ. π.χ. εργασίες των Huisman et al. [91]).

Στη συνέχεια κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν τα ευρήματα μιας σύγκρισης που έλαβε χώρα αναφορικά με το ρυπαντικό φορτίο του κλάσματος μεγέθους κόκκων μεγαλύτερου και μικρότερου των 2 mm για εννέα δείγματα πλαστικών προερχόμενων από διαφορετικές συσκευές sWEEE. Η

«παρένθεση» αυτή εξυπηρετεί στην εξακρίβωση του κατά πόσον οι περιεχόμενοι στα δείγματα αυτά ρύποι κατανέμονται ομοιόμορφα ανάμεσα στα αντίστοιχα κλάσματα, εξυπηρετώντας έτσι στην περαιτέρω θεμελίωση της ακολουθούμενης μεθοδολογίας. Το διάγραμμα 72 παρουσιάζει τα αντίστοιχα αποτελέσματα.



**Διάγραμμα 72:** Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα κλάσματα μεγέθους κόκκων μεγαλύτερου (OL), και μικρότερου (UL) των 2 mm.

Σε όλα (σχεδόν) τα δείγματα που αφορούν στα Cr και Cd διαπιστώνεται ότι οι συγκεντρώσεις των στο μικρότερο κλάσμα είναι αρκετά υψηλότερες των αντίστοιχων που μετρήθηκαν στο μεγαλύτερο. Το αντίστροφο λαμβάνει χώρα όσον αφορά το μόλυβδο. Τεκμηριωμένη εξήγηση για το φαινόμενο αυτό δεν στάθηκε δυνατό να ανευρεθεί στην βιβλιογραφία που ερευνήθηκε. Παράγοντας ο οποίος πιθανά όμως συνέβαλλε αποτελεί το γεγονός ότι τα πλαστικά μιας συσκευής αλέσθηκαν όλα μαζί. Οπότε είναι πιθανό απαλλαγμένα από Cr και Cd πλαστικά να μην κατάφεραν να μειωθούν στο μεγαλύτερο μέρος των έως μεγέθους μικρότερου των 2 mm, ενώ το αντίστροφο να έλαβε χώρα για πλαστικά τα οποία περιείχαν Pb σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Είναι γνωστό ότι διαφορετικοί τύποι πλαστικών εμφανίζουν ανόμοια συμπεριφορά όταν υπόκεινται σε διεργασίες μείωσης μεγέθους (βλ. § 2.6.1.). Προς λεπτομερέστερη διερεύνηση του σημείου αυτού προτείνεται από τη μία η διεξαγωγή επιπλέον μετρήσεων για το κλάσμα μεγέθους κόκκων μεγαλύτερου των 2 mm, ενώ κρίνεται εύλογη η χρήση μύλου φυγοκέντρισης μετά την κοπτική μηχανή, με ταυτόχρονη χρήση υγρού αζώτου προς αύξηση της ψαθυρότητας των δειγμάτων πολυμερών και λήψη κόκκων μεγέθους σχεδόν αποκλειστικά μικρότερου των 0,5 mm όπως καταδεικνύει υφιστάμενη εμπειρία [30,92].

### 2.6.4.3. Σύγκριση με τη βιβλιογραφία

Στον πίνακα 56 παρουσιάζεται μια σύγκριση των τιμών των διαφόρων περιβαλλοντικών ρύπων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα πλαστικών ΑΗΗΕ κατά τη διάρκεια της παρούσας διατριβής με δημοσιευμένα δεδομένα προερχόμενα από μια ποικιλία ανάλογων εργασιών [30,85,87,89,93,94].

**Πίνακας 56:** Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής με τη βιβλιογραφία (συγκεντρώσεις σε mg/kg, μ.α.σ.: μη ανιχνεύσιμο σήμα).

Στοιχείο	Ιδία αποτελέσματα		Βιβλιογραφικά δεδομένα					
	HXRF	AAS	[30]	[93]	[94]	[89]	[85]	[87]
Pb	34	17,41	1.900	100-2.100	127-165	500-1.000	40-196	—
Cd	38	5,71	160	30-240	115-186	200-2.000	2,3-56	—
Hg	5,3	—	0,31	—	0,3-1,4	—	0,29-15	—
Cl	—	—	8.600	1.900-11.000	6.300-6.400	—	μ.α.σ.	—
Br	5.300	—	—	4.300-41.000	4.200-6.800	150-250.000	μ.α.σ.	έως 110.000
Ni	480	—	1.300	90-800	299-703	—	19-30	—
Zn	360	—	2.300	620-5.100	361-520	120-5.000	187-269	—
Cu	570	—	18.000	80-105.000	—	—	391-406	—
Cr	100	8,38	900	60-380	34-71	—	—	—
Sb	2.000	—	3.500	2.000-13.000	—	1.000-80.000	—	—
Fe	780	—	11.000	440-3.300	1.483-1.673	—	—	—
Sn	140	—	2.300	60-2.100	139-267	500-3.000	—	—
V	430	—	—	35-900	—	—	—	—
Ti	8.000	—	—	1.500-18.400	4.187-4.767	300-90.000	—	—
As	21	—	—	9-46	έως 10	—	—	—

Από τον παραπάνω πίνακα καταδεικνύεται ότι είναι αρκετά δύσκολο να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά το ακριβές περιεχόμενο πλαστικών sWEEE σε διάφορα στοιχεία, διότι η σύσταση των ποικίλει πάρα πολύ λόγω της πληθώρας των εφαρμογών τους. Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις φτάνουν έως και το 5.000%, γεγονός όμως εν πολλοίς αναμενόμενο. Από την άλλη, δεδομένου ότι τα βιβλιογραφικά δεδομένα αφορούν σε αναλύσεις που διεξήχθησαν παλαιότερα του 2001 – με εξαίρεση τα της [85] που είναι του 2006 – παρατηρείται ότι οι τιμές που εξήχθησαν από αυτήν την εργασία κινούνται στην κατώτερη περιοχή του φάσματος συγκεντρώσεων που παρουσιάζεται. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει για τα περισσότερα στοιχεία μια έντονη τάση μείωσης της χρήσης επικίνδυνων προσθέτων σε πλαστικά ΗΗΕ, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η σύσταση των εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία των, η οποία όπως αναφέρεται αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, αντικατοπτρίζοντας νέες τάσεις στον τομέα της παραγωγής και της επιλογής υλικών [55].

Αξίζει επίσης να επισημανθεί ότι οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε δείγματα τα οποία ελήφθησαν υπό τελείως διαφορετικές συνθήκες και αναφέρονται σε ποικίλες μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Θα ήταν λοιπόν συνετό η σύγκριση μεταξύ των να γίνεται με προσοχή. Οι [30,89,93,94] εκθέτουν τιμές για δείγματα προερχόμενα από το ρεύμα εξόδου μονάδων ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, βασιζόμενες σε αναλύσεις πραγματοποιηθείσες για έναν πολύ μεγάλο όγκο πλαστικών με διαφορετική προέλευση από αυτήν των sWEEE της παρούσας εργασίας. Χαρακτηριστικά στην [30] αναφέρεται ότι τα sWEEE αποτελούν ένα υπερβολικά ετερογενές ρεύμα αποβλήτων για να αναλυθούν ως έχουν, προτιμήθηκε έτσι δειγματοληψία από το αντίστοιχο ομογενές ρεύμα εξόδου μονάδας διαχείρισης ΑΗΗΕ – μεθοδολογία σαφώς αντίστροφη αυτής που εφαρμόστηκε από την παρούσα διατριβή. Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν οι ερευνητικές μελέτες που παρατηρούνται για την ανάπτυξη αποτελεσματικών αναλυτικών διαδικασιών για την στοιχειακή ανάλυση μιας ποικιλίας ουσιών, κυρίως BFRs, σε πλαστικά ΑΗΗΕ, βλ. π.χ. τα άρθρα [92,95-98].

## 2.7. Συμπεράσματα & προοπτικές

### 2.7.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή περιγράφηκε η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα μιας ενδελεχούς εξέτασης που σαν αντικείμενο της είχε την ποσοτικοποίηση των ανακυκλώσιμων υλικών και τον προσδιορισμό των επικίνδυνων ουσιών και παρασκευασμάτων σε μικρά απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, προερχόμενα από το ρεύμα των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων της πόλης της Δρέσδης.

Σαν πρώτο βήμα εκτιμήθηκε η σύσταση των MSW της πόλεως σε μικρά ΑΗΗΕ, ενώ ταυτόχρονα εξακριβώθηκε το ποια προϊόντα και κατηγορίες ΗΗΕ συνεισέφεραν τα πλείστα στη συνολική σύσταση των. Στη συνέχεια μετρήθηκαν φυσικές και λειτουργικές παράμετροι, προς εξακρίβωση του εάν δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια διαχωρισμού αναλόγων διεργασιών, ενώ προσδιορίστηκαν τα κυριότερα κλάσματα υλικών από τα οποία αποτελούνται τα μικρά ΑΗΗΕ, επιτρέποντας έτσι την εκτίμηση διαφορετικών σεναρίων ανακύκλωσης. Προσδιορίστηκε επίσης το ρυπαντικό φορτίο βάσης των υπολειμματικών οικιακών αποβλήτων του δείγματος, με στόχο την εκτίμηση της συνεισφοράς των sWEEE σε αυτό, μέσω φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης, χρωματογραφίας ιοντοεναλλαγής και φασματομετρίας φθορισμού ακτινών Χ. Αντιστοίχως, το περιεχόμενο στα σπουδαιότερα βαρέα μέταλλα και αλογόνα επιλεχθέντων κατασκευαστικών στοιχείων των sWEEE προσδιορίστηκε ποιοτικά και ποσοτικά μέσω φορητής φασματομετρίας φθορισμού ακτινών Χ, καθώς και φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης.

Από τα ευρήματα της παρούσας εργασίας διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- ☞ Σε έναν όγκο MSW συνολικής μάζας περίπου ίσης με 15 τόνους ανεβρέθηκαν μικρά ΑΗΗΕ σε ποσοστά που κυμάνθηκαν μεταξύ 0,97 και 1,87% κ.β., με το μέσο όρο για τις 3 περιοχές που μελετήθηκαν να ανέρχεται συνολικά στο 1,27% κ.β.. Ομοίως για τις μπαταρίες, το ποσοστό των ανήλθε στο 0,04% κ.β., ενώ διαπιστώθηκαν αυξητικές τάσεις αναφορικά με την απόρριψη sWEEE στα MSW με την πάροδο των ετών.
- ☞ Μεταξύ των ανευρεθέντων sWEEE απαντήθηκαν σε μεγαλύτερα ποσοστά μικρές οικιακές συσκευές και καταναλωτικά είδη. Επίσης, μεγάλο μέρος του ΑΗΗΕ που βρέθηκε στα MSW συνιστά εξοπλισμός που εξαιρείται της οδηγίας, μεμονωμένα κατασκευαστικά στοιχεία και άλλα. Το ποσοστό των αγγίζει συνολικά το 50% κ.β.
- ☞ Η επαναχρησιμοποίηση ολόκληρων συσκευών ή εξαρτημάτων ουσιαστικά αποκλείεται. Το 52% του δείγματος αποτελείται από σχεδόν κατεστραμμένες συσκευές. Εκτιμάται επίσης ότι δεν υπάρχουν επαρκή κίνητρα προς επαναχρησιμοποίηση ακόμη και κάποιων συσκευών υψηλής υπολειμματικής αξίας που έχουν υποστεί χαμηλές βλάβες λόγω της ρυπαρότητας και μεγάλης ηλικίας των.
- ☞ Ιδιότητες όπως σχήμα, βάρος, όγκος ή επιφάνεια προβολής παρουσιάζουν πολύ μεγάλο εύρος διακύμανσης. Το βάρος π.χ. κυμαίνεται μεταξύ 0,17 g και 5,35 kg, με μέση τιμή που φτάνει τα ~832 g. Συν τοις άλλοις, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι δύσκολο να αναγνωρισθούν από τις εκάστοτε διεργασίες διαχωρισμού λόγω της φθοράς που υπόκεινται τα sWEEE στα MSW. Συνεπώς, δεν δύνανται να χρησιμοποιηθούν από αυτόματες διεργασίες ως μηχανικά κριτήρια διαχωρισμού προς απομάκρυνση των sWEEE από το ρεύμα των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων. Αμφίβολη είναι και η ανεύρεση άλλων σχετικών παραμέτρων οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προς την κατεύθυνση αυτή.
- ☞ Το μεγαλύτερο και σημαντικότερο κλάσμα υλικών των μικρών ΑΗΗΕ αποτελούν τα διάφορα πολυμερή, στα οποία αντιστοιχεί πάνω από το ένα τρίτο της ολικής μάζας του δείγματος. Τα ηλεκτρ(ον)ικά εξαρτήματα αντιπροσωπεύουν το εν τέταρτο του συνολικού βάρους, ενώ και το μερίδιο των σιδηρούχων μετάλλων είναι σημαντικό. Μη διαχωρίσιμοι σύνδεσμοι, PWBs, μη σιδηρούχα μέταλλα και καλώδια απαντώνται σε χαμηλότερα μεν, σημαντικά δε ποσοστά.



- ☞ Οι κατηγορίες ΗΗΕ οι οποίες κυριολεκτικά κυριαρχούνται από τα πλαστικά υλικά είναι οι 2 και 7. Στις άλλες το μερίδιο των είναι πάνω-κάτω σταθερό (~25-30%), εξαιρουμένης της 1 που κυριαρχήθηκε από τα σιδηρούχα μέταλλα. Επισημαίνεται το μεγάλο ποσοστό ηλεκτρικών (κυρίως) και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων σε ΗΗΕ των κατηγοριών 6, 4, αλλά και 1, ενώ μη διαχωρίσιμοι σύνδεσμοι απαντήθηκαν ως επί το πλείστον σε προϊόντα των κατηγοριών 2 και 3. PWBs υπήρχαν σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες, αλλά όπως αναμενόταν κυρίως στα ICT.
- ☞ Τα δύο τρίτα (76 εκ των 115 συσκευών) των ΑΗΗΕ του δείγματος πληρούν έστω και ένα κριτήριο επιλεκτικής επεξεργασίας βάσει του παραρτήματος II της οδηγίας. Τα μεγαλύτερα ποσοστά παρατηρούνται σε προϊόντα ICT και παιχνίδια, όπου σχεδόν πάντοτε απαιτείται η απομάκρυνση ενός ή περισσοτέρων κατασκευαστικών στοιχείων, ενώ και η πλειονότητα των μικρών οικιακών συσκευών και καταναλωτικών ειδών διέπεται από την υποχρέωση αυτή.
- ☞ Η αύξηση της χωριστής συλλογής των sWEEE, εκτρέποντας τα από τα MSW, δύναται να δυσχεραίνει τη διαχείριση και ανακύκλωση των, καθότι τα δύο τρίτα των συσκευών χρίζουν επιλεκτικής επεξεργασίας. Τούτο συνεπάγεται αυξημένο κάματο και εργατικό κόστος, καθώς μπαταρίες, PWBs και εξωτερικά καλώδια θα πρέπει να απομακρύνονται από ένα πολύ μεγάλο πλήθος αποβλήτων προϊόντων με μέσο βάρος μικρότερο από 850 g.
- ☞ Μονάχα το 6,8% κ.β. των πλαστικών ΑΗΗΕ στο δείγμα της παρούσας εργασίας έφερε κάποια επισήμανση για τον τύπο του πολυμερούς που χρησιμοποιούνταν. Στο 87% των περιπτώσεων υπήρχε ταύτιση ανάμεσα στο αποτέλεσμα της NIR και την επισήμανση. Το ήμισυ των πλαστικών είναι μαύρου χρώματος, αποκλείοντας έτσι δυνητική αναγνώριση των με την NIR.
- ☞ Συνολικά αναγνωρίστηκαν από την NIR 15 διαφορετικοί τύποι πλαστικών. Το ABS είναι το σημαντικότερο κλάσμα, με τα PP και PS να ακολουθούν. Τα PC και PVC συνιστούν έκαστο ~5% κ.β. της σύστασης. Το ABS κάνει εντονότερη την παρουσία του στις μικρές οικιακές συσκευές και τα καταναλωτικά είδη. Το PP κατέχει σημαντικό μερίδιο στις κατηγορίες 1 και 2. Από την άλλη, το PS ενώ απουσιάζει σχεδόν στις 1 και 2 κυριαρχεί στα ICT προϊόντα.
- ☞ Ιδιαίτερα οικιακές συσκευές και τα παιχνίδια συνίστανται από ανοιχτόχρωμα, αναγνωρίσιμα πλαστικά. Σε προϊόντα ICT και καταναλωτικά είδη κυριαρχούν τα σκουρόχρωμα πολυμερή, μειώνοντας έτσι δραστικά τις δυνατές επιλογές διαχωρισμού και επακόλουθης ανακύκλωσης.
- ☞ Η σύσταση των ΑΗΗΕ είναι αυτή η οποία εν πολλοίς καθορίζει τη μέθοδο ανακύκλωσης που δύναται να εφαρμοστεί για να πληρωθούν οι ποσοτικοί στόχοι της οδηγίας. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και τα πλαστικά των. Για τις παραδοχές του σεναρίου αξιοποίησης και ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ του δείγματος, οι αξιώσεις του άρθρου 7 καλύπτονται πλήρως για τις κατηγορίες 2, 6 και 7. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα πλαστικά των ήταν σε μεγάλο ποσοστό αναγνωρίσιμα από την NIR, εξυπηρετώντας έτσι την πλήρη μηχανική ανακύκλωση των. Από την άλλη, το αντίθετο συνέβη για τα προϊόντα των κατηγοριών 3 και 4.
- ☞ Πραγματοποιηθείσες με τα AAS, IEC και XRF αναλύσεις προσδιόρισαν το ρυπαντικό φορτίο βάσης των MSW για τους σημαντικότερους ρύπους που δύνανται να απαντηθούν σε αυτά: βαρέα μέταλλα (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) και αλογόνα (Cl, Br). Τα αποτελέσματα βρίσκονται εντός του εύρους τιμών που αναφέρονται από άλλες επιστημονικές εργασίες που άπτονται του θέματος αυτού, ενώ η αναπαραγωγισιμότητα των μετρήσεων κινήθηκε σε αποδεκτά πλαίσια για το εξαιρετικά ετερογενές ρεύμα των υπολειμματικών οικιακών στερεών αποβλήτων.
- ☞ Οι αναλύσεις με την HXRF επικεντρώθηκαν στα στοιχεία τα οποία διέπονται των απαγορεύσεων της RoHS. Ωστόσο, το ενδιαφέρον κατευθύνθηκε και προς στοιχεία με τοξικολογική σημασία ή στοιχεία που αναμενόταν σε μεγάλη συχνότητα στα δείγματα. Λόγω του μεγάλου πλήθους δειγμάτων (161) που αναλύθηκαν, πιστεύεται ότι τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής για τη συχνότητα στην οποία απαντώνται και το εύρος συγκεντρώσεων των εν λόγω στοιχείων αποδίδουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης όσον αφορά τα πλαστικά ΑΗΗΕ. Ένα πολύ μικρό, μη αμελητέο όμως, ποσοστό των δειγμάτων πλαστικών περιείχε Cd και

Pb σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου. Η συγκέντρωση ολικού Br ή Cr ξεπερνά κι αυτή το όριο σε κάποια δείγματα. Όμως τα αποτελέσματα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν με προσοχή, καθότι απεικονίζουν ολικό βρώμιο ή χρώμιο στο δείγμα, δεν μπορούν συνεπώς να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πορισμάτων για τα PBBs, PBDEs ή το Cr(VI). Οι τιμές για τα Br και Sb καταδεικνύουν επίσης ότι τα μισά περίπου δείγματα περιείχαν BFRs και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε  $Sb_2O_3$  σαν συνεργιστικό FR.

- ☞ Η συγκέντρωση οποιουδήποτε προσθέτου στα πλαστικά ΑΗΗΕ δύναται να κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Τα στοιχεία Cd, Pb, Hg, Cr, As, V, Sn, Bi, Se και Au ανιχνεύθηκαν σε συγκεντρώσεις σχεδόν πάντοτε μικρότερες του 0,1% κ.β., ενώ απεναντίας τα Br, Sb, Zn, Cu, Fe και Ti φτάνουν ή ξεπερνούν το 10% κ.β.. Η μέση συγκέντρωση Br υπερβαίνει κατά πολύ αυτή των άλλων στοιχείων, και ανέρχεται συνολικά στο 0,53% κ.β. της μάζας των δειγμάτων.
- ☞ Οι αναλύσεις με την AAS επικεντρώθηκαν σε βαρέα μέταλλα που διέπονται των απαγορεύσεων της RoHS. Η πλέον επιβαρημένη σε Cr κατηγορία είναι η 3<sup>η</sup>, ακολουθούμενη, με διαφορά, από τα παιχνίδια και τις μικρές οικιακές συσκευές. Αναφορικά με το μόλυβδο, CE, ICT και small HH εμφανίζονται ως οι κατηγορίες στα πλαστικά των οποίων περιέχεται το στοιχείο αυτό σε μεγαλύτερο βαθμό. Τέλος, Cd απαντάται κύρια στα CE και τις μικρές οικιακές συσκευές και σε πολύ μικρότερο βαθμό για συσκευές των υπολοίπων κατηγοριών. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι τα πλέον επιβαρημένα σε ρύπους πλαστικά εφαρμόζονται στις κατηγορίες 4 και 2, ενώ ακολουθούν κατά πόδας τα προϊόντα ICT και τα παιχνίδια.
- ☞ Πάντως, για όλα τα δείγματα πλαστικών διαφορετικών συσκευών sWEEE που αναλύθηκαν, σε κανένα δεν ανιχνεύθηκε κάποιο από τα εν λόγω στοιχεία σε συγκεντρώσεις οι οποίες να υπερβαίνουν τα όρια της RoHS για την παρουσία των σε ομοιογενή υλικά. Συνεπώς διαφαίνεται ότι το γεγονός και μόνον της θεσμοθέτησης της RoHS οδήγησε τους OEMs στην εξάλειψη των διεπόμενων από αυτήν βαρέων μετάλλων στα προϊόντα τους. Άνω του 80% των συσκευών ήταν ηλικίας 1 έως 5 ετών, παρήχθησαν δηλαδή προτού ισχύσουν οι περιορισμοί αυτής. Οι OEMs φρόντισαν όπως γίνεται προφανές να προσαρμοσθούν στις απαιτήσεις της προτού αυτές καταστούν απολύτως υποχρεωτικές.
- ☞ Το γεγονός της αδυναμίας ανίχνευσης κάποιου από τα εν λόγω στοιχεία σε συγκεντρώσεις οι οποίες να ξεπερνούν τα όρια της RoHS, καθώς και το γεγονός ότι οι μετρούμενες τιμές σε καμία περίπτωση δεν είναι υπερβολικά μεγαλύτερες αυτών που μετρήθηκαν στα οικιακά απόβλητα (με την εξαίρεση των Br, Cd και Ni) καθιστά ίσως άσκοπη την επιλεκτική απομάκρυνση οιασδήποτε εκ των sWEEE από τα MSW. Πάντως, η συνεισφορά των μεν στο ολικό ρυπαντικό φορτίο των MSW ενώ είναι σημαντικότερη για τα βρώμιο, νικέλιο και κάδμιο, για το μόλυβδο ανέρχεται μόλις και μετά βίας στο 0,06%. Προτιμότερη κρίνεται η ευαισθητοποίηση-ενημέρωση του κοινού και βελτίωση της αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων ή μη συστημάτων χωριστής συλλογής (μικρών) ΑΗΗΕ από τη σκοπιά όμως της αειφόρου διαχείρισης και εξοικονόμησης φυσικών πόρων, όπως και της εκμετάλλευσης πρώτων υλών υψηλής αξίας.
- ☞ Προς υπολογισμό της συνεισφοράς δεν συμπεριλήφθηκε όμως το σημαντικό ρυπαντικό φορτίο των μπαταριών που βρέθηκαν στα sWEEE, αλλά και των υπολοίπων κλασμάτων υλικών που τα απαρτίζουν. Οι παραδοχές αυτές πιθανότατα μειώνουν κατά πολύ το ποσοστό της συμβολής των μικρών ΑΗΗΕ στο συνολικό ρυπαντικό φορτίο των MSW.
- ☞ Κατέστη σαφές ότι τουλάχιστον για τα «RoHS στοιχεία» το HXRF παρουσιάζει σταθερή τάση υπερεκτίμησης του περιεχομένου των στα δείγματα, οφειλόμενη πιθανώς στους εγγενείς περιορισμούς της μεθόδου. Τα αποτελέσματα της HXRF θα πρέπει λοιπόν να εξετάζονται με προσοχή, ειδικότερα στις περιοχές συγκεντρώσεων κοντά στα όρια κατωφλίου της RoHS.
- ☞ Κρίνεται συνάμα λίαν εύλογη η χρήση μύλου φυγοκέντρισης μετά την κοπτική μηχανή κατά την προετοιμασία των δειγμάτων πλαστικών, με ταυτόχρονη χρήση υγρού  $N_2$  προς αύξηση της ψαθυρότητας των δειγμάτων πολυμερών και λήψη κόκκων μεγέθους μικρότερου των 0,5 mm.

☞ Είναι αρκετά δύσκολο να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά το ακριβές περιεχόμενο πλαστικών sWEEE σε διάφορα στοιχεία, διότι η σύσταση των ποικίλει πάρα πολύ λόγω της πληθώρας των εφαρμογών τους. Οι παρατηρούμενες με τη βιβλιογραφία αποκλίσεις φτάνουν έως και το 4.000%, γεγονός όμως εν πολλοίς αναμενόμενο. Οι τιμές που εξήχθησαν από την εργασία αυτή κινούνται στην κατώτερη περιοχή του φάσματος συγκεντρώσεων. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει για τα περισσότερα στοιχεία μια τάση μείωσης της χρήσης επικίνδυνων προσθέτων σε πλαστικά ΗΗΕ, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η σύσταση των εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία των.

### 2.7.2. Προοπτικές

Συνεπεία των παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη την έντονα αυξητική τάση απόρριψης sWEEE στα οικιακά απόβλητα δύνανται να πραγματοποιηθούν ποικίλες προτάσεις όσον αφορά τα εξής:

- Βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας των υπαρχόντων συστημάτων χωριστής συλλογής μικρών ΑΗΗΕ ή δημιουργία νέων, με γνώμονα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής. Κατ' αυτόν τον τρόπο εκμεταλλεύεται πληρέστερα το σημαντικό των περιεχόμενο σε ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ ταυτόχρονα επέρχεται εκτροπή των περιεχόμενων ρύπων από τα MSW, εξυπηρετώντας την περιβαλλοντικά ασφαλή διαχείριση των. Προς τούτο απαιτείται η διερεύνηση αποτελεσματικών μεθόδων ευαισθητοποίησης και κινητοποίησης του κοινού και η δημιουργία κατάλληλων υποδομών, ειδικά τα οφέλη τα οποία απορρέουν από τις αντίστοιχες οδηγίες θα υπονομευθούν σε μεγάλο βαθμό.
- Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συγκρινόμενα με τη βιβλιογραφία καταδεικνύουν ότι δεν υφίστανται επαρκή στοιχεία όσον αφορά τα ποσοστά των μικρών ΑΗΗΕ στα MSW, αλλά και την ακριβή των σύσταση για τα διάφορα υλικά που τα αποτελούν. Τα δεδομένα που παρατίθενται από διάφορες εργασίες διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ των. Επίσης, δεν δύνανται να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα όσον αφορά το περιεχόμενο των πλαστικών sWEEE σε επικίνδυνες ουσίες και παρασκευάσματα. Κρίνεται λοιπόν εύλογη η συστηματική, και όχι αποσπασματική ως μέχρι τώρα, διερεύνηση των σημείων αυτών, κάτι που θα οδηγήσει στην κάλυψη του ελλείμματος γνώσης που υφίσταται. Η κατάσταση που επικρατεί ιδιαίτερα στον ελλαδικό χώρο καθιστά επιτακτική μια τέτοια διερεύνηση.
- Τα προκύπτοντα δεδομένα θα είναι πολύτιμα αναφορικά με την εκτίμηση διαφορετικών επιλογών απόρριψης ή διαχείρισης και ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ, όσον αφορά τις δυνατότητες ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών και την εμπεριστατωμένη εκτίμηση της επικινδυνότητας των περιεχομένων ρύπων. Επιπλέον διερεύνηση απαιτείται και όσον αφορά την επίδραση των περιεχόμενων επικίνδυνων ουσιών στις διάφορες διεργασίες ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, ειδικότερα αναφορικά με τη δυνατότητα επιμόλυνσης καθαρών κλασμάτων στα ρεύματα εξόδου μιας μονάδας.
- Υφίσταται τεχνολογικό έλλειμμα σχετικά με την ανάπτυξη οικονομικά, αλλά και οικολογικά αποδοτικών διεργασιών προς απομάκρυνση των sWEEE από τα MSW. Βέβαια, βάσει των ιδίων τουλάχιστον αποτελεσμάτων, η επιλεκτική απομάκρυνση οιαδήποτε εκ των μεν από τα MSW είναι πιθανά άσκοπη, διότι μια τέτοια απόφαση συνεπάγεται μεγάλη αύξηση του κεφαλαιακού και του λειτουργικού κόστους μιας ανάλογης μονάδας, ενώ ιδιότητες όπως σχήμα, βάρος, όγκος ή επιφάνεια προβολής παρουσιάζουν πολύ μεγάλο εύρος διακύμανσης.
- Η αξία και το εύρος των εφαρμογών ανακυκλωμένων πολυμερών αυξάνει κατά πολύ μέσω του διαχωρισμού ανάλογα με τον τύπο των, ενώ η αναγνώριση και απομάκρυνση των περιεχόντων υψηλές συγκεντρώσεις βρωμιωμένων (και χλωριωμένων) προσθέτων δύναται να συμβάλει τα μέγιστα προς αυτήν την κατεύθυνση. Προς τούτο βέβαια απαιτούνται γρήγορες και απλές τεχνικές ανίχνευσης που μπορούν να εφαρμοστούν σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ένας αριθμός δυνατών συνδυασμών αξιολογούνται από τη δημοσίευση [87]. Ακόμη και στην περίπτωση της ύπαρξης ασύμβατων μεταξύ των προσθέτων στα ανακυκλούμενα πολυμερή, υφίστανται χημικές ενώσεις οι

οποίες μπορούν να αναβαθμίσουν-τροποποιήσουν τις ιδιότητες των σε επίπεδα παραπλήσια των παρθένων πολυμερών με ανεκτό επιπρόσθετο κόστος [87].

- Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι standards βαθμονόμησης για (H)XRF δεν υπάρχουν για ανάλυση πλαστικών ΗΗΕ ή σύνθετων ηλεκτρ(ον)ικών κατασκευαστικών στοιχείων. Συν τοις άλλοις, η ποικιλία προϊόντων ΗΗΕ και η πληθώρα εφαρμογών, όπως και το μεγάλο εύρος προσθέτων στα πλαστικά των καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη αξιόπιστων αναλυτικών μεθόδων προσδιορισμού ενός μεγάλου φάσματος στοιχείων σε αυτά. Η νόρμα DIN EN 62321, παρότι βρίσκεται ακόμη ως προσχέδιο, αναμένεται να βοηθήσει στην κατεύθυνση αυτή [99].

Τέλος, σε γενικές γραμμές η χωριστή συλλογή, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των μικρών αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αποδεικνύεται πολύ δύσκολη και ασύμφορη. Όμως, το πρόβλημα που συνιστούν αναμένεται στο άμεσο μέλλον να λάβει ακόμη μεγαλύτερες διαστάσεις (βλ. § 1.3. και 1.4.1.2.). Συνεπεία αυτού κρίνεται ότι οι διάφοροι αρμόδιοι φορείς θα πρέπει να λάβουν τα αντίστοιχα μέτρα αντί να το αγνοούν. Είναι προτιμότερο να υφίσταται ένα τεκμηριωμένο και στέρεα δομημένο «πλάνο δράσης» αντί μιας βεβιασμένης, καθυστερημένης αντιμετώπισης για την επίτευξη απλώς και μόνον κάποιων εκ των στόχων της οδηγίας 2002/96/ΕΚ, οι οποίοι και αναμένεται να γίνονται αυστηρότεροι με την πάροδο του χρόνου. Αν δεν υιοθετηθεί μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση των μικρών ΑΗΗΕ, θα συνεχίσουν να αντιμετωπίζονται με αποσπασματικό τρόπο, ο οποίος με μαθηματική ακρίβεια οδηγεί μακροπρόθεσμα σε μεγαλύτερες δαπάνες και μειώνει τις ευκαιρίες για την ανάπτυξη καινοτομιών, εμποδίζοντας τελικά την επίτευξη μιας βιώσιμης, αιεφόρου ανάπτυξης.

Τα παραπάνω εμφανίζονται να ταιριάζουν πλήρως στη σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα διαχείρισης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων. Βέβαια, και στην Ελλάδα έχουν εκδοθεί τα κατάλληλα νομοθετήματα προς εφαρμογή των ευρωπαϊκών οδηγιών, σύμφωνα με τα οποία θα πρέπει να αλλάξουν πολλά στον τρόπο διαχείρισης των ΑΗΗΕ από τους Έλληνες. Παρατηρείται όμως ακόμη σχετικά μικρή ως ανύπαρκτη δραστηριότητα από τους αρμόδιους φορείς, την τοπική αυτοδιοίκηση, ακόμη και τα πανεπιστήμια, με σχετικά αυξανόμενο πάντως ενδιαφέρον από κάθε εμπλεκόμενη πλευρά. Παράλληλα, υπάρχει μικρή αλλά αυξανόμενη δραστηριότητα από ιδιωτικές εταιρείες, κυρίως όμως σχετικά με τη συλλογή και απόσυρση μονάχα μπαταριών και συσκευών κινητής τηλεφωνίας. Στην Ελλάδα του 2006 διαπιστώθηκε ακόμη μια κατάσταση επικίνδυνης αδράνειας, όσον αφορά την ευαισθητοποίηση των πολιτών, η οποία συνεπάγεται μεταξύ άλλων και άγνοια του τρόπου απόσυρσης των απορριπτόμενων από τους καταναλωτές συσκευών. Μέχρι πρόσφατα ελάχιστοι εκ των δήμων της ελληνικής επικράτειας είχαν δημιουργήσει κατάλληλα σημεία χωριστής συλλογής ηλεκτρονικών αποβλήτων για τους δημότες τους. Σε τούτο βέβαια συμβάλλει και η έλλειψη περιβαλλοντικής παιδείας του μέσου πολίτη, όπως και η καταφανής έλλειψη υποδομών συλλογής και ανακύκλωσης, φανερώνοντας την επιτακτική ανάγκη για προώθηση πρωτοβουλιών και κατάλληλη ενημέρωση, προς αναδιαμόρφωση της νοοτροπίας του πολίτη και την οργάνωση των κοινωνικών δομών. Συν τοις άλλοις, για το 2007 η χώρα έχει την υποχρέωση να συλλέξει χωριστά και να ανακυκλώσει περί τους 44.000 τόνους ΑΗΗΕ. Με βάση τα έως τώρα στοιχεία, ο στόχος αυτός είναι απίθανο να επιτευχθεί, εν αντιθέσει με άλλα κράτη όπου έχει ήδη ξεπεραστεί. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ευρύτερη άγνοια και έλλειψη ενδιαφέροντος του κοινού, αλλά κυρίως την αδιαφορία των αρμόδιων τοπικών και κρατικών φορέων της χώρας, όσον αφορά όχι μόνον τα μικρά ΑΗΗΕ, στα οποία επικεντρώνεται η παρούσα διατριβή, αλλά συνολικά το ρεύμα των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εν γένει, ένα φλέγον θέμα το οποίο και αναζητά επείγοντως επίλυση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οδηγία 2002/96/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 2003 σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), (13.02.2003), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 37/24-L 37/38
2. Προεδρικό διάταγμα 117 (05/03/2004) Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Α, Αρ. Φύλλου 82, σελ. 4297-4312
3. Widmer R, Oswald-Krampf H, Sinha-Khettrival D, Schnellmann M, Böni H (2005) Global perspectives on e-waste, *Environmental Impact Assessment Review* 25:436-458
4. Αβραμίκος Η (2005) Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών & Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Αθήνα
5. Empa (2005) The e-Waste Guide, [www.ewaste.ch/facts\\_and\\_figures/](http://www.ewaste.ch/facts_and_figures/)
6. Basel Action Network, Silicon Valley Toxics Coalition (February 2002) Exporting Harm, The High-Tech Trashing of Asia
7. Οδηγία 2003/108/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 8<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2003 για τροποποίηση της οδηγίας 2002/96/EK σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), (31.12.2003), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 345/106-L 345/107
8. European Environment Agency (January 2003) Waste from electrical and Electronic Equipment, Quantities, Dangerous Substances and Treatment Methods, EEA, Copenhagen
9. United Nations Environment Programme, E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use, [www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew\\_ewaste.pdf](http://www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_ewaste.pdf)
10. United Nations Environment Programme, Global Resource Information Database, The Great E-Waste Recycling Debate, [www.grid.unep.ch/waste/html\\_file/36-37\\_ewaste.html](http://www.grid.unep.ch/waste/html_file/36-37_ewaste.html)
11. Wilkinson S, Duffy N, Crowe M (May 2001) Waste from Electrical and Electronic Equipment in Ireland: a Status Report, Environmental Protection Agency, Ireland
12. Matthews HS, McMichael FC, Hendrickson CT, Hart DJ (July 1997) Disposition & End-of-Life Options for Personal Computers, Green Design Initiative Technical Report #97-10, Carnegie Mellon University
13. Hilty LM (2005) Electronic waste-an emerging risk ?, *Environmental Impact Assessment Review* 25:431-435
14. International Copper Study Group (May 2003) ICSG Information Circular Waste Electric & Electronic Equipment (WEEE), ICSG, Lisbon, Portugal
15. Hilty LM, Wäger P, Lehmann M, Hirschier R, Ruddy T, Binswanger M (March 2004) The future impact ICT on environmental sustainability. Fourth Interim Report. Refinement and Quantification, Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Seville, Spain
16. Marletta P, Pasquini A, Stacey G, Vicario L (May 2004) D14: Book Manuscript, Chapter 3: The Environmental Impact of ICTs, The e-Living Consortium, [www.eurescom.de/e-living](http://www.eurescom.de/e-living)
17. Schmidt CW (2002) e-Junk Explosion, *Environmental Health Perspectives* 110:A188-A194
18. Cui J, Forssberg E (2003) Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review, *Journal of Hazardous Materials* B99:243-263
19. European Topic Centre on Resource and Waste Management (ETC/RWM), Topic Centre of European Environment Agency (2003) Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), <http://waste.eionet.eu.int/waste/6>
20. Kang HY, Schoenung JM (2005) Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options, *Resources Conservation & Recycling* 45:368-400
21. US Environmental Protection Agency, eCycling, [www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/recycle/ecycling/](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/recycle/ecycling/)
22. Silicon Valley Toxics Coalition (2005) Just Say No to E-Waste: Background Document on Hazards and Waste From Computers, [www.svtc.org/cleancc/pubs/sayno.htm](http://www.svtc.org/cleancc/pubs/sayno.htm)
23. Streicher-Porte M, Widmer R, Jain A, Bader HP, Scheidegger R, Kytzia S (2005) Key drivers of the e-waste recycling system: Assessing and modelling e-waste processing in the informal sector in Delhi, *Environmental Impact Assessment Review* 25:472-491

24. Sinha-Khettrival D, Kraeuchi P, Schwanninger M (2005) A comparison of electronic waste recycling in Switzerland and in India, *Environmental Impact Assessment Review* 25:492-504
25. Liu X, Tanaka M, Matsui Y (2006) Electrical and electronic waste management in China: progress and the barriers to overcome, *Waste Management & Research* 24:92-101
26. Williams E (2005) International Activities on E-Waste and Guidelines for Future Work, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Workshop on Material Cycles and Waste Management in Asia*, National Institute of Environmental Sciences, Tsukuba, Japan, [www.it-environment.org](http://www.it-environment.org)
27. Herrmann C, Eyerer P, Gediga J (2004) Economic and Ecological Material Index for End-of-Life and Design of Electronic Products, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* 27:2-8
28. Dais D (1999) Development of an integrated management scheme for recycling of waste from electrical and electronic equipment (WEEE), the case study of Greece, European Postgraduate Program in Environmental Management (EAEME), Athens, Greece.
29. Sodhi MS, Reimer B (2001) Models for recycling electronics end-of-life products, *OR, Spectrum* 23:97-115
30. Morf LS, Tremp J, Gloor R, Schupisser F, Stengele M, Taverna R (2006) Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste – Actual levels in Switzerland, *Waste Management* xx:xxx-xxx (*Article in Press*)
31. Harant M (Mai 2001) Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, Germany
32. Müller B, Giegrich J (Juni 2005) Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland, Fallbeispiel Elektro- und Elektronikaltgeräten, IFEU, Heidelberg, Germany
33. Verband Kunststoffzeugende Industrie (May 2004) Plastics in Electrical and Electronic Equipment, VKE, Frankfurt a. M., Germany
34. Wolf M (2001) Flammenschutzmittel und Schwermetalle in Kunststoffen, *Dokumentation der BayLfU Fachtagung Umweltrelevante Inhaltsstoffe in elektrischer und elektronischer Altgeräte (EAG) bzw. Bauteile und Hinweise zu deren fachgerechten Entsorgung*, 25 September 2001, Augsburg, Germany, pp. 34-40
35. AEA Technology (March 2004) WEEE & Hazardous Waste, A report produced for DEFRA
36. Απόφαση 2001/118/EK της Επιτροπής της 16<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 2001 για τροποποίηση της απόφασης 2000/532/EK όσον αφορά τον κατάλογο αποβλήτων (16.02.2001), Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L 47/1-L 47/31
37. Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency, Environment & Heritage Service (June 2003) Hazardous Waste: Interpretation of the definition and classification of hazardous waste, Technical Guidance WM2, Version 1.0
38. Νάκος Χ, Παπαδόπουλος Σ, Ράδου Μ, Χριστοφόρου Σ (Ιανουάριος 2005) Έκθεση για τη Διαχείριση των Επικίνδυνων Αποβλήτων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη
39. Οδηγία 2001/59/EK της Επιτροπής της 6<sup>ης</sup> Αυγούστου 2001 σχετικά με την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, για εικοστή όγδοη φορά, της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ του Συμβουλίου περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων που αφορούν την ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών (21.08.2001) Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L 225/1-L 225/333
40. United Nations Environment Programme & Secretariat of the Basel Convention (1989) Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal
41. Οδηγία 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 2003 σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (13.02.2003), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L37/19-L 37/23
42. Κουϊτζής Θ, Φυτιάνος Κ, Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ (1998) Χημεία Περιβάλλοντος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
43. Headwater Environmental Services Corporation (September 2002) Basel Convention PCB, PCT and PBB Technical Guidelines, 2<sup>nd</sup> draft, prepared for Environment Canada Toxics Pollution Prevention Directorate



44. UNEP Basel Convention Technical Guidelines (2005) Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with PCBs, PBBs or PCTs, Basel Convention Series .SBC Nr. 2005/2, Basel Convention, UNEP
45. European Commission, DG Environment (May 2005) Frequently Asked Questions on Directive 2002/95/EC on the Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) and Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), [europa.eu.int/comm/environment/waste/weee\\_index.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/waste/weee_index.htm)
46. Απόφαση 2005/618/EK της Επιτροπής, της 18<sup>ης</sup> Αυγούστου 2005, για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με την καθιέρωση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης για ορισμένες επικίνδυνες ουσίες στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (19.08.2005) Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L214
47. Basel Action Network (April 2004) Mobile Toxic Waste: Recent Findings on the Toxicity of End-of-Life Cell Phones
48. Papameletiou D (June 2000) Towards a European Solution for the Management of Waste from Electrical and Electronic Equipment, Institute for Prospective Technological Studies, Seville
49. Turbini LJ, Munie GC, Bernier D, Gamalski J, Bergman DW (2001) Examining the Environmental Impact of Lead-Free Soldering Alternatives, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* 24:4-9
50. Brandstötter M, Knoth R, Kopacek B, Kopacek P (2004) Case Study of a Printed-Wire-Board Concerning (Re-)Design for Environment, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* 27:26-32
51. Pecht M, Fukuda Y, Rajagopal S (2004) The Impact of Lead-Free Legislation Exemptions on the Electronics Industry, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* 27:221-232
52. Eveloy V, Ganesan S, Fukuda Y, Wu J, Pecht MG (2005) Are You Ready for Lead-Free Electronics?, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies* 28:884-894
53. Townsend TG, Vann K, Mutha S, Pearson B, Jang YC, Musson S, Jordan A (July 2004) RCRA Toxicity Characterization of Computer CPUs and Other Discarded Electronic Devices, Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida
54. Βάρβογλης Α (2001) Πορτρέτα των Χημικών Στοιχείων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο
55. Association of Plastics Manufacturers in Europe (February 2002) Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of-the-art combustion facilities, Technical Report
56. Lymberidi E (March 2001) Towards Waste-Free Electrical and Electronic Equipment, European Environmental Bureau (EEB), Brussels, Belgium
57. Boyce J, Lichtenvort K, Johansson G (2002) Monitor Disassembly & CRT Recycling as an Example for grEEEn Cost Management System, *Going Green, CARF Innovation 2002, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium, Brokerage Event and Environmental Exhibition*, 25-28 November 2002, Austria Center, Vienna, Austria
58. Lee CH, Chang CT, Fan KS, Chang TC (2004) An overview of recycling and treatment of scrap computers, *Journal of Hazardous Materials* B114:93-100
59. Lee CH, Hsi CS (2002) Recycling of Scrap Cathode Ray Tubes, *Environmental Science & Technology* 36:69-75
60. Musson SE, Jang YC, Townsend TG, Chung IH (2000) Characterization of Lead Leachability from Cathode Ray Tubes Using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure, *Environmental Science & Technology* 34:4376-4381
61. Λαζαρίδης Μ (2005) Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
62. Ρήγας Φ (1998) Επιστήμη & Τεχνολογία Περιβάλλοντος, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
63. Κανονισμός (ΕΚ) 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29<sup>ης</sup> Ιουνίου 2000 για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος (29.09.2000), Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L 244/1-L 244/24
64. Ρακιντζής ΝΘ (1998) Εγχειρίδιο Ραδιοχημείας και Ακτινοχημείας, 5<sup>η</sup> έκδοση, Παπασωτηρίου, Αθήνα

65. Απόφαση 2005/717/EK της Επιτροπής της 13<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005 για την τροποποίηση με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (15.10.2005), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 271/48-L 271/50
66. Απόφαση 2005/747/EK της Επιτροπής της 21<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005 για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (25.10.2005), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 280/18-L 280/19
67. Απόφαση 2006/310/EK της Επιτροπής της 21<sup>ης</sup> Απριλίου 2006 για τροποποίηση, με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σε ό,τι αφορά τις εξαιρέσεις ορισμένων εφαρμογών του μολύβδου (28.04.2006), Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 115/38-L 115/39
68. Darby L, Obara L (2005) Household recycling behaviour and attitudes towards the disposal of small electrical and electronic equipment, *Resources Conservation & Recycling* 44 :17-35
69. Janz A, Rotter S (2006) The Challenge of Recycling Small Waste Electrical and Electronic Appliances and Equipments, *ISWA Annual Congress 2006*, 1-5 October 2006, Copenhagen, Denmark
70. Waber U (2002) Elektronikschratt in der Schweiz 2001, BUWAL, Bern
71. Commission of the European Communities (June 2000) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Waste Electrical and Electronic Equipment, COM(2000) 347 final, Brussels
72. Rotter S, Janz A (2006) Analyse von Material- u. Aufbereitungskennzahlen für Elektronikschratt, *Tagungsband zur 8. DepoTech Konferenz*, 22-24 November 2006, Leoben, Österreich, VGE Verlag, Essen, pp. 203-210
73. Seddigh F, Büll W, Rödiger T (April 1996) Stand der Entsorgung von elektrischen u. elektronischen Kleingeräten in der Bundesrepublik Deutschland, Umweltbundesamt, Berlin
74. ARGUS – Statistik u. Informationssysteme in Umwelt u. Gesundheit (Oktober 2004) Kostenanalyse für ein Monitoring von NiCd-Batterien in festen Siedlungsabfällen, Umweltbundesamt, Berlin
75. Srocka M (Februar 2005) Materialzusammensetzung u. Verwertungspotentiale von mülltonnengängigen Elektro- u. Elektronikaltgeräten, Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, Deutschland
76. Sander K, Bünemann A, Zangl S, Bartnik S (Dezember 2004) Ermittlung von Verwertungskoeffizienten für die Fraktionen u. Bauteile zur Dokumentation von Quoten auf der Basis von Artikel 7 der EU-Richtlinie zur Verwertung von Elektroaltgeräten (WEEE), Umweltbundesamt, Berlin
77. Müller F (Juni 2005) Bestimmung des Schad- u. Wertstoffpotenzials in schwer aufschließbaren E-Schratt-Komponenten, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Deutschland
78. Scheirs J, Kaminski W (2006) Feedstock Recycling & Pyrolysis of Waste Plastics, Converting Waste Plastics into Diesel & Other Fuels, John Wiley & Sons, Chichester, UK
79. Bilitewski B, Rotter S, Schirmer M, Janz A (2005) Analytik in der Abfallwirtschaft, Institut für Abfallwirtschaft u. Altlasten, Technische Universität Dresden, Deutschland
80. Deutsches Institut für Normung DIN EN 14582 (März 2005) Charakterisierung von Abfällen, Halogen u. Schwefelgehalt, Sauerstoffverbrennung in geschlossenen Systemen u. Bestimmungsmethoden, Entwurf, Beuth Verlag, Berlin
81. Deutsches Institut für Normung DIN 38402-71 (November 2002) Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Allgemeine Angaben, Teil 71: Gleichwertigkeit von zwei Analysenverfahren aufgrund des Vergleiches von Analyseergebnissen und deren statistischer Auswertung, Vorgehensweise für quantitative Merkmale mit kontinuierlichem Wertespektrum, Beuth Verlag, Berlin
82. Rotter S (2002) Schwermetalle in Haushaltsabfällen, Potenzial, Verteilung u. Steuerungsmöglichkeiten durch Aufbereitung, Dissertation, 1. Auflage, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft u. Altlasten, Technische Universität Dresden, Deutschland

83. Marb C (2002) Stoffliche Zusammensetzung des Restmülls: Konzentrationen u. Frachten, *Fachtagung Restmüllanalysen – eine Grundlage eines nachhaltigen Stoffstrommanagements in der Abfallwirtschaft*, 05 Dezember 2002, Augsburg, Germany, pp. 54-67
84. Harant M (April 2002) Umweltrelevante Inhaltsstoffe in Elektro- u. Elektronikgeräten, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, Germany
85. Rotter S, Janz A, Bilitewski B (August 2006) Charakterisierung elektrischer u. elektronischer Altgeräte, Teil 2: Gerätekenzzahlen zur Ableitung von Erfassungs- u. Verwertungsstrategien, *Müll & Abfall* pp. 424-442
86. Shrivastava P, O'Connell S, Whitley A (2005) Handheld X-Ray Fluorescence: Practical Application as a Screening Tool to Detect the Presence of Environmentally-Sensitive Substances in Electronic Equipment, *Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment*, 16-19 May 2005, pp. 157-162
87. Freegard K, Morton R, Lund I, Huisman J, Studds P, Freer E (August 2005) Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers, Interim Report 2, The Waste & Resources Action Programme (WRAP), Banbury, UK
88. Piorek S (2005) Portable X-ray fluorescence analyzer for the first level screening of materials for prohibited substances, *Proceedings of the 2005 International Conference on Asian Green Electronics AGEC*, 15-18 March 2005, pp. 7-13
89. Fink H, Panne U, Theisen M, Niessner R, Probst T, Lin X (2000) Determination of metal additives and bromine in recycled thermoplasts from electronic waste by TXRF analysis, *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* 368:235-239
90. Electronic Industries Alliance (April 2005) Joint Industry Guide (JIG) Material Composition Declaration for Electronic Products, No. JIG-101, EIA, Arlington, VA, USA
91. Huisman J, Boks CB, Stevels ALN (2003) Quotes for environmentally weighed recyclability (QWERTY): concept of describing product recyclability in terms of environmental value, *International Journal of Production Research* 41:3649-3665
92. Riess M, Thoma H, Vierle O, van Eldik R (2000) Identification of flame retardants in polymers using curie point pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry, *Journal of Analytical & Applied Pyrolysis* 53:135-148
93. Vehlow J, Mark F (February 1997) Electrical & electronic plastics waste co-combustion with Municipal Solid Waste for energy recovery, Technical Paper, Association of Plastics Manufacturers in Europe
94. Association of Plastics Manufacturers in Europe & Verband Kunststoffherzeugende Industrie (November 1997) Feedstock recycling of electrical & electronic plastics waste (depolymerisation & conversion into syncrude), Technical Paper, APME, VKE
95. Pöhlein M, Llopis AS, Wolf M, van Eldik R (2005) Rapid identification of RoHS-relevant flame retardants from polymer housings by ultrasonic extraction and RP-HPLC/UV, *Journal of Chromatography A* 1066:111-117
96. Fink H, Panne U, Niessner R (2001) Analysis of recycled thermoplasts from consumer electronics by laser-induced plasma spectroscopy, *Analytica Chimica Acta* 440:17-25
97. Schlummer M, Brandl F, Mäurer A, van Eldik R (2005) Analysis of flame retardant additives in polymer fractions of waste of electric and electronic equipment (WEEE) by means of HPLC-UV/MS and GPC-HPLC-UV, *Journal of Chromatography A* 1064:39-51
98. Herrera M, Matuschek G, Kettrup A (2003) Fast identification of polymer additives by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry, *Journal of Analytical & Applied Pyrolysis* 70:35-42
99. Deutsches Institut für Normung DIN EN 62321 (2006) Verfahren zur Bestimmung von Bestandteilen der sechs Inhaltsstoffe (Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, polybromiertes Biphenyl, polybromierter Diphenylether), die in Produkten der Elektrotechnik einer Beschränkung unterworfen sind, Entwurf, VDE Verlag

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

## A-1 Διεσδυτικά υπολογιστικά συστήματα

Στο σημείο αυτό κρίνεται εύλογη μια συνοπτική αναφορά σε μελλοντικές επιδράσεις τις οποίες δύνανται να επιφέρουν τα διεσδυτικά υπολογιστικά συστήματα (Pervasive Computing, εφεξής PnC) στην από καιρού οραματιζόμενη «κοινωνία της πληροφορίας» (Information Society). Η παράθεση της υποπαραγράφου αυτής αποσκοπεί, μεταξύ άλλων, στην κατάδειξη των δυνητικών αποτελεσμάτων της αλματώδους τεχνολογικής ανάπτυξης της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών και της ολοένα ταχύτερης ‘εισβολής’ των στην ανθρώπινη ζωή, προβάλλοντας κύρια τις συνέπειες τις οποίες δύναται να επιφέρει στις μελλοντικές παραγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ (η αναφορά σε περαιτέρω πλευρές των επιδράσεων των PnC σε άλλους τομείς της ανθρώπινης ζωής, π.χ. μεταφορές, ξεφεύγει του σκοπού της παρούσας εργασίας).

Κατ’ αρχάς, ο όρος PnC αναφέρεται κυρίως στην ευρύτατη διάδοση της χρησιμοποίησης εξοπλισμού πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, έχοντας ως άμεσο αναμενόμενο αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των παραγόμενων, χρησιμοποιούμενων και απορριπτόμενων συσκευών [i]. Συν τοις άλλοις όμως, αναφέρεται και σε νέους, καινοτόμους τρόπους εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών στην καθημερινή ζωή. Συμπεριλαμβάνει την ελαχιστοποίηση του μεγέθους των ηλεκτρονικών συσκευών και την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και κατασκευαστικών στοιχείων σε μέχρι πρότινος μη ηλεκτρονικό εξοπλισμό, καθώς και την διάδοση της ασύρματης δικτύωσης, καθιστώντας τους υπολογιστές κυριολεκτικά πανταχού παρόντες στον γύρω μας κόσμο [ii]. Μια λίαν εύγλωττη διατύπωση των προαναφερθέντων αναφέρεται εύστοχα στην «καθημερινή μας ζωή παγιδευμένη σε ένα δίκτυο έξυπνων αντικειμένων» – εν αντιθέσει με τις περισσότερες από τις σημερινές συσκευές εξοπλισμού πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, τα PnC προϊόντα θα διαθέτουν αισθητήρες οι οποίοι και θα καθιστούν δυνατή τη συλλογή πληροφοριών από το γύρω περιβάλλον χωρίς την παρέμβαση του χρήστη [iii].

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, θεωρείται ότι η ολοένα αυξανόμενη, ταχεία διεύρυνση των PnC θα οδηγήσει σε δραματική χειροτέρευση των ήδη υφιστάμενων προβλημάτων αναφορικά με τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, λόγω κυρίως της αύξησης του όγκου των αποβλήτων της ICT κατηγορίας και της χρήσης περισσότερων ηλεκτρονικών κατασκευαστικών στοιχείων σε ΗΗΕ, αλλά και σε προϊόντα όπου μέχρι τώρα δεν χρησιμοποιούνταν. Συγκεκριμένα, λόγω της προβλεπόμενης ταχείας αύξησης του αριθμού των παραγόμενων ICT προϊόντων, και της μείωσης του ωφέλιμου χρόνου ζωής των (ένα σημείο, για το οποίο έλαβε χώρα αναφορά και στην § 1.3.2.), το ρεύμα των αποβλήτων ICT εξοπλισμού αναμένεται να διογκωθεί ταχέως. Αν και αναφέρεται ότι προς το παρόν δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ζήτημα αυτό, αυτή η αναμενόμενη σημαντική αύξηση θα επέλθει ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης μεγαλύτερου αριθμού προσωπικών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων, PDAs<sup>59</sup> και άλλων μικρών συσκευών, της μείωσης του ωφέλιμου χρόνου ζωής των αντίστοιχων ομάδων προϊόντων, καθώς και της ενσωμάτωσης ηλεκτρονικών κατασκευαστικών στοιχείων σε πληθώρα αντικειμένων της καθημερινής ανθρώπινης ζωής, όπως είδη ρουχισμού και συσκευασίες<sup>60</sup> (‘έξυπνες ετικέτες’, smart labels<sup>61</sup>). Η

<sup>59</sup> Personal Digital Assistants

<sup>60</sup> Εκτιμάται ότι λόγω των PnC τα συστήματα διαχείρισης ΑΗΗΕ θα βρεθούν αντιμέτωπα με μεγάλους αριθμούς μικρών ηλεκτρονικών κατασκευαστικών στοιχείων, τα οποία θα έχουν ενσωματωθεί σε άλλα προϊόντα, ενώ όλο και περισσότερα τέτοια στοιχεία (π.χ. επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, έξυπνες ετικέτες κτλ.) θα απαντώνται σε διαφορετικά από τα ΑΗΗΕ ρεύματα αποβλήτων (κυρίως συσκευασιών). Από την άλλη, ναι μεν το περιεχόμενο σε επικίνδυνες ουσίες ή παρασκευάσματα ενός και μόνον ηλεκτρονικού εξαρτήματος είναι αμελητέο, σαν σύνολο όμως η διαφυγή των επικίνδυνων αυτών ουσιών στο περιβάλλον αναμένεται να είναι σημαντική εάν τα απόβλητα αυτά διατεθούν σε ανεξέλεγκτες χωματερές ή εισέλθουν σε διεργασίες σχεδιασμένες ειδικά για την ανακύκλωση υλικών όπως χαρτί, γυαλί κ.λπ.. Επιπλέον, το εξαιρετικά μικρό μέγεθος των ευρισκόμενων σε πολλά προϊόντα ηλεκτρονικών στοιχείων καθιστά δύσκολη για τον τελικό χρήστη τη διάκριση ανάμεσα στα ηλεκτρονικά και μη συστατικά του καταναλισκόμενου προϊόντος. Συνεπεία αυτού, ο διαχωρισμός των από τον τελικό καταναλωτή αναμένεται ότι θα είναι σχεδόν ανέφικτος [ii].

ενσωμάτωση των προϊόντων ICT σε ηλεκτρικές συσκευές και οχήματα οδηγεί παράλληλα σε δραστικές αλλαγές αναφορικά με τους τρόπους διάθεσης των αποβλήτων τους. Επί παραδείγματι, ηλεκτρονικά κατασκευαστικά στοιχεία ενσωματώνονται σε ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό σε επιβατικά αυτοκίνητα ανώτερης ή μέσης κατηγορίας υπό τη μορφή συσκευών και οθονών ναυσιπλοΐας. Το αυτό ισχύει και για συστήματα αυτόματου ελέγχου οικιακών συσκευών, όπως πλυντήρια ρούχων, ψυγεία και καφετιέρες [i]. Σημειώνεται ότι η απαραίτητη τεχνογνωσία και υποδομή για την υλοποίηση όλων των ανωτέρω ήδη υφίσταται [iii].

Επιπλέον, η μείωση του ωφέλιμου χρόνου ζωής αποτελεί παράγοντα, ο οποίος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους παραγόμενους όγκους ΑΗΗΕ (όπως καταδείχθηκε και στην § 1.3.2.). Η μείωση του στο μισό επιφέρει διπλασιασμό των χρησιμοποιούμενων για την παραγωγή προϊόντων πόρων, καθώς και διπλασιασμό της ποσότητας αποβλήτων ανά μονάδα υπηρεσιών-προϊόντος (service unit) για το αυτό χρονικό διάστημα. Δεδομένου ότι τα προϊόντα ICT συχνά απορρίπτονται μετά από μόλις το 10 έως 50% της τεχνικά δυνατής διάρκειας ζωής τους, ενέχεται ο κίνδυνος η πρακτική αυτή να επεκταθεί και στα μη-ICT, με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά τμήματα, αγαθά (‘έξυπνα αντικείμενα’, smart objects). Συνεπεία αυτού, τα PnC δύνανται να συμβάλλουν έμμεσα σε αυξανόμενη ζήτηση για πρώτες ύλες και παραγωγή αποβλήτων. Το γεγονός αυτό δύναται να αντισταθμίσει ή ακόμα και να εξουδετερώσει τα προκύπτοντα από την συνεχή ελαχιστοποίηση του μεγέθους των ηλεκτρονικών συσκευών οφέλη (βλ. και την § που έπεται) [ii]. Επιπροσθέτως, αναφέρεται ότι ο χρόνος ζωής των προϊόντων ICT έχει μειωθεί κυρίως λόγω του γεγονότος ότι τα νέα προγράμματα λογισμικού έχουν πάντοτε υψηλές, αν όχι παράλογες, απαιτήσεις σε ισχύ του εξοπλισμού (hardware), καθιστώντας συχνά απαραίτητη τη συχνή αντικατάσταση του. Επίσης, νέα αποθηκευτικά μέσα απαιτούν και την χρήση νέων κατασκευαστικών στοιχείων (CDs αντί δισκετών, DVDs αντί βιντεοκασετών κ.λπ.). Λόγω επίσης της μείωσης των τιμών, οι περισσότεροι καταναλωτές-τελικοί χρήστες προτιμούν την αγορά νέου αντί της αναβάθμισης του παλαιότερου εξοπλισμού που ήδη κατέχουν. Η τάση αυτή για φτηνά προϊόντα έχει συνάμα οδηγήσει στην παραγωγή συσκευών οι οποίες απορρίπτονται από τον τελικό χρήστη ευκολότερα (π.χ. κάμερες, κινητά τηλέφωνα). Τα PnC αναμένεται ότι θα συνεχίσουν να ενισχύουν αυτήν την τάση. Από την άλλη βέβαια, ο όγκος των παραγόμενων λόγω των PnC αποβλήτων δύναται να μειωθεί μέσω της επέκτασης του χρόνου ζωής-χρησιμοποίησης του εξοπλισμού [i].

Συνεπεία λοιπόν των ανωτέρω αναφερθέντων, λόγω του γεγονότος ότι το ρεύμα των ICT προστίθεται στο – συνεχώς αυξανόμενο – συνολικό ρεύμα των ΑΗΗΕ, δύναται να υποτεθεί ότι στο άμεσο μέλλον το ρεύμα αυτό θα παρουσιάζει τους ρυθμούς αύξησης της ICT κατηγορίας, καθότι η ‘διαχωριστική γραμμή’ ανάμεσα στα ICT και τα άλλα προϊόντα ΗΗΕ δεν θα είναι πλέον τόσο ευδιάκριτη όσο σήμερα. Συν τοις άλλοις, σύμφωνα με το όραμα των PnC στην κοινωνία της πληροφορίας, στο άμεσο μέλλον (εντός των επόμενων 10-15 ετών σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις) όλες οι έως τώρα θεωρούμενες ως καθαρά ηλεκτρικές συσκευές θα πρέπει να συμπεριληφθούν στην ICT κατηγορία προϊόντων, ενώ συσκευές πρωτίτερα μη ηλεκτρικές θα ενσωματώνουν ηλεκτρονικά κατασκευαστικά στοιχεία. Συνεπεία αυτού, αναφέρεται ότι στο μέλλον αναμένεται χειροτέρευση των ήδη υφιστάμενων προβλημάτων αναφορικά με τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, νέα προϊόντα θα πρέπει να συμπεριληφθούν και κατηγοριοποιηθούν σε αυτά, ενώ ο εξοπλισμός τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής θα συνεισφέρει το συντριπτικά μεγαλύτερο μερίδιο του ρεύματος των [15].

Επομένως, εν πολλοίς δύο είναι οι στρατηγικές που προτείνονται προς ελαχιστοποίηση των αρνητικών συνεπειών που αναφέρθηκαν προηγουμένως: οικολογικός σχεδιασμός των προϊόντων (eco-design) και ανακύκλωση, στρατηγικές οι οποίες όμως θα πρέπει να επανεξεταστούν ενδελεχώς και να ξαναδιατυπωθούν για να ληφθούν υπόψη και τα PnC. Πάντως, λόγω του ότι τα PnC προς το παρόν δεν

<sup>61</sup> Προς αλίευση περισσότερων πληροφοριών σχετικά με τις επιπτώσεις που δύναται να επιφέρει στις υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισης και ανακύκλωσης αποβλήτων η χρησιμοποίηση έξυπνων ετικετών, ο αναγνώστης ενδεικτικά παραπέμπεται στα συγγράμματα [iv,v].

αποτελούν τίποτε περισσότερο από ένα εφικτό όραμα ή έστω μια πιθανή πρόβλεψη, υφίσταται ακόμη αρκετός χρόνος, ούτως ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, με γνώμονα πάντοτε την αρχή της προφύλαξης (precautionary principle), όπως για παράδειγμα επέκταση του χρόνου ζωής των προϊόντων ΗΗΕ, προσαρμογή των υφιστάμενων συστημάτων και υποδομών ανακύκλωσης ΑΗΗΕ, σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τα οποία να συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των αρνητικών περιβαλλοντικών των επιδράσεων κ.λπ.. Ειδικά ο οικολογικός σχεδιασμός, βάσει των αρχών της ανάλυσης κύκλου ζωής (life cycle analysis, *LCA*), αλλά και η αρχή της ευθύνης του παραγωγού, όπως προσδιορίζεται από τις κοινοτικές οδηγίες, δύνανται να προσδώσουν μια σημαντικότερη ώθηση προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

## A-2 Ελαχιστοποίηση μεγέθους

Ένα ακόμη σημείο στο οποίο αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή είναι το γεγονός ότι η συνεχής ελαχιστοποίηση του μεγέθους των ηλεκτρονικών συσκευών λόγω της αλματώδους τεχνολογικής προόδου δεν συνεπάγεται διόλου τη μείωση του όγκου του ρεύματος των ΑΗΗΕ, όπως φυσιολογικά θα αναμενόταν, συνεπεία του αγγλιστί επονομαζόμενου φαινομένου “rebound effect” [i]. Η μέχρι τώρα εμπειρία από όλες τις υπάρχουσες περιπτώσεις ελαχιστοποίησης του μεγέθους προϊόντων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού έχει δείξει ότι η μείωση του μεγέθους των συσκευών εξουδετερώνεται πρωτίστως από τους αυξημένους ρυθμούς παραγωγής των, και η συνακόλουθη πτώση των τιμών προκαλεί μεγάλη αύξηση της ζήτησης, η οποία και έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση του συνολικού όγκου των. Παραδείγματος χάριν, η σημαντική μείωση του μέσου βάρους ενός κινητού τηλεφώνου από σχεδόν 350 gr το 1990 σε περίπου 80 gr το 2005 (σχεδόν 4,4 φορές) συνοδεύθηκε από μια έντονη αύξηση του αριθμού των χρηστών, με συνέπεια π.χ. στην Ελβετία το συνολικό βάρος των χρησιμοποιούμενων κινητών τηλεφώνων να αυξηθεί κατά περίπου 8 φορές για τις αυτές χρονολογίες [13,i]. Από την άλλη πάντως, επαναλαμβάνεται ότι θεωρείται πως η ελαχιστοποίηση του μεγέθους των ηλεκτρονικών συσκευών δύναται να επιφέρει τουλάχιστον τη σταθεροποίηση του όγκου των ΑΗΗΕ, εφόσον παύσει η παρατηρούμενη τάση μείωσης του χρόνου ζωής των [15].

## A-3 Μεταβολή της σύστασης των ΑΗΗΕ

Τα τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές προϊόντων ΗΗΕ άρχισαν να λαμβάνουν υπόψη τους, κατά το σχεδιασμό και την παραγωγή προϊόντων ΗΗΕ, παραμέτρους όπως η ανακύκλωση υλικών και η προστασία του περιβάλλοντος – όπου μάλιστα υφίστανται οι όροι Design for Recycling (*DfR*) και Design for the Environment (*DfE*), σχεδιασμός για την ανακύκλωση και το περιβάλλον αντίστοιχα. Συν τοις άλλοις, η οδηγία 2002/96/ΕΚ υπαγορεύει ρητά (άρθρο 4) την ανάγκη, οι κατασκευαστές ΗΗΕ να λαμβάνουν υπόψη και να διευκολύνουν την αποσυναρμολόγηση και αξιοποίηση, και ιδίως την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των ΑΗΗΕ, καθώς και των κατασκευαστικών στοιχείων και υλικών τους κατά το σχεδιασμό και την παραγωγή αυτών [1]. Σχεδιαστικές πρόοδοι αυτού του τύπου δύνανται να βελτιώσουν τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, μεταξύ άλλων λόγω της [35]:

- Εξάλειψης ή ελαχιστοποίησης της χρήσης ουσιών, οι οποίες εμποδίζουν την περιβαλλοντικά ασφαλή ανακύκλωση ή υγειονομική ταφή των ΑΗΗΕ (επί τούτου ο αναγνώστης παραπέμπεται και στην οδηγία 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου)
- Χρησιμοποίησης ανακυκλωμένου υλικού, εάν είναι διαθέσιμο και οικονομικά αποδοτικό, εφόσον πληροί τις αντίστοιχες κατασκευαστικές απαιτήσεις και πρότυπα ποιότητας
- Βελτίωσης της δυνατότητας επισκευής ή επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων ΗΗΕ, επιμηκύνοντας συνεπώς το χρόνο ζωής των προϊόντων
- Διευκόλυνσης της αποσυναρμολόγησης των προϊόντων ΗΗΕ
- Μείωσης της ποικιλίας και του αριθμού των τμημάτων και των συστατικών των προϊόντων



- Προώθησης της δυνατότητας ανακύκλωσης μέσω της μείωσης της χρήσης επιστρώσεων και βαφών σε τμήματα του εξοπλισμού
- Διευκόλυνσης της ταυτοποίησης των προϊόντων

Για τους παραπάνω λόγους αναμένεται στο μέλλον να μειωθεί η επικινδυνότητα των ΑΗΗΕ και να αυξηθεί αντίστοιχα η ανακυκλωσιμότητά (recyclability) τους. Βέβαια, λαμβάνοντας υπόψη την μεγάλη διάρκεια ζωής αρκετών προϊόντων ΗΗΕ (π.χ. έως 15 έτη για τα ψυγεία), θα πρέπει οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας να έχουν τη δυνατότητα να επεξεργασθούν παλαιότερο, και συνεπώς πιο πολύπλοκο και με περισσότερες περιεχόμενες επικίνδυνες ουσίες απόβλητο εξοπλισμό.

Ακολουθεί μια παράθεση των κυριότερων μεταβολών οι οποίες έχουν επέλθει στη σύσταση των προϊόντων ΗΗΕ ανά κατηγορία, συνεπεία είτε εξελίξεων της τεχνολογίας, είτε της επιβολής κατάλληλων νομοθετημάτων.

### **A-3.1. Μεγάλες οικιακές συσκευές**

Τα κύρια προϊόντα αυτής της κατηγορίας είναι: ψυγεία, καταψύκτες, πλυντήρια ρούχων και πιάτων, στεγνωτήρια και φούρνοι μικροκυμάτων. Οι σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις και τάσεις, οι οποίες παρατηρούνται όσον αφορά τόσο στο σχεδιασμό, όσο και στη λειτουργία τους είναι:

- ✓ Ελαχιστοποίηση των ουσιών που προκαλούν μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (ODS)
- ✓ Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συσκευών
- ✓ Μείωση της κατανάλωσης νερού από τα πλυντήρια
- ✓ Ελαχιστοποίηση της χρήσης δυνητικά επικίνδυνων ουσιών και συστατικών μέσω προσπαθειών στην κατεύθυνση του περιβαλλοντικά φιλικού σχεδιασμού (DfE) των προϊόντων

Οι συσκευές της κατηγορίας αυτής συνήθως περιέχουν ηλεκτρικό μοτέρ, πλακέτα τυπωμένων κυκλωμάτων, μετασχηματιστή, πυκνωτές, κάποια μορφή θερμικής μόνωσης, καλώδια και διακόπτες, ενώ ορισμένα εξαρτήματα πιθανώς να είναι καλυμμένα με πλαστικά περιέχοντα επιβραδυντικά φλόγας.

#### **A-3.1.1. Συσκευές ψύξης**

Οι συσκευές αυτές διέπονται από τον κανονισμό 2037/2000 (και την τροποποίηση 2039/2000 αυτού) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Συνεπεία του κανονισμού αυτού, οι απόβλητες συσκευές ψύξης (καταψύκτες και ψυγεία) περιέχοντες ODS θα πρέπει να οδηγούνται σε ειδικές για το σκοπό αυτό μονάδες επεξεργασίας.

Ο προσδιορισμός του χρησιμοποιούμενου σε κάθε συσκευή μονωτικού (blowing agent) συνήθως απαιτεί τη λήψη δείγματος από τον μονωτικό αφρό και την επακόλουθη ταυτοποίηση του. Από την άλλη όμως, η ηλικία της υπό εξέταση συσκευής δύναται να παράσχει ενδείξεις σχετικά με το είδος του blowing agent που έχει χρησιμοποιηθεί, καθότι το CFC-11 χρησιμοποιείτο κυρίως προ του έτους 1990, το μειωμένης συγκέντρωσης (reduced) CFC-11 το διάστημα 1991-1994, ενώ τα HCFC-141b<sup>62</sup> και κυκλοπεντάνιο μετά το 1994. Σημειώνεται ότι τα μίγματα υδρογονανθράκων, ναι μεν δεν έχουν βρει ακόμη καθολική εφαρμογή μετά το 1994, εμφανίσθηκαν όμως ως η βέλτιστη για την αντικατάσταση του HCFC-141b περιβαλλοντικά επιλογή, η χρήση του οποίου απαγορεύθηκε σε κάθε εξοπλισμό παραγόμενο μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2003 [35,63]. Όσον αφορά τη χρησιμοποιούμενη ψυκτική ουσία, η ηλικία της υπό εξέταση συσκευής δύναται και πάλι να παράσχει σχετικές ενδείξεις: τα CFC-12 και

<sup>62</sup> Το CFC-11 αποτελεί χλωροφθοράνθρακα και το HCFC-141b υδροχλωροφθοράνθρακα, με μοριακό τύπο  $\text{CFCl}_3$  και  $\text{CH}_2\text{CFCl}_2$ , και τιμή για το δυναμικό καταστροφής του όζοντος (Ozone Depletion Potential, ODP) ίση με 1,0 και 0,11 αντίστοιχα [63].

HCFC-22<sup>63</sup> χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται πριν και μετά το 1994 αντίστοιχα, ενώ το HFC-134a, το ισοβουτάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες έπειτα από το 1995 [35].

Επισημαίνεται ότι αν και η σήμανση των ψυγείων προς αναγνώριση της χρησιμοποιούμενης σε αυτά ψυκτικής ουσίας, είναι ευρέως διαδεδομένη, κυρίως για ευκολία στην συντήρηση των συσκευών, δεν υφίσταται παρόμοια πρακτική για τον μονωτικό αφρό αυτών. Συνεπώς, θα πρέπει να θεωρείται – μέχρις αποδείξεως του ενάντιου – ότι οι απόβλητες συσκευές ψύξης περιέχουν ODS, λόγω του ότι ΑΗΗΕ του τύπου αυτού είναι συνήθως αρκετά παλαιά (ηλικίας άνω των 10 ετών) [35].

Στο σημείο αυτό αξίζει να υπενθυμισθεί η σοβαρή αρνητική επίδραση των HFCs στην υπερθέρμανση του πλανήτη (βλ. § 1.4.1.2.7.3.). Πάντως, και οι HFCs (όπως παλαιότερα οι CFCs και HCFCs) δύνανται να αντικατασταθούν στις εφαρμογές τους από φυσικά προϊόντα όπως υδρογονάνθρακες, αμμωνία, αέρα, νερό και διοξείδιο του άνθρακα ή άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες. Οι εναλλακτικές αυτές αναφέρονται ως περισσότερο αποδοτικές και αρκετά ασφαλείς εφόσον τηρούνται τα απαραίτητα μέτρα, το συνεχώς μειούμενο λόγω της αποδοχής των από την αγορά κόστος σπάνια είναι πολύ υψηλότερο των παλαιότερων τεχνολογιών, ενώ συν τοις άλλοις υπερέχουν και από περιβαλλοντικής σκοπιάς. Από την άλλη μεριά, η βιομηχανία παραγωγής F-gases αμφισβητεί τη χρήση των προαναφερθέντων εναλλακτικών, ισχυριζόμενη ότι πολύ συχνά αποδεικνύονται υπερβολικά επικίνδυνες<sup>64</sup>, μη αποδοτικές και ακριβές. Σύμφωνα όμως με έκθεση του Ευρωπαϊκού Γραφείου Περιβάλλοντος (European Environmental Bureau, *EEB*) οι ισχυρισμοί αυτοί είναι ανεργάσιμοι: κατάλληλα μέτρα ασφαλείας σε συσκευές που χρησιμοποιούν υδρογονάνθρακες εφαρμόζονται για χρόνια και μονάχα στη Γερμανία αναφέρεται ότι υφίστανται άνω των  $20 \cdot 10^6$  ψυκτικών οικιακών συστημάτων αυτού του τύπου. Ακόμη, τα συστήματα που χρησιμοποιούν τις ανωτέρω ψυκτικές ουσίες να μεν είναι ακριβότερα από αυτά που χρησιμοποιούν HFCs, αναμένεται όμως μείωση του κόστους των λόγω αύξησης της παραγωγής και της ανάπτυξης τεχνολογικών βελτιώσεων. Επιπλέον, η ενεργειακή των κατανάλωση δεν είναι υψηλότερη, η υπάρχουσα πληθώρα αξιοποιήσιμων υλικών για την παραγωγή μονωτικών αφρών και ψυκτικών ουσιών είναι μεγάλη και ο ψυκτικός εξοπλισμός νέου τύπου αποδεικνύεται περισσότερο αξιόπιστος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι η Electrolux χρησιμοποιεί ισοβουτάνιο στην παραγωγή κάποιων εκ των προϊόντων της [56].

### A-3.1.2. Πλυντήρια

Τα σημερινά αυτόματα οικιακά πλυντήρια αποτελούν εξέλιξη των παλαιότερων ημιαυτόματων συσκευών σε πλήρως αυτοματοποιημένα προϊόντα, με συστήματα πρόπλυσης, πλύσης, απόπλυσης, στεγνώματος κ.λπ., σε ένα εύρος διαφορετικών θερμοκρασιών. Οι σύγχρονες αυτές συσκευές αποτελούνται συνήθως από μεταλλικό πλαίσιο, έρμα μεπτόν για τη στήριξη του κάδου, εσωτερικά και εξωτερικά κυλινδρικά δοχεία (drums), αντλία, μοτέρ, διακόπτες, το σύστημα ρύθμισης και ελέγχου της συσκευής, καθώς και άλλα βοηθητικά τμήματα [35].

Οι πολύ παλαιές συσκευές πιθανότατα περιέχουν μεγάλους πυκνωτές. Οι πυκνωτές αυτοί αντικαταστάθηκαν στις σύγχρονες συσκευές, όπου οι διαφορετικές ταχύτητες πλύσης ελέγχονται από την PWB αυτών. Σύμφωνα με το παράρτημα II της οδηγίας 2002/96, οι PWBs αυτές θα πρέπει να απομακρύνονται από το ρεύμα των υπολοίπων ΑΗΗΕ προτού λάβει χώρα η επεξεργασία των. Επίσης, στο πέρασμα των ετών έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας και νερού των πλυντηρίων, γεγονός στο οποίο συνέβαλλε σημαντικά η καθιέρωση κατάλληλης οικολογικής σήμανσης των προϊόντων αυτών [35]. Τέλος, όσον αφορά λεπτομερέστερες βιβλιογραφικές αναφορές, αναφέρεται ενδεικτικά στο σύγγραμμα [vi].

<sup>63</sup> Το CFC-12 αποτελεί χλωροφθοράνθρακα και το HCFC-22 υδροχλωροφθοράνθρακα, με μοριακό τύπο  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  και  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ , και τιμή για το δυναμικό καταστροφής του όζοντος ίση με 1,0 και 0,055 αντίστοιχα [63].

<sup>64</sup> Παραδείγματος χάριν, οι υδρογονάνθρακες μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση του εδάφους και της ατμόσφαιρας.

### A-3.2. Μικρές οικιακές συσκευές

Τα κύρια προϊόντα της κατηγορίας αυτής συνίστανται στις ηλεκτρικές σκούπες, τα ηλεκτρικά σίδερα, καθώς και σε συσκευές όπως τοστιέρες, φριτέζες κ.λπ.. Παλαιά προϊόντα ίσως περιέχουν επικίνδυνες ουσίες, όπως λ.χ. αμιάντο στη θερμομονωτική επικάλυψη των (βλ. § 1.4.1.2.7.1.). Επίσης, με την πάροδο των ετών παρατηρείται μια τάση αντικατάστασης των μεταλλικών πλαισίων και μερών των εν λόγω συσκευών με πλαστικά, κυρίως για λόγους μείωσης του κόστους, αλλά και ευελιξίας στο σχεδιασμό [35].

### A-3.3. Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών

Όσον αφορά την 3<sup>η</sup> κατηγορία προϊόντων ΗΗΕ, την κύρια εδώ και αρκετά χρόνια παρατηρούμενη τάση αποτελεί η ελαχιστοποίηση του μεγέθους των παραγόμενων προϊόντων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι τα τελευταία τεχνολογίας chips πυριτίου δύνανται να περιέχουν πάνω από  $100 \cdot 10^6$  τρανζίστορ. Συνεπεία της τάσης αυτής, με την πάροδο των ετών οι παλαιότεροι ογκωδέστατοι μεγάλοι υπολογιστές (mainframes), αντικαταστάθηκαν από πολύ μικρότερα σε διαστάσεις προϊόντα. Συν τοις άλλοις, η καθιέρωση του σήματος *EPA Energy Star* συνέβαλλε τα μέγιστα στην παραγωγή ενεργειακά αποδοτικότερου εξοπλισμού, τόσο σε κατάσταση πλήρους λειτουργίας, όσο και σε κατάσταση αναμονής (standby ή sleep mode). Επιπλέον, αναφορικά με τους προσωπικούς υπολογιστές, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τάση για αντικατάσταση των οθονών καθοδικών λυχνιών από τις επίπεδες οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD ή TFT). Οι CRTs περιέχουν επικίνδυνα συστατικά όπως μόλυβδο, κάδμιο, υδράργυρο και φωσφόρους, τα οποία ναί μεν είναι ακίνδυνα για το χρήστη, αποτελούν όμως σοβαρό περιβαλλοντικό κίνδυνο εφόσον οι CRTs καταστούν απόβλητες (βλ. § 1.4.1.2.6.). Ακόμη, η παραγωγή ICT στρέφεται ολοένα και περισσότερο – είτε εθελοντικά, είτε λόγω της επιβολής νομοθετημάτων όπως η RoHS Directive – προς την προσθήκη εναλλακτικών χημικών ενώσεων αντί των BFRs στα χρησιμοποιούμενα πλαστικά [35].

Πιο συγκεκριμένα αναφορικά με την υποκατάσταση ή εξάλειψη των BFRs στα πλαστικά ΗΗΕ, αξίζει να επισημανθεί ότι ο στόχος αυτός δύναται να επιτευχθεί σύμφωνα με τους ακόλουθους τρόπους, χωρίς να χρειάζεται να λάβει χώρα οποιοσδήποτε «συμβιβασμός» όσον αφορά τις απαιτήσεις και προδιαγραφές ασφαλείας των προϊόντων [56]:

- ✓ Αλλαγές στο σχεδιασμό των προϊόντων ΗΗΕ
  1. μεταβολές στη διάταξη και το σχεδιασμό των προϊόντων, π.χ. απομάκρυνση των πηγών θερμότητας από τα αναφλέξιμα υλικά
  2. χρησιμοποίηση ρευμάτων χαμηλότερης τάσης και έντασης
- ✓ Υποκατάσταση κατασκευαστικών υλικών
  1. χρήση κεραμικών, γυαλιού ή μετάλλων αντί πλαστικών
  2. χρήση πολυμερών με εγγενή χαμηλή αναφλεξιμότητα (π.χ. πολυαμίδια)
- ✓ Υποκατάσταση των χρησιμοποιούμενων επιβραδυντικών φλόγας
  1. χρήση οργανοφωσφορικών ενώσεων
  2. χρήση υδροξειδίων των Ca, Al, Mg

Όσον αφορά την υποκατάσταση των χρησιμοποιούμενων BFRs, ενώσεις οι οποίες δύνανται να τα υποκαταστήσουν ερευνώνται και αναπτύσσονται συνεχώς και κάποιες εξ αυτών ήδη εφαρμόζονται. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα υδροξείδια του αργιλίου ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ , aluminum trihydrate ή hydrated alumina, *ATH*) και του μαγνησίου ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , magnesium dihydrate ή hydrate, *MDH*). Οι ενώσεις αυτές, παρότι χρειάζεται να προστίθενται στα πλαστικά σε μεγαλύτερες δόσεις σε σχέση με τα BFRs προς επίτευξη ικανοποιητικών επιπέδων πυροπροστασίας, είναι αρκούντως χημικά αδρανείς και

δρουν ως συλλέκτες-παγίδες οξέων, προστατεύοντας έως ένα βαθμό το πολυμερές από την προσβολή αυτών, ενώ επιτρέπουν να εφαρμόζονται χωρίς προβλήματα όλες οι υπάρχουσες μέθοδοι ανακύκλωσης πλαστικών. Επιπλέον, το ATH είναι αδιάλυτο στα στραγγίσματα χωματερών και το MDH έχει πολύ χαμηλή διαλυτότητα σε αυτά (10 φορές χαμηλότερη από το ανθρακικό ασβέστιο), επηρεάζοντας θετικά τη φυσική οξύτητα του εδάφους. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα των μη αλογονωμένων FRs αποτελεί η έκλυση στα καυσαέρια μικρότερων ποσοτήτων του τοξικού μονοξειδίου του άνθρακα όταν καίγονται: η παρουσία των ευνοεί τον σχηματισμό υδρατμών, η παρουσία των οποίων μετατοπίζει την ισορροπία της αντίδρασης ευνοώντας το σχηματισμό CO<sub>2</sub>. Συν τοις άλλοις, η χρησιμοποίηση BFRs έχει παύσει ή υποκαθίσταται σταδιακά από μέρους διαφόρων εταιριών παραγωγής HHE και χημικών προϊόντων, όπως π.χ. των Siemens, Sony, Toshiba, Motorola, Fujitsu, Bayer, NEC κ.λπ. [56].

Όπως προαναφέρθηκε επίσης στην § 1.4.1.2.2.4., δυνάμει της οδηγίας 2002/95/EK απαιτείται η αντικατάσταση του μολύβδου σε προϊόντα HHE. Κύρια εφαρμογή του σε αυτά αποτελεί η χρήση του στο καλάνι συγκόλλησης (solder) Sn-Pb των PWBs. Η απαίτηση αυτή για υποκατάσταση του αποτελεί ένα σημείο στο οποίο έχει επικεντρωθεί εξαιρετική επιστημονική κινητικότητα, αλλά και αντιρρήσεις. Βιομηχανικοί φορείς ισχυρίζονται ότι ειδικά η χρήση του Pb ως υλικό συγκόλλησης μεταξύ ηλεκτρονικών τμημάτων είναι εξαιρετικά δύσκολο να υποκατασταθεί βραχυπρόθεσμα. Βέβαια, η υποκατάσταση του εν λόγω μετάλλου αφενός θα πρέπει να έχει λάβει χώρα μετά τα μέσα του 2006, αφετέρου υφίστανται ήδη εναλλακτικές για την αντικατάσταση του σε ειδικές εφαρμογές συγκόλλησης, μέσω π.χ. της χρήσης Sn, Ag, Cu, Bi και Zn. Μερικές από αυτές τις εναλλακτικές είναι οι εξής [56]:

1. Sn-Bi-Cu (κύρια εναλλακτική)
2. Sn-Bi-Ag
3. Sn-Cu και Sn-Ag
4. Sn-Bi για συγκολλήσεις χαμηλών θερμοκρασιών
5. Sn-Zn-Bi (αναφέρεται ότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη επ' αυτού, από την άλλη όμως χρησιμοποιείται ήδη από εταιρίες όπως η NEC σε notebooks)

Επιπλέον, οι άνευ μολύβδου συγκολλήσεις (lead-free solders) ερευνώνται εδώ και πάνω από 15 έτη, και στην αγορά έχουν ήδη εισέλθει προϊόντα διαφόρων εταιριών στα οποία δεν χρησιμοποιείται μόλυβδος [56]:

- ✓ NEC (από τα τέλη του 1998, αναφέρεται ότι δεσμεύθηκε για την εξολοκλήρου υιοθέτηση της χρήσης lead-free solders από το 2002)
- ✓ Fujitsu (από τα τέλη του 1999, δεσμεύθηκε για την πλήρη εξάλειψη του Pb σε solders από τα τέλη του 2002)
- ✓ Sony (από τις αρχές του 2000, έχει δεσμευθεί για την αποκλειστική χρήση lead-free solders μέχρι το τέλος Μαρτίου του 2006)
- ✓ Hitachi, Matsushita (ήδη από το 1996), Panasonic

Επίσης, μεγάλος αριθμός ερευνητικών προγραμμάτων και οργανισμών στοχεύει ακριβώς στην έρευνα πάνω στα άνευ μολύβδου κράματα συγκόλλησης, όπως π.χ. οι IDEALS (Improved Design Life and Environmentally Aware Manufacturing of Electronic Assemblies by Lead-Free Soldering), NEMI (National Electronics Manufacturing Initiative) και NCMS (National Center for Manufacturing Sciences). Σημειώνεται ότι παρόμοιες πρωτοβουλίες έχουν παρθεί και στην Ιαπωνία, όπου ήδη από παλαιότερα ερευνάται η ανάπτυξη προϊόντων που δεν θα περιέχουν Pb ως βασικό υλικό στις συγκολλήσεις, ενώ παράλληλα προβλέπεται να περιοριστεί σταδιακά η χρήση του σε ορισμένα μόνο προϊόντα HHE έως το έτος 2005 [56]. Εν κατακλείδι, η χρήση συγκολλήσεων άνευ μολύβδου σε PWBs κρίνεται ως τεχνολογικά εφικτή και περιβαλλοντικά ευνοϊκότερη – η χρήση των επιφέρει μείωση έως και 30% στην επικινδυνότητα αναφορικά με την τοξικότητα των, η περιβαλλοντική ζημία από τις εργασίες εξόρυξης των απαιτούμενων υλικών ελαττώνεται και η υψηλότερη τιμή των εναλλακτικών

κραμάτων δύναται να δράσει ως επιπλέον κίνητρο για την ανάκτηση και ανακύκλωση αυτών – σε σχέση με τη χρήση κραμάτων συγκόλλησης Sn-Pb [56].

#### **A-3.4. Καταναλωτικά είδη**

Η 4<sup>η</sup> κατηγορία προϊόντων ΗΗΕ περιλαμβάνει συσκευές όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, στερεοφωνικά συγκροτήματα, συσκευές αναπαραγωγής βίντεο, CD, DVD κτλ.. Οι συσκευές της κατηγορίας αυτής συνήθως αποτελούνται από πλαστικό και ενίοτε μεταλλικό πλαίσιο, PWBs, οθόνη απεικόνισης (display panel), εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια κ.λπ.. Κατασκευαστικά στοιχεία ή εξαρτήματα των προϊόντων της κατηγορίας αυτής, τα οποία δύναται να αποβούν επιβλαβή για το περιβάλλον, αποτελούν οι περιεχόμενες CRTs, LCDs, PWBs, καθώς και οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές (βλ. § 1.4.1.2.6., 1.4.1.2.8., 1.4.1.2.2. και 1.4.1.2.1.2., αντίστοιχα) [35].

Σημειώνεται ότι ειδικά για τις τηλεοράσεις, η ροπή προς την παραγωγή wide-screen τηλεοράσεων είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση του μεγέθους των CRTs. Επίσης, προσφάτως παρατηρούνται ολοένα αυξανόμενες πωλήσεις επίπεδων τηλεοράσεων τεχνολογίας LCDs ή πλάσματος (plasma). Συνεπώς, στο μέλλον αναμένεται η εμφάνιση και των συσκευών αυτών στο ρεύμα των ΑΗΗΕ σε μεγάλες ποσότητες [35].

#### **A-3.5. Φωτιστικά είδη**

Η 6<sup>η</sup> κατηγορία ΗΗΕ συνίσταται κύρια σε δύο βασικές υποκατηγορίες, στις single ended και τις double ended πηγές φωτός. Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι ευθείς λαμπτήρες φθορισμού, ενώ στην πρώτη οι λαμπτήρες πυρακτώσεως (οι οποίοι δεν καλύπτονται από την 2002/96/EK), βολφραμίου, αλογονούχων μετάλλων, καθώς και οι λαμπτήρες φθορισμού μικρών διαστάσεων (compact fluorescent lamps, CFLs). Οι πλέον ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι στον οικιστικό τομέα είναι οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, οι οποίοι όμως παρουσιάζουν τη χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση, καθώς και το μικρότερο χρόνο ζωής. Από την άλλη μεριά, οι double ended λαμπτήρες φθορισμού χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τη δεκαετία του 1940, και έκτοτε έχουν υποστεί σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά τόσο την ενεργειακή κατανάλωση όσο και το μέγεθος των (π.χ. η ανάπτυξη των CFLs τη δεκαετία του 1980) – οι CFLs αποτελούν πλέον εναλλακτική επιλογή των λαμπτήρων πυρακτώσεως στον οικιστικό τομέα, με σημαντικά υψηλότερη όμως ενεργειακή απόδοση, όπως και χρόνο ζωής [35].

Επισημαίνεται ότι η σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση την οποία δύναται να επιφέρει ένας λαμπτήρας έγκειται στην ενεργειακή κατανάλωση την οποία προκαλεί, ενώ σημαντική παράμετρο αποτελεί συνάμα ο χρόνος ζωής, καθώς και το περιεχόμενο του σε υδράργυρο: τη δεκαετία του 1970 το περιεχόμενο των λαμπτήρων φθορισμού σε Hg κυμαινόταν στην περιοχή των 100 mg, τη δεκαετία του 1990 μειώθηκε σε λιγότερο από 20 mg, ενώ σήμερα είναι συνήθως μικρότερη από 10 mg ανά λαμπτήρα<sup>65</sup> (βλ. και υποσημείωση § 1.4.1.2.2.2.). Σημειώνεται ότι κατά την ανάλυση κύκλου ζωής διαφόρων τύπων λαμπτήρων προς υπολογισμό των εκπομπών υδραργύρου που προκαλούν, οι εκπομπές από CFLs είναι μικρότερες αυτών των λαμπτήρων πυρακτώσεως (παρά το περιεχόμενο των σε Hg). Τούτο οφείλεται στο ότι οι CFLs έχουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, και στον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών προστίθενται και οι εκπομπές Hg που προκύπτουν από την χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή του καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού [35]. Τέλος, θεωρείται ότι η επιβολή

<sup>65</sup> Ο υδράργυρος χρησιμεύει στους λαμπτήρες φθορισμού για τη μετατροπή του παραγόμενου από την εκκένωση του αερίου φωτός από το υπεριώδες στο ορατό φάσμα. Μέχρι στιγμής δεν έχει ανεβρεθεί κάποια άλλη ουσία η οποία να δύναται να αντικαταστήσει ολοκληρωτικά τον Hg σε αυτήν του την εφαρμογή, και γι' αυτό το λόγο κατονομάζονται εξαιρέσεις (οι οποίες άπτονται των εν λόγω λαμπτήρων) επί της απαγόρευσης της χρήσης του σε ΗΗΕ στο παράρτημα της 2002/95/EK [11].

της οδηγίας 2002/95/EK θα οδηγήσει σε περαιτέρω σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε υδράργυρο των λαμπτήρων που καλύπτονται από την εν λόγω οδηγία.

### **A-3.6. Ηλεκτρικά εργαλεία**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση στη χρήση ασύρματου εξοπλισμού σε τούτη την κατηγορία ΗΗΕ, με την απαιτούμενη για την αυτόνομη λειτουργία ενέργεια να παρέχεται από αφαιρούμενες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (συνήθως Ni-Cd), προσφέροντας ευκολία και ευελιξία στη χρήση, εν αντιθέσει με παλαιότερες συσκευές. Από την άλλη πάντως, δεν ήταν δυνατό να ανεβρεθούν στη βιβλιογραφία αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τη σύσταση ή τη μεταβολή της για προϊόντα της κατηγορίας αυτής [35].

### **A-3.7. Κατηγορίες ΗΗΕ 7-10**

Εξαιρουμένων των οικιακών ανιχνευτών καπνού, όπως και των συσκευών θερμορύθμισης, η πλειονότητα των ιατροτεχνολογικών προϊόντων, συσκευών αυτόματης διανομής και οργάνων ελέγχου και παρακολούθησης θεωρείται ότι αποτελείται από προϊόντα ειδικών εφαρμογών, των οποίων η διαχείριση απαιτείται να λαμβάνει χώρα από κατάλληλα εξοικειωμένο, έμπειρο και διαθέτον την απαραίτητη τεχνογνωσία προσωπικό. Επίσης, δεν κατέστη δυνατή η ανεύρεση αναλυτικών πληροφοριών σχετικά με τη σύσταση – ή τη μεταβολή αυτής – των προϊόντων των κατηγοριών αυτών [35].

Κλείνοντας την παράγραφο 1.4.2., κρίνεται ότι χρίζει αναφοράς το γεγονός ότι το έτος 1995 αναμένονταν οι εξής διαφοροποιήσεις στη σύσταση των παραγόμενων ΑΗΗΕ για το 2005, εν συγκρίσει με το 1992 [vii]:

- ✓ Μείωση της χρήσης σιδηρούχων μετάλλων
- ✓ Αύξηση της χρήσης αλουμινίου και μεταλλικών επιστρώσεων
- ✓ Αύξηση της χρήσης πλαστικών
- ✓ Μείωση της χρήσης ξύλου και πολύτιμων μετάλλων

Εν κατακλείδι, αξίζει να επισημανθεί το γεγονός ότι με την πάροδο των ετών, τα μέταλλα – σιδηρούχα και μη – εξακολουθούν να αποτελούν το κύριο κλάσμα των ΑΗΗΕ, ενώ το περιεχόμενο των σε ρύπους και επικίνδυνα συστατικά παρουσιάζει σταθερή πτωτική πορεία [3].

### **Συμπληρωματική Βιβλιογραφία**

- i. Hilty L, Behrendt S, Binswanger M, Bruinink A, Erdmann L, Fröhlich J, Köhler A, Kuster N, Som C, Würtenberger F (February 2005) The Precautionary Principle in the information Society, Effects of Pervasive Computing on Health & Environment, TA-SWISS Centre for Technology Assessment, Berne, Switzerland
- ii. Koehler A, Som C (2005) *IEEE Technology & Society Magazine* 24:15-23
- iii. Butschi D, Courant M, Hilty LM (2005) *IEEE Technology & Society Magazine* 24:7-8
- iv. Thomas VM (2003) *Environmental Science & Technology* 37:5297-5302
- v. Kräuchi P, Wäger PA, Eugster M, Grossmann G, Hilty L (2005) *IEEE Technology & Society Magazine* 24:45-53
- vi. Rüdener I, Gensch CO, Quack D (November 2004) Eco-Efficiency Analysis of Washing Machines – Life Cycle Assessment and Determination of Optimal Life Span, Ökō-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Freiburg
- vii. de Ron A, Penev K (1995) *Technovation* 15:363-374

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**