

Εισαγωγή

«Η Γη διαθέτει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλων, αλλά όχι επαρκείς για την απληστία ορισμένων». Η δήλωση αυτή του Μαχάτμα Γκάντι είναι σήμερα όσο ποτέ άλλοτε επίκαιρη.

Οι φυσικοί πόροι της Γης δεν είναι απεριόριστοι και ανεξάντλητοι. Παράδειγμα αποτελούν το γλυκό νερό, το έδαφος και τα ορυκτά που δεν μπορούν να αναπληρωθούν όταν εξαντληθούν. Επίσης οι γαίες είναι πεπερασμένος πόρος, αφού δεν μπορούμε να δημιουργήσουμε περισσότερες.

Το κυρίαρχο σήμερα «δυτικό μοντέλο» ανάπτυξης βασίζεται στην αλόγιστη σπατάλη μη αναπληρώσιμων πόρων καθώς και στην ολοένα αύξηση του κέρδους με κάθε τίμημα (περιβαλλοντικό και κοινωνικό). Ειδικότερα, όσον αφορά το περιβάλλον, γίνονται πλέον αισθητές οι καταστροφικές συνέπειες αυτού του μοντέλου σε ολόκληρο τον πλανήτη: μόλυνση των υδάτων και του αέρα, υποβάθμιση των οικοσυστημάτων, περιορισμός της βιοποικιλότητας, καταστροφή των δασών, ερημοποίηση των εδάφων, μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, έλλειψη τροφίμων και πόσιμου νερού καθώς και μείωση των αποθεμάτων του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

Με την τεχνολογική πρόοδο και τη σωστή διαχείριση είναι δυνατή η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων χωρίς να καταστρέφονται τα αποθέματα του μέλλοντος. Για να επιτευχθεί η ανάπτυξη η οποία καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν και τις δικές τους ανάγκες, πρέπει να εφαρμοστούν άλλες πολιτικές και νέες τεχνολογίες. Αποτέλεσμα θα είναι η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου όχι μόνο κάθετα (από γενιά σε γενιά), αλλά και οριζόντια (σε παγκόσμιο επίπεδο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού: Πρόβλημα Διεθνές – Ευρωπαϊκό - Εθνικό

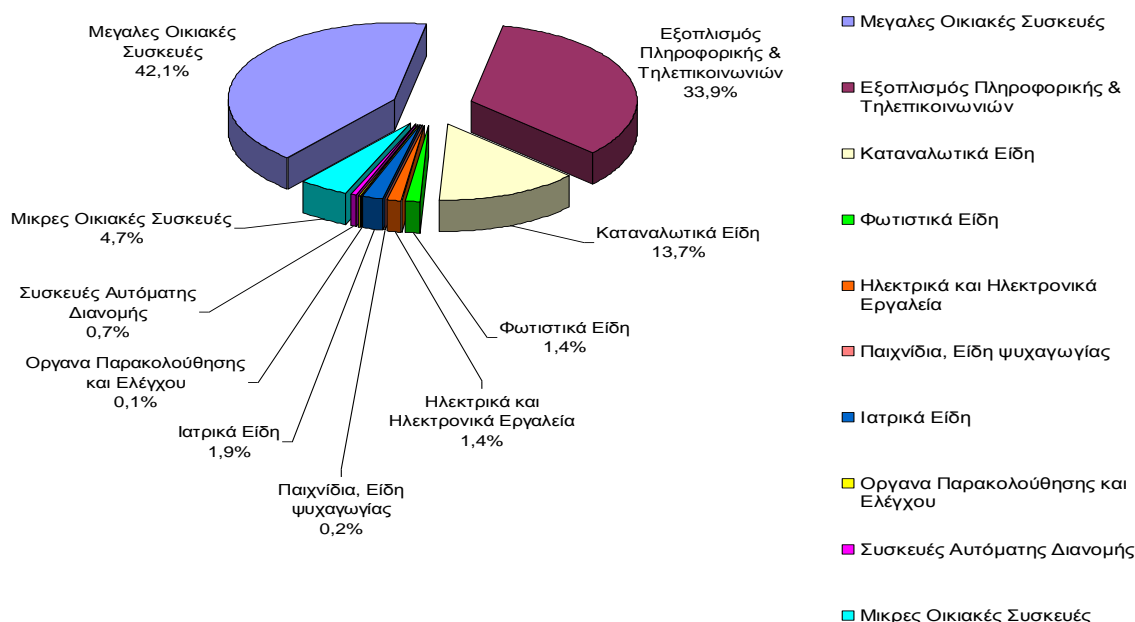
Ως ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός (ΗΗΕ) ορίζεται ο εξοπλισμός του οποίου η ορθή λειτουργία εξαρτάται από ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με ονομαστική τάση ως 1000V εναλλασσόμενου ρεύματος και ως 1500V συνεχούς ρεύματος [1].

Η παραγωγή των ειδών ΗΗΕ αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο γεγονός της ολοένα αναπτυσσόμενης τεχνολογίας η οποία επιβάλλει και επιταχύνει την αντικατάσταση των ΗΗΕ πολύ πριν ολοκληρωθεί η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής τους, με αποτέλεσμα και την ανάλογη αύξηση της διάθεσής τους. Το 1994, εκτιμήθηκε ότι σε παγκόσμιο επίπεδο αποσύρθηκαν περίπου 20 εκατομμύρια Η/Υ, ενώ το 2004 ο αριθμός αυτός ξεπέρασε τα 100 εκατομμύρια. Αθροιστικά υπολογίζεται ότι, από το 1994 έως και το 2003, 500 εκατομμύρια Η/Υ ολοκλήρωσαν τον κύκλο της χρήσιμης ζωής τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε 500 εκατομμύρια Η/Υ εμπεριέχονται 2.872.000 τόνοι πλαστικού, 718.000 τόνοι μολύβδου, 1.363 τόνοι κάδμιο, 287 τόνοι υδραργύρου [2].

Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι η χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή όταν πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1960 κατά μέσο όρο διαρκούσε 10 έτη, ενώ σήμερα υπολογίζεται κατά μέσο όρο στα 4,3 έτη και στις περιπτώσεις των πλέον καινοτόμων συσκευών ο χρόνος αυτός είναι μικρότερος και από 2 έτη [3]. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας καθιστά τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) ως μία από τις κρισιμότερες κατηγορίες αποβλήτων. Στην κατηγορία αυτή, σύμφωνα με την Οδηγία 2002/96/ΕΚ, ανήκουν:

1. Μεγάλες οικιακές συσκευές
2. Μικρές οικιακές συσκευές
3. Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών
4. Καταναλωτικά είδη (video, hi-fi, TV)
5. Φωτιστικά είδη
6. Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία
7. Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού
8. Ιατροτεχνολογικές συσκευές
9. Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου
10. Συσκευές αυτόματης διανομής

Από τις κατηγορίες αυτές, τα ΑΗΗΕ των κατηγοριών 1 μέχρι και 4, κατέχουν σχεδόν το 95% των συνολικά παραγόμενων ΑΗΗΕ, όπως φαίνεται και αναλυτικά στο **Σχήμα 1**:



Σχήμα 1: Ποσότητες παραγόμενων ΑΗΗΕ ανά κατηγορία ΗΗΕ

(Πηγή: Association of Plastics Manufacturer in Europe (APME): *Plastics — Insight into Consumption and Recovery in Western Europe 2000*, cited in International Copper Study Group, 2003).

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης η παραγωγή των ΑΗΗΕ κατά το έτος 1998 ανήλθε σε 6 εκατομμύρια τόνους (ποσοστό 4% της κατηγορίας των αστικών αποβλήτων) ενώ υπολογίζεται ότι η ποσότητα αυτή αυξάνει κατά 3% - 5% κάθε χρόνο, γεγονός που σημαίνει αύξηση των ΑΗΗΕ από 16% ως 25% ανά πενταετία και διπλασιασμός της ποσότητας αυτής κάθε 12 χρόνια. Έτσι προκύπτει ότι η αύξηση της παραγωγής των ΑΗΗΕ είναι περίπου 3 φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη μέση αύξηση των αστικών αποβλήτων. Για να γίνει πιο κατανοητό το μέγεθος του προβλήματος στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά σχετικά στοιχεία για Η.Π.Α., Ευρώπη και Ελλάδα.

Η.Π.Α.: Τα κάτωθι στοιχεία αναφέρονται ειδικά στην κατηγορία των Η/Υ με διάρκεια ζωής 3-5 χρόνια, αλλά είναι αντιπροσωπευτικά του μεγέθους των ΑΗΗΕ.

Πίνακας 1: Ποσοτικά Δεδομένα για Η.Π.Α.
(Πηγή: Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 47, σελ. 4 και 5)

Χρονικό Διάστημα	Ποσότητα σε εκατομμύρια τεμάχια
1980 – 2004	280 – 330 Η/Υ 300 οθόνες
1998	20 Η/Υ
Αναμένεται να πουληθούν το 2000 – 2005	130 Η/Υ με οθόνη καθοδικού σωλήνα (CRT)
Αναμένεται να αποσυρθούν το 2005	63 Η/Υ

Ευρώπη: Όπως προαναφέρθηκε, τα ΑΗΗΕ αποτελούν το 4% των δημοτικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το υψηλό αυτό ποσοστό οφείλεται στη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και ειδικότερα της τεχνολογίας πληροφοριών.

Πίνακας 2: Ποσοτικά Δεδομένα για Ευρώπη
(Πηγή: Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 47, σελ. 4 και 5)

Χρονικό Διάστημα	ΑΗΗΕ σε εκατ. τόνους ετησίως
1998	6
2004	7
Αναμένεται το 2010	12

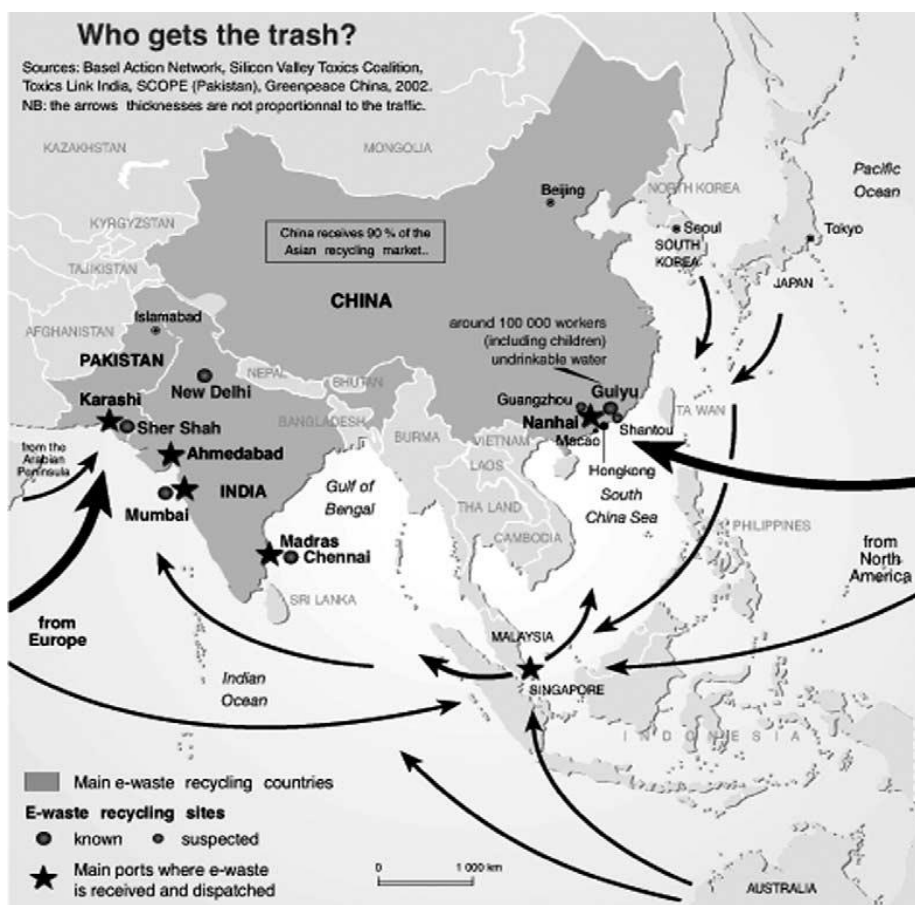
Ελλάδα: Η παραγωγή ΑΗΗΕ στη χώρα μας για την περίοδο 2003 έως 2008 υπολογίζεται από 174.000 ως 184.000 τόνους ετησίως, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 3.8% του συνόλου των δημοτικών αποβλήτων και ισοδυναμεί κατά μέσο όρο με 14.4 Kg/κάτοικο/χρόνο. Η παραγωγή των ΑΗΗΕ υπολογίζεται ως το άθροισμα των ΑΗΗΕ οικιακής και εμπορικής χρήσης. Έχει υπολογιστεί ότι τα οικιακά ΑΗΗΕ εκπροσωπούν περίπου το 56% ενώ τα εμπορικά το 44% του συνόλου της παραγωγής [5]. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καθώς και ότι έχουμε κατά μέσο όρο 3 κατοίκους ανά νοικοκυριό προκύπτουν τα στοιχεία του Πίνακα 1.3 που ακολουθεί.

Πίνακας 3: Ετήσια Παραγωγή ΑΗΗΕ στην Ελλάδα
(Πηγή: Σκουπίδια και ανακύκλωση, τεύχος 47, σελ. 36)

Έτος	Συνολικός πληθυσμός	Ποσότητα σε τόνους
2003	11.184.397	174.623
2004	11.296.241	174.369
2005	11.409.203	178.133
2006	11.523.295	179.914
2007	11.638.528	181.714
2008	11.754.913	183.531

Με βάση τα παραπάνω και συνεκτιμώντας ότι τα ΑΗΗΕ αποτελούν συναρμολογημένα σύνολα μεγάλης ποικιλίας υλικών και τοξικών ουσιών, είναι εύκολο να κατανοηθεί το μέγεθος της σημασίας που έχει η επεξεργασία και η σωστή διαχείριση των αποβλήτων αυτής της κατηγορίας. Δυστυχώς εκτιμάται ότι το 90% καταλήγει σήμερα σε ταφή, αποτέφρωση ή ανάκτηση

χωρίς καμία προεργασία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να καταλήγουν πολλά επικίνδυνα υλικά στο περιβάλλον. Επίσης είναι γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των αποβλήτων του δυτικού κόσμου, καταλήγει σε υπανάπτυκτες χώρες. Συγκεκριμένα, χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της συγκέντρωσης ολοένα αυξανόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ, λόγω των παράνομων εισαγωγών καθώς και λόγω της εγχώριας παραγωγής. Για αναπτυσσόμενες οικονομίες, όπως οι παραπάνω, οι παράνομες αυτές εισαγωγές, οφείλονται στη χαλαρή ντόπια νομοθεσία και στη χαμηλή μισθοδοσία των εργαζομένων [2].



Σχήμα 2: Διαδρομές ΑΗΗΕ

(Πηγή: Asian e-waste traffic (Schwarzer et al., 2005)).

Κρίνεται αναγκαία λοιπόν η εμβάθυνση και η έρευνα στην ανάπτυξη εφαρμογών που βοηθούν δραστικά στη διαχείριση των ΑΗΗΕ, με μεθόδους όπως η Ανακύκλωση και ο Περιβαλλοντικά Ευαίσθητος Σχεδιασμός των ΗΗΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τοξικές και Επικίνδυνες Ουσίες

2.1 Γενικά

Η ανάπτυξη ανθρώπινων αναγκών, που καλύπτει η τεχνολογική πρόοδος, οδηγεί στη συνεχή αύξηση των απορριμμάτων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών καθώς και στην ολοένα μεγαλύτερη μείωση των κύκλων ζωής τους. Κατά συνέπεια παρατηρείται και αυξημένη χρήση ουσιών που έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνες για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία από την Ε.Ε και την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (Π.Ο.Υ.). Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες από τις πλέον χρησιμοποιούμενες ουσίες καθώς και οι αρνητικές επιπτώσεις από τη χρήση τους.

2.2 Ταυτοποίηση ουσιών στα ΑΗΗΕ

Πρόσφατες μελέτες οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι τα υψηλά ποσοστά επικίνδυνων ουσιών συναντώνται σε λίγα τμήματα των συσκευών. Συγκεκριμένα [\[4\]](#), [\[7\]](#):

- Υδράργυρος (Hg): υπάρχει σε ποσοστό πάνω από 90% σε μπαταρίες, αισθητήρες και διακόπτες. Είναι γεγονός ότι, σε παγκόσμιο επίπεδο, το 22% του υδραργύρου που χρησιμοποιείται ανά έτος είναι για ΗΗΕ.
- Μόλυβδος (Pb): βρίσκεται σε ποσοστό άνω του 90% σε μπαταρίες, ενώ σε μικρότερα ποσοστά χρησιμοποιείται σε λάμπες φωτισμού, φθορισμού και σε κράματα PbAs. Με τη μορφή οξειδίου του μολύβδου (PbO) βρίσκεται σε είδη γυαλιού, και με ποσοστό άνω του 80% σε λάμπες φωτισμού, φθορισμού καθώς και σε καθοδικές λυχνίες.
- Κάδμιο (Cd): χρησιμοποιείται σε ποσοστό πάνω από 90% στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες καθώς και στο γυαλί των καθοδικών λυχνίων.

- Εξασθενές χρώμιο (Cr VI): χρησιμοποιείται στα ψυκτικά συστήματα των ψυγείων ως αντιδιαβρωτικό και ως σκληρυντικό στο μίγμα του καλύμματος των ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- PVC (Χλωροπαραφίνες): το 90% βρίσκεται στα καλώδια. Περιέχεται σε υψηλό ποσοστό στα πλαστικά τμήματα των ΑΗΗΕ.
- Βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης (Πέντε-, Όκτα- και Δέκα-BDE): πάνω από το 80% αυτών χρησιμοποιείται στις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, κατασκευαστικά στοιχεία (π.χ. διατάξεις σύνδεσης), τα καλώδια και τα πλαστικά καλύμματα των Η/Υ, ενώ ένα μικρό ποσοστό το συναντάμε στις τηλεοράσεις καθώς και στις μικρές οικιακές συσκευές.
- Χαλκός (Cu): περιέχεται στα καλώδια και στις διάφορες ενώσεις μεταξύ εξαρτημάτων, ενώ ένα ποσοστό 40% προέρχεται από μικρά απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών σε χώρους επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών.
- PCB (πολυχλωροδιφαινυλίων): το 90% των PCB βρίσκεται στους πυκνωτές.
- TBBA (τετραβρωμοδιφαινόλη-A): αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 50% κατά βάρος της ποσότητας των βρωμιούχων επιταχυντών φλόγας που χρησιμοποιούνται για προστασία σε περίπτωση πυρκαγιάς του ΗΗΕ αυξάνοντας την αντοχή των υλικών στη φωτιά. Η περιβαλλοντική συμπεριφορά τους είναι παρόμοια με αυτή των χλωριωμένων ρυπαντών όπως τα PCBs.

Τέλος, υπάρχουν άλλα υλικά και στοιχεία που περιέχονται στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές και επιδρούν στο περιβάλλον όπως άργυρος, βάριο, αντιμόνιο, υγροί κρύσταλλοι (περισσότερο από 2000 συστατικά μπορούν να σχηματίσουν υγρούς κρυστάλλους), οπτικά υλικά (ίνδιο, γάλλιο, αρσενικό). Τα στοιχεία αυτά συναντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες γι' αυτό και δεν γίνεται παραπέρα ανάλυση στη συγκεκριμένη εργασία.

2.3 Επιδράσεις των τοξικών ουσιών

Γενικά η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας από τα είδη των Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών (ΗΗΣ) είναι μείζονος σημασίας και συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα εξαρτάται από το πόσο διαδεδομένο είναι το ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό προϊόν στην παγκόσμια αγορά. Οι αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον από τα ΗΗΕ αυξάνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός των συσκευών που περιέχουν τις περισσότερες τοξικές ουσίες (όλες οι συσκευές δεν περιέχουν τον ίδιο αριθμό τοξικών ουσιών) και όσο μικρότερος είναι ο κύκλος ζωής τους.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο είχε ήδη ξεκινήσει η προσπάθεια περιορισμού ή και εξάλειψης των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται σε ορισμένα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα. Η μεγαλύτερη προσοχή έχει δοθεί στις πιο επικίνδυνες και τοξικές ουσίες όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το κάδμιο, το εξασθενές χρώμιο, τα πολυβρωμοδιφαινύλια (PBB) και τέλος οι πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE).

Την τελευταία δεκαετία έχουν τεθεί σε ισχύ νομοθετικές πρωτοβουλίες σε ευρωπαϊκό επίπεδο για τον περιορισμό και την εξάλειψη των επικίνδυνων αυτών ουσιών. Ένα χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι η Οδηγία 94/62/EK «για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασίας» καθώς και η Οδηγία 91/157/ΕΟΚ «για τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες» (όπως τροποποιήθηκε από την Οδηγία 98/101/EK).

Με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής έχει ξεκινήσει εδώ και καιρό η σύνταξη της Πρότασης Οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι άμεσες επιβαρύνσεις των διάφορων τοξικών ουσιών στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Πιο πριν παρουσιάζεται η

«έμμεση» επιβάρυνση στο περιβάλλον που οφείλεται στις ουσίες που δεν αποτελούν τμήμα των συσκευών αλλά έχουν σχέση με την παραγωγή τους.

2.3.1 «Έμμεσες» επιδράσεις των τοξικών ουσιών

Ως «έμμεση» επιβάρυνση μπορεί να χαρακτηριστεί η μείωση των πρώτων υλών στο περιβάλλον, η ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξή τους, η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή και τη μεταφορά των συσκευών. Ως παράδειγμα στο σημείο αυτό μπορεί να αναφερθεί ότι για την παραγωγή ενός μικροτσιπ 2 γραμμαρίων απαιτούνται 1.600 γραμμάρια ορυκτών καυσίμων, 72 γραμμάρια χημικών ουσιών, 32.000 γραμμάρια νερού και 700 γραμμάρια συστατικών αερίων (κυρίως αζώτου).

Πίνακας 4: Απαιτήσεις για την παραγωγή ενός μικροτσιπ 2 γραμμαρίων
(Πηγή: Περιοδικό «Ανακύκλωση» τεύχος 47)

Απαιτήσεις	Ποσότητα σε γραμμάρια (g)
Ορυκτά καύσιμα	1600
Χημικές ουσίες	72
Νερό	32000
Συστατικά αέρια	700

2.3.2 Άμεσες επιδράσεις των τοξικών ουσιών

Υδράργυρος (Hg)

Ο υδράργυρος αποτελεί απειλή δημόσιας υγείας όταν αποτεφρώνεται μαζί με άλλα απορρίμματα αφού ο ατμός του είναι πολύ τοξικός. Όταν εισπνέεται περνά από τους πνεύμονες στο αίμα και τέλος στον εγκέφαλο, όπου προσβάλλει το νευρικό σύστημα. Βάσει της οδηγίας του Συμβουλίου 67/548/ΕΟΚ θεωρείται βλαβερός όταν εισπνέεται, έρχεται σε επαφή με το

δέρμα και σε περίπτωση κατάποσης εφόσον υπάρχει κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων. Ο υδράργυρος εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφικής αλυσίδας. Αυτό συμβαίνει λόγω της συσσώρευσης μεθυλιωμένου υδραργύρου σε έμβια όντα των υδάτων. Ο μεθυλιωμένος υδράργυρος δημιουργείται από τη διάχυση ανόργανου υδραργύρου στο νερό. Ο υδράργυρος σε αυτή τη μορφή προκαλεί χρόνιες βλάβες κυρίως στα τμήματα του ανθρώπινου εγκεφάλου που ελέγχουν την όραση, τον συντονισμό και την ισορροπία. Στο έμβρυο μπορεί να περάσει μέσω του πλακούντα με αποτέλεσμα ακόμη και τη διανοητική καθυστέρηση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα δηλητηρίασης από υδράργυρο είναι η περίπτωση ενός εργοστασίου παραγωγής πλαστικών στην Ιαπωνία, όπου η διάχυση των αποβλήτων του σε υδάτινους αποδέκτες μόλυνε αρχικά τα ψάρια και κατ' επέκταση αρκετούς κατοίκους της πόλης. Επίσης πολλά είδη πτηνών που τρέφονται σε υδάτινα περιβάλλοντα απειλούνται με εξαφάνιση [7], [8], [9].

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος, ένα βαρύ μέταλλο με υψηλή τοξικότητα, είναι ένα από τα τέσσερα πιο επιβλαβή μέταλλα στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Υπολογίζεται ότι ο μόλυβδος, από τα απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών αντιπροσωπεύει το 50% περίπου, των εισροών μολύβδου στους αποτεφρωτές. Βάσει της οδηγίας του Συμβουλίου 67/548/ΕΟΚ θεωρείται βλαβερός όταν εισπνέεται και σε περίπτωση κατάποσης εφόσον υπάρχει κίνδυνος αθροιστικών επιδράσεων. Ο μόλυβδος υπάρχει φυσικά στο περιβάλλον, όμως η αυξημένη συσσώρευσή του σ' αυτό οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Με βάση πληροφορίες που υπάρχουν από τον ΟΟΣΑ (Παρίσι 1993), συσσωρεύεται κυρίως στα φυτά, τα ζώα και τους μικροοργανισμούς (ενώ δε συσσωρεύεται σε μεγάλο βαθμό στα ψάρια, παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις στα οστρακοειδή). Εισέρχεται στον οργανισμό του ανθρώπου μέσω της τροφικής αλυσίδας. Συγκεκριμένα ο μόλυβδος εισέρχεται στον άνθρωπο μέσω του φαγητού κατά 65%, μέσω του νερού κατά 20% και από τον αέρα κατά 15%. Η χρόνια συγκέντρωση του μολύβδου σε ζωτικά όργανα (π.χ. καρδιά) οδηγεί στη δημιουργία σοβαρών

προβλημάτων στο κεντρικό και περιφερειακό νευρικό σύστημα. Προκαλεί προβλήματα στο ενδοκρινολογικό στο κυκλοφοριακό και στα νεφρά και έχει καρκινογόνο δράση στον άνθρωπο βάσει πειραμάτων που έχουν γίνει σε ζώα. Επίσης προκαλεί προβλήματα στον ύπνο, αδυναμία, ανορεξία, πονοκεφάλους, διανοητικές διαταραχές, διαταραχή της βιοσύνθεσης και ανεμία, υψηλή πίεση και μείωση της γονιμότητας. Στο έμβρυο μπορεί να περάσει μέσω του πλακούντα με αποτέλεσμα πιθανές διαταραχές στο νευρικό σύστημα του νεογνού. Οι κύριες ομάδες που προσβάλλονται από την τοξικότητα του μολύβδου, βάσει της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (Π.Ο.Υ.), είναι οι έγκυες, τα έμβρυα, τα βρέφη και παιδιά μέχρι 6 ετών τα οποία παρουσιάζουν μαθησιακές δυσκολίες, επιθετική συμπεριφορά και υπερκινητικότητα. Τέλος όσον αφορά το περιβάλλον, ο μόλυβδος δημιουργεί σημαντικές διαταραχές στο φυτοπλαγκτόν, το οποίο είναι μια πολύ σημαντική πηγή παραγωγής οξυγόνου [7], [8], [9].

Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι τοξική ουσία που παράγεται ως παραπροϊόν της χύτευσης ψευδαργύρου. Ένα σημαντικό μέρος της παραγωγής του, εκτός των άλλων, είναι από την αποτέφρωση των απορριμάτων που περιέχουν κάδμιο. Βάσει της οδηγίας του Συμβουλίου 67/548/ΕΟΚ θεωρείται βλαβερός όταν εισπνέεται και σε περίπτωση κατάποσης εφόσον υπάρχει κίνδυνος αθροιστικών και μόνιμων επιδράσεων. Επίσης ο IARC (Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο) έχει κατατάξει το κάδμιο στις καρκινογόνες ουσίες. Το κάδμιο εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό κυρίως μέσω του αέρα και της τροφής. Συγκεκριμένα το 40% του καδμίου που αναπνέεται μένει στο ανθρώπινο σώμα, ενώ μέσω της τροφής παραμένει κατά 5%. Ειδικότερα συγκεντρώνεται στα νεφρά, στο συκώτι, στη σπλήνα, στα οστά, το αίμα και στον θυρεοειδή αδένα. Ως τοξική και ίσως καρκινογόνα ουσία, το κάδμιο αν δεν αποβληθεί άμεσα μέσω των ούρων, συσσωρεύεται στον οργανισμό για 10 έως και 30 χρόνια. Οι αρνητικές επιδράσεις που προκαλεί το κάδμιο στον άνθρωπο είναι: Η νεφρική δυσλειτουργία, διαταραχές στις αυξητικές ορμόνες, ψυχολογικές διαταραχές, βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα,

βλάβες στο σκελετό, αναπαραγωγικές ανεπάρκειες, αναιμία, αδυνάτισμα της τριχοφυΐας καθώς και συμπτώματα δηλητηρίασης. Η ένωση χλωριούχου καδμίου συγκεκριμένα, προκαλεί καρκινώματα στο συκώτι, στον προστάτη και στους πνέυμονες.

Οι οργανισμοί που συμβάλλουν στην αποσύνθεση (σκώληκες κλπ.) του εδάφους, είναι πολύ ευάλωτοι σε δηλητηριάσεις από μικρές ποσότητες συγκεντρωμένου καδμίου, πράγμα καταστροφικό για το οικοσύστημα. Τέλος, στα υδάτινα οικοσυστήματα, οι ζώντες οργανισμοί που συγκεντρώνουν ποσότητες καδμίου στο σύστημά τους είναι τα ψάρια και τα οστρακοειδή [7], [8], [9].

Εξασθενές Χρώμιο (Cr VI)

Το εξασθενές χρώμιο και οι ενώσεις του θεωρούνται πολύ τοξικές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Βάσει της οδηγίας του Συμβουλίου 67/548/ΕΟΚ, θεωρείται καρκινογόνο (κατηγορία 2) όταν εισπνέεται, προκαλεί ευαισθησίες όταν έρχεται σε επαφή με το δέρμα και είναι πολύ τοξικό για υδρόβιους οργανισμούς, προκαλώντας μακροχρόνιες αρνητικές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον. Το εξασθενές χρώμιο, διαπερνά τις κυτταρικές μεμβράνες εύκολα με αποτέλεσμα να απορροφάται και να προκαλεί τοξικές επιδράσεις στα κύτταρα. Θεωρείται γονιδοτοξικό ύποπτο για βλάβες στο DNA. Οι αρνητικές επιδράσεις του εξασθενούς χρωμίου στον άνθρωπο είναι πολυάριθμες. Εξασθενεί το ανοσοποιητικό σύστημα, προκαλεί βλάβες στο συκώτι και στα νεφρά, καθώς και αύξηση αλλεργιών (π.χ. ασθματική βρογχίτιδα). Μέσω της εισπνοής δημιουργεί εξελκώσεις, διάτρηση της βλεννογόνου μεμβράνης του ρινικού διαφράγματος, ερεθισμούς στο φάρυγγα και στο λάρυγγα και οιδήματα.

Το εξασθενές χρώμιο καταλήγει στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων, καθώς και μέσω φυσικών διαδικασιών και αντιδράσεων. Η κύρια ανθρώπινη δραστηριότητα που αυξάνει τη συγκέντρωση χρωμίου είναι οι διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. βαφή

ΗΗΕ). Όσο αναφορά την έκλυση του χρωμίου στο περιβάλλον μέσω της διαχείρισης απορριμμάτων που το περιέχουν, αυτή πραγματοποιείται κατά την αποτέφρωσή τους καθώς το χρώμιο είναι ένα στοιχείο που εξαερώνεται εύκολα. Τέλος μπορεί να εκλυθεί από χώρους ταφής αν δεν υπάρχει καλή στεγανοποίηση [7], [8], [9].

PVC

Η ίδια η παραγωγή των πλαστικών PVC συχνά δημιουργεί μεγάλες ποσότητες από τοξικές χημικές ενώσεις όπως η διοξίνη, το υδροχλωρικό οξύ και το βινυλοχλωρίδιο. Επίσης υλικά που χρησιμοποιούνται για να γίνει το PVC ελαστικό είναι και αυτά τοξικά. Η καύση πλαστικού PVC, όπως έχει αποδειχτεί, μετατρέπει τα αέρια της αποτέφρωσης σε τοξικά εκλύοντας διοξίνες και φουράνια. Επιπλέον οι απώλειες πλαστικοποιητών και ειδικά των φθαλικών ενώσεων κατά την υγειονομική ταφή του PVC αναγνωρίζεται ότι ενδέχεται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον.

Πολύ σοβαρές ασθένειες δημιουργούνται στον άνθρωπο, όπως καρκίνος, διαβήτης, νευρολογικές παθήσεις, προβλήματα αναπαραγωγής, καθώς και επιπλοκές κατά τον τοκετό, από τις τοξικές ουσίες που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν [7], [8], [9].

Βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης

Ως επιβραδυντικά καύσης χρησιμοποιούνται κυρίως οργανικές ουσίες που περιέχουν βρώμιο ή χλώριο. Τα βρωμιούχα επιβραδυντικά καύσης αποτελούν τα τρία τέταρτα του συνόλου των επιβραδυντών με πιο ευραίως χρησιμοποιούμενα το πολυβρωμοδιφαινύλιο (PBB) και τον πολυβρωμοδιφαιθυλαιθέρα (PBDE), το οποίο σχηματίζει κατά τη διαδικασία της εξώθησης (σημαντικό στάδιο της ανακύκλωσης πλαστικού) τα τοξικά πολυβρωμοδιβενζοφουράνια (PBDD). Οι ουσίες PBB και PBDE δεν έχουν ταξινομηθεί βάσει της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ. Είναι ουσίες που δύσκολα αποσυντίθενται από το περιβάλλον και εύκολα συσσωρεύονται σε ζωντανούς

οργανισμούς. Παρόλο που η κύρια μορφή διάχυσής τους είναι οι βιομηχανικές μονάδες, οι ουσίες αυτές έχουν βρεθεί σε απομακρυσμένους βιότοπους, γεγονός που δηλώνει τη γρήγορη γεωγραφική εξάπλωσή τους. Η άμεση διάχυσή τους στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στην τροφική αλυσίδα γίνεται και από χώρους υγειονομικής ταφής.

Επειδή χρησιμοποιούνται και σε ηλεκτρονικά είδη ως μέσο πυροπροστασίας, οι κατασκευαστικές εταιρίες δεν διακόπτουν τη χρήση τους, παρά τις σημαντικές βλάβες που προκαλούν στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα κατά την ανακύκλωση του πλαστικού τμήματος των ΑΗΗΕ σχηματίζονται τοξικές ουσίες όπως διοξίνες και φουράνια. Η ένωση PBDE μεταφέρεται στο αίμα των ανθρώπων και το μητρικό γάλα μέσω της τροφικής αλυσίδας. Σε μονάδες ανακύκλωσης πλαστικών με πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE) βρέθηκε υψηλή συγκέντρωση αυτών των χημικών στο αίμα των εργαζομένων. Επίσης η ένωση PBDE παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση και επιπτώσεις στο συκώτι, στη θυρεοειδή ορμόνη και προκαλεί διαταραχές στην ενδοκρινική λειτουργία. Με βάση αυτές τις διαπιστώσεις, η γερμανική βιομηχανία έχει σταματήσει την παραγωγή των χημικών αυτών ουσιών από το 1986. Η Εθνική Επιθεώρηση Χημικών Ουσιών της Σουηδίας προτείνει την απαγόρευση των πολυβρωμοδιφαινυλίων (PBB). Από το 1993 έχει επίσης απαγορευθεί στην Αυστρία, η χρήση των πολυβρωμοδιφαινυλίων (PBB) [7], [8], [9].

Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός υπάρχει φυσικά στο περιβάλλον και διαχέεται σε αυτό από τα φυσικά φαινόμενα. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί ευρέως τον χαλκό συνολικά στη βιομηχανία και στη μηχανοποιημένη γεωργία. Τις τελευταίες δεκαετίες η παραγωγή του χαλκού έχει ανεβεί σε υψηλά επίπεδα, πράγμα που σημαίνει ότι ολοένα και μεγαλύτερη ποσότητα χαλκού διοχετεύεται και συγκεντρώνεται στο περιβάλλον. Επειδή ο χαλκός βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, εισέρχεται στον άνθρωπο μέσα από τα τρόφιμα, το νερό και την αναπνοή. Παρόλο που ανήκει στην κατηγορία των ιχνοστοιχείων, που

σημαίνει ότι η απορρόφησή του από τον άνθρωπο είναι καθοριστική και ουσιαστική για την υγεία του, η μεγάλη συγκέντρωση του στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί σοβαρά προβλήματα: σημαντικές βλάβες στο συκώτι και στα νεφρά, ακόμη και θάνατο. Όπως έχει δημοσιευθεί σε επιστημονικά άρθρα, η έκθεση νέων παιδιών στο χαλκό ελαττώνει τη διανοητική τους ικανότητα. Άτομα που έχουν τις υπεύθυνες γενετικές μεταλλάξεις για τη νόσο του Willson και εκτίθενται χρόνια σε χαλκό, επιταχύνονται σε αυτά οι αρνητικές επιδράσεις όπως κύρωση του ήπατος, εγκεφαλικές βλάβες, απομυελίνωση. Μερικά λιγότερο επιβλαβή προβλήματα που προκαλούνται στον άνθρωπο είναι ο ερεθισμός στη μύτη, στο στόμα, στα μάτια, πονοκέφαλοι, πόνοι στο στομάχι, ζαλάδες, εμμετοί, διάρροια. Επίσης δεν έχει διευκρινιστεί ακόμα για το αν ο χαλκός αποτελεί και ανήκει στις καρκινογόνες ουσίες. Στο περιβάλλον ο χαλκός επηρεάζει αρνητικά το έδαφος, και επειδή δεν αποσυντίθεται φυσικά, αυτό επηρεάζει σημαντικά τη βλάστηση. Γι' αυτό, σε περιοχές που υπάρχουν εργοστάσια παραγωγής χαλκού θα δούμε ελάχιστη ποικιλία φυτών. Τέλος, ο χαλκός επηρεάζει και καταστρέφει τους διάφορους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, με αποτέλεσμα τη διακοπή της [7], [8], [9].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ισχύον Νομοθετικό Πλαίσιο

3.1 Ισχύουσα Νομοθεσία στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, στο άρθρο 174 της Συνθήκης Ίδρυσής της, ορίζει ότι η κοινοτική πολιτική για το περιβάλλον πρέπει να αποσκοπεί στην υψηλού επιπέδου προστασία λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλότητα των παρατηρούμενων καταστάσεων στις επιμέρους περιφέρειες της Κοινότητας.

Οι τρεις αρχές στις οποίες πρέπει να βασίζεται η πολιτική αυτή είναι:

- η αρχή της ανάληψης προληπτικής δράσης,
- η αρχή της αντιμετώπισης στην πηγή κάθε περιβαλλοντικής ζημιάς και
- η αρχή “ο ρυπαίνων πληρώνει”.

Ειδικότερα, όσον αφορά την αρχή της προληπτικής δράσης, προκειμένου να περιοριστεί η ποσότητα των προς διάθεση ΑΗΗΕ, πρέπει κατά το σχεδιασμό και την παραγωγή ΑΗΗΕ να διευκολύνονται η επισκευή, η πιθανή αναβάθμιση, η επαναχρησιμοποίηση, η αποσυναρμολόγηση, η αξιοποίηση, και ιδίως η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ. Θα έπρεπε επίσης να περιοριστεί η χρήση των επικίνδυνων ουσιών στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού από τους κατασκευαστές ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι για την υγεία των εργαζομένων καθώς και για να αποφευχθεί η διάθεση μεγάλων ποσοτήτων ουσιών στο περιβάλλον. Τέλος, να ενσωματωθούν μεγαλύτερες ποσότητες ανακυκλώμενου υλικού από τους κατασκευαστές.

Σύμφωνα με την αρχή ο ρυπαίνων πληρώνει, υπεύθυνοι για τις συνέπειες του προϊόντος που προωθείται στην αγορά είναι οι ίδιοι οι κατασκευαστές αφού αυτοί αποκομίζουν κέρδος. Συνεπώς οι παραγωγοί επιβαρύνονται με το κόστος της ανακύκλωσης και είναι δική τους ευθύνη να οργανώσουν συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΗΗΕ για τη χωριστή συλλογή,

αποθήκευση, μεταφορά, επαναχρησιμοποίηση, και επεξεργασία για ανακύκλωση ακολουθώντας τις οδηγίες της ισχύουσας νομοθεσίας.

3.1.1 Οδηγίες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μετά από μία διαδικασία συναπόφασης, κατέληξαν στην έκδοση δύο οδηγιών: την οδηγία 2002/96/ΕΚ της 27^{ης} Ιανουαρίου 2003 σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) με τροποποίηση από την οδηγία 2003/108/ΕΚ καθώς και την οδηγία 2002/95/ΕΚ της 27^{ης} Ιανουαρίου 2003 σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Οδηγία 2002/96/ΕΚ

Σκοπός της οδηγίας αυτής είναι η πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) και η ενίσχυση άλλων μορφών ανάκτησης ώστε να μειωθεί η ποσότητα των αποβλήτων προς διάθεση. Τα κράτη μέλη πρέπει να ενθαρρύνουν τους κατασκευαστές νέων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, να σχεδιάζουν τα προϊόντα με πρωταρχικό στόχο την εύκολη αποσυναρμολόγηση και επαναχρησιμοποίηση. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή είναι ευθύνη των κρατών μελών, με τη λειτουργία κατάλληλων φορέων, να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση των προς διάθεση ΑΗΗΕ ως αδιαχώριστα αστικά απόβλητα. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο εξασφαλίζει ότι έως τις 31 Δεκεμβρίου 2008 η συλλογή των ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης θα ανέρχεται τουλάχιστον σε 4 kg κατά μέσο όρο, ανά κάτοικο και ανά έτος [1].

Όσον αφορά την αξιοποίηση των ΑΗΗΕ, τα κράτη μέλη είχαν θέσει τους κάτωθι αριθμητικούς στόχους έως τις 31 Δεκεμβρίου 2006:

(α) Για τα ΑΗΗΕ των κατηγοριών “μεγάλες οικιακές συσκευές” και “συσκευές αυτόματης διανομής”, ο βαθμός αξιοποίησης θα έπρεπε να ανέλθει στο 80% τουλάχιστον του μέσου βάρους ανά συσκευή, και η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των κατασκευαστικών στοιχείων, των υλικών και των ουσιών τουλάχιστον στο 75%.

(β) Για τα ΑΗΗΕ των κατηγοριών “εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών” και “καταναλωτικών ειδών”, ο βαθμός αξιοποίησης θα έπρεπε να ανέλθει στο 75% τουλάχιστον του μέσου βάρους ανά συσκευή, και η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των κατασκευαστικών στοιχείων, των υλικών και των ουσιών τουλάχιστον στο 65%.

(γ) Για τους λαμπτήρες, ο βαθμός αξιοποίησης, και η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των κατασκευαστικών στοιχείων, των υλικών και των ουσιών πρέπει να ανέλθει τουλάχιστον στο 80% του μέσου βάρους ανά συσκευή.

(δ) Για τα ΑΗΗΕ των υπόλοιπων κατηγοριών εκτός της κατηγορίας “Ιατροτεχνολογικά προϊόντα”, ο βαθμός αξιοποίησης θα έπρεπε να ανέλθει στο 70% τουλάχιστον του μέσου βάρους ανά συσκευή και η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των κατασκευαστικών στοιχείων, των υλικών και των ουσιών τουλάχιστον στο 50%.

Οδηγία 2002/95/ΕΚ

Στόχος της οδηγίας αυτής είναι η μέριμνα των κρατών μελών όσον αφορά τη χρήση επικίνδυνων ουσιών στα ΕΗΗΕ και ο περιορισμός τους για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Η οδηγία αυτή αφορά όλες τις κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού εξαιρουμένων των κατηγοριών “Ιατροτεχνολογικά προϊόντα” και “Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου”.

Τα κράτη μέλη είναι υπεύθυνα για την απαγόρευση διάθεσης στην αγορά των ΗΗΕ που περιέχουν μολύβδο, υδράργυρο, κάδμιο, εξασθενές χρώμιο, πολυβρωμοδιφαινύλια (PBB) και πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE) [10].

3.2 Ισχύουσα Εθνική Νομοθεσία

Η εθνική νομοθεσία υιοθετεί και εφαρμόζει τις βασικές οδηγίες που καθορίζονται από την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συμβαδίζει με τις διατάξεις της οδηγίας 2002/96 του Συμβουλίου της 27^{ης} Ιανουαρίου 2003 «σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού» και της οδηγίας 2002/95 του Συμβουλίου της 27^{ης} Ιανουαρίου 2003 «σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού», οι οποίες έχουν δημοσιευθεί στην επίσημη εφημερίδα της Ε.Ε.

Πιο συγκεκριμένα το θεσμικό και νομικό πλαίσιο που ισχύει στην Ελλάδα για την Εναλλακτική Διαχείριση των Αποβλήτων ειδών Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού καθορίζεται από [11], [12], [13]:

- Το Προεδρικό Διάταγμα 117/2004 (ΦΕΚ 82 Α) «Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε συμμόρφωση με τις διατάξεις των Οδηγιών 2002/95 σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού» και 2002/96 «Σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού» του Συμβουλίου της 27^{ης} Ιανουαρίου 2003».
- Τις διατάξεις του νόμου 1650/1986 «για την προστασία του περιβάλλοντος» με κύριο στόχο την εφαρμογή των άρθρων 12 και 13.
- Τις διατάξεις του νόμου 2939/2001 (ΦΕΚ 179 Α) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις». Το υπό

αριθμόν 117 Προεδρικό Διάταγμα αποσκοπεί κυρίως στην εφαρμογή των άρθρων 15, 16, 17, 18 και 24.

- Το Προεδρικό Διάταγμα 15/2006 (ΦΕΚ 82 Α) «Τροποποίηση του Προεδρικού Διατάγματος 117/2004 (ΦΕΚ 82 Α), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/108 «για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/96 σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)» του Συμβουλίου της 8^{ης} Δεκεμβρίου 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μέθοδοι Διαχείρισης EOL (End of Life) Προϊόντων

Τη σημερινή εποχή, στις περισσότερες χώρες τα ΑΗΗΕ αποτεφρώνονται ή οδηγούνται σε ΧΥΤΑ. Επίσης σε πολλές χώρες αποθηκεύονται κάποια υλικά των προϊόντων που θεωρούνται αναγκαία για επαναχρησιμοποίηση και τα υπόλοιπα EOL προϊόντα πετιούνται μαζί με τα υπόλοιπα απορρίμματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος συνολικά, του αέρα, του εδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα, με διάφορες τοξικές ουσίες (βαρέα μέταλλα, διοξίνες και φουράνια). Κάποιες εταιρίες των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών θεωρούν οικονομικά πιο ικανοποιητική λύση τη διάθεση των απορριμμάτων τους για ανακύκλωση στις υπανάπτυκτες χώρες παραβλέποντας τις συνθήκες επεξεργασίας τους εκεί.

Οι παραπάνω ενέργειες γίνονται χωρίς να υπολογίζονται οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και χωρίς να υπάρχει κατάλληλη προεργασία όσον αναφορά τη διαχείριση των προϊόντων. Όμως, λόγω της αυξανόμενης περιβαλλοντικής ευαισθησίας του πληθυσμού και του μεγάλου οικονομικού οφέλους των εταιριών που προκύπτει από τη βέλτιστη ανάκτηση υλικών και επιμέρους τμημάτων των προϊόντων στο τέλος της χρήσιμης ζωής τους, το θέμα της διαχείρισης έχει αρχίσει να κεντρίζει την προσοχή και το επιστημονικό ενδιαφέρον σε ότι έχει σχέση με την ανάπτυξη μεθόδων και εφαρμογών.

Πιο συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες έχουν οδηγηθεί σε εκτεταμένη έρευνα σε περιοχές όπως [\[14\]](#):

- Σχεδίαση για το Περιβάλλον (DfE: Design for Environment).
- Σχεδίαση για Αποσυναρμολόγηση (DfD: Design for Disassembly).
- Ανάλυση του Κύκλου Ζωής και κατά επέκταση τη Διαχείριση του Κύκλου Ζωής ενός Προϊόντος (PLM: Product Lifecycle Management).

Αυτές οι μελέτες έχουν ως κύριους στόχους [14]:

- Μείωση των υλικών που πάνε στους ΧΥΤΑ.
- Μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης.
- Έλεγχος των επικίνδυνων υλικών.

Στόχοι είναι επίσης, να βοηθηθούν οι σχεδιαστές στη βελτίωση των τελικών χαρακτηριστικών των προϊόντων τους (περιβαλλοντικά ευαίσθητος σχεδιασμός), βελτίωση της διαδικασίας συλλογής και διαχείρισης των προϊόντων αφού αυτά ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους ή αποσυρθούν από την αγορά και να βοηθηθούν οι λήπτες αποφάσεων να αναπτύξουν ευφυείς και ρεαλιστικές πολιτικές – στρατηγικές για τη διαχείριση των EOL προϊόντων.

Μερικές νομικές πρωτοβουλίες έχουν τεθεί σε ισχύ, για την ικανοποίηση των προαναφερθέντων στόχων. Για παράδειγμα, η Συνθήκη της Βασιλείας, στοχεύει στη μείωση της παραγωγής και των μετακινήσεων των επιβλαβών αποβλήτων [14]. Επίσης όπως αναφέρθηκε στο 3^ο κεφάλαιο εφαρμόζονται συγκεκριμένα εθνικά και ευρωπαϊκά νομοθετικά μέτρα για τη μείωση των επικίνδυνων ουσιών και την αρχή ευθύνης των παραγωγών.

Η ευθύνη του παραγωγού κινείται σε τρεις άξονες:

- τον οικονομικό,
- το φυσικό και
- τον πληροφοριακό.

Αυτό σημαίνει ότι πέρα από την ευθύνη της οικονομικής διαχείρισης των αποβλήτων που παράγουν, πρέπει επίσης να εξασφαλίσουν ότι τα απόβλητα υπόκεινται και στην κατάλληλη επεξεργασία καθώς και να παρέχουν στην κυβέρνηση, στις επιχειρήσεις επεξεργασίας και στους καταναλωτές όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με τον αντίκτυπο των προϊόντων τους.

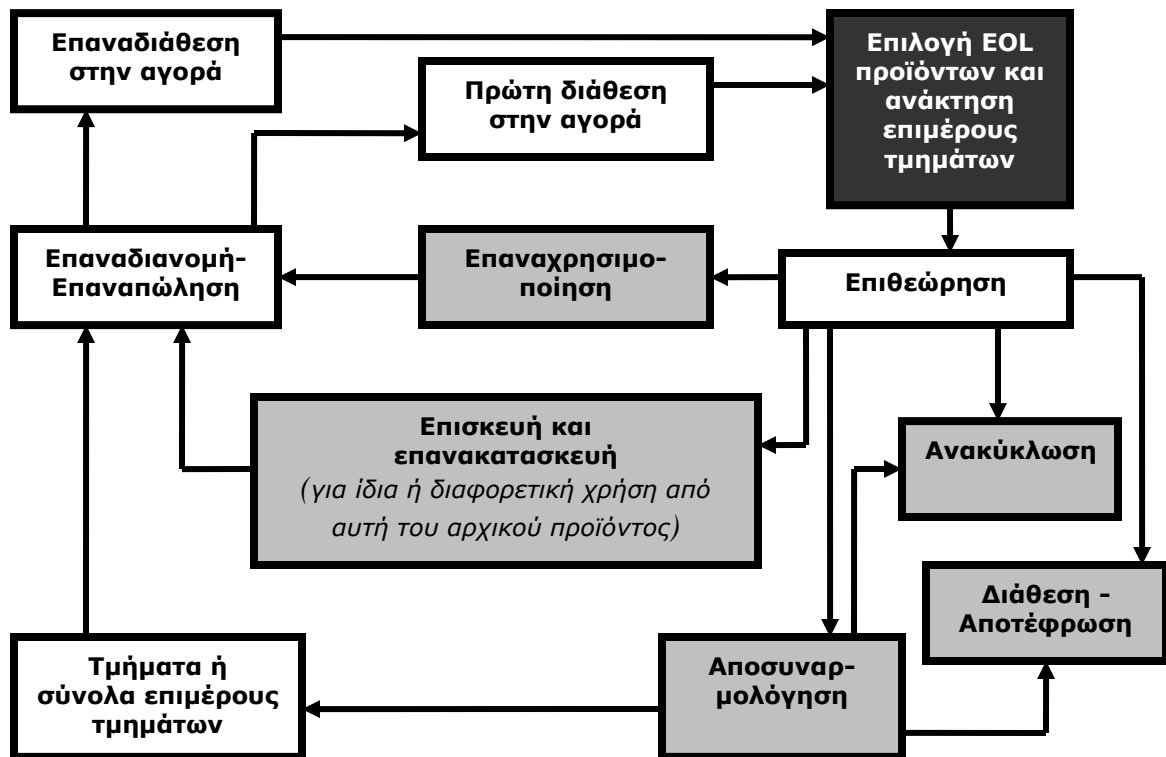
4.1 Κύριες πολιτικές διαχείρισης

Οι εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης που έχουν επικρατήσει είναι η επαναχρησιμοποίηση, η αποσυναρμολόγηση - επανακατασκευή και η ολοκληρωτική καταστροφή του προϊόντος.

Πιθανά σενάρια διαχείρισης για το τέλος της χρήσιμης ζωής των προϊόντων που συμπεριλαμβάνουν τις προαναφερθείσες μεθόδους ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό μεταξύ τους είναι [14]:

- Επαναχρησιμοποίηση ως έχει στην ίδια ή σε άλλη αγορά αυξάνοντας έτσι τον κύκλο ζωής τους.
- Επισκευή και ύστερα επαναχρησιμοποίηση.
- Επανακατασκευή επιμέρους τμημάτων και ύστερα επαναχρησιμοποίηση.
- Αποσυναρμολόγηση (κάποια τμήματα πάνε σε ΧΥΤΑ και τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται ή όλα τα τμήματα επιστρέφονται και επαναχρησιμοποιούνται).
- Ανακύκλωση με ή χωρίς αποσύνθεση, όπου αλλάζουν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και η χρήση του.
- Απόθεση σε ΧΥΤΑ.

Οι παραπάνω μέθοδοι μπορεί και να σχετίζονται μεταξύ τους όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί (**Σχήμα 3**).



Σχήμα 3: Μέθοδοι διαχείρισης ΑΗΗΕ

(Πηγή: Katsamaki A., Bilalis N., Antoniadis A., Maravelakis E. "Implementation of Reverse Logistics in the Determination and Formulation of Product End-Of-Life Strategies", 4th International Conference: "New Horizons in Industry, Business and Education (NHIBE 2005)", Corfu, August 2005.)

- Επαναχρησιμοποίηση

Κατά την επαναχρησιμοποίηση υλοποιούνται ορισμένες εργασίες αποκατάστασης του προϊόντος ή επαναχρησιμοποιείται με την ήδη υπάρχουσα μορφή του. Στη συνέχεια διοχετεύεται στην ίδια ή σε διαφορετική αγορά με την ίδια ή διαφορετική χρήση από αυτή του αρχικού προϊόντος [14].

- Αποσυναρμολόγηση – Επανακατασκευή

Μετά από το τέλος της χρήσιμης ζωής ενός προϊόντος μπορεί να γίνει αποσυναρμολόγησή του σε επιμέρους τμήματα και στη συνέχεια να επιθεωρηθεί, να καθαριστεί, και να επαναχρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέων προϊόντων με ίδια ή διαφορετική χρήση από το αρχικό προϊόν [14].

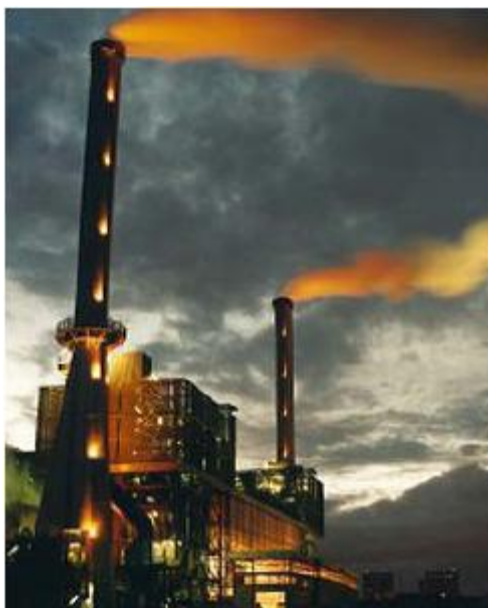
- Ολοκληρωτική Καταστροφή του Προϊόντος

Αφού αποσυναρμολογηθεί το αρχικό προϊόν κάποια τμήματα ανακυκλώνονται και άλλα κονιοποιούνται. Η κονιοποίηση γίνεται είτε με **αποτέφρωση** είτε με την οδήγηση των άχρηστων τμημάτων στους **ΧΥΤΑ**.

Αποτέφρωση [4],[7]

Η αποτέφρωση αποτελεί μία από τις βασικές πολιτικές διαχείρισης ΑΗΗΕ στην Ε.Ε. Η μέθοδος της αποτέφρωσης προκαλεί σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον καθώς υπάρχουν επικίνδυνες ουσίες (πχ βαρέα μέταλλα) στα παραγόμενα καυσαέρια, στη σκωρία, ή στα κατάλοιπα.

Ένα παράδειγμα είναι η δημιουργία τοξικών πολυβρωμοδιβενζοδιοξινών (PBDD) και πολυβρωμοδιβενζοφουρανίων (PBDF) κατά την αποτέφρωση βρωμιούχων επιβραδυντικών σε χαμηλή θερμοκρασία. Επίσης η καύση πλαστικού, που αποτελεί σημαντικό τμήμα των ΑΗΗΕ, πρέπει να αποφεύγεται λόγω του επικίνδυνου χαρακτήρα των εκλυόμενων καυσαερίων.



Εικόνα 1: Αποτεφρωτήρας

Υγειονομική Ταφή

Η υγειονομική ταφή τα τελευταία χρόνια έχει αντικαταστήσει την εναπόθεση αποβλήτων στις χωματερές και είναι η πιο απλή και οικονομική μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται απόθεση των συμπιεσμένων απορριμμάτων σε διαδοχικές στρώσεις συνολικού πάχους 2.5 έως και 3 μέτρων. Οι ΧΥΤΑ είναι χώροι ειδικά επιλεγμένοι, διαμορφωμένοι και εξοπλισμένοι που ικανοποιούν συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Οι προδιαγραφές αυτές στοχεύουν στην εξασφάλιση:

- της προστασίας των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από ζουμιά και στραγγίδια που προκύπτουν από την αποσύνθεση των απορριμμάτων,
- της προστασίας από τα βιοαέρια που δημιουργούνται και προκαλούν οσμές,
- από τον κίνδυνο αυτοανάφλεξης και επιβάρυνση του περιβάλλοντος (φαινόμενο του θερμοκηπίου),
- της αποφυγής της διασποράς των απορριμμάτων από πουλιά, τρωκτικά και έντομα με καθημερινή χωματοκάληψη,
- της τελικής αποκατάστασης του χώρου για άλλες χρήσεις [15].

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόθεση των απορριμμάτων σε ένα χώρο μπορεί να διαρκέσει το πολύ 30 έτη [16]. Ύστερα ο χώρος θα πρέπει να κλείνεται και γίνονται έργα επαναφοράς του συγκεκριμένου περιβάλλοντα χώρου. Σε περίπτωση που δεν εξασφαλίζονται οι παραπάνω προδιαγραφές μιλάμε για χωματερές. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους μη ελεγχόμενους ΧΥΤΑ είναι πολύ σοβαρές. Στην Ε.Ε υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο περιέρχονται στην ατμόσφαιρα 36 τόνοι υδράργυρου και 16 τόνοι καδμίου από την αποτέφρωση αποβλήτων που καταλήγουν σε χωματερές [17]. Η προστασία του περιβάλλοντος καθώς και των γύρω κατοικίσιμων περιοχών από τυχόν διαφυγή τοξικών ουσιών επιτυγχάνεται με την στεγανοποίηση των απορριμμάτων με τσιμέντο, χώμα, πλαστικές μεμβράνες και άλλα υλικά πάχους τουλάχιστον 20 εκατοστών. Δυστυχώς, κανένας χώρος υγειονομικής

ταφής δεν παραμένει εντελώς υδατοστεγής για ολόκληρη τη διάρκεια της ζωής του και έτσι είναι αδύνατο να αποφευχθεί έστω και η παραμικρή έκλυση βλαβερών χημικών ουσιών [7]. Πέρα από τις αναπόφευκτες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από τους ΧΥΤΑ, οι χώροι για χωματερές στον πλανήτη μας είναι περιορισμένοι και ο όγκος των ΑΗΗΕ αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Συνεπώς η υγειονομική ταφή δεν αποτελεί πλέον πρωταρχικό τρόπο διαχείρισης αποβλήτων στην Ε.Ε και καταβάλλονται προσπάθειες για ανακύκλωση των ΑΗΗΕ.



Εικόνα 2: Παλαιού τύπου χωματερή

Σύμφωνα με τον Lansink η ιεραρχία των εναλλακτικών σεναρίων για τη διαχείριση των EOL προϊόντων με πρωταρχικό κριτήριο τη προστασία του οικοσυστήματος είναι [14]:

1. Πρόληψη δημιουργίας απορριμάτων.
2. Επαναχρησιμοποίηση προϊόντων στη μορφή που έχουν
3. Επαναχρησιμοποίηση ορισμένων τμημάτων των προϊόντων.
4. Ανακύκλωση ενεργειών.
5. Καύση με εξοικονόμηση ενέργειας.
6. Καύση χωρίς εξοικονόμηση ενέργειας.
7. Υγειονομική Ταφή.

Η καλύτερη πολιτική διαχείρισης ενός προϊόντος, αφότου λήξει η χρήσιμη ζωή του, είναι η επαναχρησιμοποίησή του με βασικό κριτήριο τις απαιτήσεις των πελατών.

Το δεύτερο καλύτερο σενάριο είναι η επαναχρησιμοποίηση ορισμένων τμημάτων, όπου είναι απαραίτητη η εξέταση της τεχνικής και του κόστους αποσυναρμολόγησης. Πέρα από την ανάκτηση ορισμένων τμημάτων και υλικών που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, η αποσυναρμολόγηση είναι διαδικασία ιδιαίτερης σημασίας αφού μέσω αυτής μπορούν να απομακρυνθούν υλικά και εργαλεία από το αρχικό προϊόν που είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ότι, εκτός από τις βλάβες που προκαλούνται στον άνθρωπο και το περιβάλλον, από τα επικίνδυνα υλικά μπορούν να μολυνθούν και πιθανά ανακυκλώσιμα τμήματα του αρχικού προϊόντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Ανακύκλωση των ΑΗΗΕ

Ανακύκλωση είναι η διαδικασία μετατροπής σκουπιδιών σε πηγές ενέργειας ή σε πρώτες ύλες με τη χρήση επιστημονικών μεθόδων καθώς και η διαδικασία ανάκτησης άχρηστων υλικών ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία [18].

Η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ είναι η κατ'έξοχήν περιβαλλοντική επεξεργασία. Στόχος τόσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και των διάφορων φορέων σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η διεύρυνση της ποσότητας των ΑΗΗΕ που ανακυκλώνονται. Χωρίς όμως την κατάλληλη επεξεργασία των αποβλήτων οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αναπόφευκτες. Συνεπώς το πιο βασικό στάδιο για τη σωστή ανακύκλωση είναι η προεπεξεργασία. Σήμερα, το στάδιο της προεπεξεργασίας δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο και έτσι ανακυκλώνεται ένα μικρό ποσοστό άχρηστων προϊόντων. Ο σωστός και ο κατά δύναμη μεγαλύτερου ποσοστού αρχικός διαχωρισμός εξασφαλίζει καλύτερη ανακύκλωση αφού συμβάλλει στην ελάττωση του ποσού των αποβλήτων και στη διατήρηση καθαρότερων αστικών απορριμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη παρουσία μικρότερου κινδύνου ύπαρξης ανεπιθύμητων ουσιών στα νέα προϊόντα.

Γενικά, η υφιστάμενη κατάσταση στην επεξεργασία και διαχείριση των ΑΗΗΕ χαρακτηρίζεται από την έλλειψη κατάλληλης προεπεξεργασίας τους. Αυτό οδηγεί στην ανακύκλωση μικρού ποσοστού των αποβλήτων και στην ύπαρξη πολλαπλών κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον με όποιον άλλο τρόπο και αν διατεθούν.

Επομένως, ο πρωταρχικός στόχος μας πρέπει να είναι ο σωστός διαχωρισμός και η δημιουργία κατάλληλων συστημάτων επεξεργασίας με την ανάπτυξη νέων τεχνικών.

Σε αυτό το τομέα είναι σημαντική και η συνδρομή των κατασκευαστικών εταιρειών, αφού είναι πρωταρχική τους ευθύνη η πιο ολοκληρωμένη επεξεργασία των ΑΗΗΕ και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία [7].

5.1 Σκοπός της Ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ

Η ανακύκλωση έχει σκοπό τον «κλείσιμο βρόγχου» (“closing the loop”) υλικών ή τμημάτων ενός προϊόντος αφού έχει χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν τρεις βρόγχοι, οι οποίοι θα μπορούσαν να διακριθούν στις κάτωθι ανακυκλωτικές ενέργειες [19]:

- Ανακύκλωση του σκραπ της παραγωγής

Μία από τις πιο εξελιγμένες μορφές ανακύκλωσης είναι η εκ νέου κατεργασία και χρήση του σκραπ της παραγωγής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σκραπ κυρίως συναντάται σε μεγάλες ποσότητες καθαρού υλικού (π.χ. υπολείμματα από κατεργασίες κοπής χάλυβα ή ελαστικού από χύτευση).

- Ανακύκλωση κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος

Η επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος χρησιμοποιώντας την ήδη υπάρχουσα μορφή του για τον ίδιο ή παρόμοιο σκοπό.

- Ανακύκλωση μετά το τέλος ζωής του

Είναι δύσκολο να οριστεί πότε είναι το τέλος ζωής μιας ηλεκτρικής ή ηλεκτρονικής συσκευής, αφού πολλές συσκευές αποσύρονται ενώ λειτουργούν άριστα. Γι’ αυτό και η ανακύκλωση διαχωρίζεται σε δύο διαφορετικές μεθόδους τις οποίες θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

5.2 Οφέλη της Ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ

Το βασικό όφελος που προκύπτει από την ανακύκλωση είναι η προστασία του περιβάλλοντος. Όσο περισσότερα είδη απορριμμάτων αξιοποιούνται τόσο μικρότερος γίνεται ο όγκος των σκουπιδιών που καταλήγουν στις χωματερές, στις θάλασσες και τα ποτάμια, με αποτέλεσμα αφενός να περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό η ρύπανση του περιβάλλοντος και αφετέρου να επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής των χωματερών. Μέσω της ανακύκλωσης έχουμε σημαντική εξοικονόμηση πρώτης ύλης και ενέργειας. Ενδεικτικά, σε επίπεδο παραγωγής προϊόντων, το ενεργειακό όφελος είναι 23-77% για το χαρτί, 31% για το γυαλί, 95% για το αλουμίνιο και 85-90% για τα πλαστικά. Η διάθεση των ανακυκλώσιμων υλικών στις βιομηχανίες συμβάλλει και στην αύξηση των εσόδων των δήμων και των κοινοτήτων αφού περιορίζεται σημαντικά η διάθεση οικιακών απορριμμάτων. Έτσι έχουμε μείωση του κόστους συλλογής και μεταφοράς των σκουπιδιών στους χώρους υγειονομικής ταφής. Με τα χρήματα που επιφέρει η ανακύκλωση στην τοπική αυτοδιοίκηση μπορεί να υπάρξει βελτίωση της ζωής των πολιτών, κατασκευή δημοσίων έργων κ.α. [20].

5.3 Μέθοδοι Ανακύκλωσης

- Ανακύκλωση Κλειστού Κυκλώματος [5]

Ανακύκλωση κλειστού τύπου θεωρείται η ανάκτηση προϊόντων ή η ανάκτηση εξαρτημάτων τους και αποτελεί την πρώτη προτεραιότητα, αφού η παραγωγή νέων προϊόντων επιφέρει τα περισσότερα καταστροφικά αποτελέσματα. Η ανάκτηση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της επαναπώλησης/επαναχρησιμοποίησης (reusing) και της επισκευής/αναμόρφωσης (refurbishing).

Η επαναπώληση έχει στόχο να επαναφέρει το προϊόν αυτούσιο στην αγορά. Πολλά προϊόντα που είναι άχρηστα για έναν, ενώ λειτουργούν, μπορεί να φανούν χρήσιμα για κάποιον άλλον. Στην Ευρώπη υπάρχουν πολλές

εταιρείες που δραστηριοποιούνται αποκλειστικά στη συλλογή και επαναπώληση προϊόντων.

Η *επαναχρησιμοποίηση* έχει στόχο να επαναφέρει στην αγορά ορισμένα τμήματα των προϊόντων που λειτουργούν ικανοποιητικά και δε χρειάζονται επισκευή. Τα εξαρτήματα αυτά μπορεί να διατεθούν στην αγορά μόνα τους, με την ήδη υπάρχουσα μορφή του προϊόντος ή ταιριάζουν με άλλα εξαρτήματα για να δημιουργήσουν ένα νέο προϊόν. Σε αυτήν την κατηγορία μόνο ότι λειτουργεί χρησιμοποιείται και τα σκάρτα απορρίπτονται.

Η *επισκευή* και η *αναμόρφωση* διαφέρουν από τις διαδικασίες της επαναπώλησης και επαναχρησιμοποίησης αφού ασχολούνται με τη γενικότερη τροποποίηση του προϊόντος.

Πιο συγκεκριμένα η *επισκευή* ασχολείται με τα φανερά λάθη που παρουσιάζονται σε διάφορα εξαρτήματα προϊόντων. Έτσι με την επιδιόρθωσή τους μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στην ίδια ή διαφορετική μορφή και να διατεθούν πάλι στο ρεύμα της αγοράς.

Ενώ και η *αναμόρφωση* έχει ως στόχο τη γενικότερη τροποποίηση του προϊόντος, στη περίπτωση αυτή γίνεται μέσω της βελτίωσης της αξιοπιστίας του, καθαρίζοντας, επιθερώνοντας, και αντικαθιστώντας εξαρτήματα όπου χρειάζεται, και σε μερικές περιπτώσεις ενσωματώνοντας σε αυτό νέα υλικά που μπορεί να προέκυψαν από τότε που πωλήθηκε για πρώτη φορά η συσκευή.

Η αναμόρφωση συνήθως διεξάγεται από τους κατασκευαστές πρότυπων εξαρτημάτων που παίρνουν πίσω τον εξοπλισμό όταν λήξει ένα συμβόλαιο εκμίσθωσης ή όταν παύει να λειτουργεί. Οι κατασκευαστές πρότυπων εξαρτημάτων συχνά ανησυχούν για την επισκευή και την αναμόρφωση από άλλες εταιρείες γιατί τα καινούρια τους προϊόντα θα πρέπει να ανταγωνιστούν τα δικά τους αναμορφωμένα σε οικονομικά ευαίσθητες αγορές. Για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα καλό θα ήταν τα πρότυπα εξαρτήματα να

επιστρέφονται στους κατασκευαστές τους, οι οποίοι θα τα επισκευάζουν ή θα τα αναμορφώνουν σε δικά τους νέα προϊόντα. Έτσι κερδίζουν στην επαναπώληση και στην ποιότητα του προϊόντος.

Πίνακας 5: Μορφές Ανακύκλωσης Κλειστού Κυκλώματος
(Πηγή: *Annals of the CIRP Vol. 42/2/1993*)

Βρόχος	Μορφή ανακύκλωσης	Αρχικό προϊόν	Ανακυκλωμένο προϊόν
Ανακύκλωση κατά τη διάρκεια ζωής	Ίδια μορφή, ίδια χρήση (επαναχρησιμοποίηση)	Μπουκάλι	Γεμάτο μπουκάλι
		Τηλεόραση	Επισκευασμένη Τηλεόραση
		Ρόδα αυτοκινήτου	Αναγομωμένη ρόδα
	Ίδια μορφή, διαφορετική χρήση (αναμόρφωση)	Μπουκάλι	Βάζο
		Σακούλα	Σακούλα σκουπιδιών
		Παλιά ρόδα	Ναυτικό παράβλημα

- Ανακύκλωση Ανοιχτού Κυκλώματος [15]

Η ανακύκλωση ανοιχτού κυκλώματος ισοδυναμεί με την ανάκτηση των υλικών που προέρχονται από προϊόντα που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους με απώτερο στόχο την εκ νέου χρήση του υλικού για την κατασκευή νέων προϊόντων. Τα πιο συνηθισμένα υλικά που ανακυκλώνονται είναι τα πολυμερή, τα μέταλλα και το γυαλί. Στη περίπτωση που δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση, για τα πολυμερή, υπάρχουν δύο πιο διαδεδομένες διαδικασίες επεξεργασίας. Η πρώτη είναι η χημική ανακύκλωση, όπου γίνεται διάσπαση των πολυμερών σε μικρότερα οργανικά μόρια τα οποία αξιοποιούνται είτε από την πετροχημική βιομηχανία είτε από τη βιομηχανία πλαστικών. Η δεύτερη είναι η αποτέφρωση, αφού τα πολυμερή έχουν μεγάλη θερμαντική αξία. Δεδομένου ότι η οποιαδήποτε επαναχρησιμοποίηση είναι δύσκολη λόγω της ταχύτατης εξέλιξης της

τεχνολογίας, η ανάκτηση υλικών αποτελεί μία από τις βασικότερες εναλλακτικές επιλογές των EOL προϊόντων.

Πίνακας 6: Μορφές Ανακύκλωσης Ανοιχτού Κυκλώματος

(Πηγή: *Annals of the CIRP Vol. 42/2/1993*)

Βρόχος	Μορφή ανακύκλωσης	Αρχικό προϊόν	Ανακυκλωμένο προϊόν
Ανακύκλωση μετά το τέλος ζωής του προϊόντος/ Ανακύκλωση του σκραπ της παραγωγής (ανάκτηση, επανακατασκευή)	Διαφορετική μορφή, ίδια χρήση	Γυάλινο μπουκάλι	Μπουκάλι από ανακυκλωμένο γυαλί
		Κουτί από αλουμίνιο	Κουτί από ανακυκλωμένο αλουμίνιο
		Υπολείμματα μετάλλου	Φύλλο μετάλλου
	Διαφορετική μορφή, διαφορετική χρήση	Γυάλινο τζάμι	Μπουκάλι από ανακυκλωμένο γυαλί
		Κουτιά από αλουμίνιο	Αλουμινένιο πλαίσιο
		Υπολείμματα μετάλλου	Καλώδια

5.4 Είδη Τεχνικών Ανακύκλωσης ΑΗΗΕ

Όπως και για τα άλλα είδη αποβλήτων, επιδιώκεται η ελάχιστη δυνατή απόρριψη των ΑΗΗΕ στο περιβάλλον και η μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης μερών και υλικών τους. Τα ΑΗΗΕ διαφοροποιούνται από τις υπόλοιπες κατηγορίες αστικών αποβλήτων, κυρίως γιατί κατά κανόνα είναι συναρμολογούμενα σύνολα. Συνεπώς, για να καταστεί εφικτή η ανακύκλωσή τους, πρέπει πρώτα να διαχωριστούν στα επιμέρους υποσύνολα και υλικά που τα απαρτίζουν, να προηγηθεί δηλαδή η αποσυναρμολόγηση.

Αρχικά το ενδιαφέρον των περισσότερων ερευνητών είχε στραφεί στο σχεδιασμό για το τέλος του κύκλου της ζωής των ΗΗΕ (Design for End – of

Life) και στην ανάλυση κόστους της αποσυναρμολόγησης που θα οδηγούσε σε πορίσματα για εξαρχής ορθότερο και περιβαλλοντικά ευαίσθητο σχεδιασμό. Διεθνώς στο πρόβλημα της αποσυναρμολόγησης, από ερευνητές των εταιρειών, δίδεται τη σημερινή εποχή ως πλέον οικονομική λύση η μέθοδος του τεμαχισμού - διαχωρισμού (shredding - seperating) που έχει ως στόχο να προσελκύσει όσο το δυνατό περισσότερους πελάτες και κατ' επέκταση να αυξήσει τα κέρδη της εταιρείας. Γι' αυτό και στην Ευρώπη χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος του τεμαχισμού [21].

Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως τρία είδη τεχνικών ανακύκλωσης:

- Τεμαχισμός – Διαχωρισμός
- Μεταλλουργική Επεξεργασία
- Ελεγχόμενη Αποσυναρμολόγηση

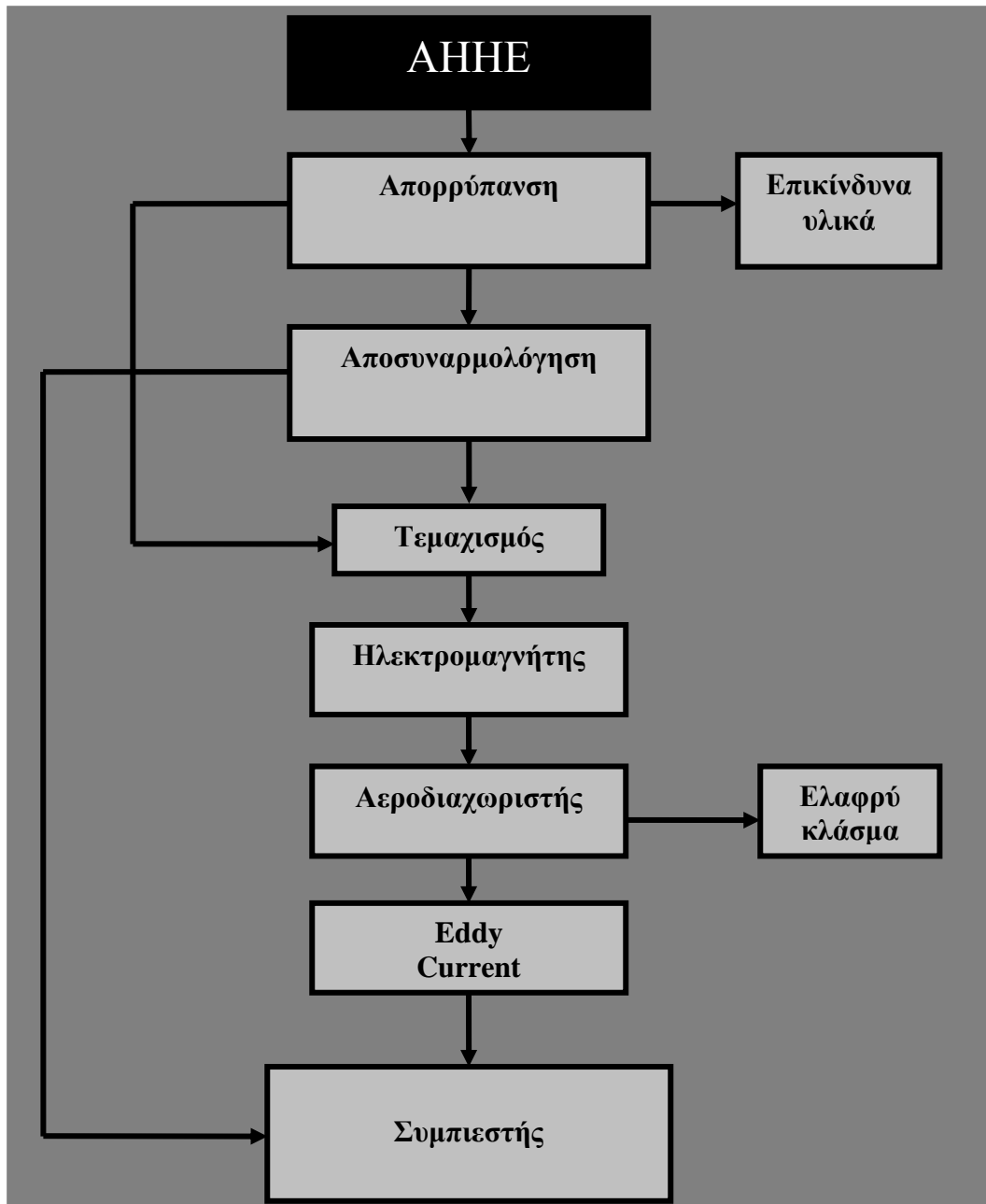
5.4.1 Τεμαχισμός – Διαχωρισμός

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των ΑΗΗΕ κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, αυτές που έχουν ως σκοπό τη μείωση του όγκου και σε αυτές που επιτελούν το διαχωρισμό μεταξύ των διαφορετικών υλικών και κατασκευαστικών στοιχείων από τα οποία αποτελούνται τα ΑΗΗΕ.

Ο τεμαχισμός αποτελεί τον επικρατέστερο τρόπο ανακύκλωσης σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και ειδικότερα στην Ελλάδα. Ο τεμαχισμός συνήθως εφαρμόζεται στο αρχικό στάδιο μίας Μονάδας Επεξεργασίας ΑΗΗΕ (Σχήμα 4).

Τα εισερχόμενα ΑΗΗΕ θρυμματίζονται μέσω πτώσης (πρέσσας) ή κοπής, όπου κομματιάζονται από περιστρεφόμενα σφυριά, με στόχο τη μείωση του όγκου τους και ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ομοιογένειας των προκυπτόντων τεμαχίων και άρα την ικανότητα ξεχωριστής συλλογής τους μέσω ειδικών τεχνολογιών διαχωρισμού υλικών. Ο τεμαχισμός αποτελεί μία από τις

σημαντικότερες διεργασίες επεξεργασίας των ΑΗΗΕ, καθώς βελτιώνει την ποιότητα των προκύπτοντων υλικών και άρα την τιμή της πώλησής τους. Τα μεγέθη των τεμαχίων στην έξοδο ποικίλουν ανάλογα με το είδος των ΑΗΗΕ και τις απαιτήσεις της επεξεργασίας. Συνήθως επιλέγονται μεγέθη εξόδου υλικών της τάξης των 50 έως 100 mm [22].



Σχήμα 4: Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ
(Πηγή «Ανακύκλωση Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού». Δημόπουλος Παναγιώτης, Αθήνα 2004)

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των τμημάτων που αποτελούν τη γραμμή επεξεργασίας του τεμαχισμού:

I. Τμήμα Απορρύπανσης

Στο τμήμα της απορρύπανσης, σύμφωνα με το προεδρικό διάταγμα, πρέπει από τα ΑΗΗΕ να αφαιρούνται και να συλλέγονται χωριστά τουλάχιστον οι παρακάτω ουσίες:

- Πυκνωτές που περιέχουν πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB)
- Κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν υδράργυρο, όπως διακόπτες και οπισθοφωτιστικές λυχνίες
- Μπαταρίες
- Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων από κινητά τηλέφωνα καθώς και από άλλες συσκευές αν η επιφάνεια της πλακέτας υπερβαίνει τα 10 τετραγωνικά εκατοστά
- Δοχεία υγρών ή κολλωδών μελανιών
- Πλαστικά υλικά που περιέχουν βρωμιούχους φλογεπιβραδυντές
- Αμιαντούχα απόβλητα και κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν αμίαντο
- Καθοδικές λυχνίες
- Χλωροφθοράνθρακες (CFC), υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) ή υδροφθοράνθρακες (HFC), υδρογονάνθρακες (HC)
- Λαμπτήρες εκκένωσης αερίων
- Οθόνες υγρών κρυστάλλων (μαζί με το περίβλημά τους), η επιφάνεια των οποίων υπερβαίνει τα 100 τετραγωνικά εκατοστά, καθώς και οθόνες φωτιζόμενες από το πίσω μέρος τους με λαμπτήρες εκκένωσης αερίων
- Εξωτερικά ηλεκτρικά καλώδια
- Κατασκευαστικά στοιχεία με επικίνδυνες πυρίμαχες κεραμικές ίνες
- Κατασκευαστικά στοιχεία με ραδιενεργές ουσίες
- Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες (ύψος > 25mm και διάμετρος > 25 mm)

Τα παρακάτω κατασκευαστικά στοιχεία των ΑΗΗΕ τα οποία συλλέγονται χωριστά, πρέπει να υποβάλλονται στην εξής επεξεργασία:

- Από τις καθοδικές λυχνίες αφαιρείται το φθορίζον επίχρισμα.
- Από τον εξοπλισμό που περιέχει αέρια τα οποία καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος πρέπει να αφαιρούνται τα αέρια και να υποβάλλονται σε κατάλληλη επεξεργασία.
- Από τους λαμπτήρες εκκένωσης αερίων, αφαιρείται ο υδράργυρος.

II. Τμήμα Αποσυναρμολόγησης

Ο τρόπος αποσυναρμολόγησης των ΗΗΕ διαφέρει από κατηγορία σε κατηγορία. Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή της αποσυναρμολόγησης τεσσάρων κατηγοριών ΗΗΕ [\[15\]](#).

Κατηγορία 1 (Μεγάλες Οικιακές Συσκευές): Κατά την αποσυναρμολόγηση μεγάλων οικιακών συσκευών (π.χ. πλυντήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, ψυγεία, κουζίνες) αφαιρούνται οι πυκνωτές, οι πλακέτες με τυπωμένα κυκλώματα, τα εξωτερικά καλώδια και τα ελαστικά μέρη. Τα σιδηρούχα μέταλλα αποτελούν περίπου το 99% του συνόλου. Ο μέσος όρος της αποσυναρμολόγησης έχει εκτιμηθεί σε 3,7 λεπτά ανά τεμάχιο. Για μεγαλύτερες συσκευές όπως θερμοσίφωνες, απορροφητήρες, μεγάλες συσκευές ψύξης, ο μέσος όρος αποσυναρμολόγησης ανέρχεται σε 4,5 λεπτά ανά τεμάχιο, ενώ για καλοριφέρ λαδιού μέχρι και 25 λεπτά, λόγω του χρόνου που απαιτείται για την εκκένωση του λαδιού.

Κατηγορία 2 (Μικρές Οικιακές Συσκευές): Η κατηγορία αυτή αποτελείται κυρίως από ηλεκτρικές σκούπες, σεσουάρ, ηλεκτρικά σίδερα, καφετιέρες, τοστιέρες. Ο μέσος όρος της αποσυναρμολόγησης των συσκευών αυτών έχει εκτιμηθεί σε 2,1 λεπτά ανά τεμάχιο και θεωρείται αρκετά μεγάλος σε σύγκριση με το μικρό βάρος των συσκευών. Το κύριο μέρος, περίπου 44%, των αποσυναρμολογημένων υλικών αποτελείται από σιδηρούχα μέταλλα και

ακολουθούν πλαστικά (38%), πηνία (11%), αλουμίνιο (2%) και λοιπά υλικά (5%).

Κατηγορία 3 (Εξοπλισμός Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών): Αυτή η κατηγορία αποτελείται κυρίως από ηλεκτρονικούς υπολογιστές και γενικότερο εξοπλισμό γραφείου. Οι χρόνοι αποσυναρμολόγησης κατά μέσο όρο κυμαίνονται σε 6 λεπτά για τους υπολογιστές και μπορούν να φτάσουν σε 20 λεπτά για φωτοτυπικά μηχανήματα και συσκευές τηλεομοιοτυπίας. Το κύριο μέρος, περίπου 55%, των αποσυναρμολογημένων υλικών αποτελείται από σιδηρούχα μέταλλα και ακολουθούν πλαστικά (24%), κυκλώματα (5%), πηνία (2%) και λοιπά υλικά (14%).

Κατηγορία 4 (Καταναλωτικά Είδη): Στη κατηγορία αυτή σημαντικό ρόλο παίζουν οι συσκευές τηλεοράσεων καθώς και όλες οι συσκευές που περιέχουν οθόνη. Σύμφωνα με εκτιμήσεις ο μέσος όρος αποσυναρμολόγησης ανέρχεται σε 8 λεπτά ανά τεμάχιο, ενώ σε μερικά είδη μπορούν να χρειαστούν από 2 έως 20 λεπτά. Αναλόγως της συσκευής τα υλικά που αποσυναρμολογούνται διαφέρουν ως προς τη σύνθεσή τους. Οι ασπρόμαυρες λυχνίες αποτελούνται από ένα είδος γυαλιού, οι έγχρωμες από περισσότερα. Τα ξύλινα περίβλημα περιέχει συνήθως ρητίνες φαινόλης/φορμαλδεΐδης και είναι εμποτισμένο με βρωμιούχες επιβραδυντικές ουσίες καύσης. Μοντέλα με πλαστικό περίβλημα είναι επίσης επεξεργασμένα με επιβραδυντικές ουσίες καύσης και είναι ενισχυμένα με μέταλλο. Οι πλακέτες με τυπωμένα κυκλώματα αποτελούν το 12% των συσκευών με οθόνη, ενώ το 7% των σιδηρούχων μετάλλων που περιέχουν θεωρείται μικρό. Κατά την αποσυναρμολόγηση αφαιρούνται οι λυχνίες, πλαστικά και ξύλινα μέρη, οι μπαταρίες, οι πυκνωτές (που μπορεί να περιέχουν PCB).

Άλλο σημαντικό κομμάτι αυτής της κατηγορίας αποτελούν τα είδη εξοπλισμού για την αναπαραγωγή ήχου και εικόνων. Το κύριο μέρος των υλικών αποτελείται από πλαστικό (37%), κυρίως από τα περιβλήματα των ραδιοφώνων και ραδιοκασετόφωνων, και ακολουθούν τα σιδηρούχα μέταλλα

(26%), κυκλώματα (11%), πηνία (8%) και λοιπά υλικά με 18%. Η αποσυναρμολόγηση σε αυτήν την κατηγορία θεωρείται, με 11 λεπτά κατά μέσο όρο ανά συσκευή, αρκετά χρονοβόρα διαδικασία.

III. Τμήμα Τεμαχισμού

Στο τμήμα του τεμαχισμού γίνεται η διαίρεση της δομής των στερεών αντικειμένων μέσω μηχανικής δύναμης, ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της ειδικής επιφάνειας και διαχωρισμός των διάφορων ομάδων των υλικών. Τα υλικά θρυμματίζονται με πτώση, άλεση ή κοπή, εφαρμόζοντας επάνω τους μηχανική πίεση, είτε με εναλλασσόμενη προσέγγιση και απομάκρυνση των επιφανειών, είτε με συνεχή κίνηση των επιφανειών θραύσης, είτε με πρόσκρουση των υλικών πάνω σε σταθερή επιφάνεια. Ο τεμαχισμός αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες διαδικασίες επεξεργασίας απορριμμάτων. Για αυτό το λόγο η επιλογή των σωστών μηχανημάτων πρέπει να γίνει με προσοχή αφού αναλυθούν πρώτα οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του υλικού προς τεμαχισμό (μέγεθος, δομή, σκληρότητα κλπ.) καθώς και οι απαιτούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος (πχ. compost, RDF κ.λπ.) [15].

Οι κυριότεροι τύποι τεμαχιστών είναι οι σφυρόμυλοι, θραυστήρες κρούσης και περιστροφικοί κόπτες. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει, μία νέα τεχνολογία που προωθείται από την εταιρεία MEWA, σύμφωνα με την οποία ο τεμαχισμός των ΑΗΗΕ πραγματοποιείται μέσω σύγκρουσης των συσκευών μεταξύ τους υπό υψηλή πίεση. Με τον τρόπο αυτό οι συσκευές διαλύονται στα διαφορετικά κατασκευαστικά τους μέρη, χωρίς να κόπτονται τα ομοιογενή τμήματα. Συνεπώς μειώνονται αισθητά οι απαιτήσεις αποσυναρμολόγησης και απορρύπανσης στην αρχή της διαδικασίας. Έχουν διατυπωθεί όμως ενστάσεις σχετικά με την καθαρότητα του τελικού υλικού λόγω της εισόδου στον τεμαχιστή επικίνδυνων προϊόντων όπως είναι πχ. οι μπαταρίες και οι πυκνωτές [22].



Εικόνα 3: Τεμαχιστής
(Πηγή: Artech Recyclingtechnik GmbH)

Κοκκοποίηση (granulation)

Η κοκκοποίηση στηρίζεται σε παρόμοιες τεχνικές με τον τεμαχισμό, οδηγώντας στην παραγωγή υλικών σαφώς μικρότερης κοκκομετρίας (10-20 mm), ώστε να είναι ευκολότερος ο τελικός διαχωρισμός των κλασμάτων των ΑΗΗΕ σε επόμενα στάδια. Στη ροή της επεξεργασίας των ΑΗΗΕ, η κοκκοποίηση χρησιμοποιείται συνήθως σε τελικό στάδιο, πριν το διαχωρισμό του κλάσματος Cu και Al, καθώς και πλαστικού από το κοινό ρεύμα των αποβλήτων [22].

Επιπρόσθετα, η κοκκοποίηση χρησιμοποιείται και για την προετοιμασία της απομάκρυνσης ορισμένων υλικών των ΑΗΗΕ που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν προβλήματα σε επόμενες διατάξεις επεξεργασίας, όπως π.χ. η ύπαρξη τεμαχίων Fe στην περίπτωση του επαγωγικού διαχωρισμού Cu και Al μέσω Eddy-Currents.

Κατά τη διαδικασία της κοκκοποίησης θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να αποφεύγεται η εισπνοή της προκύπτουσας σκόνης από το προσωπικό. Για το λόγο αυτό συνίσταται η χρήση ειδικών μέσων ασφαλείας,

τα οποία προσφέρονται συνήθως από τον κατασκευαστή των διατάξεων κοκκοποίησης (granulators).



Εικόνα 4:Κοκκοποιητής -Granulator
(Πηγή: Artech Recyclingtechnik GmbH)

Η θέση του είναι μετά τον τεμαχιστή και σκοπό έχει να μειώνει αισθητά το μέγεθος των κόκκων. Κάποιοι κοκκοποιητές (πχ. ο καθολικός κοκκοποιητής UNI – CUT UG) έχουν και ενσωματωμένο κόσκινο [\[25\]](#).

Κρυοσκοπική Μέθοδος

Η κρυοσκοπική μέθοδος συγκαταλέγεται στις διαδικασίες μείωσης όγκου όπως ο τεμαχισμός και η κοκκοποίηση που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Με τη χρήση υγρού αζώτου παγώνουν τα διάφορα τμήματα της προς επεξεργασίας συσκευής. Έτσι ο τεμαχισμός είναι ολοκληρωτικός και επιτυχής αφού γίνεται πιο εύκολος ο διαχωρισμός των επιμέρους τμημάτων. Το βασικό πλεονέκτημα της κρυοσκοπικής μεθόδου είναι είναι ότι η διαδικασία αυτή διενεργείται χωρίς τη χρήση νερού ή καύσης και έτσι αποφεύγεται η δημιουργία υγρών αποβλήτων και αέριων ρύπων [\[7\]](#).

Κοσκίνισμα

Το κοσκίνισμα είναι μία διαδικασία διαχωρισμού, η οποία έπεται του τεμαχισμού. Με το κοσκίνισμα διαχωρίζονται τα υλικά με διαφορετικά μεγέθη. Με τη διεργασία αυτή, τα υλικά διοχετεύονται σε διάτρητες επιφάνειες, οι οποίες των οποίων καθορίζουν το μέγεθος των διερχόμενων σωματιδίων. Η κλίση και η κατάλληλη δόνηση των κοσκίνων εξασφαλίζει τη παρεμπόδιση της έμφραξης των οπών. Η κίνηση των δονούμενων κόσκινων είναι συνήθως κάθετη προς την επιφάνεια κοσκινίσματος [15].

IV. Τμήμα Ηλεκτρομαγνήτη

Για το διαχωρισμό των υλικών οι φυσικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται είναι η μαγνητική ικανότητα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο ηλεκτρικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται συνήθως για το διαχωρισμό του χαρτιού από τα πλαστικά και των μη σιδηρούχων μετάλλων από τα υπόλοιπα απορρίμματα. Από την άλλη μεριά η απομάκρυνση των μαγνητιζόμενων υλικών από τα απορρίμματα χρησιμοποιείται εδώ και αρκετό καιρό σε πάρα πολλές εγκαταστάσεις [15]. Η χρήση των μαγνητών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες διεργασίες διαχωρισμού υλικών μέσα σε μια Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ, καθώς επιτελεί την ανάκτηση του σιδήρου των ΑΗΗΕ, μίας εκ των σημαντικότερων πηγών κέρδους των μονάδων αυτών. Η μεγάλη ποσότητα σιδηρούχων μετάλλων στα ΑΗΗΕ, σε συνδυασμό με την υψηλή αγοραστική τους αξία, αλλά και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των ηλεκτρομαγνητών καθιστά επιτρεπτή και, συχνά, αναγκαία τη χρήση ενός σημαντικού αριθμού μαγνητών σε μία Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ [22]. Για την απομάκρυνση των σιδηρούχων υλικών, όπως λευκοσιδηρούχα κουτιά, καλώδια, οικιακές συσκευές δεν απαιτείται ισχυρό μαγνητικό πεδίο, αρκεί να έχουν προηγηθεί οι κατάλληλες διατάξεις μείωσης όγκου (τεμαχισμός ή κοκκοποίηση) που εξασφαλίζουν την ομοιογένεια των κομματιών. Ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται δύο είδη μαγνητών, το **μαγνητικό τύμπανο** και ο **μαγνητικός ιμάντας** [15].

Το **μαγνητικό τύμπανο** παρουσιάζει ποικιλότροπη χρήση για το διαχωρισμό των σιδηρούχων υλικών από άλλα. Η κατασκευή και λειτουργία του εξαρτάται από το είδος της εγκατάστασης και το διατιθέμενο χώρο. Τα σιδηρούχα μέταλλα κατακρατούνται από το τύμπανο και απομακρύνονται σε μια χοάνη όταν περάσουν το μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 5: Μαγνητικό τύμπανο
(Πηγή: Steinert)

Ο **μαγνητικός ιμάντας** τοποθετείται επάνω από την μεταφορική ταινία, έλκει τα σιδηρούχα μέταλλα, τα οποία και μεταφέρονται εκτός πεδίου. Ανάλογα με την τοποθέτηση του μαγνήτη ξεχωρίζει κανείς μαγνήτες οι οποίοι τοποθετούνται κατά πλάτος ή κατά μήκος του διαχωριστικού πεδίου. Οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει μεγάλη ταχύτητα απορριμμάτων. Πολλές φορές παρασύρονται μαζί με τα μέταλλα και άλλα υλικά. Για την λύση αυτού του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί στις ΗΠΑ μαγνητικοί ιμάντες με τρεις μαγνήτες.

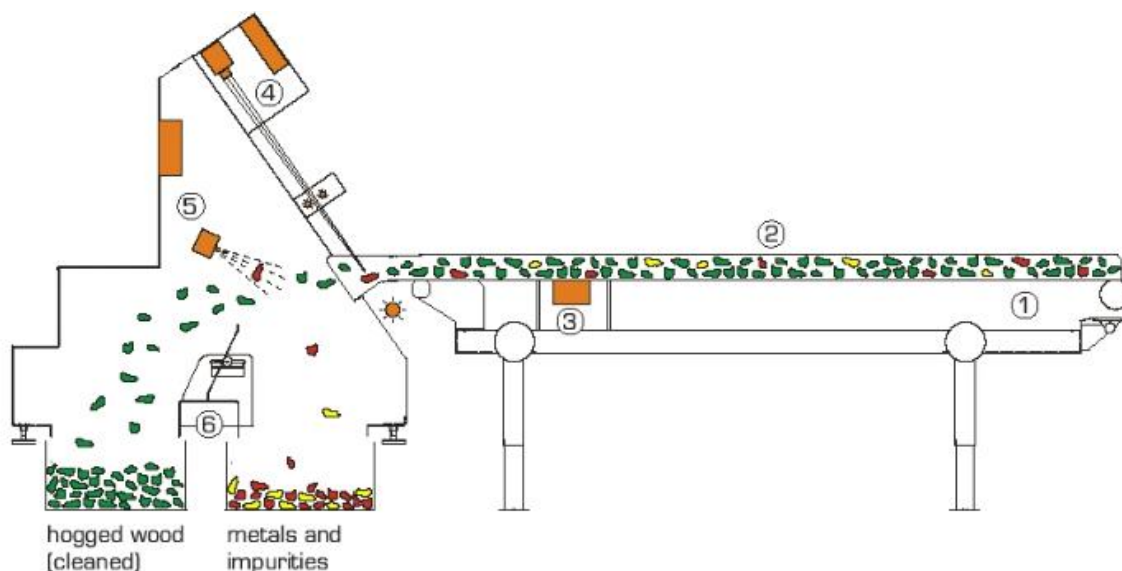


Εικόνα 6: Μαγνητική Ταινία
(Πηγή: Steinert)

V. Τμήμα Αεροδιαχωρισμού

Ο αεροδιαχωρισμός αποτελεί διεργασία ταξινόμησης ενός ανομοιογενούς μείγματος, όπως είναι τα ΑΗΗΕ, στα επιμέρους υλικά υπό την επίδραση αέρα. Βασίζεται στις διαφορετικές τροχιές που διαγράφουν τα διαφορετικής σύστασης σωματίδια μέσα σε στρώμα αέρα, κυρίως λόγω της επίδρασης της βαρύτητας. Η επιτυχία του διαχωρισμού εξαρτάται από την ταχύτητα του εμφυσούμενου αέρα, το χρόνο παραμονής, την υγρασία, το βάρος, καθώς και το σχήμα του υλικού.

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι αεροδιαχωριστές στην περίπτωση των ΑΗΗΕ είναι οι αεροδιαχωριστές τύπου zig-zag. Ο αεροδιαχωριστήρας τύπου zig-zag αποτελείται από ένα ή περισσότερα κανάλια με ορθογώνια τομή, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε μία ορισμένη γωνία ώστε να σχηματίζουν ένα σχήμα zig-zag. Το προς διαχωρισμό υλικό πέφτει στο κανάλι από μία περιστρεφόμενη βαλβίδα, ενώ παράλληλα από το κάτω μέρος του καναλιού τροφοδοτείται αέρας. Τα ελαφρά σωματίδια παρασύρονται προς τα επάνω ενώ τα βαρύτερα κατευθύνονται προς τα κάτω, κατά μήκος του καναλιού. Ο αέρας λόγω των ακμών που προεξέχουν, σχηματίζει μία δίνη και τα βαριά αντικείμενα πέφτουν στο κατώτερο τμήμα του καναλιού. Τα τοιχώματα του αεροδιαχωριστήρα είναι καλυμμένα με ελαστικό στρώμα, ενώ ένα σύστημα δόνησης εμποδίζει την συγκέντρωση σε ένα σημείο. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζονται τα ελαφρά κλάσματα των αποβλήτων από τα βαρέα [22].



Εικόνα 7: Σύστημα Αεροδιαχωρισμού
(Πηγή: *Search and Separate*)

VI. Διαχωρισμός Ειδικού Βάρους

Με το διαχωρισμό ειδικού βάρους, αξιοποιείται η διαφορά στο ειδικό βάρος των διαφορετικής σύστασης υλικών που περιέχονται στα ΑΗΗΕ. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται, αφορούν τη χρήση κυκλώνων, φυγοκεντρικών διαχωριστήρων και διαχωριστήρων υγρής κλίνης. Ως διαχωρισμός ειδικού βάρους θα μπορούσε να θεωρηθεί και ο αεροδιαχωρισμός.

Ο διαχωρισμός ειδικού βάρους χρησιμοποιείται συνήθως για το διαχωρισμό βαρέων - ελαφρών κλασμάτων (όπως ανοξείδωτο ατσάλι, πλαστικό, κλπ.) των ΑΗΗΕ. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ανάκτηση ομοιογενών και υψηλής αγοραστικής ικανότητας τμημάτων, αυξάνοντας τα επιτελούμενα ποσοστά ανάκτησης και τη βιωσιμότητα της Μονάδας Επεξεργασίας ΑΗΗΕ [22].

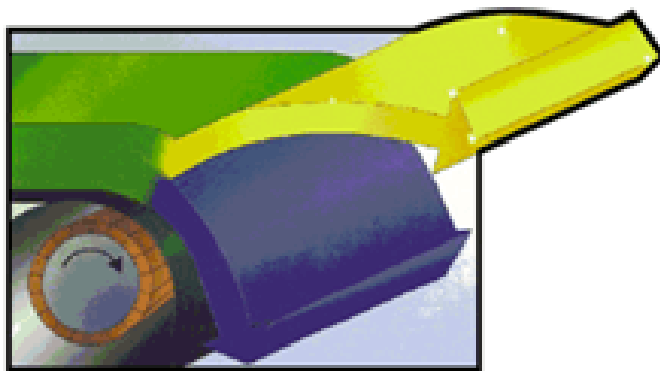
Τράπεζα Διαχωρισμού

Η τράπεζα διαχωρισμού αποτελείται κυρίως από κεκλιμένες τράπεζες στις οποίες κυλά νερό και ο διαχωρισμός των υλικών επιτυγχάνεται από τη διαφορά βαρύτητας των σωματιδίων, την τριβή, καθώς και από την υδραυλική ροή.

VII. Τμήμα Επαγωγικού Διαχωρισμού (Eddy Current)

Ο επαγωγικός διαχωρισμός, με τη χρήση διατάξεων Eddy Current, χρησιμοποιείται για την ανάκτηση του Al και του Cu από το κοινό κλάσμα των ΑΗΗΕ [22]. Το Eddy Current αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο ρότορα κατασκευασμένο από φυσικό μόνιμο μαγνήτη που περιστρέφεται με ταχύτητα μέσα σε ένα μεταλλικό τύμπανο (Εικόνα 8), δημιουργώντας επαγωγικά μαγνητικά πεδία ικανά να έλκουν και να απομακρύνουν το Al και το Cu [15]. Τα Eddy-Currents μπορούν να επιτύχουν πολύ μεγάλη ανάκτηση των μη σιδηρούχων μετάλλων, ανάλογα με το μέγεθος των εισερχόμενων υλικών. Για αυτό το λόγο, συνηθίζεται τα Eddy Currents να ακολουθούν διατάξεις κοκκοποίησης.

Η ανάκτηση μη σιδηρούχων μετάλλων σε μία Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ αποτελεί μία από τις κυριότερες πηγές εσόδων, καθώς οι τιμές πώλησης του ανακτημένου Cu και του Al είναι αρκετά μεγαλύτερες από των υπολοίπων υλικών [22].



Εικόνα 8: Eddy Current

(Πηγή: Steinert)

VIII. Τμήμα Συμπίεσης

Το τμήμα της συμπίεσης των υλικών αποτελεί το τελευταίο τμήμα μίας γραμμής επεξεργασίας των ΑΗΗΕ στον τεμαχισμό. Με τα μηχανήματα συμπίεσης, πλινθοποίησης και μπρικετοποίησης επιτυγχάνεται αύξηση της πυκνότητας των διαχωρισμένων υλικών, μειώνοντας τον όγκο που αυτά καταλαμβάνουν [15]. Η σκοπιμότητα υιοθέτησής της ως διαδικασίας σε μία Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ, έχει σχέση μόνο με καθαρά οικονομικοτεχνικούς λόγους, καθώς συντελεί στη μείωση του κόστους μεταφοράς των ανακτημένων υλικών, λόγω μειωμένου όγκου.

5.4.2 Μεταλλουργική Επεξεργασία

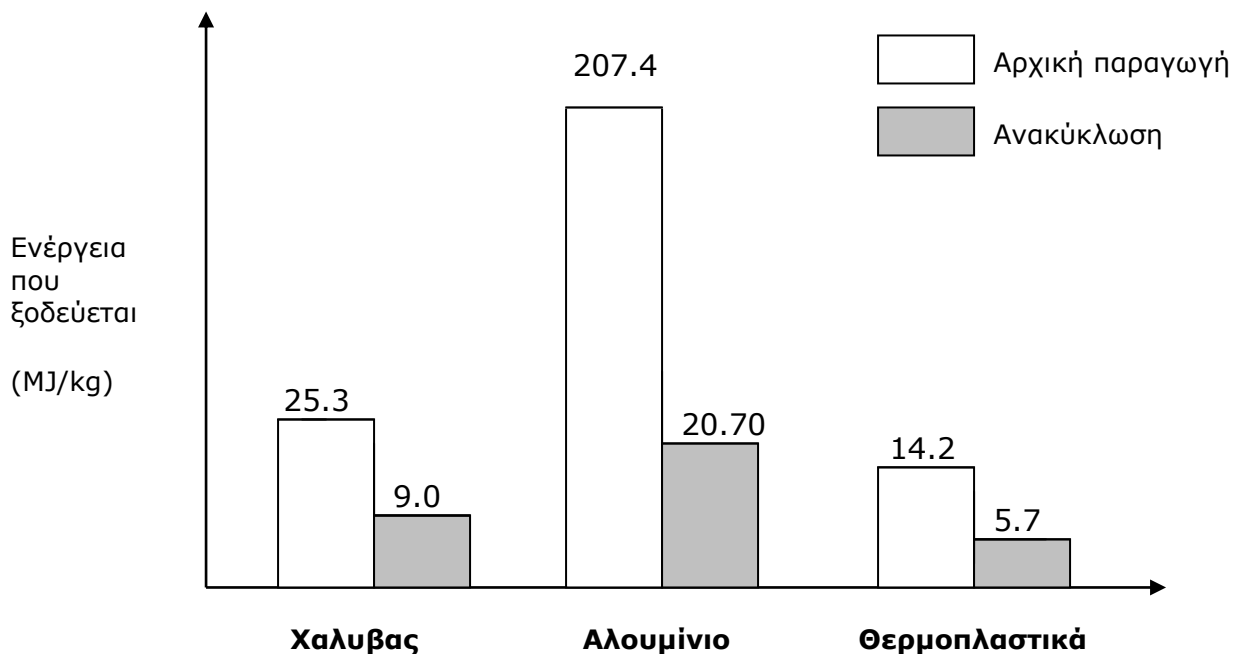
Με τη μέθοδο της μεταλλουργικής επεξεργασίας κυρίως γίνεται ανάκτηση τигμένων μετάλλων, όπου για καύσιμα χρησιμοποιούνται τα μη μεταλλικά τμήματα των ως προς ανακύκλωση συσκευών.

Πολλοί πιστεύουν ότι εξοικονομείται περισσότερη ενέργεια με τη μέθοδο αυτή από ότι με την απασυναρμολόγηση ενώ κάποιοι άλλοι θεωρούν ότι η

μεταλλουργική επεξεργασία αποτελεί μία καμουφλαρισμένη αποτέφρωση αποβλήτων [15].

Η αλήθεια είναι ότι όντως η ανάκτηση μετάλλων μέσω τήξης κραμμάτων, που εμπεριέχονται και χρησιμοποιούνται στα ΗΗΕ, είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος ανακύκλωσης των μεταλλικών τμημάτων λόγω της πολύ λιγότερης ενέργειας που χρειάζεται για την καύση των κραμμάτων αυτών (δηλ. για την ανάκτηση των μετάλλων) σε σχέση με την ενέργεια που ξοδεύεται για την αρχική παραγωγή τους [27].

Για παράδειγμα (Σχήμα 5) στην περίπτωση του αλουμινίου ξοδεύεται 10 φορές περισσότερη ενέργεια για την αρχική του παραγωγή από ότι κατά την καύση κράμματος που εμπεριέχει αλουμίνιο (της ίδιας ποσότητας). Αυτό που δε γνωρίζουμε είναι αν η ποσοτικά λιγότερη ενέργεια που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί σε ποιοτικά διαφορετική επίπτωση στο περιβάλλον (βλαβερή επίδραση λόγω πιθανής καύσης άλλων μη μεταλλικών αποβλήτων).



Σχήμα 5: Σύγκριση Ενέργειας που ξοδεύεται για παραγωγή με ενέργεια που διοχετεύεται για καύση αντίστοιχου κράματος
(Πηγή: Jovane, F., Feldmann, K., Alting, L., Armillota, A., Eversheim, W., Seliger, G., Roth, N.: *Keynote Papers. A Key Issue in Product Life Cycle: Disassembly. Annals of the CIRP, Vol. 42/2/1993*)

5.4.3 Αποσυναρμολόγηση

Η αποσυναρμολόγηση, ως τεχνική ανακύκλωσης, αποτελεί ιδιαίτερης σημασίας αντικείμενο προς ανάλυση και μελέτη και θα αναπτυχθεί εκτενέστερα στη συνέχεια.

Επίσης υπερτερεί του τεμαχισμού αφού η ίδια η διαδικασία του τεμαχισμού δυσκολεύει σε πρώτη φάση το διαχωρισμό των υλικών. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα βασικό μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η τυχαία κοπή του προϊόντος, γεγονός που οδηγεί στην παρουσία περισσότερων από ένα υλικών στα μικρά τμήματα που δημιουργούνται, δυσκολεύοντας έτσι τον επακόλουθο διαχωρισμό τους [27]. Αν τα υλικά των τεμαχίων δεν μπορούν να αναγνωριστούν και επομένως να διαχωριστούν, δημιουργούν κράμματα που είναι ανεπιθύμητα σε επόμενες μεταλλουργικές επεξεργασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Αποσυναρμολόγηση ΗΗΕ

Αποσυναρμολόγηση (disassembly) είναι η διαδικασία συστηματικής απομάκρυνσης επιθυμητών συστατικών ή μερών από ένα συναρμολογημένο σύνολο, εξασφαλίζοντας ότι δεν φθείρονται τα μέρη λόγω της διαδικασίας [28]. Ειδικότερα, η ελεγχόμενη αποσυναρμολόγηση είναι η διαδικασία που στοχεύει στον διαχωρισμό και ανάκτηση επιθυμητών υποσυνόλων με οποιονδήποτε δυνατό τρόπο.

Η αποσυναρμολόγηση αποτελεί ένα νέο και γρήγορα αναπτυσσόμενο αντικείμενο προς μελέτη στον κλάδο της παραγωγής. Σε κάποιες αυτοκινητιστικές βιομηχανίες των ΗΠΑ και της Ευρώπης έχουν δημιουργηθεί βιομηχανικές εγκαταστάσεις ειδικά για το χειρισμό των προϊόντων όσον αφορά την αποσυναρμολόγηση τους. Με βάση τα σημερινά δεδομένα και τις υπάρχουσες τάσεις προδιαγράφεται μεγάλη ανάπτυξη της έρευνας (μοντελοποίηση της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης, ανάπτυξη λογισμικού για υποστήριξη και βελτιστοποίηση της ελεγχόμενης αποσυναρμολόγησης, ανάπτυξη εργαλείων για σύνδεση, συγκέντρωση και συνένωση όλων αυτών των στοιχείων σε μια κοινή βάση δεδομένων για βέλτιστη εξαγωγή συμπερασμάτων) και επομένως και των πρακτικών εφαρμογών (πχ. αύξηση των βιομηχανικών μονάδων που ασχολούνται με αυτό) που αφορούν την αποσυναρμολόγηση [29].

Μελετώντας τους τρόπους διαχείρισης των ΑΗΗΕ και ειδικότερα τους τρόπους ανακύκλωσής τους, ερευνητές έχουν καταλήξει στο ότι η ελεγχόμενη αποσυναρμολόγηση είναι η αναγκαία διαδικασία, μέσω της οποίας επιτυγχάνονται τα εξής:

Πρώτον, απομάκρυνση των επικίνδυνων υλικών και τμημάτων που εμπεριέχουν τοξικές ουσίες, τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης.

Δεύτερον, διαχωρισμός των υψηλής αξίας συνιστώντων υλικών και μερών, όπως οι πλακέτες και τα καλώδια.

Τρίτον, επαναχρησιμοποίηση των επιμέρους τμημάτων σε άλλα ΑΗΗΕ, που αποτελεί (όπως αναφέρθηκε στο Κεφ. 4) τον πρώτο σε ιεραρχία τρόπο διαχείρισης προϊόντος αφότου λήξει η χρήσιμη ζωή του [30].

Είναι πιθανό να πρέπει να γίνει συνδυασμός διαδικασιών ανάκτησης (αποσυναρμολόγηση-τεμαχισμός) για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα, αλλά σίγουρα η αποσυναρμολόγηση είναι σε κάποιο βαθμό αναγκαία και για αυτό και αποτελεί ιδιαίτερης σημασίας τεχνική ανακύκλωσης.

6.1 Η Αξία της Αποσυναρμολόγησης

Ιδιαίτερη είναι η σημαντικότητα της αποσυναρμολόγησης αφού πέρα από την αξία της συμβολής της στη διαχείριση των ΑΗΗΕ συνεισφέρει θετικά στο περιβάλλον και στην οικονομία.

Α) Περιβαλλοντική συνεισφορά

Επέκταση της ζωής των προϊόντων. Αφού θα μπορεί να επιτευχθεί άνετη πρόσβαση στα υποσύνολα, θα διευκολυνθεί η επισκευή, γεγονός που θα αυξήσει και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Καθαρότερη ανάκτηση υλικών (αυξάνει την απόδοση της ανακύκλωσης). Είναι προφανές ότι όταν τα διάφορα συστατικά - εξαρτήματα αποσυναρμολογούνται, τότε τα υλικά μπορούμε να ξεχωρίσουν μεταξύ τους και να ομαδοποιηθούν, ώστε όταν θα ανακυκλωθούν να υπάρχει μεγαλύτερη ομοιογένεια. Αυτό θα αναβαθμίσει τα δευτερογενή υλικά και θα

αυξήσει την αξία τους. Έτσι, δεν θα χρειάζεται να αναμιγνύονται με πρωτογενή για να μειώσουν το ποσοστό των ακαθαρσιών.

Τα υλικά που μέχρι σήμερα οδηγούνταν στους ΧΥΤΑ λόγω δυσκολίας διαχωρισμού, θα μπορούν να διαχωρίζονται από τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης. Έτσι, θα αυξηθεί ο αριθμός των προϊόντων που θα ανακυκλώνονται.

Ανάκτηση συνόλων (επαναχρησιμοποίηση). Είναι ο μοναδικός τρόπος για την επίτευξη της επαναχρησιμοποίησης. Το κατά πόσο μπορεί να είναι ανεκτό και από πλευράς κόστους ανακύκλωσης, εξαρτάται από το μελλοντικό σχεδιασμό της όλης διαδικασίας.

Επιτρέπει την απομάκρυνση και απομόνωση επικίνδυνων ουσιών.

B) Οικονομική συνεισφορά

Διακοπή παραγωγής προϊόντος: Μια ξαφνική διακοπή της παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε ένα πλήθος μη επιθυμητών συναρμολογημένων συνόλων. Σ' αυτήν την περίπτωση, η αποσυναρμολόγηση μπορεί να οδηγήσει σε ανάκτηση πολύτιμων εξαρτημάτων, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλα προϊόντα που παράγονται. Τα υπόλοιπα που περισσεύουν μπορούν να ανακυκλωθούν, πουληθούν ή να αποθηκευτούν για μελλοντική χρήση.

Μείωση χρόνου παραγωγής: Κάποια από τα προϊόντα που βρίσκονται στην διαδικασία ανακύκλωσης, μπορεί να περιέχουν σπάνια εξαρτήματα ή σύνολα, που είναι σημαντικά για την παραγωγή άλλων προϊόντων. Η αποσυναρμολόγηση αυτών και η απόσπαση των υποσυνόλων που είναι επείγοντα μπορεί να οδηγήσει σε αξιολογητή μείωση του προτύπου χρόνου των νέων προϊόντων.

Διευκολύνει την επισκευή: Αφού θα μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη πρόσβαση στα υποσύνολα, θα διευκολύνεται και η επισκευή.

6.2 Είδη Αποσυναρμολόγησης ΗΗΕ

Η αποσυναρμολόγηση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το βαθμό ανάκτησης υλικών ή τμημάτων που επιτυγχάνεται στα παρακάτω είδη [29]:

- **Καταστροφική** (destructive): Πρόκειται για μη ελεγχόμενη αποσυναρμολόγηση με σκοπό το διαχωρισμό των υλικών. Έτσι στην προκειμένη περίπτωση είναι αναπόφευκτη η καταστροφή των επιμέρους τμημάτων αφού στόχος είναι η βέλτιστη δυνατή ανάκτηση υλικών. Αυτός ο ορισμός δεν εντάσσεται στον ορισμό της ελεγχόμενης αποσυναρμολόγησης αφού δεν είναι ελεγχόμενος και δε γίνεται ανάκτηση υποσυνόλων αλλά ανάκτηση υλικών. Κλασσικό παράδειγμα αυτής της διαδικασίας αποτελεί ο τεμαχισμός.
- **Μερικώς καταστροφική** (partly destructive): Καταστροφή των συνδέσμων ή επιλεγμένων εξαρτημάτων (πχ. με οξυγονοκοπή ή κοπή με Laser) ώστε να γίνει ανάκτηση των επιθυμητών υποσυνόλων.
- **Μη καταστροφική** (non destructive): Δεν καταστρέφεται κανένα υποσύνολο του προϊόντος (πχ. αποσυνδέοντας συνδέσμους, λύνοντας βίδες).

6.3 Τεχνικές Αποσυναρμολόγησης ΗΗΕ

Ο βασικός σκοπός της αποσυναρμολόγησης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας για τη βέλτιστη

ανάκτηση τμημάτων ή υποσυνόλων του προϊόντος, ακόμη και υλικών που εμπεριέχονται σε αυτό.

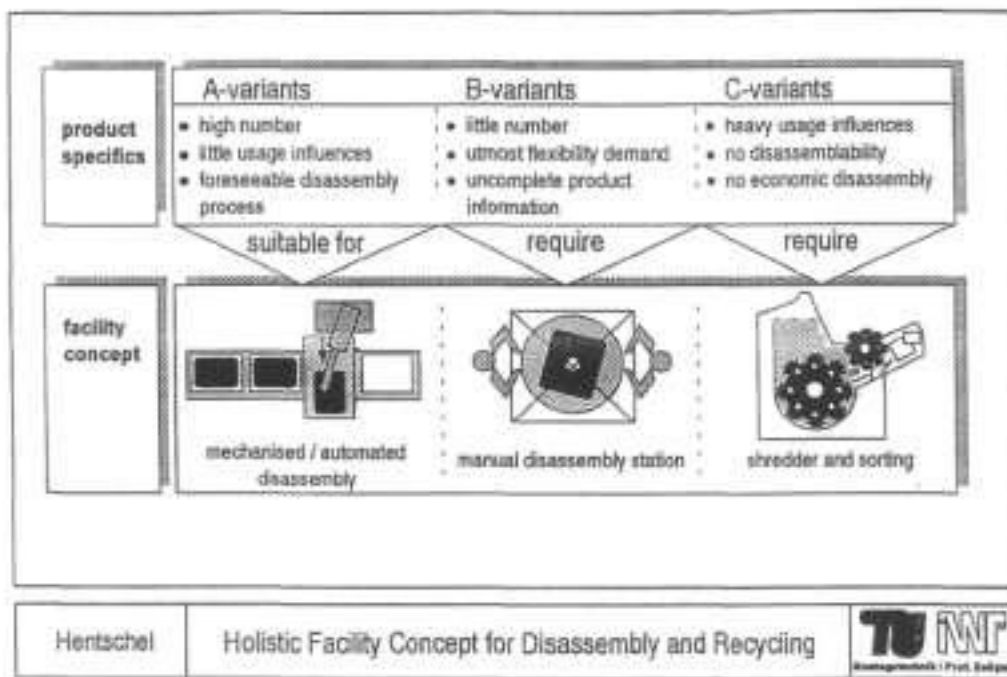
Τρεις είναι οι βασικές τεχνικές της αποσυναρμολόγησης οι οποίες διαχωρίζονται με βάση και τα ίδια τα προϊόντα που πρόκειται να λυθούν.

Όταν τα προϊόντα είναι μη αποσυναρμολογήσιμα ή η αποσυναρμολόγηση τους δε συμφέρει οικονομικά τότε χρησιμοποιείται η τεχνική του τεμαχισμού και διαχωρισμού.

Στην περίπτωση που υπάρχει περιορισμένος αριθμός ενός προϊόντος ή όμοιων υποσυνόλων του, ενώ υπάρχει και μεγάλη ελαστικότητα όσον αφορά τις πιθανές φθορές καθώς και ελλειπή στοιχεία για τη δομή και τη σύστασή του, ενδείκνυται η χειρωνακτική αποσυναρμολόγηση.

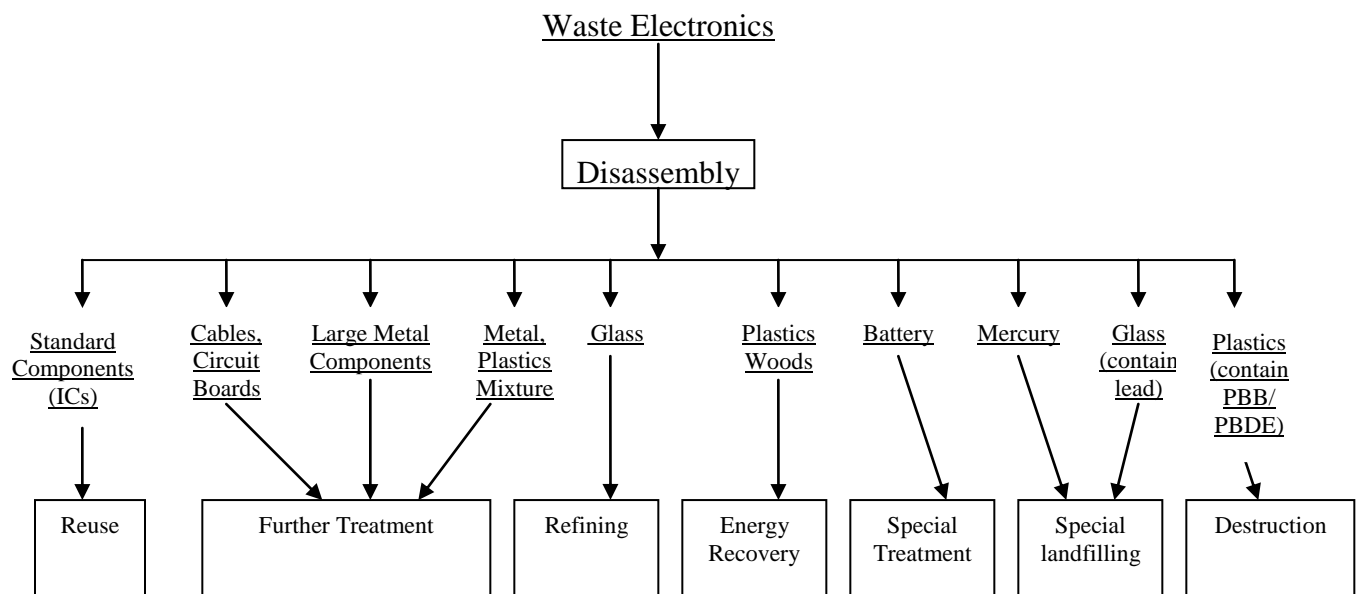
Τέλος, για την αυτοματοποιημένη λύση της δομής, που όπως αναφέρθηκε είναι ένας στόχος της αποσυναρμολόγησης, χρησιμοποιούνται προϊόντα που: α) είναι μεγάλος ο αριθμός τους, β) τα υλικά τα οποία ανακτηθούν χρήζουν λεπτής μεταχείρισης ώστε να μην υπάρξουν φθορές, και γ) είναι γνωστή η δομή και τα συστατικά που εμπεριέχουν, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα να μπορεί σε μεγάλο βαθμό να προβλεφθεί η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης τους.

Τα παραπάνω περιγράφονται συγκεντρωμένα στο **Σχήμα 6**.



Σχήμα 6: Τεχνικές Αποσυναρμολόγησης

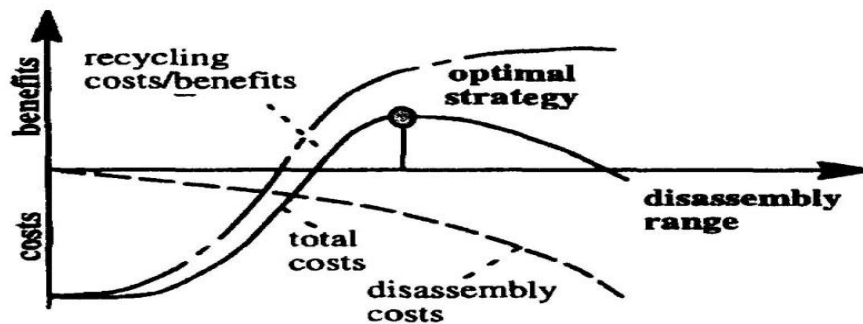
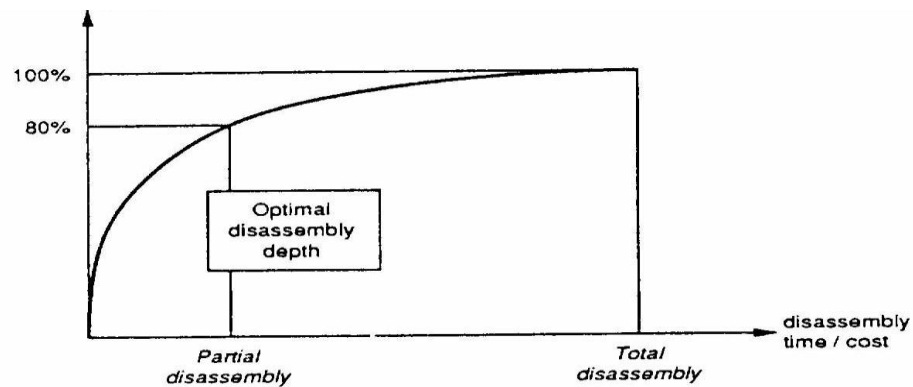
Οι περισσότερες μονάδες ανακύκλωσης εφαρμόζουν τη χειρωνακτική αποσυναρμολόγηση. Κλασσικό παράδειγμα γραμμής ανακύκλωσης ΗΗΕ (Σχήμα 7) αποτελεί αυτό της εταιρείας Ragn-Sells Elektronikertvinning AB στη Σουηδία [31]. Ανώτερος στόχος σε κάθε περίπτωση είναι η αυτοματοποίηση αυτής της διαδικασίας, γεγονός που μέχρι στιγμής έχει αποδειχθεί οικονομικά ασύμφορο. Το 65% των ερευνητών θεωρεί ότι η πλήρης αυτοματοποίηση της αποσυναρμολόγησης μπορεί να επιτευχθεί το 2010 με κέντρο τη Γερμανία, ενώ το 35% πιστεύει ότι για καθαρά οικονομικούς λόγους η αυτοματοποίηση δεν θα είναι δυνατή έως και το 2020 [30].



Σχήμα 7: Γραμμή Ανακύκλωσης στη Σουηδία
(Πηγή: Ragn-Sells Elektronikatervinning AB, Elektronikatervinning, Report, Stockholm, Sweden, 2000)

Μπορεί να γίνει είτε μερική είτε ολική αποσυναρμολόγηση ενός ΗΗΕ. Στη μερική αποσυναρμολόγηση απομακρύνεται ένα σύνολο τμημάτων από το προϊόν, ενώ ολική το προϊόν χωρίζεται σε όλα τα επιμέρους τμήματά του [32].

Στην περίπτωση της μερικής ή επιλεκτικής αποσυναρμολόγησης η διαδικασία προχωρά μέχρι ένα ορισμένο σημείο – «βέλτιστο βάθος αποσυναρμολόγησης» (disassembly depth) που θεωρείται ότι αξίζει. Δηλαδή από αυτό το σημείο και πέρα η διαδικασία είναι οικονομικά ασύμφορη. Αυτό παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα [27], [33].



Σχήμα 8: Παραδείγματα αποτύπωσης βέλτιστου βάθους αποσυναρμολόγησης σε σχέση με το κόστος

6.4 Διαφορές Συναρμολόγησης – Αποσυναρμολόγησης

Πολλοί μπορεί να θεωρήσουν ότι η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης είναι αντίστροφη συναρμολόγηση, γεγονός, όμως που δεν ευσταθεί:

- Ενώ οι σχεδιαστές της συναρμολόγησης γνωρίζουν το κάθε εξάρτημα, τον αριθμό τους, την κατάστασή τους, η αποσυναρμολόγηση βρίσκεται προ απροόπτων:

A) Σε πολλές περιπτώσεις (ιστορικά προϊόντα) οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στην αποσυναρμολόγηση για την δομή της κατασκευής του προϊόντος είναι ελάχιστες.

B) Η φθοροποιός χρήση μεταβάλλει τις ιδιότητες των εξαρτημάτων και δυσκολεύει τη διαδικασία. Επίσης, σε πολλά προϊόντα συναντώνται απρόβλεπτες μετατροπές από τους χρήστες. Δεν μπορούν, λοιπόν, να χρησιμοποιηθούν τα ίδια εργαλεία και οι ίδιες μέθοδοι.

- Η συναρμολόγηση πρέπει να επιτευχθεί μέχρι «την τελευταία βίδα», διαδικασία που δεν χρειάζεται πάντα για τους σκοπούς της αποσυναρμολόγησης.
- Οι εισοδοί της συναρμολόγησης είναι πολλές (τα εξαρτήματα) και μία η έξοδος (το προϊόν). Αντίθετα στην αποσυναρμολόγηση, ένα εισάγεται (προϊόν), πολλά εξάγονται (εξαρτήματα). Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι στην πρώτη διαδικασία υπάρχουν απρόβλεπτες αποκλίσεις στις πρώτες ύλες (εξαρτήματα), ενώ στη δεύτερη δεν γνωρίζει κανείς με απόλυτη βεβαιότητα το ρυθμό εισροής πρώτων υλών (απορριπτόμενων συσκευών).
- Η ποικιλία των προϊόντων στην αποσυναρμολόγηση είναι μεγαλύτερη, άρα και των συνδετικών στοιχείων. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για πιο ανεπτυγμένο εξοπλισμό.
- Όλες οι παραπάνω αβεβαιότητες στην αποσυναρμολόγηση, οδηγούν σε πολύ μεγαλύτερες αποκλίσεις των προτύπων χρόνων από ότι στη συναρμολόγηση. Επίσης, δεν μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν διαγράμματα εργασίας (work plans). Τα αποτελέσματα είναι σε μεγάλο βαθμό αβέβαια.

Όμως, αν αναλογισθεί κανείς την αποσυναρμολόγηση στη θεωρητική της διάσταση (με μελλοντικό κατάλληλο σχεδιασμό) προκύπτουν κάποιοι παράγοντες που την καθιστούν ευκολότερη από την συναρμολόγηση:

- Θέσεις και προσανατολισμοί των εξαρτημάτων και των υποσυνόλων είναι γνωστές από την αρχή της διαδικασίας,

αφήνοντας περιθώρια για μεγαλύτερο βαθμό εντολών.

- Εξαρτήματα προϊόντων που δεν ενδιαφέρουν ή δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, μπορούν να τραυματιστούν ή ακόμα και να καταστραφούν. Χρειάζεται λιγότερη ακρίβεια για τα μέρη που δεν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν.

Μείωση του κόστους ανακύκλωσης με την επαναχρησιμοποίηση υποσυνόλων. Βέβαια, η αγορά δεν είναι ακόμη ώριμη για ανακτημένα εξαρτήματα, γεγονός που περιορίζει την αξιοποίηση της ανάκτησης υλικών στο μέγιστο βαθμό [27], [34].

6.5 Το Πρόβλημα της Αποσυναρμολόγησης

Όπως προαναφέρθηκε, πέρα από τη μείωση του κόστους, στόχος είναι η πλήρης αυτοματοποίηση της αποσυναρμολόγησης. Οι τεχνικές δυσκολίες που προκύπτουν από αυτή την εφαρμογή είναι [30]:

1. Ίδιο είδος προϊόντων βρίσκεται συνήθως σε μικρές ποσότητες.
2. Μεγάλη ποικιλία προϊόντων.
3. Σχεδιασμός των προϊόντων με τέτοιο τρόπο που δεν λαμβάνεται υπόψη η εύκολη αποσυναρμολόγηση.
4. Γενικά προβλήματα στον προγραμματισμό αλυσίδων εφοδιασμού – ανεφοδιασμού.
5. Μεγάλη ποικιλία προϊόντων που επιστρέφονται για αποσυναρμολόγηση.

Επίσης υπάρχουν και κάποια άλλα εμπόδια που καθιστούν την αποσυναρμολόγηση των προϊόντων που παράγονται μια δύσκολη διαδικασία. Κατά την αποσυναρμολόγηση μπορεί να υπάρξει συσσώρευση ορισμένων ειδών με χαμηλή αξία στην αγορά και παράλληλη αύξηση κόστους αποθήκευσης και διάθεσής τους (πχ. στις αυτοκινητοβιομηχανίες υπάρχει

συσσώρευση λάστιχων και υαλοκαθαριστήρων). Η συλλογή όλων των πληροφοριών για το κάθε προϊόν είναι δύσκολη και έτσι δυσκολεύεται ο σωστός σχεδιασμός της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης. Τμήματα του κάθε προϊόντος μπορεί να έχουν υποστεί τροποποιήσεις κατά την επιδιόρθωσή τους και έτσι από την μεγάλη φθορά τους, δυσκολεύεται η απομάκρυνση των δεσμών για τη λύση του προϊόντος στα επιμέρους τμήματά του [29].

Πιο συγκεκριμένα [27]:

- Στόχος των σχεδιαστών του προϊόντος είναι η δημιουργία της βέλτιστης δομής του, λαμβάνοντας υπόψη κυρίως την εύκολη συναρμολόγηση, ενώ στο σχεδιασμό θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνεται και η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.
- Ο τρόπος που συνδέονται τα επιμέρους τμήματα – σύνολα έχει σαν μοναδικό κριτήριο την πλήρη σύσφιξη για αποφυγή διακένων και επίτευξη πλήρους στεγανοποίησης. Έτσι είναι πιθανό όμως, τα τμήματα να μην είναι αποσυναρμολογήσιμα ή να είναι δύσκολη η πρόσβαση στα τμήματα που θα μπορούσαν να ανακτηθούν, μέσω αυτής της διαδικασίας.
- Τέλος η επιλογή των υλικών γίνεται με στόχο την οικονομία και την ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγωγής, γεγονός που συχνά σημαίνει τη χρησιμοποίηση χαμηλής ποιότητας υλικών. Από αυτό συνεπάγεται η συσσώρευση υλικών που δεν ανακυκλώνονται και η αύξηση του κόστους της αποσυναρμολόγησης.

Επομένως, η αποσυναρμολόγηση στις μέρες μας απαιτεί υψηλά ειδικευμένους εργαζόμενους, γεγονός το οποίο δε συμφέρει οικονομικά τις εταιρίες.

Τα κριτήρια επιλογής τμημάτων που διευκολύνουν την αποσυναρμολόγηση πρέπει να είναι δομικά – επαναχρησιμοποίησης – τεχνολογικά [35].

Στα δομικά κριτήρια συμπεριλαμβάνονται, η φθορά, η τοξικότητα, η αξία και η παλαιότητα των τμημάτων.

Στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης εντάσσονται η δυνατότητα για ανακύκλωση, η ενέργεια που χρειάζεται για την παραγωγή σε σχέση με την ενέργεια που μπορεί να εξοικονομηθεί, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο scrap κατά την παραγωγική διαδικασία και τη διαδικασία ανακύκλωσης.

Τέλος, τα τεχνολογικά κριτήρια περιλαμβάνουν την επιλογή των καταλληλότερων μεθόδων ένωσης – συναρμολόγησης καθώς και την ένταξη της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης στον προγραμματισμό του βέλτιστου σχεδιασμού του προϊόντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Ecodesign – Περιβαλλοντικά Ευαίσθητος Σχεδιασμός (ΠΕΣ)

Η κατανόηση του γεγονότος ότι η υπερπαραγωγή των προϊόντων έχει τεράστια αρνητική επίδραση στο περιβάλλον έφερε στην επιφάνεια την αναγκαιότητα για ανάπτυξη της πρακτικής του Ecodesign, πρακτική που εμφανίστηκε και αναπτύχθηκε τα τελευταία 15 χρόνια. Σύμφωνα με τους Boothroyd και Dewhurst, «Ο σχεδιασμός του προϊόντος, ευθύνεται για το 70% του τελικού κόστους του». Αν το συμπέρασμα αυτό επεκταθεί και για τις περιβαλλοντικές επιδράσεις είναι πολύ εύκολο να κατανοηθεί η σημαντικότητα του Ecodesign.

Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες ενσωμάτωσης των θεμάτων που αφορούν το περιβάλλον, στο στάδιο του σχεδιασμού του προϊόντος. Τέτοιες προσπάθειες είναι [37]: Green Design (Burall, 1991; Mackenzie, 1991), Ecological Design (van der Ryn and Cowan, 1996), Life Cycle Design (Keoleian and Meraney, 1994), EcoRedesign (Ryan, 1996a), Environmentally Conscious Design (McAllone, 1998), Eco-effective design (Frei, 1998). Η πληθώρα των ορολογιών οφείλεται στο διαφορετικό υπόβαθρο για το περιβάλλον (βιολογία, οικολογία, μηχανολογία), στο οποίο στηρίζεται η κάθε μέθοδος.

Ο Paraneek το 1985, πολύ εύστοχα έδωσε το σημαντικό ρόλο που έχει ο σχεδιαστής βιομηχανικών προϊόντων σήμερα:

“Είναι λίγα τα επαγγέλματα που είναι τόσο επιζήμια όσο αυτό του βιομηχανικού σχεδιαστή, πολύ λίγα...Δημιουργούν τελείως νέα είδη από μόνιμα σκουπίδια, επιλέγουν υλικά και διαδικασίες που μολύνουν τον αέρα που αναπνέουμε...Οι σχεδιαστές έχουν γίνει μία πολύ επικίνδυνη φάρα. Στην εποχή της μαζικής παραγωγής, όπου όλα πρέπει να προγραμματίζονται και να σχεδιάζονται, ο σχεδιασμός έχει γίνει το πιο ισχυρό εργαλείο, με το οποίο ο άνθρωπος καθορίζει τα εργαλεία του και διαμορφώνει το περιβάλλον”.

7.1 Αντικείμενο και ορισμός του Ecodesign

Το Ecodesign, είναι ένας αναπτυσσόμενος τομέας της βιομηχανικής σχεδίασης προϊόντων. Έτσι λοιπόν και ο εκάστοτε ορισμός του μπορεί να διαφοροποιείται εν μέρει. Επειδή το Ecodesign είναι μία σχετικά νέα έννοια, οι ερευνητές εξακολουθούν να την αναθεωρούν και να δίνουν συνεχώς νέους ορισμούς.

Ορισμοί:

- Eco2-irn (1995): "Το Ecodesign είναι ο σχεδιασμός που λαμβάνει υπόψη όλες τις περιβαλλοντικές επιδράσεις ενός προϊόντος καθ' όλο τον κύκλο ζωής του, προσπαθώντας παράλληλα να βελτιστοποιήσει τα κριτήρια κόστους, ποιότητας και εμφάνισης".
- Brezet and van Hemel (1997): "Το Ecodesign θεωρεί το περιβάλλον σε όλες τις διαδικασίες ανάπτυξης του προϊόντος και επιδιώκει την ανάπτυξη προϊόντων με τη χαμηλότερη δυνατή περιβαλλοντική επίδραση σε όλο τον κύκλο ζωής τους".
- Οι Simon et al., το 2000 έχουν μία ευρύτερη αντίληψη για το Ecodesign και συμπεριλαμβάνουν τις υπηρεσίες στον ορισμό που δίνουν: "Το Ecodesign είναι ένας ευρύς όρος, ο οποίος υποδηλώνει έναν ισορροπημένο κύκλο ζωής του προϊόντος, και μια προσπάθεια για σχεδιασμό προϊόντων και υπηρεσιών με τη χαμηλότερη δυνατή περιβαλλοντική επίδραση".
- Ενώ ο ορισμός από τον Johansson, το 2001, για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό συνυπολογίζει και τις οικονομικές παραμέτρους: "Υποδηλώνει τη σπουδαιότητα βιώσιμης ανάπτυξης των προϊόντων τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά".

Σκοπός του Ecodesign είναι να ελαχιστοποιήσει τις επιδράσεις του προϊόντος στο περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη όλο τον κύκλο ζωής του, από την εξόρυξη των απαραίτητων πόρων μέχρι την τελική του διάθεση, μετά το

πέρας της χρήσιμης ζωής του. Γενικά μπορεί να ειπωθεί, ότι το Ecodesign προσπαθεί να διαχειριστεί τους φυσικούς πόρους που χρησιμοποιεί το προϊόν. Ένα εγχείρημα εξαιρετικά δύσκολο. Το Ecodesign αφενός, προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει του πόρους που εξάγονται, αλλά και καταναλώνονται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Αφετέρου, επιδιώκει την επαναχρησιμοποίηση (*reuse*), την ανακατασκευή (*remanufacture*) και την ανακύκλωση (*recycling*) σε όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Πολύ σημαντικός παράγοντας στη διαχείριση των πόρων είναι η χρησιμοποίηση των υλικών (*utilization*). Αυτή περιλαμβάνει την επιλογή υλικών με μικρή περιβαλλοντική επίδραση (*low-impact*) – για παράδειγμα ανακυκλώσιμα υλικά - και τη μείωση του όγκου των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης “καθαρών” πόρων (*virgin materials*), όποτε αυτό είναι δυνατό.

Για να είναι οι επεξεργασίες αυτές οικονομικά βιώσιμες, μερικά θέματα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό είναι (Thompson, 1999):

- Η ελαχιστοποίηση των διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε ένα προϊόν, καθώς έτσι απαιτείται λιγότερος χρόνος για το διαχωρισμό των υλικών.
- Η επιλογή υλικών, που μπορούν να ανακυκλωθούν και η αποφυγή χρησιμοποίησης τοξικών ουσιών.
- Η αποσυναρμολόγηση των προϊόντων, με την εφαρμογή των κανόνων αποσυναρμολόγησης (*design for disassembly*).
- Η εύκολη αναγνώριση των υλικών, η οποία ελαττώνει το χρόνο αποσυναρμολόγησης

Το Ecodesign φυσικά, ως μια συστηματική φιλοσοφία, δε θα μπορούσε να μην καταπιάνεται και με το θέμα της μετατροπής της ενέργειας, το οποίο είναι η πρωταρχική αιτία για τη μόλυνση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επομένως, κρίνεται ως επιτακτική η ανάγκη για το σχεδιασμό ενεργειακά -

αποδοτικών προϊόντων (*energy-efficient*) και την αξιοποίηση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Η ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, κατά τη χρήση ενός προϊόντος, μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού (Roy, 2000).

Συνοψίζοντας, ο **Περιβαλλοντικά Ευαίσθητος Σχεδιασμός (ΠΕΣ)** ή Ecodesign έχει ως αντικείμενο:

- την ελαχιστοποίηση της συνολικής επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την παραγωγή νέων προϊόντων και
- τον κατάλληλο σχεδιασμό των νέων προϊόντων, έτσι ώστε κατά τη διάρκεια και στο τέλος του κύκλου ζωής τους να επιβαρύνουν ελάχιστα ή και καθόλου το περιβάλλον.

7.2 Ευθύνη του Παραγωγού και Ecodesign

Οι πρωτοποριακές ενέργειες που υιοθετούνται από εταιρίες τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσονται με βάση τη λογική του ecodesign, δημιουργώντας συνολικά καθαρότερα και φιλικότερα στο περιβάλλον προϊόντα. Το ecodesign ξεκίνησε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του '90, όταν έγινε πλέον κατανοητό ότι με την αλλαγή των επιμέρους συστατικών και διαδικασιών που εφαρμόζονται καθόλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος, είναι δυνατό να επιτευχθεί η μείωση του κόστους παραγωγής και η μείωση των αποβλήτων.

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζεται πώς το ecodesign δημιουργεί ευκαιρίες για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, και βελτιστοποιεί το προϊόν εκτιμώντας κάποιες παραμέτρους και τροποποιώντας τις ανάλογα (π.χ. τρόπος εξόρυξης και χρήσης πρώτων υλών, ανακυκλωσιμότητα του προϊόντος, χαρακτηριστικά ευχρηστείας, δυνατότητα επισκευής του προϊόντος και των επιμέρους τμημάτων του κ.α.).

Είναι φανερό πως το ecodesign πρέπει να λαμβάνει υπόψη και να αναλύει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, διότι όλες οι φάσεις ζωής του αλληλοεπηρεάζονται μεταξύ τους, και πρέπει να εξετάζονται στο σύνολό τους [37]. Η χρήση του ecodesign από κάποια εταιρία αντικατοπτρίζει το προφίλ της, υποδεικνύοντας εμμέσως την περιβαλλοντική της ευαισθησία.

Στον **Πίνακα 7**, παρουσιάζονται κάποιες από τις επιπτώσεις που μπορούν να εκτιμηθούν ως αρνητικές για τις εταιρίες και επομένως να αποτελέσουν εμπόδιο στο να υιοθετήσουν οι εταιρίες αυτές τη λογική του ecodesign στην ανάπτυξη και διάθεση των προϊόντων τους.

Πίνακας 7: Περιβαλλοντικά Ευαίσθητος Σχεδιασμός και Ελαχιστοποίηση Αποβλήτων

(Πηγή: Gottberg, A., Morris, J., Pollard, S., Mark-Herbert, C., Cook, M., *Producer responsibility, waste minimization and the WEEE Directive: Case studies in eco-design from the European lighting sector. Science of the Total Environment* 359 (2006).

<u>Στόχος</u>	<u>Επιτυγχάνεται μέσω</u>	<u>Αρνητικές συνέπειες – περιορισμοί</u>
Μείωση μεγέθους - όγκου	Χρησιμοποίηση μικρότερων και ελαφρότερων εξαρτημάτων Δημιουργία προϊόντων που μεταφέρονται και αποθηκεύονται εύκολα λόγω της ευελιξίας τους	Τα μικρά εξαρτήματα είναι συνήθως πιο πολύπλοκα, πράγμα που δυσκολεύει την ανακύκλωσή τους.
Επέκταση κύκλου ζωής	Χρήση ανθεκτικών υλικών Εύκολη αποσυναρμολόγηση και πρόσβαση στα εξαρτήματα για διευκόλυνση της αντικατάστασής τους	Τα προϊόντα γίνονται ξεπερασμένα σε σχεδιασμό και επιδόσεις. Μπορεί να προκαλούν μικρότερες βλάβες στο περιβάλλον στη φάση χρήσης τους από ότι ένα προϊόν με μεγάλο κύκλο ζωής
Βελτίωση Ανακλωσιμότητας	Προώθηση αποδοτικότερων μεθόδων αποσυναρμολόγησης Μείωση πλήθους εξαρτημάτων Μείωση της περιπλοκότητας των επιμέρους τμημάτων	Μερικά σύνθετα εξαρτήματα έχουν μικρότερη μάζα πράγμα που εξοικονομεί ενέργεια κατά τη φάση χρήσης Υλικά τα οποία ανακυκλώνονται εύκολα μπορεί να επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον σε άλλα στάδια της ζωής τους. π.χ. το αλουμίνιο
Βελτίωση Αποδοτικότητας	Μείωση όγκου Χρήση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας	Αυξημένη περιπλοκότητα Πιθανή αποτυχία μεθόδων

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τις εταιρίες για το βαθμό που θα εφαρμοστεί το ecodesign, μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τους **εσωτερικούς** (internal drivers) και τους

εξωτερικούς (external drivers). Βασικοί εξωτερικοί παράγοντες είναι η νομοθεσία (Ευρωπαϊκή και Εθνική) και οι απαιτήσεις των πελατών.

Πιο συγκεκριμένα όσο αναφορά τη νομοθεσία, έχει ψηφιστεί νόμος που αφορά την ευθύνη του παραγωγού για το κάθε προϊόν που παράγει σε όλο τον κύκλο της ζωής του, με αποτέλεσμα να επιφέρει αλλαγές και στο σχεδιασμό του. Όσο αναφορά τα ΑΗΗΕ, έχει αποδειχθεί από ερευνητές ότι πολλές εταιρίες, αγνοούν ή δυσκολεύονται να κατανοήσουν και να αναλάβουν τις ευθύνες τους για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Πέρα από τους εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες που αναφέρθηκαν, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη προϊόντων και πιο συγκεκριμένα το ecodesign, είναι το μέγεθος της εταιρίας. Σύμφωνα με τους van Hemel και Cramer (2002), η πίεση που προκύπτει σε μια εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί μεγαλύτερο κίνητρο εφαρμογής ecodesign σε μια μικρότερη επιχείρηση από ότι σε μία μεγαλύτερη. Επιπλέον ο βαθμός στον οποίο μια εταιρία υιοθετεί τις αρχές του ecodesign μπορεί να αντανakλά την χώρα προέλευσής της επειδή εφαρμόζει την εκάστοτε εθνική περιβαλλοντική νομοθεσία.

Σε αντίθεση με τη Βρετανία που έρχεται τελευταία σε περιβαλλοντική ευαισθησία, η Γερμανία, η Ολλανδία, οι Σκανδιναβικές χώρες και η Ιαπωνία είναι οι χώρες που δημιουργούν τα λιγότερα απόβλητα και τη μικρότερη διάθεση τοξικών ουσιών παγκοσμίως, πράγμα που οφείλεται στην εθνική περιβαλλοντική νομοθεσία τους [45],[46],[47]. Προφανώς οι εταιρίες που υπάρχουν και λειτουργούν στις εκάστοτε χώρες, περιορίζονται στη δράση τους από τις διαφορετικές εθνικές περιβαλλοντικές νομοθεσίες. Έτσι δικαιολογείται ότι οι πολυεθνικές εταιρίες πολλές φορές αποστέλουν τα απόβλητά τους για διαχείριση σε υπανάπτυκτες χώρες, που έχουν διαφορετικούς και συνήθως πιο ήπιους περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Η έρευνα που έχει διεξαχθεί μέχρι σήμερα δείχνει ότι λίγα γνωρίζουμε πάνω στο πως συνδέεται ο Περιβαλλοντικά Ευαίσθητος Σχεδιασμός με την ευθύνη του παραγωγού για την ανάπτυξη προϊόντων φιλικότερων ως προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα η βιβλιογραφία που υπάρχει για το ecodesign είναι ελλιπής, γεγονός που είναι λογικό, αφού άρχισε να αναπτύσσεται μόλις τα τελευταία χρόνια. Γενική πεποίθηση πάντως είναι ότι σε πρώτη φάση αυτό που θα βοηθήσει σημαντικά στην ανάπτυξη του ecodesign είναι η μελέτη της οικονομικής διάστασης.

Αυτό που ισχύει είναι ότι προκειμένου οι εταιρείες να απαλλαχθούν από τα κόστη που σχετίζονται με την ευθύνη του παραγωγού, κατά καιρούς οδηγούνται στην ανάπτυξη καινοτόμων ιδεών οι οποίες θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν σε αυτό που θεωρείται ως ecodesign.

Η ανάπτυξη νέων εφαρμογών εξαρτάται από το κατά πόσο τα κόστη αυτά επιβαρύνουν τη συνολική οικονομική κατάσταση της εταιρείας, γεγονός που σημαίνει ότι σε τελική ανάλυση ένα μέρος του κόστους που είναι η ευθύνη του παραγωγού, μεταφέρεται στους πελάτες – καταναλωτές **(Πίνακας 8)**.

Επίσης μέσω του μηχανισμού της αγοράς, θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος, ότι οι πελάτες διασφαλίζονται από το να επωμιστούν το συνολικό κόστος του ecodesign γιατί αν το προϊόν τελικά γίνει πολύ ακριβό η ζήτησή του θα μειωθεί. Έτσι η αύξηση της τιμής ενός προϊόντος λόγω του ecodesign δεν μπορεί να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο [\[37\]](#).

Πίνακας 8: Κόστη των εταιριών που προκύπτουν από την Ευθύνη του Παραγωγού

(Πηγή: *Gottberg, A., Morris, J., Pollard, S., Mark-Herbert, C., Cook, M., Producer responsibility, waste minimization and the WEEE Directive: Case studies in eco-design from the European lighting sector. Science of the Total Environment 359 (2006)*)

Κατηγορίες εξόδων	Κρίσιμα κόστη
Κόστη συναλλαγών	Αναγνώριση της κατάλληλης λύσης, διαπραγμάτευση και διαχείριση συμβολαίων.
Συλλογή	Αποθηκευτικοί χώροι στα σημεία συλλογής των ΑΗΗΕ συντήρηση, μεταφορά ανάλογα με το είδος των αποβλήτων και ανάλογα με την απόσταση ανάμεσα στα σημεία συλλογής
Ανακύκλωση	Εργασία, αποσυναρμολόγηση και επεξεργασία, ανάλογα με το είδος των υλικών και την ποσότητά τους.
Διάφορα	Σχεδιασμός και διεύθυνση αυτών των εργασιών. Παροχές για προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας. Άδειες για διαχείριση αποβλήτων

7.3 Κίνητρα Βιομηχανίας για Ecodesign

Τα κίνητρα που ωθούν τη βιομηχανία προς τη λύση του Ecodesign μπορούν να συνοψισθούν στα εξής: τη νομοθεσία, τα εμπορικά οφέλη, την αγορά.

A. Νομοθεσία

Η νομοθεσία όσον αφορά την εξοικονόμηση πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος αντιμετωπίζεται, ως επί το πλείστον, από τους κατασκευαστές ως ένα ακόμα εμπόδιο στην ανάπτυξη νέων προϊόντων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων βασίζεται σε δύο συμπληρωματικές στρατηγικές:

- Αποφυγή αποβλήτων με τη βελτίωση του σχεδιασμού των προϊόντων.
- Αύξηση της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων.

Σε αντίθεση με ότι συνέβαινε παλαιότερα, οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δίνουν έμφαση στην ευθύνη των παραγωγών για τη διαχείριση των προϊόντων τους μετά το τέλος της ωφέλιμης ζωής τους. Η κοινή λογική υποδεικνύει ότι εφόσον οι εταιρίες παραγωγής είναι υπεύθυνες για το τέλος ζωής του προϊόντος και πρέπει να επωμιστούν το κόστος του, θα αναπτύξουν προϊόντα από πιο ανακυκλώσιμα υλικά χωρίς τοξικές ουσίες. Αυτό όμως που στην πραγματικότητα συμβαίνει είναι η μεταφορά της ευθύνης και του κόστους αυτού στον καταναλωτή, επιβαρύνοντάς τον έμμεσα με φόρους (δημοτικά τέλη για συλλογή αποβλήτων κ.α.).

B. Εμπορικά οφέλη

Είναι πολλά τα οφέλη που μπορεί να αποκομίσει μία επιχείρηση εφαρμόζοντας Ecodesign. Ο (Datschefski, 2002) σε μια προσπάθεια απαρίθμησης τους, έπειτα από πρακτικές που έχουν ήδη εφαρμοστεί, παρουσιάζει τα εξής οφέλη:

- Μικρότερο ενεργειακό κόστος και λιγότεροι φόροι στην κατανάλωση ενέργειας.
- Διπλή πώληση του ίδιου προϊόντος.
- Πώληση των αποβλήτων.
- Μικρότερο κόστος όσον αφορά τη διαχείριση επικίνδυνων.
- ουσιών και την ασφάλεια.
- Λιγότερα κόστη διάθεσης.
- Νέα προϊόντα και ιδέες.
- Νέα επιχειρηματικά μοντέλα.
- Πιο ελκυστικά προϊόντα.
- Εξοικονόμηση πόρων λόγω ασφαλέστερων συνθηκών εργασίας.
- Μικρότερα κόστη συσκευασίας.
- Ασφαλέστερα προϊόντα και ελαττωμένη επιχειρηματική ευθύνη.
- Περισσότερη αξία από τη χρήση των πόρων.

Γ. Αγορά

Ο καταναλωτής έχει, πια, επίγνωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τοποθετεί το περιβάλλον υψηλά στη λίστα των κριτηρίων συναλλαγής του. Σύμφωνα με τον Ottman (1998), ένα προϊόν θα μπορεί να είναι ανταγωνιστικό τις επόμενες δεκαετίες, όταν αυτό θα μπορεί και συνδυάζει την απόδοση, την άνεση, την ασφάλεια, την τιμή και το περιβάλλον.




Επίσης οι μέτοχοι θέλουν η εταιρεία τους να έχει ένα φιλικό προς το περιβάλλον προφίλ, το οποίο να μπορούν να το διαφημίζουν μέσω ετήσιων αναφορών για τους περιβαλλοντικούς στόχους που επιτεύχθηκαν.

Περιβαλλοντικές Σημάνσεις (Eco-labels)

Οι περιβαλλοντικές σημάνσεις είναι ένας τρόπος επικοινωνίας των εταιριών με τους καταναλωτές τους, όσον αφορά την περιβαλλοντική απόδοση των προϊόντων και των υπηρεσιών που παρέχουν. Προκειμένου ένα προϊόν να μπορεί να φέρει τη περιβαλλοντική σήμανση, πρέπει να πληρεί ορισμένα κριτήρια ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε αποτελέσματα Αναλύσεων Κύκλου Ζωής που έχουν γίνει ως σήμερα σε ορισμένα αντιπροσωπευτικά προϊόντα ανά ομάδα τύπου προϊόντος. Ακόμα, για να έχει ένα προϊόν το δικαίωμα να φέρει περιβαλλοντική σήμανση πρέπει να ανήκει τουλάχιστον στο 50% των πιο περιβαλλοντικών προϊόντων που κυκλοφορούν στην αγορά.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται μερικές από τις πιο γνωστές περιβαλλοντικές σημάνσεις και τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 9: Περιβαλλοντικές Σημάνσεις

Σημάνσεις	Σύμβολο	Χαρακτηριστικά
The swan www.swanen.nu/eng		<ul style="list-style-type: none"> • Η σκανδιναβική σήμανση • Χρησιμοποιεί ανάλυση κύκλου ζωής για την αξιολόγηση των προϊόντων. • Εστιάζει σε ουσίες επικίνδυνες για το περιβάλλον που βρίσκονται σε μικρή συγκέντρωση στα προϊόντα. • Ο παραγωγός προκειμένου να την αποκτήσει πρέπει να βελτιώσει την ανακυκλωσιμότητα και την τελική διάθεση του προϊόντος, όπως επίσης να είναι διατεθειμένος για την ανάκτηση των απαρχαιωμένων προϊόντων.
The flower www.eco-label.com		<ul style="list-style-type: none"> • Η σήμανση της Ευρωπαϊκής Ένωσης. • Χρησιμοποιεί ανάλυση κύκλου ζωής για την αξιολόγηση των προϊόντων. • Τα προϊόντα για να φέρουν τη σήμανση πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις της Ε.Ε. όσον αφορά την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον.
Blauer Angel www.blauerengel.de		<ul style="list-style-type: none"> • Η γερμανική σήμανση για προϊόντα και υπηρεσίες. • Μπορούν να τη φέρουν τα προϊόντα που η περιβαλλοντική επίδραση τους καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους είναι μικρότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα προϊόντα που ικανοποιούν την ίδια λειτουργία. • Αφορά περίπου 3800 προϊόντα και υπηρεσίες, ενώ 710 χρήστες έχουν την άδεια να φέρουν τη σήμανση στη Γερμανία και το εξωτερικό.

Energy Star
www.energystar.gov



- Η ενεργειακά περιβαλλοντική σήμανση των Η.Π.Α.
- Εστιάζει μόνο στην ενέργεια που καταναλώνεται κατά το στάδιο της χρήσης.
- Για να φέρει ένα προϊόν τη σήμανση πρέπει να έχει εφαρμογές αναμονής που εξοικονομούν ενέργεια όταν το προϊόν είναι εκτός χρήσης (*standby, sleep, power down modes*).
- Υπάρχει συμφωνία Η.Π.Α και Ε.Ε προκειμένου τα προϊόντα που εισάγονται από τις Η.Π.Α να είναι αυτά που φέρουν τη σήμανση.

GEA-VIA label
www.efficientappliances.org



- Ευρωπαϊκή σήμανση για την ενέργεια που συντάσσεται με τον οργανισμό GEA (*Group of Efficient Appliances*)
- Το GEA είναι ένα forum από εθνικές και κυβερνητικές αντιπροσωπείες για την ενέργεια, οι οποίες δουλεύουν μαζί με τη βιομηχανία στην αφίλοκερδή δράση πληροφόρησης στον τομέα των ενεργειακά αποδοτικών ηλεκτρονικών συσκευών

Όλες οι προαναφερθείσες σημάνσεις έχουν αναπτύξει ξεχωριστά κριτήρια για συγκεκριμένα προϊόντα, όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, εκτυπωτικά μηχανήματα και εκτυπωτές, πλυντήρια, αντλίες κ.α. Ενώ συνεχώς αναπτύσσονται νέα κριτήρια, για νέα προϊόντα.

7.4 Σχεδιασμός για το Περιβάλλον – Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Από τα παραπάνω είναι επακόλουθο ο ΠΕΣ να βασίζεται σε 2 βασικά εργαλεία που θα αναλυθούν εκτενέστερα στις επόμενες παραγράφους:

- 1) Στην ανάλυση του κύκλου ζωής (AKZ) του προϊόντος και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για κάθε στάδιο της ζωής του.
- 2) Στην επιλογή καλύτερων αποφάσεων κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής του προϊόντος (Σχεδιασμός για το Περιβάλλον -ΣΓΠ), ώστε να περιοριστεί η περιβαλλοντική ζημιά κατά τη χρήση και να διευκολυνθεί η αποτελεσματικότερη ανάκτηση στο τέλος της ζωής του.

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)

Για την προώθηση του ΠΕΣ και την καλύτερη κατανόηση όσον αφορά τις βλαβερές συνέπειες που προκαλούνται στο περιβάλλον από τη διάθεση των EOL προϊόντων και τις διαδικασίες διαχείρισής τους, κρίνεται αναγκαίο από τους επιστήμονες η ανάπτυξη ενός κλάδου που καλείται Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ).

Η AKZ μελετά τις περιβαλλοντικές διαστάσεις και πιθανές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ζωής του προϊόντος (*«από την κούνια στον θάνατο»*). Συγκεκριμένα, μελετά από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την παραγωγή του προϊόντος, τη χρήση, μέχρι και την τελική κατάληξή του [49].

Οι γενικές κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που χρειάζονται μελέτη είναι: χρήση πόρων, ανθρώπινη υγεία και οικολογικές συνέπειες. Υπενθυμίζεται ότι η έννοια της AKZ αναφέρεται και στο Προεδρικό Διάταγμα ως εξής: **«Κατά το σχεδιασμό και την παραγωγή νέου ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού να λαμβάνονται πλήρως υπόψη και να διευκολύνονται η επισκευή, η πιθανή αναβάθμιση, η επαναχρησιμοποίηση, η αποσυναρμολόγηση, η αξιοποίηση και ιδίως η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ, **εκτός εάν εφαρμόζονται διαδικασίες κατασκευής και ειδικά χαρακτηριστικά σχεδίασης που παρουσιάζουν πλεονεκτήματα υπέρτερης σημασίας, παραδείγματος χάριν ως προς την προστασία του περιβάλλοντος και/ή τις απαιτήσεις ασφαλείας.**»**

Επιπλέον αξίζει να επισημανθεί το γεγονός ότι η AKZ προστατεύει από υπερβολική συγκέντρωση των προτεραιοτήτων σε ένα μόνο στάδιο, παραβλεπομένων των επιπτώσεων στα άλλα. Μερικά σχετικά παραδείγματα είναι τα εξής [15]:

- Επιδιόρθωση και επαναχρησιμοποίηση ΗΗΕ δεν πρέπει να γίνεται όταν η κατανάλωση ενέργειας στα αντίστοιχα νεώτερα μοντέλα είναι αισθητά μικρότερη. Παράδειγμα είναι οι νέες επίπεδες οθόνες σε σύγκριση με τις συμβατικές οθόνες καθοδικού σωλήνα. Οι πρώτες καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια, οπότε και συμφέρει να αντικαθιστούν τις παλαιές. Συμβαίνει, όμως, και το αντίθετο. Πολλά νέα μοντέλα ΗΗΕ, λόγω αυξημένων λειτουργιών καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Σ' αυτή την περίπτωση συμφέρει η επιδιόρθωση και επαναχρησιμοποίηση των παλαιών.
- Αύξηση της ανακυκλωσιμότητας των προϊόντων με αντικατάσταση των πλαστικών με σίδηρο ή χάλυβα δεν πρέπει να γίνεται, αφού στην παραγωγή η περιβαλλοντική ζημιά ανά κιλό των μετάλλων είναι πολύ μεγαλύτερη των πλαστικών.
- Ο σχεδιασμός αυτοκινήτων μπορεί να χρησιμοποιήσει μεν ανακυκλώσιμα υλικά, όταν, όμως, είναι πολύ βαρύτερα, η συνολική περιβαλλοντική ζημιά θα είναι μεγαλύτερη, εξαιτίας της αυξημένης κατανάλωσης καυσίμων.

Από τα παραπάνω καθώς και άλλα πολλά σχετικά παραδείγματα που μπορεί να συναντήσει κάποιος στη διεθνή βιβλιογραφία είναι φανερό η έντονη διασύνδεση που έχουν όλα τα στάδια της ζωής και πώς πρέπει αυτά να συνεκτιμώνται.

Σκοπός είναι, να μειωθούν ταυτόχρονα και τα απόβλητα και οι αναλυσκόμενες ενέργειες σε όλο το εύρος της ζωής του κάθε προϊόντος.

Για να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις πρέπει να συνεκτιμηθούν πολλές παράμετροι καθώς και να συνεργαστούν επιστήμονες πολλών ειδικοτήτων.

Συνεπώς, στην προαναφερθείσα πολυπλοκότητα, έγκειται η δυσκολία της ΑΚΖ.

Σχεδιασμός για το Περιβάλλον

Ο Σχεδιασμός Για το Περιβάλλον (Σ.Γ.Π.) αποτελεί το πρακτικό μέρος όλων των παραπάνω εννοιών, αφού αυτός είναι που πρέπει να παραλάβει, να εκτιμήσει και να συγκρίνει τα αποτελέσματα της ΑΚΖ, ώστε να λάβει τις ορθότερες αποφάσεις για το σχεδιασμό του προϊόντος. Όπως και στην ΑΚΖ, πεδίο του ΣΓΠ είναι η παρακολούθηση του προϊόντος σε κάθε φάση της ζωής του: κατασκευή, χρήση, τέλος ζωής.

Αυτές οι φάσεις ζωής του προϊόντος μπορούν να βελτιωθούν μέσω του ΣΓΠ και να ελέγχονται ως εξής [50]:

I. Επιλογή υλικών

Στο προς σχεδίαση προϊόν, χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία είναι όσο το δυνατό πιο φιλικά στο περιβάλλον;

Αξιοποιούνται υλικά τα οποία ήταν scrap της παραγωγής κάποιου άλλου προϊόντος;

Είναι τα επιμέρους τμήματα του προϊόντος ελάχιστα στον αριθμό τους;

II. Κατασκευή

Είναι το προϊόν σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε κατά τη διάρκεια της κατασκευής / παραγωγής του να μην χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και το περιβάλλον;

Συμβάλλει ο σχεδιασμός στην ελαχιστοποίηση των περισσευμάτων κατά τη διάρκεια της παραγωγής;

III. Χρήση

Η σχεδίαση του προϊόντος είναι κατάλληλη ώστε να διευκολύνει την αποσυναρμολόγηση για επισκευή, αναβάθμιση, επαναχρησιμοποίηση;

Είναι η σχεδίαση κατάλληλη ώστε να επιτρέπει την εξοικονόμηση ενέργειας ή την τροφοδοσία μέσω εναλλακτικών μορφών ενέργειας, κατά τη χρήση του προϊόντος;

IV. Μεταφορά και Συσκευασία

Αποφεύγεται η χρήση επικίνδυνων υλικών, στα μελάνια, στις χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις συσκευασίες, καθώς και στα ίδια τα υλικά στα οποία συσκευάζονται τα προϊόντα;

Η σχεδίαση επιτρέπει τη χρήση επαναχρησιμοποιήσιμων μέσων συσκευασίας;

V. Τέλος Κύκλου Ζωής

Διευκολύνει ο σχεδιασμός την αποσυναρμολόγηση για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση;

Είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται, εύκολα αναγνωρίσιμα και διαχωρίσιμα;

Χρειάζεται λοιπόν, από τον αρχικό σχεδιασμό κιόλας να έχει ληφθεί πρόνοια για τη διαχείριση του προϊόντος στο τέλος της ζωής του και να έχουν δημιουργηθεί οι βάσεις για μια αποδοτική ανάκτηση.

Αφού στόχος είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανάκτηση των προϊόντων, δηλαδή ανακύκλωση (υλικών) / επαναχρησιμοποίηση (εξαρτημάτων και υποσυνόλων), χρειάζεται αποδοτική αποσυναρμολόγηση και κατάλληλα εργαλεία. Για το λόγο αυτό ο τομέας του Design For Dissassembly (DFD) έχει κριθεί καθοριστικός, από τους επιστήμονες τα τελευταία χρόνια.

7.4.1 Σχεδιασμός Για Αποδοτική Αποσυναρμολόγηση (DFD)

Για να γίνει ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι τομείς, οι οποίοι δεν είναι ισάξιοι και ούτε το ίδιο αποδοτικοί. Οι τομείς αυτοί είναι:

- Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση
- Σχεδιασμός ακολουθίας αποσυναρμολόγησης
- Υπολογισμός βάθους αποσυναρμολόγησης
- Σχεδιασμός βοηθητικού λογισμικού για αποσυναρμολόγηση

7.4.1.1 Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση

Ο τομέας αυτός έχει σαν στόχο τον κατάλληλο σχεδιασμό του προϊόντος, ώστε η διαδικασία αποσυναρμολόγησής του να είναι όσο το δυνατό πιο αποδοτική. Ασχολείται, με την κατασκευαστική δομή, με τα είδη των συνδέσμων, με τη δημιουργία συνόλων κτλ. Αυτός είναι και ο βασικός άξονας της όλης διαδικασίας.

Σκοπός της αποσυναρμολόγησης είναι, με το μικρότερο δυνατό κόστος, να χωριστεί το προϊόν σε τρεις ουσιαστικά κατηγορίες υποσυνόλων: για επισκευή, ανακύκλωση και ταφή. Η επιτυχία αυτού του σκοπού, έγκειται στη δημιουργία κατάλληλων υποσυνόλων και στη σωστή σύνδεσή τους.

Στο πρόβλημα αυτό δίνουν απάντηση, *η θεωρία των υποσυνόλων και η θεωρία των συνδέσμων*.

Θεωρία των υποσυνόλων

Η θεωρία υποσυνόλων χωρίζεται σε κατηγορίες που αφορούν τη δομή του προϊόντος, από τη γενική προς την πιο λεπτομερή.

1. Κατασκευαστική δομή

Η πρώτη κατηγορία της θεωρίας των υποσυνόλων αφορά την κατασκευαστική δομή ενός προϊόντος, που έχει σκοπό τα εξής [15]:

- Ο σχεδιασμός του προϊόντος πρέπει να αποσκοπεί στην απλή κατασκευαστική δομή του προϊόντος, δηλαδή, να ελαχιστοποιεί τον αριθμό των «βημάτων» αποσυναρμολόγησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την **ενοποίηση**, όσο το δυνατόν, επιμέρους κατασκευαστικών στοιχείων.
- Να υπάρχει **προσβασιμότητα**, δυνατότητα, δηλαδή, εισχώρησης εργαλείων (χειροκίνητων ή αυτόματων).

- Να υπάρχει η δυνατότητα καλής **ορατότητας** κατά την αποσυναρμολόγηση.

2. Εύκολα αποσπώμενα υποσύνολα

Κατά την αποσυναρμολόγηση υπάρχουν ορισμένες κατηγορίες υποσυνόλων που πρέπει να μπορούν να αποσπαστούν και να απομονωθούν πιο εύκολα και πιο γρήγορα από τα υπόλοιπα υποσύνολα του προϊόντος. Σε αυτές τις κατηγορίες ανήκουν τα επικίνδυνα, πολύτιμα και ανακυκλώσιμα υποσύνολα / υλικά, καθώς και το κέλυφος. Η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης σε κάθε επίπεδο πρέπει να λαμβάνει υπόψη της όχι μόνο τα υποσύνολα αυτού του επιπέδου αλλά και των επόμενων.

3. Στήριξη περαιτέρω επεξεργασίας υποσυνόλων

Για την επίτευξη της περαιτέρω στήριξης της απομάκρυνσης των υποσυνόλων πρέπει να γίνεται η ίδια η αποσυναρμολόγηση με ιδιαίτερη προσοχή, αλλά και τα ίδια τα προϊόντα να σχεδιάζονται με τις κατάλληλες προδιαγραφές. Παράδειγμα αποτελεί ο τρόπος στήριξης των διάφορων στοιχείων στις ηλεκτρονικές πλακέτες. Μελετάται τρόπος να συγκολλούνται και μετά το τέλος της ζωής τους να διαχωρίζονται με θερμότητα [5].

4. Περιεχόμενο υποσυνόλων [27]

Οι σχεδιαστές πρέπει να δίνουν ιδιαίτερη σημασία στην επιλογή του μεγέθους και του περιεχομένου των υποσυνόλων, γιατί όπως είναι λογικό όσο πιο μεγάλα και ομογενή είναι τόσο λιγότερη προσπάθεια απαιτείται για το διαχωρισμό τους. Επίσης η μικρή ποικιλία σε υλικά που συνιστούν το προϊόν διευκολύνει τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης. Τέλος, επιθυμητό είναι στην περίπτωση που επιλεχθεί από τον σχεδιαστή η χρήση διαφορετικών υλικών να είναι τουλάχιστον συμβατά στην επεξεργασία τους.

Θεωρία Συνδέσμων

Η θεωρία των συνδέσμων πρέπει να εντάσσεται σε μια γενικότερη μελέτη της μεθόδου και του τρόπου αποσυναρμολόγησης. Ορισμένα κρίσιμα σημεία της θεωρίας αυτής που προκύπτουν από την εφαρμογή της *3-αξονικής αυτόματης αποσυναρμολόγησης* και χρειάζονται προσοχή είναι [15]:

- Ο εντοπισμός των συνδέσμων από ικανά ρομπότ.
- Η εύκολη λύση τους, δηλαδή η αντικατάσταση των μη λυόμενων από λυόμενους καθώς και δημιουργία νέων πιο εύκολων στη λύση συνδέσμων (π.χ. από τη βίδα που χρειάζεται περιστροφή).
- Αντοχή των συνδέσμων στη φθορά και στη διάβρωση (π.χ. ανοξείδωτοι).
- Εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν.

Μια σύγχρονη μέθοδος αποσυναρμολόγησης, που δεν θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία και ανατρέπει τα μέχρι τώρα δεδομένα είναι η αποσυναρμολόγηση στο χώρο. Αποσυναρμολόγηση στο χώρο σημαίνει ότι οι σύνδεσμοι μπορούν να λυθούν εκ του μακρόθεν, ανεξάρτητα του που βρίσκονται. Θα μπορούσε κανείς να το παρομοιάσει σαν «τηλεκοντρόλ».

7.4.1.2 Σχεδιασμός Ακολουθίας Αποσυναρμολόγησης

Η αποσυναρμολόγηση ενός συνόλου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες αλληλουχίες των στοιχείων του προϊόντος (ακολουθίες). Στόχος της έρευνας εδώ είναι να εντοπιστεί η βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης. Αν αναλογιστεί κανείς ότι ο αριθμός των ακολουθιών αυξάνει εκθετικά με τον αριθμό των προς αποσυναρμολόγηση τεμαχίων μπορεί να κατανοηθεί η δυσκολία αυτού του τομέα. Το θέμα αυτό έχει απασχολήσει πολύ τη διεθνή βιβλιογραφία και αποτελεί τον πλέον δημοφιλή τομέα έρευνας όσον αφορά την αποδοτική αποσυναρμολόγηση. Οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί είναι πολλοί, διαφόρων μορφών και αφορούν διαφορετικές περιπτώσεις. Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μία επισκόπηση των κυριότερων αλγορίθμων.

Στόχος των αλγορίθμων είναι να εντοπίσουν τη βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης συμπεριλαμβάνοντας πολλές φορές και παραμέτρους όπως τους χρόνους αποσυναρμολόγησης, τα κόστη αποσυναρμολόγησης, τα κόστη ανακύκλωσης καθώς και τα συνολικά έσοδα που προκύπτουν από την όλη διαδικασία ανάκτησης υποσυνόλων. Η εφαρμογή και η εκτέλεση των αλγορίθμων προϋποθέτει τη μετατροπή των κατασκευαστικών στοιχείων του προϊόντος σε αντιπροσωπευτικά μοντέλα μέσω [51]:

- Τρισδιάστατων μοντέλων CAD στα οποία αναγράφονται όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία του προϊόντος (βάρη, γεωμετρίες, υλικά, κόστη κλπ.)
- Πινάκων δύο διαστάσεων από τους οποίους φαίνονται οι σχέσεις και οι σύνδεσμοι των επιμέρους τμημάτων.
- Γραφημάτων. Παράδειγμα αποτελούν τα γραφήματα συνδέσμων όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα επιμέρους τμήματα και οι ακμές τις συνδέσεις μεταξύ τους. Επίσης αρκετά διαδεδομένα είναι και τα AND / OR γραφήματα.
- Petri Nets

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη γέννηση ακολουθιών αποσυναρμολόγησης μπορούν να χωρισθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Στις κλασσικές μεθόδους (π.χ. ευρετικούς αλγόριθμους).
- Στις μη κλασσικές μεθόδους (π.χ. μαθηματικός γραμμικός προγραμματισμός).
- Μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης – AI (π.χ. Petri Nets, γενετικοί αλγόριθμοι).

Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι προαναφερθείσες κατηγορίες και θα παρουσιασθούν κάποια παραδείγματα σχετικά με αυτές.

I. Ευρετικοί Αλγόριθμοι

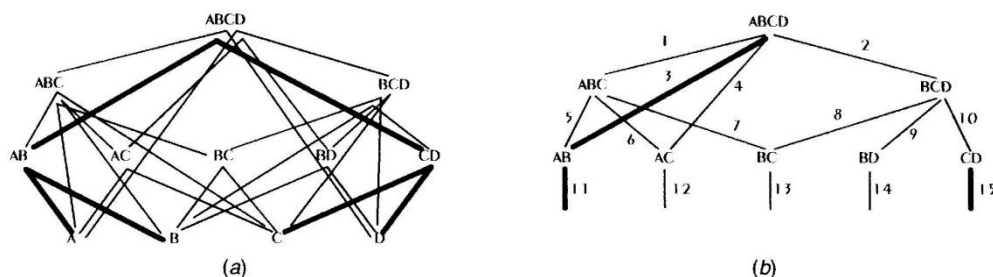
Η ευρετική προσέγγιση του προβλήματος της αποδοτικότερης αλληλουχίας αποσυναρμολόγησης βασίζεται σε απλούς κανόνες και έχει υπάρξει αρκετά δημοφιλής τα τελευταία χρόνια. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι κάνουν μία συστηματική ανάλυση του αντιπροσωπευτικού μοντέλου γεννώντας πιθανές αλληλουχίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει ένας συντελεστής βαρύτητας ο οποίος δείχνει το βαθμό δυσκολίας αποσυναρμολόγησης του κάθε βήματος. Συνήθως η βέλτιστη ακολουθία είναι η οικονομικότερη ή αυτή που επιφέρει τα περισσότερα έσοδα. Για να γίνει πιο κατανοητή η ευρετική προσέγγιση θα παρατεθούν πιο αναλυτικά κάποια παραδείγματα.

Γραφική Παράσταση AND / OR

Η AND/OR γραφική παράσταση βασίζει την παρουσίαση της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, στα υποσύνολα που δημιουργούνται (και όχι στους συνδέσμους που λύονται). Οι σχέσεις προτεραιότητας που λαμβάνονται υπόψιν είναι οι εξής [52]:

Σχέση AND: Υπάρχει μεταξύ ενός στοιχείου K 1 και K 2 σε σχέση με ένα K 3, όταν και το K 1 και το K 2 πρέπει να απομακρυνθούν πριν το K 3.

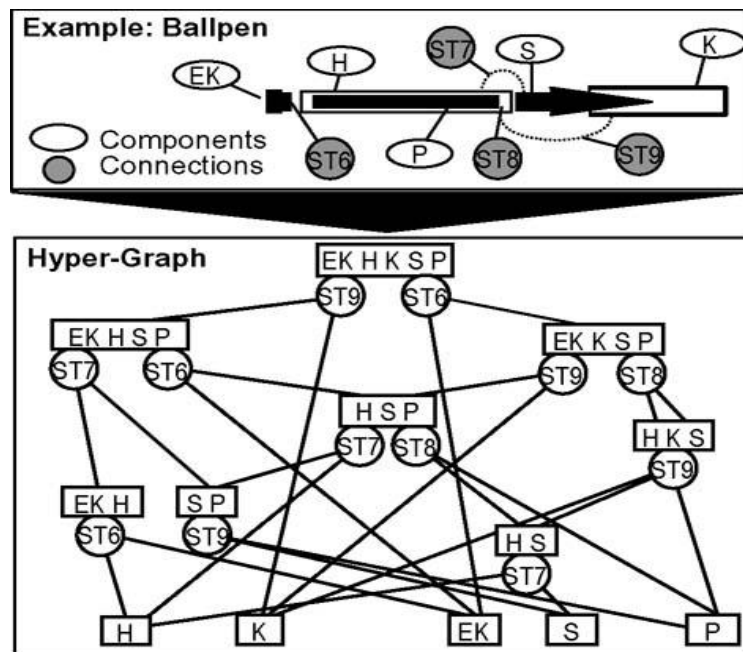
Σχέση OR: Υπάρχει μεταξύ ενός στοιχείου K 1 και K 2 σε σχέση με ένα K 3, όταν είτε το K 1 είτε το K 2 πρέπει να απομακρυνθούν πριν το K 3.



Σχήμα 9. AND/OR γραφικές παραστάσεις

Hyper Graph

Σύμφωνα με τον Feldmann K. και τον Trautner S. (2000), οι οποίοι αναπαράστησαν την αποσυναρμολόγηση ενός στυλού μέσω hyper-graph όπως φαίνεται στο **Σχήμα 10** που ακολουθεί ποικίλουν οι στόχοι αποδοτικότητας αποσυναρμολόγησης και συνεπώς θα διαφέρουν και οι βέλτιστες προτεινόμενες αλληλουχίες. Για παράδειγμα κάποιοι αναζητούν τη βέλτιστη ακολουθία για την επίτευξη της απόσπασης των πολύτιμων υποσυνόλων, ενώ άλλοι έχουν ως βασικό κριτήριο το μέγιστο κέρδος.



Σχήμα 10. Παράδειγμα μορφής Hyper Graph

Πίνακας Προτεραιοτήτων [15]

Ο Πίνακας Προτεραιοτήτων Αποσυναρμολόγησης - ΠΠΑ (Disassembly Precedence Matrix) είναι ένας πιο ανεπτυγμένος πίνακας σε σχέση με τον πίνακα μεταβάσεων, γιατί εκτός το ότι εκφράζει τις AND / OR σχέσεις, λαμβάνει υπόψη και τους περιορισμούς στην κίνηση (σε ποια κατεύθυνση εμποδίζεται ένα στοιχείο και από ποιο στοιχείο). Ο ΠΠΑ, δηλαδή, παρουσιάζει τις γεωμετρικές προτεραιότητες μεταξύ των στοιχείων σε ένα σύνολο.

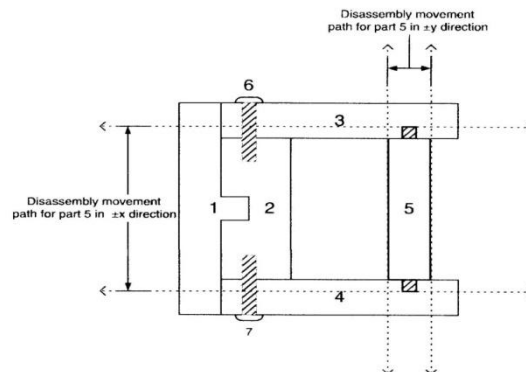
Οι γραμμές και στήλες του πίνακα προτεραιοτήτων συμβολίζουν τα στοιχεία του συναρμολογημένου συνόλου. Έχουμε εξηγήσει τι είναι οι AND / OR σχέσεις.

Τα στοιχεία μπορεί να ισούνται:

A

Όταν ένα στοιχείο γραμμής (g) πρέπει οπωσδήποτε να αφαιρεθεί για να ελευθερωθεί στοιχείο στήλης (h) τότε ισούται με 1. Έχει παρατηρηθεί, όμως, ότι τα στοιχεία των σχέσεων OR βρίσκονται στον ίδιο άξονα, d. Γι' αυτό όταν δύο διαφορετικά στοιχεία γραμμών (g1, g2) εμποδίζουν ένα στοιχείο στήλης (h) και πρέπει να αφαιρεθεί το ένα από τα δύο (σχέση OR), τότε το αντίστοιχα σημεία του πίνακα ισούνται με d.

Το παρακάτω παράδειγμα δείχνει πως διαμορφώνεται ο ΠΠΑ, όπου ένα σύνολο αποτελείται από 5 στοιχεία και 2 συνδέσμους.



Σχήμα 11. Διαδικασία διαμόρφωσης Πίνακα Προτεραιοτήτων
Αποσυναρμολόγησης

II. Μαθηματικός Γραμμικός Προγραμματισμός [\[52\]](#)

Για να προχωρήσει κανείς στη βελτιστοποίηση, χρειάζεται να μοντελοποιήσει τις γραφικές παραστάσεις που έχει διαμορφώσει χρησιμοποιώντας μαθηματικό προγραμματισμό (mixed integer programming) σε συνδυασμό με παρουσίαση Petri Nets.

Βασικό σκεπτικό είναι να διαμορφωθεί ένας «πίνακας μεταβάσεων», ώστε να μπορέσουν να συνυπολογιστούν κόστος και έσοδα με στόχο την εύρεση της βέλτιστης ακολουθίας.

Στον πίνακα μεταβάσεων οι γραμμές συμβολίζουν τα υποσύνολα και οι στήλες τις ενέργειες αποσυναρμολόγησης. Τα στοιχεία του πίνακα ισούται με -1, όταν ένα υποσύνολο (γονέας) καταστρέφεται, και με 1 όταν ένα υποσύνολο δημιουργείται (παιδί). Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του πίνακα είναι μηδέν. Το μέγεθος του πίνακα δεν ορίζεται, μόνο από τους μαθηματικούς υπολογισμούς όλων των δυνατών συνδυασμών, αλλά και από την κατασκευαστική δομή του συνόλου που δημιουργεί πολλούς περιορισμούς. Λαμβάνοντάς τους υπόψη, μειώνεται αισθητά το μέγεθος και είναι κανείς έτοιμος να προχωρήσει στη βελτιστοποίηση. Ο πίνακας δηλαδή που διαμορφώνεται είναι η έκφραση των εφικτών υποσυνόλων της AND/OR γραφικής παράστασης.

2. Μέθοδοι Τεχνητής Νοημοσύνης

Δυσκολίες ενδέχεται να προκύψουν όταν το πλήθος των ακολουθιών είναι αρκετά μεγάλο. Αυτό συμβαίνει ακόμη και σε προϊόντα μικρής ή και μεσαίας πολυπλοκότητας. Έτσι ο αριθμός των υπολογισμών που πρέπει να υλοποιηθεί είναι πολύ μεγάλος και αρκετά χρονοβόρος. Συνεπώς, στόχος [51] γίνεται η ελαχιστοποίηση του χρόνου αυτού, αποφεύγοντας την ανάλυση και τους απαραίτητους υπολογισμούς όλων των πιθανών ακολουθιών, αλλά προσεγγίζοντας τον τελικό στόχο με ένα βήμα τη φορά.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει απόπειρες με τη βοήθεια εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης (π.χ. Petri nets, γενετικοί αλγόριθμοι, ασαφή λογική νευρωνικά δίκτυα, μέθοδος ant colony) για την υλοποίηση αυτού του στόχου.

Petri Nets

Τα PNs είναι [15] μια γραφική και μαθηματική τεχνική ελέγχου συστημάτων. Μεταξύ των άλλων, χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν βιομηχανικές εφαρμογές και διαδικασίες συναρμολόγησης. Τα τελευταία χρόνια παίζουν σημαντικό ρόλο και στη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.

Η βασική τους δομή παρουσιάζεται στη συνέχεια:

Τα PNs είναι κατευθυντικά (προσανατολισμένα) δίκτυα με δομή (τοπολογία) C και σήμανση M.



Σχήμα 12. Στοιχεία Petri Nets

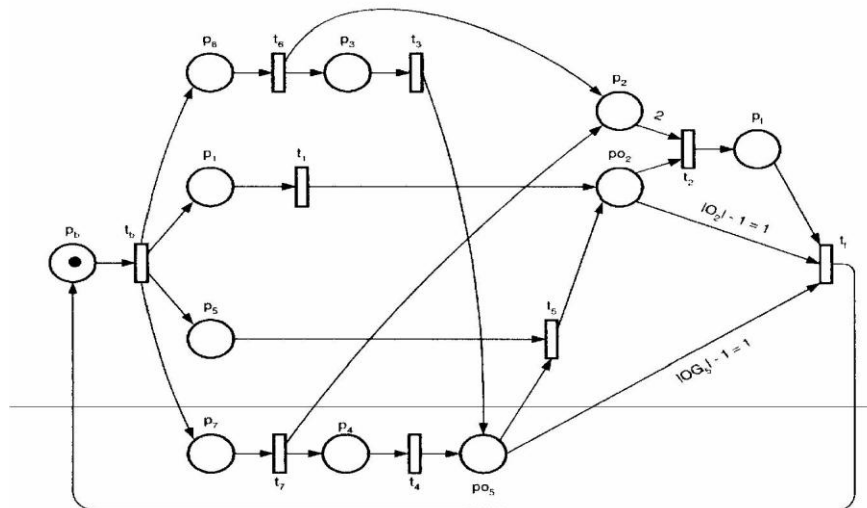
Η **δομή C** αποτελείται από 4 στοιχεία: $C = \{ P, T, I, O \}$, όπου:

- **P** είναι ένα σύνολο θέσεων, $P = \{ P_i \}$ όπου $i = 1, \dots, \kappa$

(συμβολίζονται γραφικά με έναν κύκλο).

- **T** είναι ένα σύνολο μεταβάσεων, $T = \{ T_i \}$ όπου $i = 1, \dots, n$
(συμβολίζονται γραφικά με μια κατακόρυφη γραμμή).
- **I** είναι ένα σύνολο κλάδων εισόδου που συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις
(συμβολίζονται γραφικά με ένα βέλος).
- **O** είναι ένα σύνολο κλάδων εξόδου που συνδέουν μεταβάσεις με θέσεις
(συμβολίζονται γραφικά με ένα βέλος).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα δικτύου Petri Net.

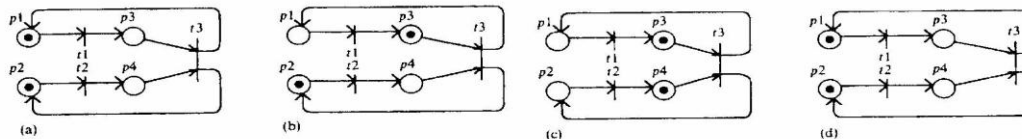


Σχήμα 13. Δίκτυο Petri Net

Κατά την εφαρμογή τους διατυπώνονται μαθηματικά οι είσοδοι I (συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις) σε ένα πίνακα, όπου οι γραμμές συμβολίζουν όλες τις θέσεις και οι στήλες όλες τις μεταβάσεις. Δημιουργείται, δηλαδή, μια αντιστοιχία όλων των θέσεων με όλες τις μεταβάσεις. Αν μία θέση (γραμμή) δεν συνδέεται με μία μετάβαση (στήλη), τότε (στο αντίστοιχο σημείο του πίνακα) τίθεται 0, ενώ αν συνδέεται, τίθεται 1. Στον πίνακα O αντίστροφα, συνδέονται μεταβάσεις με θέσεις. Άρα, αν μία μετάβαση (στήλη) δεν συνδέεται με μία θέση (γραμμή), τότε (στο αντίστοιχο σημείο του πίνακα)

τίθεται 0, ενώ αν συνδέεται τίθεται 1. Ας μην ξεχνά κανείς ότι τα Pns είναι προσανατολισμένα δίκτυα, δηλαδή τα βέλη είναι μονόδρομα.

Σχηματίζονται, δηλαδή δύο πίνακες με στοιχεία 0 και 1. Και οι δύο μαζί ορίζουν ολόκληρη τη δομή του δικτύου.



Σχήμα 14. Δίκτυο που ορίζεται από τους I και O

Αυτή είναι η τοπολογία του δικτύου, όλες δηλαδή οι πιθανές διαδρομές του δικτύου. Τα δίκτυα Pns όμως είναι δυναμικά δηλαδή δεν σχηματίζουν απλά ένα δίκτυο, αλλά καταγράφουν και την τρέχουσα κατάστασή του.

Αυτή είναι η σήμανση του δικτύου. Η σήμανση είναι ένας τρόπος για να απεικονίζεται η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Βασίζεται στην έννοια των «κουπονιών» που κινούνται μέσα στο δίκτυο. Τα κουπόνια (μαύρες τελείες) μοντελοποιούν αντικείμενα που κινούνται σε πραγματικό δίκτυο.

Οι θέσεις παριστάνουν τόπους που τα αντικείμενα περιμένουν για να υποστούν επεξεργασία ή συνθήκες στις οποίες αυτά βρίσκονται.

Οι μεταβάσεις παριστάνουν γεγονότα, διαδικασίες ή ενέργειες που πραγματοποιούνται στα αντικείμενα.

Μία μετάβαση μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν όλες οι θέσεις εισόδου περιέχουν κουπόνια (όταν, δηλαδή, πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την έναρξη της επεξεργασίας). Εάν ενεργοποιηθεί μία μετάβαση, προωθεί το/τα κουπόνι/α από την είσοδο στην έξοδο. Τα βέλη παριστάνουν τους πιθανούς δρόμους που μπορούν να ακολουθήσουν τα αντικείμενα στο σύστημα. Τα βέλη ενώνουν θέσεις με μεταβάσεις και μεταβάσεις με θέσεις. Επίσης, ορίζουν και την κατεύθυνση των δρόμων.

Τα κουπόνια, βέβαια, περνούν από τις μεταβάσεις (διαδικασίες τις οποίες υφίστανται), αλλά στέκονται στις θέσεις (τόπους). Η σήμανση, λοιπόν, ορίζεται με ένα διάνυσμα $M = \{ m(P_1), m(P_2), \dots, m(P_k) \}$, όπου $m(P_i) = 1$ ή 0 αν η θέση περιέχει (ενεργή) ή όχι κουπόνι αντίστοιχα.

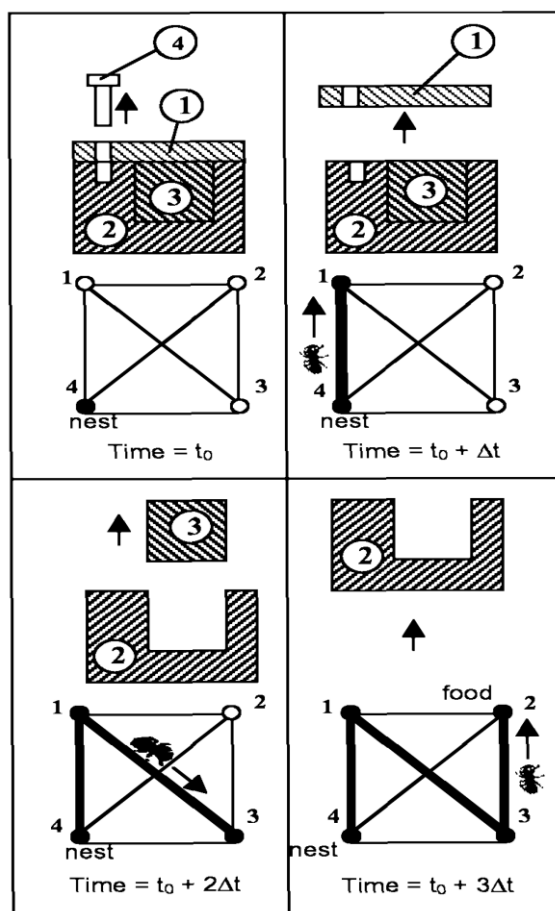
Οι αλλαγές στη σήμανση ορίζουν τη δυναμική του συστήματος και συμβαίνουν με τη μετακίνηση του κουπονιού από θέση σε θέση με την ενεργοποίηση μεταβάσεων.

Γενετικοί Αλγόριθμοι

Τα τελευταία χρόνια έχουν εφαρμοστεί αρκετά οι μέθοδοι που ανήκουν στην κατηγορία των γενετικών αλγορίθμων. Εφαρμόζονται για τους ίδιους λόγους που εφαρμόζονται και τα PetriNets, δηλαδή για την μεγαλύτερη δυνατή μείωση του χρόνου υπολογισμού των υπαρκτών ακολουθιών αποσυναρμολόγησης.

Μία μέθοδος που ανήκει στην κατηγορία αυτή και είναι ευρέως γνωστή, είναι η μέθοδος βελτιστοποίησης με **«αποικίες μυρμηγκιών»** (ant colony optimization) [51].

Αυτή η ιδέα βασίζεται στο γεγονός ότι στην πραγματικότητα τα μυρμήγκια βρίσκουν τον πιο σύντομο δρόμο από τη φωλιά τους στην τροφή, χωρίς οπτικά μέσα. Η εύρεση του συντομότερου μονοπατιού (στην περίπτωσή μας βέλτιστη ακολουθία αποσυναρμολόγησης) εξηγείται από το γεγονός ότι τα μυρμήγκια κατά την ανεύρεση τροφής εκκρίνουν μια ουσία, τη φερομόνη, που στην ουσία βρίσκεται «απλωμένη» και δείχνει το «μονοπάτι» της διαδρομής προς την τροφή. Όσο πιο μικρή είναι η διαδρομή προς την τροφή, τόσες περισσότερες φορές και σε λιγότερο χρόνο, μπορεί να τη διασχίσει ένα μυρμήγκι, με αποτέλεσμα η διαδρομή αυτή να έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση φερομόνης από τις υπόλοιπες, δεδομένου ότι η φερομόνη εξατμίζεται πάρα πολύ γρήγορα. Η λογική αυτή φαίνεται πιο αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 15: Παραλληλισμός της διαδικασίας της αποσυναρμολόγησης με τη διαδρομή των μυρμηγκιών.

7.4.1.3 Βάθος Αποσυναρμολόγησης [15]

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όταν λέμε βάθος αποσυναρμολόγησης εννοούμε το σημείο εκείνο στο οποίο, η ακολουθία της αποσυναρμολόγησης λαμβάνει τέλος. Η κυρίαρχη παράμετρος που βασίζεται ο υπολογισμός του βάθους είναι το όφελος, δηλαδή η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης σταματάει τη στιγμή που γίνεται οικονομικά ασύμφωρη η μέθοδος.

Ο υπολογισμός του βάθους δεν είναι εύκολος, δεδομένου ότι εμπλέκονται πολλές άλλες παράμετροι που ορίζουν το συνολικό όφελος. Η αποσυναρμολόγηση είναι μία σειρά διαδοχικών ενεργειών. Αυτό σημαίνει ότι το όφελος κάθε ενέργειας δεν μπορεί να εκτιμηθεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες. Μία ενέργεια μπορεί να μην προσθέτει ιδιαίτερη αξία, αλλά να είναι αναγκαία για να προχωρήσει η αποσυναρμολόγηση σε άλλες σημαντικότερες (π.χ. η αποσυναρμολόγηση του κελύφους των συσκευών). Οπότε, αναγκαστικά οδηγούμαστε σε εκτιμήσεις κόστους ακολουθιών αποσυναρμολόγησης που προσφέρουν ολοκληρωμένα αποτελέσματα, ικανά προς σύγκριση.

Η ακολουθία, το βάθος και το κόστος είναι τρεις αλληλοεξαρτώμενες παράμετροι. Γίνεται κατανοητό ότι είναι πολύ σημαντική η έλλειψη προτεραιοτήτων μεταξύ των αποσπώμενων μερών. Με αυτό τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα επιλογής διαφορετικών ακολουθιών. Είναι επιθυμητό δηλαδή να βρίσκονται τα διάφορα υποσύνολα όσο το δυνατόν σε λιγότερα επίπεδα αποσυναρμολόγησης. Επίσης, για να εκτιμηθούν σωστά τα οφέλη προαπαιτείται πολύ καλή γνώση της αγοράς. Σημαντικό ρόλο για την εκτίμηση αυτή παίζουν τα γενικότερα περιβαλλοντικά οφέλη και η μείωση του κόστους διαχείρισης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το βάθος αποσυναρμολόγησης δεν είναι μία παράμετρος που πρέπει να εκτιμηθεί αλλά πολλές αφού κάθε προϊόν αποτελείται από υποσύνολα που διαχωρίζονται και το καθένα από αυτά πρέπει να αποσυναρμολογηθεί ως προς το δικό του βάθος.

Οι παραπάνω δυσκολίες επιλύονται μέσω της θεωρίας των υποσυνόλων και συνδέσμων, αφού με εύκολο διαχωρισμό των επιθυμητών υποσυνόλων μειώνεται το βάθος της αποσυναρμολόγησης και ελαχιστοποιείται το κόστος της.

Ο περιβαλλοντικά ευαίσθητος σχεδιασμός οφείλει να εκτιμάει όλες τις παραμέτρους και τις τυχαίες δυσκολίες. Επειδή όμως απέχει χρονικά από τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης θα πρέπει το μελλοντικό περιβάλλον (π.χ. μελλοντικές μέθοδοι αποσυναρμολόγησης και κόστος τους, συνθήκες αγοράς κ.λπ.) να προβλέπεται.

7.4.1.4 Βοηθητικό Λογισμικού Σχεδιασμού Αποσυναρμολόγησης

Η ανάπτυξη κατάλληλων λογισμικών προγραμμάτων είναι πολύ σημαντική αφού βοηθάει στην οργάνωση όλων των πληροφοριών που θα βοηθήσουν το σχεδιαστή να επιλέξει τη βέλτιστη λύση.

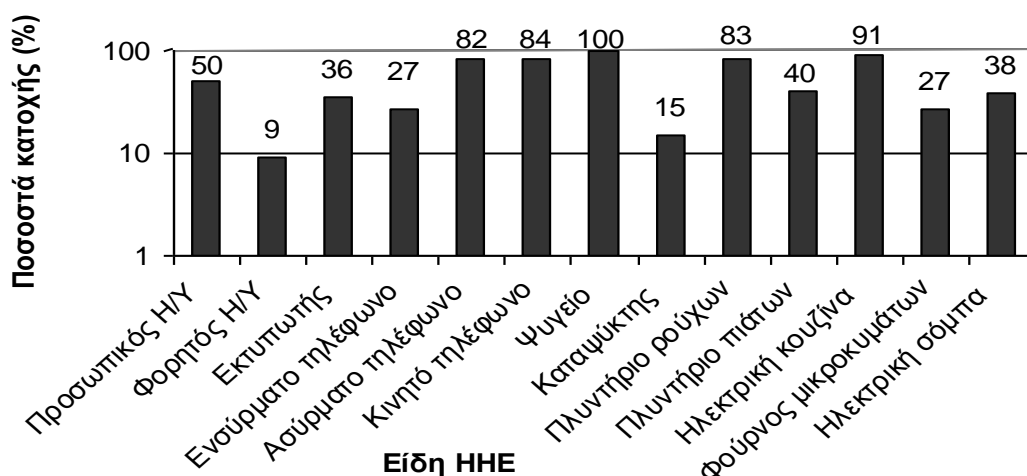
Πιο συγκεκριμένα βοηθούν τον σχεδιαστή να:

- Πετύχει μία κατάλληλη κατασκευαστική δομή του προϊόντος, υποδεικνύοντας τα αδύναμα σημεία αποσυναρμολόγησης.
- Διαλέξει κατάλληλους συνδέσμους.
- Υπολογίσει χρόνο και κόστος αποσυναρμολόγησης.
- Υπολογίσει ποσοστό ανακυκλωσιμότητας του προϊόντος.
- Υπολογίσει κόστος τέλους ζωής του προϊόντος.
- Επιλέξει τη βέλτιστη λύση.

Τέτοια προγράμματα είναι το ATROiD (Assessment Tool for Recycling Oriented Design), DemAP (Dismantling analysis program) για αυτοκινητοβιομηχανίες, Virtual Disassembly Manager κλπ [\[51\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Η Κατάσταση ΑΗΗΕ στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα η οποία παρουσίασε στο παρελθόν ιδιαίτερη καθυστέρηση στην τεχνολογική ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια όμως οι ρυθμοί ανάπτυξης που παρουσιάζει σε αυτό τον τομέα είναι αρκετά υψηλοί ώστε να έχει αποκτήσει τα χαρακτηριστικά που έχουν χώρες τεχνολογικά προηγμένες. Για να κατανοηθεί η έκταση της κατοχής διάφορων ΗΗΕ σε ένα νοικοκυριό, παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 16. Είδη ΗΗΕ στην Ελλάδα

(Πηγή: Αντωνόπουλος Γ., Καραγιαννίδης Α., Σκορδάς Α. «Αποτύπωση του Ελληνικού Συλλογικού Συστήματος Διαχείρισης ΑΗΗΕ» (2007)).

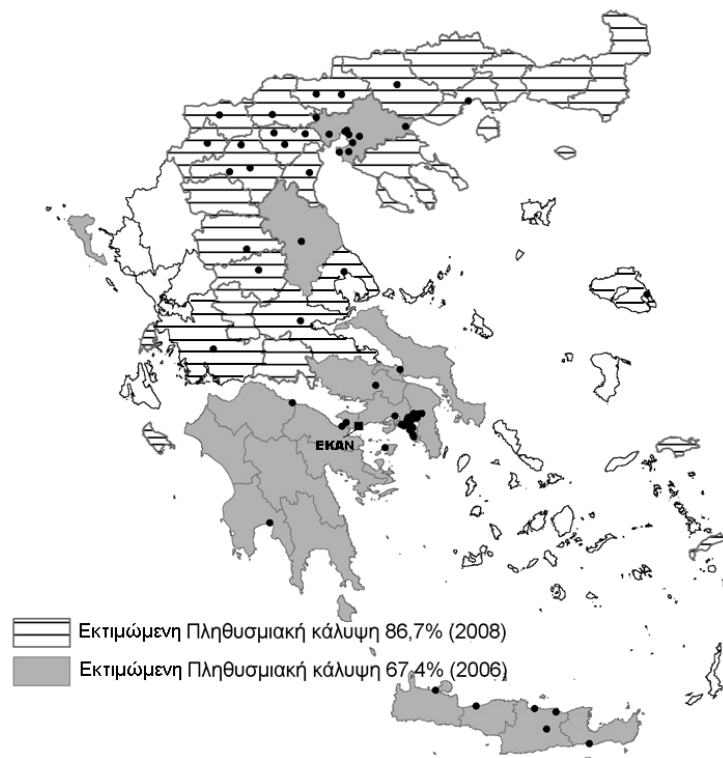
Το γεγονός αυτό έχει σαφώς αντίκτυπο και στην ποσότητα των αποβλήτων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών.

8.1 Δομή και Ιστορικό του Ελληνικού Συστήματος Διαχείρισης στην Ελλάδα

Η εταιρεία «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» είναι σήμερα στην Ελλάδα ο μοναδικός αδειοδοτημένος εθνικός φορέας για την οργάνωση και λειτουργία του συλλογικού συστήματος εναλλακτικής διαχείρισης (ΣΣΕΔ) ΑΗΗΕ,

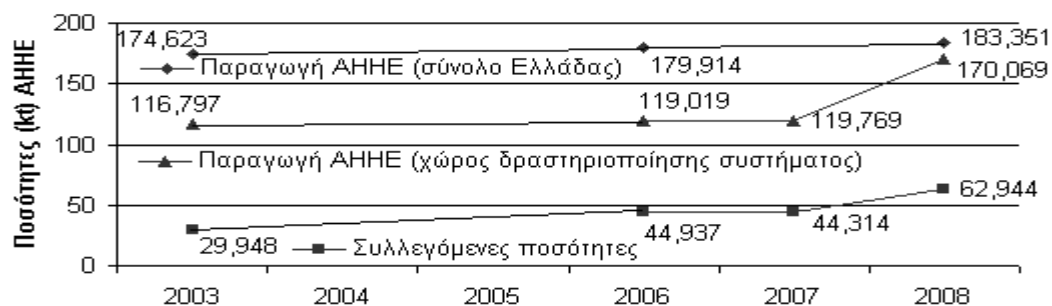
προκειμένου να καλυφθούν οι ποσοτικοί εθνικοί στόχοι συλλογής ΑΗΗΕ που έχει θέσει το ΠΔ 117/04. Η λειτουργία της εταιρείας ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2004 [54].

Το αντικείμενο του συστήματος είναι: α) η οργάνωση και λειτουργία ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ (συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία ΑΗΗΕ και ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης), β) η εξασφάλιση της δυνατότητας προσχώρησης μέσω συμβάσεων στο σύστημα των υπόχρεων διαχειριστών ΗΗΕ, γ) η εξασφάλιση της συνεργασίας μέσω συμβάσεων με τους ΟΤΑ, δ) ο αποτελεσματικός έλεγχος του κόστους της εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΗΗΕ και ε) η ανάληψη της ευθύνης για την εναλλακτική διαχείριση των ΑΗΗΕ. Το ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ θα πρέπει να καλύψει γεωγραφικά ολόκληρη τη χώρα και ειδικότερα να συμπεριλάβει τα νησιά και τις υπόλοιπες απομακρυσμένες περιοχές. Η εκτιμώμενη εμβέλεια και πληθυσμιακή κάλυψη καθώς και οι συμβεβλημένοι ΟΤΑ με το ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ για το 2006 και η πρόβλεψη για το 2008 παρουσιάζονται στην Εικόνα που ακολουθεί [54].



Εικόνα 9: Εκτιμώμενη πληθυσμιακή κάλυψη του ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ (διακρίνονται ως αρχές 2007 64 συμβεβλημένοι ΟΤΑ με το σύστημα (τελείες))

Επιπλέον, το 2003, πριν την αδειοδότηση και λειτουργία του ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ, είχαν εκτιμηθεί οι παραγόμενες και συλλεγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ στην Ελλάδα αλλά και στις περιοχές που εκτιμόταν ότι θα δραστηριοποιηθεί το σύστημα για το ίδιο χρονικό διάστημα (**Σχήμα 17**). Η εμβέλεια του συστήματος, εξαρτάται από το πλήθος και από τη γεωγραφική διασπορά των προγραμματιζόμενων κέντρων συλλογής των ΑΗΗΕ.



Σχήμα 17: Εκτιμώμενη παραγωγή ΑΗΗΕ και εκτιμώμενες συλλεγόμενες ποσότητες για την περίοδο 2003-2008

Τις αρχές του 2007 σε 64 ΟΤΑ της χώρας υπάρχουν δημοτικά σημεία συλλογής ΑΗΗΕ. Η συλλογή των ΑΗΗΕ είναι το πρώτο βήμα στη λειτουργία της ανακύκλωσης και του εναλλακτικού συστήματος διαχείρισης αυτών. Το κόστος της αναφερόμενης δράσης συμβάλει σημαντικά στο συνολικό κόστος της ανακύκλωσης και κατά συνέπεια και στην οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος, αφού υπολογίζεται σε 48% του συνολικού κόστους διαχείρισης. Επιπλέον, η μείωση των απαιτήσεων μεταφοράς είναι επίσης σημαντική για τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών προς το περιβάλλον. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι υφιστάμενες δράσεις του συστήματος ΑΗΗΕ στην Ελλάδα.

Διανομείς - Παραγωγοί ΗΗΕ

Οι διανομείς - παραγωγοί ΗΗΕ υποχρεούνται πλέον από την Εθνική νομοθεσία να συμμετέχουν σε εναλλακτικό σύστημα διαχείρισης ΑΗΗΕ.

Στην Ελλάδα σήμερα, οι συμβεβλημένοι παραγωγοί στο σύστημα ανέρχονται περίπου στους 642 [54]. Αυτοί με τη σειρά τους έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν τα ΑΗΗΕ ή τον απερχόμενο ΗΗΕ από τα νοικοκυριά απευθείας στις μονάδες επεξεργασίας, δηλαδή σχετικά με το εν λόγω σύστημα να μεταφέρεται στην ΕΚΑΝ. Επιπλέον, όλα τα διακινούμενα/ παραγόμενα ΗΗΕ θα πρέπει να διαθέτουν σήμανση που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί [54].



Εικόνα 10: Σήμανση προϊόντων ΗΗΕ

Μεγάλοι χρήστες – ΑΗΗΕ επαγγελματικής χρήσης

Στους μεγάλους χρήστες ΗΗΕ περιλαμβάνονται επιχειρήσεις και γενικότερα ιδιωτικοί και δημόσιοι οργανισμοί που αναβαθμίζουν γρήγορα και μαζικά τον εξοπλισμό τους. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, τα παραγόμενα ΑΗΗΕ μεταφέρονται είτε απευθείας σε μονάδες επεξεργασίας είτε σε σταθμούς ενδιάμεσης αποθήκευσης. Γενικότερα, η συλλογή των ΑΗΗΕ επαγγελματικής χρήσης θα υλοποιείται σύμφωνα με τις κείμενες νομοθετικές ρυθμίσεις και μέσα στα πλαίσια λειτουργίας του συστήματος.

Κέντρα συλλογής – ενδιάμεσης αποθήκευσης [53]

Τα εν λόγω κέντρα συλλογής ΑΗΗΕ διακρίνονται είτε σε δημοτικά, είτε σε νομαρχιακά, είτε σε περιφερειακά και προδιαγράφονται στο Παράρτημα ΙΙΙ του ΠΔ 117/04. Σύμφωνα μ' αυτό, οι τεχνικές προδιαγραφές τους συνοψίζονται στην ύπαρξη αδιάβροχων επιφανειών τους και στην κάλυψη τους για την προστασία από τα καιρικά φαινόμενα, όπως επίσης και στη φύλαξή τους.



Εικόνα 11: Απορριμματοκιβώτιο ΑΗΗΕ σε χώρο συλλογής στο Δήμο Τριανδρίας στη Θεσσαλονίκη

Ωστόσο, ένα βασικό κριτήριο στην επιλογή των θέσεών τους είναι η εύκολη προσβασιμότητα από τους πολίτες. Η χωρητικότητα του κάθε κέντρου προσωρινής αποθήκευσης εξαρτάται άμεσα από τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό που έχει άμεση σχέση με τις διακινούμενες ποσότητες ΑΗΗΕ.

Μονάδες επεξεργασίας

Η μοναδική μονάδα επεξεργασίας ΑΗΗΕ που είναι συμβεβλημένη με το σύστημα, βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας ΕΚΑΝ. Η εν λόγω μονάδα επεξεργασίας ΑΗΗΕ έχει δυναμικότητα μηχανικής διαλογής 5 t την ώρα, ενώ όταν βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία η ετήσια δυνατότητα επεξεργασίας ανέρχεται σε 15.000 ως 20.000 t.

Στην **Εικόνα 12** που ακολουθεί φαίνεται ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός της εν λόγω μονάδας επεξεργασίας.

Μέχρι τις αρχές του 2006 είχαν επεξεργασθεί στην ΕΚΑΝ μόνο 1.200 t ΑΗΗΕ, κάτι που σήμαινε αδυναμία επίτευξης των ποσοτικών στόχων συλλογής ΑΗΗΕ, 4 kg ανά κάτοικο ή 44.000 t ετησίως που έθεσε η Ευρωπαϊκή νομοθεσία.



Εικόνα12: Μηχανολογικός εξοπλισμός της μονάδας επεξεργασίας ΑΗΗΕ (ΕΚΑΝ)

Σήμερα πολλές οικιακές συσκευές απορρίπτονται ανεξέλεγκτα, ακόμα και στις περιοχές στις οποίες δραστηριοποιείται το σύστημα, οι οποίες συλλέγονται από τους «γυρολόγους». Οι τελευταίοι εμπορεύονται τα χρήσιμα υλικά, τα οποία έχουν μεγάλη οικονομική αξία, αφού υπάρχουν σε μεγάλη συγκέντρωση σιδηρούχα μέταλλα προς ανακύκλωση.

Επιπλέον, υπάρχει δραστηριοποίηση στη διαδικασία συλλογής που μπορεί να γίνει απλώς παραδίδοντας τα συλλεγμένα ΑΗΗΕ στα προαναφερθέντα κέντρα συλλογής ή απευθείας στην υφιστάμενη μονάδα επεξεργασίας, στην ΕΚΑΝ. Συγχρόνως όμως χρειάζεται οι αγοραστές των υλικών που υπάρχουν στην αγορά οι «γυρολόγοι» δηλαδή, να εντοπιστούν και να γίνουν οι απαραίτητες συμφωνίες για ένταξή τους στο σύστημα [53].

8.2 Τεχνοοικονομικά στοιχεία ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ

Το συνολικό λειτουργικό κόστος του συστήματος αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους κόστη [54]:

α) Συλλογή – μεταφορά των ΑΗΗΕ στη μονάδα επεξεργασίας,

- β) επεξεργασία εντός της μονάδας,
- γ) διοικητικό κόστος συστήματος και
- δ) ενημέρωση και ευαισθητοποίηση κοινού και εμπλεκόμενων φορέων.

Στην αρχή λειτουργίας του συστήματος (2004) το λειτουργικό κόστος ανά τόνο του συστήματος είχε προβλεφθεί σε 191,47 €/t για το 2006 (όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί), δεδομένου ότι το σύστημα όφειλε να διαχειρίζεται ετησίως 44.000 t ΑΗΗΕ.

Επιπλέον σύμφωνα με εκτιμήσεις της «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» κατά τη λειτουργία του ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ, το ετήσιο λειτουργικό κόστος ανέρχεται περίπου σε 26 - 30*10⁶ € ανάλογα με τις συλλεγόμενες ποσότητες ΑΗΗΕ.

Πίνακας 10: Εκτιμώμενο λειτουργικό κόστος του ΣΣΕΔ ΑΗΗΕ για το 2006 κατά την αρχή της λειτουργίας του

(Πηγή:Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.)

Είδος	Κόστος (€)	Στόχος συλλογής συστήματος 44.000 t	Κόστος (€/t)
Κόστος συλλογής – μεταφοράς ΑΗΗΕ στη μονάδα επεξεργασίας	4.027.000		91,52
Λειτουργικό κόστος μονάδων επεξεργασίας (λαμβάνοντας υπόψη αποσβέσεις)	5.903.500 (-3.405.600) Έσοδα από πώληση υλικών		56,77
Διοικητικό κόστος συστήματος	800.000		18,18
Είδος	Κόστος (€)	Στόχος συλλογής συστήματος 44.000 t	Κόστος (€/t)
Κόστος ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού	1.100.000		25,00
ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	8.424.900		191,47