




ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ



**Χαρακτηρισμός και δυνατότητες ανακύκλωσης
υλικών, προερχόμενων από διαχείριση
Απόβλητου Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού
Εξοπλισμού, σε χρήσεις φιλικές προς το
περιβάλλον**

Διδακτορική διατριβή
του
Δρ Παναγιώτη Σινιόρου

Αθήνα, 2018



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

**Χαρακτηρισμός και δυνατότητες ανακύκλωσης
υλικών, προερχόμενων από διαχείριση Απόβλητου
Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού, σε χρήσεις
φιλικές προς το περιβάλλον**

Διδακτορική διατριβή
ΤΟΥ
Δρ Παναγιώτη Σινιόρου

Συμβουλευτική Επιτροπή

Μιχαήλ Σταματάκης (επιβλέπων), Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

Μαρία Οικονόμου, Ομότιμη Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α.

Θεμιστοκλής Λέκκας, Ομότιμος Καθηγητής Πανεπιστημίου Αιγαίου

Επταμελής Επιτροπή

Μιχαήλ Σταματάκης, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

Αριάδνη Αργυράκη, Αν. Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α.

Αθανάσιος Γκοντελίτσας, Αν. Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

Βασίλειος Λαμπρόπουλος, Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Σοφία Καλογεροπούλου, Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Χριστίνα Στουραΐτη, Επ. Καθηγήτρια Ε.Κ.Π.Α.

Ιωάννης Μήτσης, Επ. Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

Αθήνα, 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στον Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Μιχαήλ Σταματάκη.

Προς τον Καθηγητή κ. Μιχαήλ Σταματάκη, που επέβλεψε, από πολύ κοντά, την εξέλιξη της εργασίας και συνέβαλε αποφασιστικά στην ολοκλήρωσή της, με την συνεχή καθοδήγηση, ενθάρρυνση και συμπαράστασή του, εκφράζω τις πιο θερμές ευχαριστίες.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής, την Αν. Καθηγήτρια κ. Αριάδνη Αργυράκη, τον Αν. Καθηγητή κ. Αθανάσιο Γκοντελίτσα, τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Λαμπρόπουλο, την Καθηγήτρια κ. Σοφία Καλογεροπούλου, την Επ. Καθηγήτρια κ. Χριστίνα Στουραίτη και τον Επ. Καθηγητή κ. Ιωάννη Μήτση.

Θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες, προς τα αρχικά μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, την Ομότιμη Καθηγήτρια κ. Μαρία Οικονόμου και τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Θεμιστοκλή Λέκκα, για το ενδιαφέρον τους και τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστίες οφείλω στις κυρίες Σταυρούλα Καβούρη, Δρα Γεωλόγο, και Μαριάνθη Αναστασάτου, Υπ. Δρα Γεωλόγο, για τη συμβολή τους στην ανάλυση των μετρήσεων, στο Δρα Μιχαήλ Λασιθιωτάκη της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας, για τη γενική επίβλεψη του εργαστηριακού μέρους και την επιμέλεια της διατριβής, στον Επ. Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Νικόλαο Μανουσάκη και στο μέλος Ε.ΔΙ.Π. του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Φωτεινή Μεταξά, για την επιμέλεια της τελικής έκδοσης της διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πρόεδρο του Δ.Σ. Γεώργιο Παλαμουτσή, Χημικό Μηχανικό Τ.Ε. και το προσωπικό της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε., για την παραχώρηση των εγκαταστάσεων και των δειγμάτων, στα οποία βασίστηκε η παρούσα διατριβή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιομηχανία ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι ένας από τους πιο ταχέως αναπτυσσόμενους τομείς. Η ενσωμάτωση τεχνολογικών καινοτομιών, σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού και του πλούτου παγκοσμίως, έχει οδηγήσει στην απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων εξοπλισμού. Τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) είναι στην ατζέντα των κυβερνήσεων, της βιομηχανίας και των μη κυβερνητικών οργανισμών για πάνω από 40 χρόνια.

Στις αρχές τις δεκαετίας του '90, όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υιοθέτησαν έναν νομικό πλαίσιο το οποίο εστιάζει στα ΑΗΗΕ, με σκοπό την πρόληψη της παραγωγής τους και την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης, την ανακύκλωση και άλλες μορφές ανάκτησης των εν λόγω αποβλήτων, ώστε να μειωθεί η ποσότητα των αποβλήτων προς τελική διάθεση, να υποβοηθηθεί η αποδοτική χρήση των πόρων και η ανάκτηση πολύτιμων δευτερογενών πρώτων υλών (Οδηγία ΕΕ 2012/19 , Οδηγία ΕΕ 2003/108 – Οδηγία ΕΕ 2002/96/EC). Αν και η πρόθεση και το πνεύμα της Οδηγίας ΑΗΗΕ είναι αρκετά ξεκάθαρα και θερμά υποστηριζόμενα, η μεγάλη πολυπλοκότητα του θέματος καθιστά πολύ δύσκολη την αποτελεσματική ισορροπία όλων των περιβαλλοντικών, τεχνικών, οικονομικών και κοινωνικών θεμάτων.

Επειδή η ευρωπαϊκή νομοθεσία προωθεί μέτρα για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων για ανάκτηση πολύτιμων δευτερογενών πρώτων υλών και επειδή ο όγκος και το κόστος της απόθεσης των κλασμάτων μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τον χρόνο, η διαχείριση και ανακύκλωση ΑΗΗΕ έχει γίνει ένας δυναμικός βιομηχανικός τομέας, ο οποίος συνδυάζει επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα και επηρεάζει την οικονομία.

Το πρόβλημα της ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ είναι πολύπλευρο και συνδέεται με σημαντικά ζητήματα όπως η εξάντληση των πρώτων υλών και των αποθεμάτων τους αλλά και με τα ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη. Άλλα εξίσου σημαντικά ζητήματα, συναφή με το θέμα της ανακύκλωσης, τα οποία έχουν οικονομικό αλλά και κοινωνικό περιεχόμενο να είναι η ποιότητα των συνθηκών εργασίας των ανθρώπων που συμμετέχουν στις δραστηριότητες της ανακύκλωσης και ο καταμερισμός εργασίας μεταξύ των πλούσιων και φτωχών κρατών του πλανήτη.

Μέσω της διατριβής αυτής αναδεικνύεται όχι μόνο η αδιαμφισβήτητη αναγκαιότητα της ανακύκλωσης ως δραστηριότητας, αλλά και η αναγκαιότητα του φιλικού τρόπου λειτουργίας της προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Παράλληλα, στη διατριβή δίνονται οι κατευθυντήριες γραμμές σε ουσιώδη περιβαλλοντικά θέματα και ζητήματα που σχετίζονται με την αειφόρο ανάπτυξη, όπως η αντίστροφη μηχανική με εμβάθυνση στα χαρακτηριστικών των παλαιότερων τεχνολογιών και των υλικών του ΗΗΕ και η διαχείριση των ανθρωπίνων πόρων, θεωρώντας τις επιχειρήσεις ανακύκλωσης ένα «ανοικτό σύστημα» όπου οι εισροές από το περιβάλλον (υλικά, ενέργεια, άνθρωποι, κεφάλαια) μετασχηματίζονται σε εκροές, παράγοντας δευτερογενείς πρώτες ύλες και υπηρεσίες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, εστιάζει στη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία που αναζητά, μέσω της ανακύκλωσης, τρόπους ενσωμάτωσης των εννοιών της επαναχρησιμοποίησης, επισκευής και ανανέωσης των υφιστάμενων υλικών και προϊόντων στις υπάρχουσες κοινωνικοπολιτικές συνθήκες.

Η εξέταση των μεθόδων ανακύκλωσης ΑΗΗΕ με εστιασμένο ερευνητικό πεδίο στα CRTs, PVs και PCBs, βάσει των προτεινόμενων μεθοδολογιών για την μικρομεσαία επιχείρηση στον ελλαδικό χώρο, καταδεικνύει ότι η δραστηριότητα της ανακύκλωσης ειδικά για τον οικονομικό και γεωγραφικό χώρο της Ελλάδας είναι εφικτή, αναγκαία και βιώσιμη ή υπό όρους βιώσιμη – ως προς την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων, σπάνιων γαιών και υλικών ειδικής διαχείρισης. Συνάμα, επιτυγχάνεται διασφάλιση των συνθηκών υγείας και εργασίας όπως και η προστασία του περιβάλλοντος, ενισχύεται ουσιαστικά η εταιρική κοινωνική ευθύνη και αναπτύσσονται συνεργασίες με πανεπιστημιακά ιδρύματα και ερευνητικά κέντρα της χώρας αλλά και του εξωτερικού.

Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκαν πρότυπες πειραματικές διαδικασίες στις εγκαταστάσεις της εταιρείας «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.» σε συνεργασία με τον Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας & Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ και τα εργαστήρια της Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., στον Καναδά.

Λέξεις Κλειδιά: Ανακύκλωση, ΑΗΗΕ, Οθόνες CRT, Παραγωγή χρυσού, Φωτοβολταϊκά πλαίσια

ABSTRACT

Electronic and electrical equipment industry is one of the most rapidly developed industrial sectors. The incorporation of technological innovations in conjunction with the increasing population and wealth, all over the world, has led to the discarding of large amounts of equipment. Waste electronic and electrical equipment (WEEE) is in the agenda of governments, industry and non-governmental organizations for more than 40 years.

In the early 1990s, all Member States of the European Union adopted a legal framework that focuses on WEEE, in order to prevent their production and promote re-use, recycling and other forms of recovery of such waste, aiming to reduce the amount of waste to final disposal, promote resource efficiency and the recovery of valuable secondary raw materials (Directive 2012/19/EU, Directive 2003/108/EC – Directive 2002/96/EC). Although the intention and the spirit of the WEEE Directive are quite clear and are also broadly supported, the very complexity of the matter makes it extremely difficult to effectively balance all the environmental, technical, economic and social issues.

Since European legislation promotes measures to develop activities for the recovery of valuable secondary raw materials and as the volume and cost of deposition of the fraction changes over time, the management and recycling of WEEE has become a dynamic industrial sector combining scientific and technological achievements and affect the economy.

The recycling problem of WEEE is multifaceted and is linked to important issues such as the depletion of raw materials and their stocks as well as to the specific environmental problems of the planet. Other equally important issues related to recycling, both economic and social, are the quality of working conditions of people involved in recycling procedure and the division of labor between the rich and poor countries of the world.

Through this dissertation, not only is the unquestionable necessity of recycling as an activity, but also the necessity of its friendly way of working towards man and the environment. At the same time, the dissertation provides guidelines on essential environmental issues as well as issues related to sustainable development, such as

reverse engineering with emphasis on the characteristics of older technologies and materials of EEE and the management of human resources, considering recycling companies as an "open system" where inputs from the environment (materials, energy, people, capital investments) are transformed into outflows, producing secondary raw materials and services to the external environment. It also focuses on the transition to a cyclical economy that seeks, through recycling, to integrate the concepts of reuse, repair and renewal of existing materials and products into existing socio-political conditions.

The study of WEEE recycling methods with a research field focussed on CRTs, PVs and PCBs, based on the proposed methodologies for the small and medium-sized enterprise in Greece, demonstrates that recycling activity, specific to Greece's economic and geographic space, is feasible, necessary and sustainable or conditionally viable - for the recovery of precious metals, rare earths and special management materials. At the same time, health, work conditions as well as environmental protection are safeguarded, corporate social responsibility is substantially strengthened, and collaborations with university and research centers in the country and abroad are being developed.

For this purpose, pilot experiments were carried out at the plants of "Aegean Recycling SA" in collaboration with the Department of Economic Geology and Geochemistry of the Faculty of Geology and Geoenvironment of the National & Kapodistrian University of Athens and the Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., Canada.

Keywords: CRT monitors, Gold production, PV panels, Recycling, WEEE

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο

1.1	Εισαγωγή στην Ανακύκλωση ΑΗΗΕ	2
1.2	Ορισμός ΑΗΗΕ	5
1.3	Προβλήματα που σχετίζονται με τα ΑΗΗΕ	6
1.4	Διαχείριση πρωτοβουλιών για τα ΑΗΗΕ	9
1.5	Στόχοι	10
1.6	Κοινοτική και εθνική νομοθεσία για τα ΑΗΗΕ	12
1.6.1	Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο	12
1.6.1.1	Οδηγία 2002/96/ΕC σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)	17
1.6.1.2	Σχετικές Οδηγίες και Αποφάσεις του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου περί ΑΗΗΕ	20
1.6.1.3	Οδηγία 2002/95/ΕC σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (RoHS)	22
1.6.1.4	Κανονισμός 1907/2006 για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς χημικών προϊόντων (REACH)	23
1.6.2	Εθνικό νομοθετικό πλαίσιο	24
1.7	Ορισμός ΑΗΗΕ σύμφωνα με τα ελληνικά εποπτικά συστήματα	27
1.8	Παραγωγή ΑΗΗΕ σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο	31
1.9	Το σύστημα διαχείρισης των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα	33
1.10	Συλλογή ΑΗΗΕ	38
1.11	Επεξεργασία ΑΗΗΕ	45

Κεφάλαιο 2^ο

2.1	Ανάλυση υλικών που παράγονται από την αποσυναρμολόγηση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών	50
2.2	Σπάνιες Γαίες	53
2.3	Υλικά ειδικής διαχείρισης	57
2.4	Τεχνικές και τεχνολογίες ανακύκλωσης υλικών από ΑΗΗΕ	57
2.4.1	Θεωρία ανακύκλωσης	57
2.4.1.1	Ανακύκλωση κλειστού βρόχου (Closed-Loop Recycling)	57
2.4.1.2	Ανακύκλωση ανοικτού βρόχου (Open-Loop Recycling)	59
2.4.2	Κατηγορίες επεξεργασίας κατά την ανακύκλωση	60
2.4.2.1	Απορρύπανση (De-pollution)	60
2.4.2.2	Αποσυναρμολόγηση	62
2.4.2.3	Τεμαχισμός (Shredding)	67
2.4.2.3.1	Κοσκίνισμα - Δονούμενα κόσκινα	71
2.4.2.3.2	Τράπεζα διαχωρισμού	71
2.4.2.3.3	Κονιορτοποίηση	71
2.4.2.3.4	Ανάλυση τεμαχιστών και μύλων	72
2.4.2.4	Μαγνητικός διαχωρισμός	77
2.4.2.5	Αεροδιαχωρισμός (Air separation)	79
2.4.2.6	Επαγωγικός διαχωρισμός (Eddy Current separation)	80

2.4.2.7	Ηλεκτροστατικός Διαχωρισμός	81
2.4.2.8	Διαχωρισμός Ειδικού Βάρους	82
2.4.2.9	Πυρομεταλλουργική επεξεργασία	82
2.4.2.10	Υδρομεταλλουργία	82
2.4.2.11	Συμπύεση	83
2.5	Ανακύκλωση PCBs	83
2.5.1	Υλικά κατασκευής και θερμική συμπεριφορά για τα PCBs	84
2.5.2	Μη μεταλλικά μέρη των Ολοκληρωμένων κυκλωμάτων - Λύσεις με προοπτικές αξιοποίησης	86
2.6	Ανακύκλωση CRTs	87
2.6.1	Παραγωγή αποβλήτων CRTs	87
2.6.2	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων CRTs	89
2.6.3	Κανονιστικές Απαιτήσεις	89
2.6.4	Επικάλυμμα εσωτερικού της χοάνης και ανακύκλωση	90
2.6.5	Περιεκτικότητα σε μόλυβδο	91
2.6.6	Μολυβδύαλος	91
2.6.7	Ύαλοι ραδιοπροστασίας	94
2.6.8	Ανακυκλωτική διαδικασία αποβλήτων-οθονών CRT	97
2.6.8.1	Ειδικές Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Οθονών CRT	99
2.6.8.2	Διαδικασία αποσυναρμολόγησης οθονών CRT	101
2.6.8.3	Λειοτρίβηση-Κοκκοποίηση υάλου	105
2.6.9	Νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης οθονών CRT	108
2.7	Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών	109
2.7.1	Είδη φωτοβολταϊκών και χρησιμοποιούμενα υλικά	109
2.7.2	Διαδικασία κατασκευής φωτοβολταϊκών	121
2.7.3	Ανάλυση κύκλου ζωής φωτοβολταϊκών	122
2.7.4	Διαδικασία παραγωγής αποβλήτων φωτοβολταϊκών	123
2.7.5	Νομοθεσία περί αποβλήτων φωτοβολταϊκών	124
2.7.6	Εφαρμόσιμες τεχνολογίες ανακύκλωσης	125
2.7.7	Νέες τάσεις στην τεχνολογία ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών	126
2.8	Ανάκτηση χρυσού	128
2.8.1	Υδρομεταλλουργική ανάκτηση ιζημάτων πλούσιων σε χρυσό	129
2.8.2	Ανάπτυξη διαδικασίας εκχύλισης χρυσού	131
2.8.3	Συσκευή μεγάλης κλίμακας ανάκτησης χρυσού μέσω αναλώσιμων ηλεκτρονικών υπολογιστών	132
2.8.4	Καθαρισμός ιζημάτων χρυσού	135
Κεφάλαιο 3^ο		
3.1	Εισαγωγή	142
3.2	Συνεισφορά της διατριβής στην διαδικασία ανακύκλωσης ΑΗΗΕ	145
Κεφάλαιο 4^ο		
4.1	Περιγραφή δειγμάτων οθονών CRT	152
4.2	Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης οθονών CRT	156
4.2.1	Ποσοτικοποίηση και δειγματοληψία CRT	158

4.2.2	Συνοπτική ανάλυση στοιχείων βιωσιμότητας των διαδικασιών ανακύκλωσης CRTs	163
4.3	Ηλεκτρονική μικροσκοπία και ανάλυση στερεών φάσεων	166
4.3.1	Ποιοτική ανάλυση στερεών φάσεων των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων X (XRD)	166
4.3.2	Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM - Scanning Electron Microscopy)	169
4.4	Χημικές αναλύσεις και μικροαναλύσεις δειγμάτων	173
4.4.1	Μερική χημική ανάλυση με την μέθοδο ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry)	173
4.4.2	Μικροανάλυση διασποράς ενέργειας (EDS - Energy Dispersive X-ray spectroscopy)	176
4.5	Ακτινοδιαγράμματα XRD δειγμάτων οθονών CRT	177
4.6	Ακτινοδιαγράμματα XRD δειγμάτων ιζημάτων διαδικασίας επεξεργασίας οθονών CRT	179
4.7	Συμπεράσματα μελέτης διαδικασίας ανακύκλωσης οθονών CRT	181

Κεφάλαιο 5^ο

5.1	Τύποι και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών	184
5.1.1	Φ/B HelioSphera	184
5.1.2	Φ/B Exel Group	186
5.2	Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης	188
5.2.1	Γραμμή παραγωγής αφαίρεσης υάλου από Φ/B πλαίσιο	188
5.2.2	Διαδικασία αποσυναρμολόγησης πλαισίου	191
5.2.3	Ζύγιση	192
5.2.4	Ανακτώμενα προϊόντα	192
5.2.5	Άλεση και διαχωρισμός	193
5.3	Ηλεκτρονική μικροσκοπία και ανάλυση στερεών φάσεων	197
5.3.1	Ποιοτική ανάλυση στερεών φάσεων των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων X (XRD)	197
5.3.2	Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM - Scanning Electron Microscopy)	199
5.4	Χημικές αναλύσεις και μικροαναλύσεις δειγμάτων	226
5.4.1	Μερική χημική ανάλυση με την μέθοδο ICP-MS	226
5.4.2	Μικροανάλυση διασποράς ενέργειας (EDS - Energy Dispersive X-ray spectroscopy)	226
5.5	Ακτινοδιαγράμματα XRD διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών	239
5.6	Συμπεράσματα μελέτης διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών	248

Κεφάλαιο 6^ο

6.1	Διαδικασία εκχύλισης χρυσού	252
6.2	Αξιολόγηση τμημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών για περιεχόμενο χρυσού	254
6.3	Οικονομικά στοιχεία παραγωγής	261

6.4	Δοκιμές παραγωγής χρυσού στην εταιρεία Ανακύκλωση Αιγαίου - Χυτήρια Α.Β.Ε.Ε.	268
6.5	Έσοδα από την παραγωγή χρυσού	271
6.6	Διαχείριση αποβλήτων	274
6.7	Συμπεράσματα διαδικασίας ανάκτησης χρυσού	276
Κεφάλαιο 7^ο		
7.1	Βελτιστοποίηση οικολογικού σχεδιασμού	281
7.2	Βελτιστοποίηση μεθόδων ανακύκλωσης	284
7.3	Διάχυση της υπάρχουσας γνώσης στον ΗΗΕ με χρήση της αντίστροφης μηχανικής	286
7.4	Μεθοδολογία επιμήκυνσης διάρκειας ζωής ΗΗΕ	288
7.5	Επανατοποθέτηση διαχείρισης ΑΗΗΕ	290
7.6	Ρόλος των εταιρειών ανακύκλωσης	292
	Βιβλιογραφία	295

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.	Σημεία συλλογής ΑΗΗΕ στην Ελλάδα	3
Σχήμα 1.2.	Σύνολο συλλογής ΑΗΗΕ ανά έτος στην Ελλάδα	4
Σχήμα 1.3.	Αριθμός προσωπικών υπολογιστών ανά χώρα σχέση με το ΑΕΠ της	32
Σχήμα 1.4.	Σύστημα διαχείρισης ΑΗΗΕ στην Ελλάδα	35
Σχήμα 1.5.	Δρόμοι ΑΗΗΕ	36
Σχήμα 1.6.	Διάγραμμα ροής διαδικασιών λειτουργικού συστήματος διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα	36
Σχήμα 1.7.	Συμβεβλημένες μονάδες επεξεργασίας ΑΗΗΕ και κατηγορία επεξεργασίας τους (2018)	46
Σχήμα 2.1.	Ποσοστιαία σύσταση των ΑΗΗΕ όπως καταγράφεται από των διαχωρισμό των υλικών σε μονάδες ανακύκλωσης	54
Σχήμα 2.2.	Διάγραμμα ροής αλγορίθμου επεξεργασίας ΑΗΗΕ	61
Σχήμα 2.3.	Τεμαχιστής - Κοκκοποιητής	69
Σχήμα 2.4.	Σιαγωνωτός τεμαχιστής	73
Σχήμα 2.5.	Κωνικός τεμαχιστής	73
Σχήμα 2.6.	Σφυρόμυλος	74
Σχήμα 2.7.	Σφαιρόμυλοι και σχηματική περιγραφή της αρχής λειτουργίας τους	74
Σχήμα 2.8.	Κυλινδρόμυλοι	75
Σχήμα 2.9.	Αυτογενείς μύλοι	75
Σχήμα 2.10.	Ημιαυτογενείς μύλοι	75
Σχήμα 2.11.	Λιθολειοτριβητής – Λιθόμυλος	76
Σχήμα 2.12.	Κυλινδρόμυλοι υψηλής πίεσης	76
Σχήμα 2.13.	Μύλος τύπου Buhrstone	77
Σχήμα 2.14.	Μαγνητικό τύμπανο	78
Σχήμα 2.15.	Μαγνητική ταινία	79
Σχήμα 2.16.	Σύστημα Αεριοδιαχωρισμού	80
Σχήμα 2.17.	Αρχή λειτουργίας Eddy Current	81
Σχήμα 2.18.	Τα τμήματα μιας συσκευής CRT	88
Σχήμα 2.19.	Διάγραμμα απορροφητικότητας μολυβδύαλου (που περιέχει 70% οξειδίο μολύβδου) ως προς αντίστοιχο πάχος φύλλου μεταλλικού μολύβδου	97
Σχήμα 2.20.	Η διαδρομή των CRTs	98
Σχήμα 2.21.	Συνοπτική παρουσίαση ανακτήσιμων υλικών	100
Σχήμα 2.22.	(α) Αποκόλληση του λαϊμού από το πάνελ με μηχανικό τρόπο (αδαμαντοτροχοί), (β) Αποκόλληση με τήξη μέσω θερμαινόμενου σύρματος (λεπτή γκρίζα ταινία που περιβάλλει το CRT)	103
Σχήμα 2.23.	Ημιαυτόματη μηχανή αποκόλλησης του πάνελ του CRT από το λαϊμό	103
Σχήμα 2.24.	Τυπικό αεροστεγές κυτίο	104

Σχήμα 2.25.	Αποξεστής συνδεδεμένος με αντλία αέρα για την απορρόφηση του δηλητηριώδους φωσφορικού υλικού	104
Σχήμα 2.26.	Διάφοροι τύποι τεμαχιστών γυαλιού	106
Σχήμα 2.27.	Οικιακός τεμαχιστής υπερήχων της εταιρείας GlassVac	107
Σχήμα 2.28.	(α) Αυτόνομος θραυστήρας, (β) Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, (γ) Σύστημα διπλής και τριπλής θραύσης της εταιρείας Krysteline	108
Σχήμα 2.29.	Μερίδια αγοράς υλικών για την κατασκευή Φ/Β πλαισίων ανά κατηγορία τεχνολογίας για το 2001	111
Σχήμα 2.30.	Διεθνείς αγορές χημικών και υλικών για την παραγωγή Φ/Β στοιχείων	111
Σχήμα 2.31.	Τύποι φωτοβολταϊκών κυττάρων	112
Σχήμα 2.32.	Μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία	113
Σχήμα 2.33.	Φ/Β στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου σε μορφή λεπτού υμενίου	114
Σχήμα 2.34.	Δομή ενός τυπικού Cd-Te Φ/Β στοιχείου	116
Σχήμα 2.35.	Οργανικά Φ/Β στοιχεία	118
Σχήμα 2.36.	Τυπική δομή στρώσεων οργανικού Φ/Β. Το PEDOT:PSS είναι ένα διαφανές, αγωγίμο πολυμερές	118
Σχήμα 2.37.	Εξέλιξη της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων	119
Σχήμα 2.38.	Συστατικά φωτοβολταϊκού πλαισίου	119
Σχήμα 2.39.	Τομή φωτοβολταϊκής μονάδας και διαστρωματώσεις αυτής	120
Σχήμα 2.40.	Απεικόνιση των διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την χώνευση του χρυσού	137
Σχήμα 2.41.	Απεικόνιση των διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την κατακρήμνιση και αποκομιδή του χρυσού	138
Σχήμα 2.42.	Πειραματική διάταξη για τον καθαρισμό και εμπλουτισμό των ιζημάτων χρυσού	139
Σχήμα 4.1.	Ισοζύγιο μάζας από την αποσυναρμολόγηση των οθονών CRT όπου απεικονίζεται η διαδικασία αποσυναρμολόγησης και θραύσης των επιμέρους κομματιών	153
Σχήμα 4.2.	(α) Καθοδικοί σωλήνες από οθόνες CRT, αποσυναρμολογημένοι και τοποθετημένοι σε παλλετοδεξαμενές, (β) Χειρωνακτική αφαίρεση καλωδίων από ολοκληρωμένα κυκλώματα τηλεοράσεων CRT	154
Σχήμα 4.3.	(α) Τα γυαλιά υφίστανται δευτερογενή επεξεργασία σε κυλινδρικό μύλο (άλεση) ώστε να αποστρογγυλευθούν και να είναι ασφαλή στον χειρισμό και στην επεξεργασία, (β) Γυαλιά, τα οποία αφού αποστρογγυλευθούν στον μύλο και υποστούν έκπλυση και δευτερογενή καθαρισμό, συλλέγονται σε κατάλληλους κάδους	154
Σχήμα 4.4.	(α) Δείγμα CRT-2, (β) Δείγμα CRT-3 και (γ) Δείγμα CRT-1, ύστερα από την διαδικασία αποσυναρμολόγησης, τεμαχισμού και διαλογής-διαχωρισμού	155
Σχήμα 4.5.	Τεμάχια γυαλιού οθόνης CRT με εμφανή μετάβαση από το μπροστινό προς το πίσω μέρος (χοάνη)	155

Σχήμα 4.6.	(α) Απορροή νερού με αιωρήματα από επιχρίσματα και υαλοτρίμματα που οδεύουν προς το δοχείο συλλογής, (β) δοχείο συλλογής του νερού και των επιχρισμάτων	159
Σχήμα 4.7.	Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση οθονών CRT και TV	161
Σχήμα 4.8.	Διάγραμμα ροής δειγματοληψίας οθονών CRT και TV	162
Σχήμα 4.9.	Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης οθονών CRT και TV	163
Σχήμα 4.10.	Συνολική παραγωγή έτους 2016 ανά κατηγορία ΑΗΗΕ	164
Σχήμα 4.11.	Παράγωγα προϊόντα και προϊόντα προς περαιτέρω επεξεργασία από ετήσια διαχείριση των ΑΗΗΕ του έτους 2016	165
Σχήμα 4.12.	Δείγμα ΟΘΟΝΗ CRT – 1 (γυαλί από μπροστινό μέρος οθόνης)	169
Σχήμα 4.13.	Δείγμα ΟΘΟΝΗ CRT – 3 (γυαλί από ενδιάμεσο μέρος οθόνης)	170
Σχήμα 4.14.	Δείγμα ΡΗ – 1 (φωσφορικό επίχρισμα αφαιρούμενο χειρονακτικά)	170
Σχήμα 4.15.	Δείγμα ΡΗ – 1 (κομμάτια υάλου μεταξύ μεταλλικών κόκκων (Zn))	171
Σχήμα 4.16.	Δείγμα ΤΝΚ – 2 (ίζημα από δεξαμενή καθίζησης)	171
Σχήμα 4.17.	Δείγμα ΤΝΚ – 2 (λεπτομέρεια από το ίζημα δεξαμενής καθίζησης που αποτυπώνεται η μεγάλη συγκέντρωση τμημάτων υάλου)	172
Σχήμα 4.18.	Δείγμα DR – 3 (ίζημα από δεξαμενή καθίζησης)	172
Σχήμα 4.19.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος CRT – 1	177
Σχήμα 4.20.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος CRT – 2	178
Σχήμα 4.21.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος CRT – 3	178
Σχήμα 4.22.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος ΡΗ – 1	179
Σχήμα 4.23.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος ΤΝΚ – 2	179
Σχήμα 4.24.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος DR – 3	180
Σχήμα 4.25.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος RT – 4	180
Σχήμα 5.1.	(α) Δείγμα PANEL-HS-17, (β) δείγμα PANEL-HS-5, (γ) δείγμα φωτοβολταϊκού πάνελ, όπου φαίνονται τα καλώδια τροφοδοσίας και (δ) Δείγμα PANEL-HS-24, εσωτερική λευκή μεμβράνη	185
Σχήμα 5.2.	(α) δείγμα PANEL-EG-3 μεταλλικό σύρμα – αγωγός, (β) δείγμα PANEL-EG-4 πλαστικό από πολυαμίδιο, (γ) δείγμα PANEL-EG-1 (πολυκρυσταλλικό πυρίτιο) και (δ) δείγμα PANEL-EG-2 πλαστικό EVA	187
Σχήμα 5.3α.	Σχεδιάγραμμα άνοψης Solar Glass ML	189
Σχήμα 5.3β.	Σχεδιάγραμμα οπίσθιας όψης Solar Glass ML, με απεικόνιση συλλέκτη	189
Σχήμα 5.4.	Πραγματική απεικόνιση των επιμέρους τμημάτων της γραμμής παραγωγής Solar Glass ML	190
Σχήμα 5.5.	Φάσεις αποσυναρμολόγησης φωτοβολταϊκού πλαισίου	192
Σχήμα 5.6.	Διάγραμμα εισροών-εκροών της διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών συσκευών με ποσοστά εκπεφρασμένα σε % κατά βάρος	194
Σχήμα 5.7.	Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών πλαισίων	197
Σχήμα 5.8.	Δείγμα PANEL-HS-1 (γυαλί)	200
Σχήμα 5.9.	Δείγμα PANEL-HS-2 (γυαλί με μαύρη επίστρωση)	200
Σχήμα 5.10.	Δείγμα PANEL-HS-2 (επιφάνεια επίστρωσης)	201
Σχήμα 5.11.	Δείγμα PANEL-HS-3 (γυαλί)	201

Σχήμα 5.12.	Δείγμα PANEL-HS-3 (επιφάνεια επίστρωσης)	202
Σχήμα 5.13.	Δείγμα PANEL-HS-4 (γυαλί)	202
Σχήμα 5.14.	Δείγμα PANEL-HS-4 (επιφάνεια επίστρωσης)	203
Σχήμα 5.15.	Δείγμα PANEL-HS-5 (γυαλί και επίστρωση σε εγκάρσια τομή)	203
Σχήμα 5.16.	Δείγμα PANEL-HS-5 (επιφάνεια επίστρωσης)	204
Σχήμα 5.17.	Δείγμα PANEL-HS-6 (επιφάνεια γυαλιού)	204
Σχήμα 5.18.	Δείγμα PANEL-HS-6 (λεπτομέρεια του στρώματος επίστρωσης στην επιφάνεια του γυαλιού)	205
Σχήμα 5.19.	Δείγμα PANEL-HS-6 (επιφάνεια επίστρωσης)	205
Σχήμα 5.20.	Δείγμα PANEL-HS-7 (επίστρωση γυαλιού με ZnO)	206
Σχήμα 5.21.	Δείγμα PANEL-HS-7 (επίστρωση ZnO [ανοιχτόχρωμη επιφάνεια] στο γυαλί [σκουρόχρωμη επιφάνεια])	206
Σχήμα 5.22.	Δείγμα PANEL-HS-8 (επιφάνεια επίστρωσης)	207
Σχήμα 5.23.	Δείγμα PANEL-HS-10 (επιφάνεια γυαλιού)	207
Σχήμα 5.24.	Δείγμα PANEL-HS-10 (επιφάνεια επίστρωσης)	208
Σχήμα 5.25.	Δείγμα PANEL-HS-11 (επιφάνεια γυαλιού)	208
Σχήμα 5.26.	Δείγμα PANEL-HS-11 (επιφάνεια επίστρωσης)	209
Σχήμα 5.27.	Δείγμα PANEL-HS-13 (επιφάνεια γυαλιού)	209
Σχήμα 5.28.	Δείγμα PANEL-HS-13 (επιφάνεια επίστρωσης)	210
Σχήμα 5.29.	Δείγμα PANEL-HS-14 (σπασμένη επιφάνεια γυαλιού)	210
Σχήμα 5.30.	Δείγμα PANEL-HS-14 (επιφάνεια επίστρωσης)	211
Σχήμα 5.31.	Δείγμα PANEL-HS-15 (εγκάρσια τομή γυαλιού με επίστρωση ZnO)	211
Σχήμα 5.32.	Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια γυαλιού)	212
Σχήμα 5.33.	Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια επίστρωσης)	212
Σχήμα 5.34.	Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια γυαλιού)	213
Σχήμα 5.35.	Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια επίστρωσης)	213
Σχήμα 5.36.	Δείγμα PANEL-HS-17 (επιφάνεια γυαλιού)	214
Σχήμα 5.37.	Δείγμα PANEL-HS-17 (επιφάνεια επίστρωσης)	214
Σχήμα 5.38.	Δείγμα PANEL-HS-18 (επιφάνεια γυαλιού)	215
Σχήμα 5.39.	Δείγμα PANEL-HS-18 (επιφάνεια επίστρωσης)	215
Σχήμα 5.40.	Δείγμα PANEL-HS-19 (επιφάνεια επίστρωσης)	216
Σχήμα 5.41.	Δείγμα PANEL-HS-20 (επιφάνεια επίστρωσης)	216
Σχήμα 5.42.	Δείγμα PANEL-HS-21 (επιφάνεια γυαλιού)	217
Σχήμα 5.43.	Δείγμα PANEL-HS-22 (επιφάνεια επίστρωσης)	217
Σχήμα 5.44.	Δείγμα PANEL-HS-23 (μεταλλικό καλώδιο ρεύματος)	218
Σχήμα 5.45.	Δείγμα PANEL-EG-1 (πολυκρυσταλλικό πάνελ, μπλε επιφάνεια με λευκές λωρίδες)	218
Σχήμα 5.46.	Δείγμα PANEL-EG-1 (λεπτομέρεια μπλε επιφάνειας)	219
Σχήμα 5.47.	Δείγμα PANEL-EG-1 (δομή πολυκρυσταλλικού πυριτίου)	219
Σχήμα 5.48.	Δείγμα PANEL-EG-1 (γκρι επιφάνεια, σφαιρίδια αλουμίνας)	220
Σχήμα 5.49.	Δείγμα PANEL-EG-1 (λεπτομέρεια γκρι επιφάνειας, σφαιρίδια αλουμίνας)	220
Σχήμα 5.50.	Δείγμα PANEL-EG-2 (πλαστική μεμβράνη EVA)	221
Σχήμα 5.51.	Δείγμα PANEL-EG-3 (μεταλλικό καλώδιο με χαρακτηριστική δομή)	221
Σχήμα 5.52.	Δείγμα PANEL-EG-3 (μικροδομή μεταλλικού καλωδίου)	222
Σχήμα 5.53.	Δείγμα PANEL-EG-4 (πλαστικό από πολυαμίδιο)	222

Σχήμα 5.54.	Δείγμα REC-1 (κόκκοι υάλου με ψήγματα μεταλλικών στοιχείων)	223
Σχήμα 5.55.	Δείγμα REC-1 (λεπτομέρεια μεταλλικού ψήγματος (Fe))	223
Σχήμα 5.56.	Δείγμα REC-2 (θραύσματα υάλου, μεταλλικών στοιχείων και πολυμερών)	224
Σχήμα 5.57.	Δείγμα REC-2 (λεπτομέρεια θραύσματος από κεραμική επιφάνεια πάνελ)	224
Σχήμα 5.58.	Δείγμα REC-3 (ανάλυση 100μm)	225
Σχήμα 5.59.	Δείγμα REC-3 (ανάλυση 500μm)	225
Σχήμα 5.60.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-1	239
Σχήμα 5.61.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-2	240
Σχήμα 5.62.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-3	240
Σχήμα 5.63.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-4	241
Σχήμα 5.64.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-5	241
Σχήμα 5.65.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-6	242
Σχήμα 5.66.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-7	242
Σχήμα 5.67.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-8	243
Σχήμα 5.68.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-9	243
Σχήμα 5.69.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-10	244
Σχήμα 5.70.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-11	244
Σχήμα 5.71.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-12	245
Σχήμα 5.72.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-13	245
Σχήμα 5.73.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-14	246
Σχήμα 5.74.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-15	246
Σχήμα 5.75.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-16	247
Σχήμα 5.76.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-17	247
Σχήμα 5.77.	Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL-EG-1	248
Σχήμα 6.1.	Διαδικασία αποσυναρμολόγησης επιτραπέζιων προσωπικών υπολογιστών	254
Σχήμα 6.2.	(α) Δείγμα Sp_1, (β) Δείγμα Sp_2, (γ) Δείγμα Sp_3, (δ) Δείγμα Sp_4, (ε) Δείγμα Sp_5	257
Σχήμα 6.3.	(α) Δείγμα CPU_1, (β) Δείγμα CPU_2, (γ) Δείγμα CPU_3	257
Σχήμα 6.4.	(α) Δείγμα Mb_1, (β) Δείγμα Mb_2, (γ) Δείγμα Mb_3	258
Σχήμα 6.5.	(α) Δείγμα NF_1, (β) Δείγμα NF_2, (γ) Δείγμα NF_3, (δ) Δείγμα NF_4, (ε) Δείγμα NF_5	260
Σχήμα 6.6.	Παραγωγική διαδικασία ανάκτησης Au από ανακύκλωση των PCBs	262
Σχήμα 6.7.	Επιπρόσθετα έσοδα από την επεξεργασία αποβλήτων επιτραπέζιων υπολογιστών	265
Σχήμα 6.8.	Σχηματικό διάγραμμα από όλα τα στάδια της ανάκτησης χρυσού από ΑΗΗΕ επιτραπέζιων ηλεκτρονικών υπολογιστών	267

Σχήμα 6.9.	Δοκιμή χλωριούχου κασσιτέρου για τον εντοπισμό ιζημάτων του χρυσού. (α) βαμβάκι βυθισμένο σε κορεσμένο διάλυμα χλωριούχου κασσιτέρου. (β) βαμβάκι βυθισμένο σε διάλυμα HCl 33% κ.β. και διαδοχικά σε κορεσμένο διάλυμα χλωριούχου κασσιτέρου, (γ) βαμβάκι βυθισμένο σε διάλυμα τετραχλωροχρυσικού οξέος και διαδοχικά σε χλωριούχο κασσίτερο, (δ) βαμβάκι βυθισμένο σε διάλυμα τετραχλωροχρυσικού οξέος	268
Σχήμα 6.10.	Παραγωγή χρυσού κατά το διάστημα 31/10/2012 έως και 01/11/2013	270
Σχήμα 6.11.	Διάγραμμα ροής δειγματοληψίας PCBs	271
Σχήμα 6.12.	Μεταβολή τιμών χρυσού από το 2004 μέχρι το 2014 σε \$/ounce	272
Σχήμα 6.13.	Μεταβολή τιμών χρυσού από τον Απρίλιο του 2012 μέχρι τον Ιανουάριο του 2014 σε \$/ounce	274
Σχήμα 6.14.	Διάφοροι τύποι ηλιακών ξηραντήρων του εμπορίου	275
Σχήμα 6.15.	Σχηματική αναπαράσταση ενός πιθανού αυτοσχέδιου αντιδραστήρα ξήρανσης	276

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1.	Κατηγορίες ΑΗΗΕ σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2002/96/ΕC	18
Πίνακας 1.2.	Πρόσθετες κατηγορίες ΑΗΗΕ σύμφωνα με την «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.»	29
Πίνακας 1.3.	Παραδείγματα προϊόντων και υλικών πρόσθετων κατηγοριών ΑΗΗΕ σύμφωνα με την «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.»	30
Πίνακας 1.4.	Κατανομή συλλογής ανά περιφέρεια σε σχέση με τον πληθυσμό έως το 2010	39
Πίνακας 1.5.	Ποσοστό συλλογής ανά κατηγορία προϊόντος και έτος την περίοδο 2005-2010	40
Πίνακας 1.6.	Ποσότητα συλλογής ανά κατηγορία προϊόντος και έτος	42
Πίνακας 1.7.	Μάζα συλλογής σε τόνους ανά κατηγορία προϊόντος και έτος	43
Πίνακας 1.8.	Στατιστικά στοιχεία αξιοποίησης ΑΗΗΕ ανά κατηγορία στην Ελλάδα για την περίοδο 2005-2010	44
Πίνακας 2.1.	Τύποι ΑΗΗΕ και είδη που συμπεριλαμβάνονται σε αυτά, μέσες μάζες και μέσοι κύκλοι ζωής τους	51
Πίνακας 2.2.	Ποσοστιαία ανάλυση παραγόμενων υλικών σε (t) ανά κατηγορία	52
Πίνακας 2.3.	Ποσοστιαία παραγωγή υλικών στο σύνολο της διαχείρισης έως το 2010	53
Πίνακας 2.4.	Παραγωγή σπάνιων γαιών ανά παραγωγό κράτος	55
Πίνακας 2.5.	Συνηθέστερα κατά ποσότητα ΑΗΗΕ και οι προς απορρύπανση βλαβερές ουσίες που αυτά συνήθως περιέχουν	62
Πίνακας 2.6.	Συσκευές και μέσος χρόνος αποσυναρμολόγησης	64
Πίνακας 2.7.	Υλικά και σύσταση επί τοις εκατό στις μικρές οικιακές συσκευές	65
Πίνακας 2.8.	Ποσοστό αποσυναρμολογημένων υλικών	65
Πίνακας 2.9.	Ποσοστό αποσυναρμολογημένων υλικών συσκευών ήχου και εικόνας	67
Πίνακας 2.10.	Μόλυβδος και περιεκτικότητές του στα τμήματα των οθονών	91
Πίνακας 2.11.	Κωδικοί τύποι του γυαλιού οθονών CRT σύμφωνα με την Ιαπωνική τυποποίηση	92
Πίνακας 2.12.	Διάφοροι τύποι γυαλιού μολύβδου και τα ποσοστά περιεκτικότητας οξειδίου του μολύβδου	93
Πίνακας 2.13.	Απορρόφηση των ακτίνων X (πρότυπη ακτίνα από 60 έως 150kV) του γυαλιού και αντίστοιχη ανάλογη απορρόφηση πλακιδίων μολύβδου ενός γυαλιού 22% κ.β. σε οξείδιο του μολύβδου	95
Πίνακας 2.14.	Αντιστοίχιση της απορροφητικότητας δεσμών ακτίνων X, του γυαλιού RD50 (περιεκτικότητας 65% κ.β. οξείδιο του μολύβδου) που παράγεται από την εταιρεία Schott.	96
Πίνακας 2.15.	Σύσταση Φ/Β ανά κατηγορία	124
Πίνακας 4.1.	Ιζήματα που προκύπτουν από την διαδικασία επεξεργασίας των οθονών CRT της εταιρείας	159
Πίνακας 4.2.	Συγκεντρωτικός πίνακας δειγμάτων	160

Πίνακας 4.3.	Κατάλογος συντομογραφιών	167
Πίνακας 4.4.	Αποτελέσματα αναλύσεων στερεών φάσεων δειγμάτων οθονών CRT	168
Πίνακας 4.5.	Αποτελέσματα αναλύσεων στερεών φάσεων ιζημάτων προερχόμενων από ανακύκλωση οθονών CRT στις εγκαταστάσεις της εταιρείας	168
Πίνακας 4.6.	Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων που περιέχονται στα δείγματα οθονών CRT	174
Πίνακας 4.7.	Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων που περιέχονται στα ιζήματα από την επεξεργασία οθονών CRT στις εγκαταστάσεις της εταιρείας	175
Πίνακας 4.8.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος CRT-1	176
Πίνακας 4.9.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος CRT-2	177
Πίνακας 4.10.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος CRT-3	177
Πίνακας 5.1.	Κωδικοί και περιγραφή δειγμάτων της εταιρείας HelioSphera	186
Πίνακας 5.2.	Κωδικοί και περιγραφή δειγμάτων της εταιρείας Exel Group	187
Πίνακας 5.3.	Δείγματα προερχόμενα από τη γραμμή παραγωγής ανακύκλωσης Φ/Β συστημάτων και περιγραφή τους	194
Πίνακας 5.4.	Συγκεντρωτικός πίνακας δειγμάτων	195
Πίνακας 5.5.	Κατάλογος συντομογραφιών	198
Πίνακας 5.6.	Αποτελέσματα αναλύσεων στερεών φάσεων των δειγμάτων Φ/Β πάνελ	199
Πίνακας 5.7.	Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων των δειγμάτων φωτοβολταϊκών πάνελ	228
Πίνακας 5.8.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-1 (γυαλί)	230
Πίνακας 5.9.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-2 (γυαλί)	230
Πίνακας 5.10.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-2 (επίστρωση)	230
Πίνακας 5.11.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-3 (γυαλί)	230
Πίνακας 5.12.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-3 (επίστρωση)	230
Πίνακας 5.13.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-4 (γυαλί)	231
Πίνακας 5.14.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-4 (επίστρωση)	231
Πίνακας 5.15.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-7 (επίστρωση)	231
Πίνακας 5.16.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-8 (γυαλί)	231
Πίνακας 5.17.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-8 (επίστρωση)	232
Πίνακας 5.18.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-9 (γυαλί)	232
Πίνακας 5.19.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-9 (επίστρωση)	232
Πίνακας 5.20.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-10 (γυαλί)	232
Πίνακας 5.21.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-10 (επίστρωση)	232
Πίνακας 5.22.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-11 (γυαλί)	233
Πίνακας 5.23.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-11 (επίστρωση)	233
Πίνακας 5.24.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-12 (γυαλί)	233
Πίνακας 5.25.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-12 (επίστρωση)	233
Πίνακας 5.26.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-13 (γυαλί)	233
Πίνακας 5.27.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-13 (επίστρωση)	234
Πίνακας 5.28.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-14 (γυαλί)	234
Πίνακας 5.29.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-14 (επίστρωση)	234
Πίνακας 5.30.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-15 (γυαλί)	234
Πίνακας 5.31.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-15 (επίστρωση)	234

Πίνακας 5.32.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-16 (γυαλί)	235
Πίνακας 5.33.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-16 (επίστρωση)	235
Πίνακας 5.34.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-17 (γυαλί)	235
Πίνακας 5.35.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-17 (επίστρωση)	235
Πίνακας 5.36.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-18 (γυαλί)	235
Πίνακας 5.37.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-18 (επίστρωση)	236
Πίνακας 5.38.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-19 (γυαλί)	236
Πίνακας 5.39.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-19 (επίστρωση)	236
Πίνακας 5.40.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-20 (γυαλί)	236
Πίνακας 5.41.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-20 (επίστρωση)	236
Πίνακας 5.42.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-21 (γυαλί)	237
Πίνακας 5.43.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-21 (επίστρωση)	237
Πίνακας 5.44.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-22 (γυαλί)	237
Πίνακας 5.45.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-22 (επίστρωση)	237
Πίνακας 5.46.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-23 (καλώδιο)	237
Πίνακας 5.47.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο-μεταλλικό μέρος)	238
Πίνακας 5.48.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο-μπλε επιφάνεια)	238
Πίνακας 5.49.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο-γκρι επιφάνεια)	238
Πίνακας 5.50.	Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (καλώδιο)	238
Πίνακας 5.51.	Μικροαναλύσεις EDS δειγμάτων REC-1 / REC-2 / REC-3	239
Πίνακας 6.1.	% κ.β. συμμετοχή των τμημάτων που αποσυναρμολογούνται από έναν επιτραπέζιο υπολογιστή	253
Πίνακας 6.2.	Ταυτοποίηση περιεχομένου χρυσού τερματικών υποδοχέων τύπου δακτύλου με XRF	256
Πίνακας 6.3.	Ταυτοποίηση περιεχομένου χρυσού στα δείγματα CPUs	257
Πίνακας 6.4.	Μετρήσεις σε άλλα τμήματα τυπωμένων κυκλωμάτων προερχόμενων από μητρικές κάρτες και κάρτες περιφερειακών	258
Πίνακας 6.5.	Μετρήσεις σε μη σιδηρούχα ρινίσματα τυπωμένων κυκλωμάτων	261
Πίνακας 6.6.	Τυπικές μετρήσεις XRF σε ιζήματα χρυσού 22k με 2% τυπική απόκλιση	266
Πίνακας 6.7.	Συνολική παραγωγή ιζηματικού χρυσού από το Νοέμβριο του 2012 μέχρι τον Οκτώβριο του 2013	273
Πίνακας 6.8.	Ενδεικτικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα απόβλητα της χώνευσης	275

1^ο Κεφάλαιο

Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

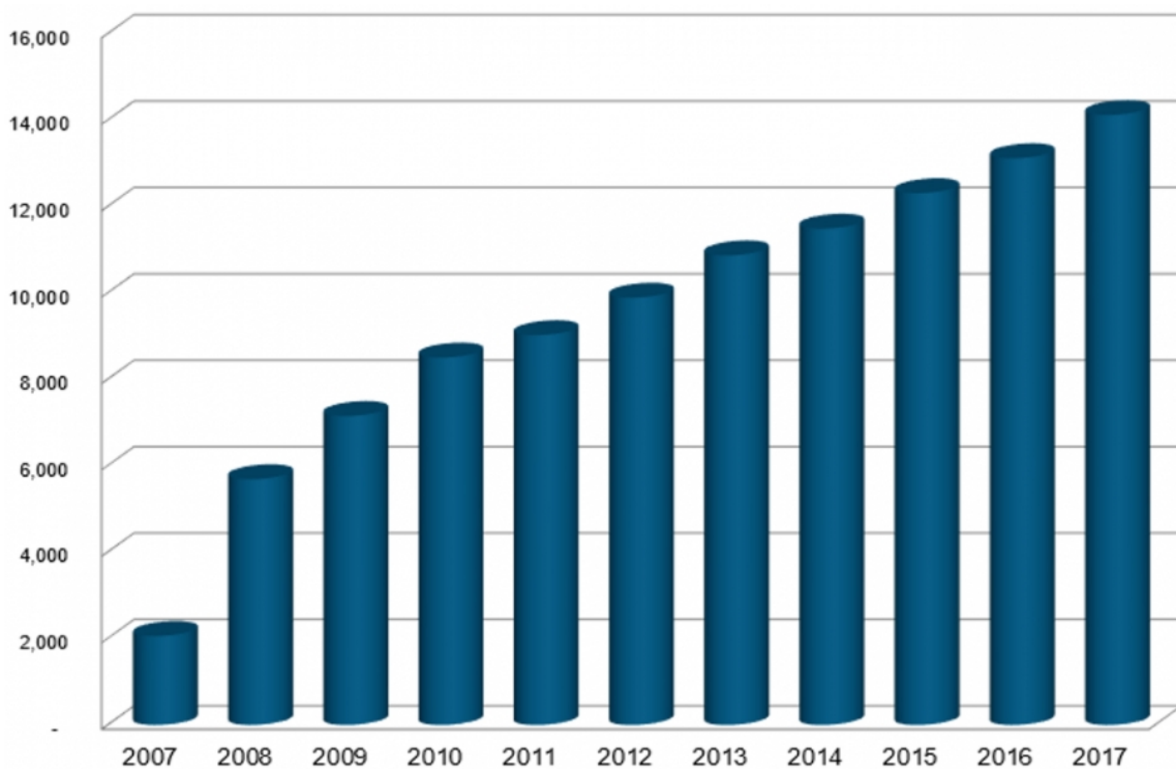
1.1 Εισαγωγή στην Ανακύκλωση ΑΗΗΕ

Η παραγωγή, η κατανάλωση και η τελική διάθεση του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού χωρίς απόβλητα και επικίνδυνες εκπομπές, είναι μια πολύ σημαντική πρόκληση του μέλλοντος. Αν και, λαμβάνοντας υπόψη την υπάρχουσα κατάσταση, ο στόχος αυτός φαντάζει ανέφικτος, το όραμα για βιώσιμη λύση στο πρόβλημα των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού παραμένει. Η τελική λύση θα πρέπει να περιλαμβάνει την τελική απόξευση της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης από τις μη ανανεώσιμες και ανεξέλεγκτες πηγές, π.χ. εναπομείναντα απόβλητα, ενώ θα βασίζεται σε ένα κλειστό σύστημα παροχής και την αντιστροφή του, αποτρέποντας οποιοδήποτε ενδεχόμενο απωλειών και διαρροών από τις πηγές. Ο ψηφιακός διαχωρισμός θα μπορεί να ολοκληρωθεί επιτυχώς, επιτρέποντας σε όλους, αλλά και στον καθένα ξεχωριστά, να επωφεληθεί από την αλματώδη πρόοδο στην τεχνολογία, καθιστώντας την ζωή και την εργασία μας ευκολότερη, υγιέστερη και πιο διασκεδαστική, χωρίς να υπονομεύει το μέλλον των επερχόμενων γενεών. Οι αυστηρές κριτικές σε ένα τέτοιο όραμα μετριάζονται όταν διαφαίνεται ότι κάποιες κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμοί, μαζί με την βιομηχανία, τους επιστημονικούς φορείς, τους μη κυβερνητικούς οργανισμούς και τις τοπικές διοικήσεις ενθαρρύνουν την ανάπτυξη ιδεών που αποσκοπούν στην δημιουργία βιώσιμων κοινωνιών. Η βιωσιμότητα διερευνάται με βάση το εάν και πώς μπορεί να δημιουργηθεί ένα νέο πρότυπο και ένα νέο μοντέλο για μια βιώσιμη κοινωνία. Το πρόβλημα των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού προσελκύει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον των πολιτικών, των μέσων μαζικής ενημέρωσης και πρωτοβουλιών ανά τον κόσμο.

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία που ενσωματώθηκε στο ελληνικό δίκαιο από το 2014, το έτος 2016 η ποσότητα που όφειλε να συγκεντρώσει και να ανακυκλώσει κάθε κράτος-μέλος ανερχόταν στο 45% του μέσου όρου του βάρους των συσκευών που αγοράστηκαν την αμέσως προηγούμενη τριετία, ενώ το έτος 2019 το ποσοστό αυτό θα πρέπει να ανέλθει στο 65%.

Για την επίτευξη των στόχων, απαραίτητη είναι η ευαισθητοποίηση ως προς το περιβαλλοντικό όφελος της ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ και η συμμετοχή τους σ' αυτήν. Η υποχρέωση αυτή έχει εκφραστεί και στη νομοθεσία σχετικά με την εναλλακτική διαχείριση των ΑΗΗΕ με τις αρχές «ο ρυπαίνων πληρώνει» και τη «διευρυμένη ευθύνη των παραγωγών Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΗΗΕ)».

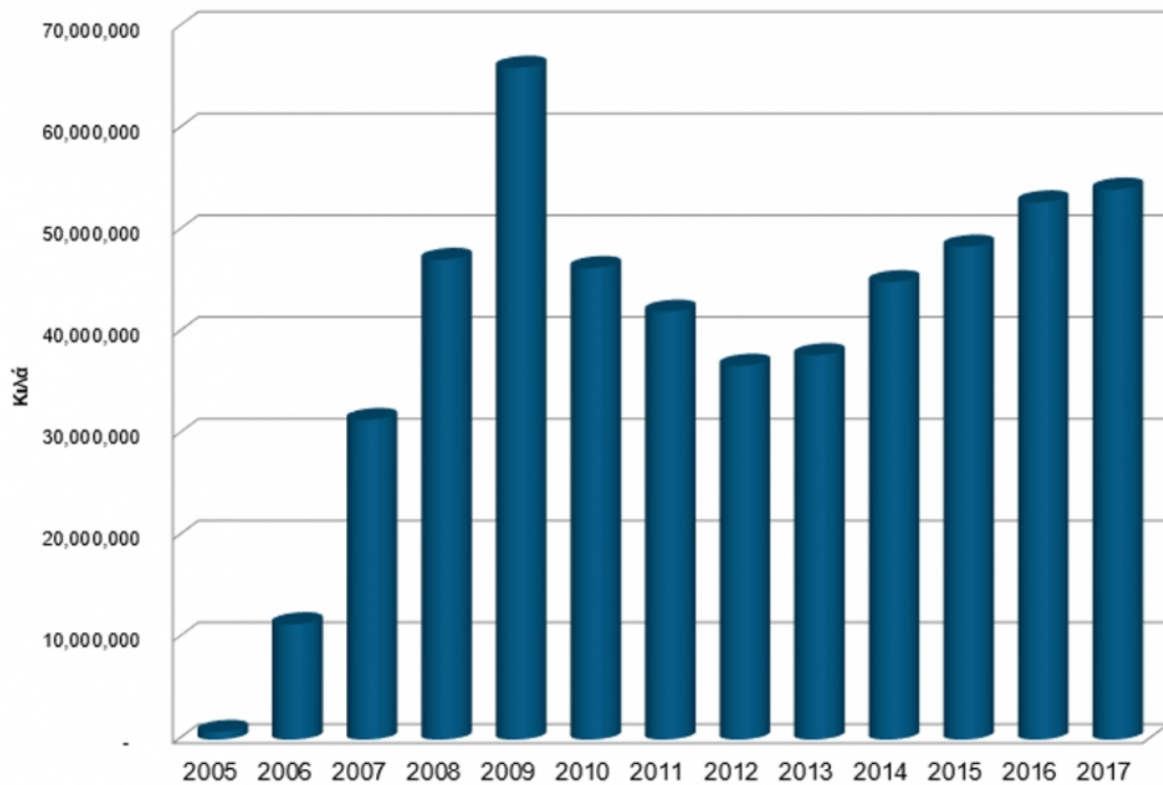
Στην Ελλάδα σήμερα, το δίκτυο συλλογής καλύπτει περισσότερο από το 90% του πληθυσμού της χώρας τόσο στις ηπειρωτικές όσο και στις νησιωτικές περιοχές με περισσότερα από 13.000 σημεία συλλογής (Σχήμα 1.1.).



Σχήμα 1.1. Σημεία συλλογής ΑΗΗΕ στην Ελλάδα

Ο Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) που είναι ο εποπτικός φορέας της ανακύκλωσης στην Ελλάδα, έχει δημιουργήσει μητρώο παραγωγών στον οποίον έχουν ενταχθεί εταιρείες, ως υπόχρεοι παραγωγοί – σύμφωνα με τη νομοθεσία – και συμβάλλουν στις εργασίες της ανακύκλωσης. Σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΗΗΕ, Σχήμα 1.2., έχει η εταιρεία «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» όπου είναι ένας εκ των εγκεκριμένων φορέων από τον ΕΟΑΝ, για την οργάνωση, τη λειτουργία και τον έλεγχο του Συλλογικού Συστήματος Εναλλακτικής Διαχείρισης των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα. Η «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» συνεργάζεται με διάφορες

μονάδες ανά την επικράτεια οι οποίες διακρίνονται σε κέντρα συλλογής ταξινόμησης απορρύπανσης, σε εργοστάσια επεξεργασίας ΑΗΗΕ εκτός ψυγείων, σε εργοστάσια επεξεργασίας ψυγείων και σε μονάδες προσωρινής αποθήκευσης λαμπτήρων.



Σχήμα 1.2. Σύνολο συλλογής ΑΗΗΕ ανά έτος στην Ελλάδα

Μέσω της διατριβής αυτής αναδεικνύεται όχι μόνο η αδιαμφισβήτητη αναγκαιότητα της ανακύκλωσης ως δραστηριότητας, αλλά και η αναγκαιότητα του φιλικού τρόπου λειτουργίας της προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Παράλληλα, στη διατριβή δίνονται οι κατευθυντήριες γραμμές σε ουσιώδη περιβαλλοντικά θέματα και ζητήματα που σχετίζονται με την αειφόρο ανάπτυξη, όπως η αντίστροφη μηχανική με εμβάθυνση στα χαρακτηριστικών των παλαιότερων τεχνολογιών και των υλικών του ΗΗΕ και η διαχείριση των ανθρωπίνων πόρων, θεωρώντας τις επιχειρήσεις ανακύκλωσης ένα «ανοικτό σύστημα» όπου οι εισροές από το περιβάλλον (υλικά, ενέργεια, άνθρωποι, κεφάλαια) μετασχηματίζονται σε εκροές, παράγοντας δευτερογενείς πρώτες ύλες και υπηρεσίες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, εστιάζει στη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία που αναζητά, μέσω της ανακύκλωσης, τρόπους ενσωμάτωσης των εννοιών της επαναχρησιμοποίησης, επισκευής και

ανανέωσης των υφιστάμενων υλικών και προϊόντων στις υπάρχουσες κοινωνικοπολιτικές συνθήκες.

Η εξέταση των μεθόδων ανακύκλωσης ΑΗΗΕ με εστιασμένο ερευνητικό πεδίο στα CRTs, PVs και PCBs, βάσει των προτεινόμενων μεθοδολογιών για την μικρομεσαία επιχείρηση στον ελλαδικό χώρο, καταδεικνύει ότι η δραστηριότητα της ανακύκλωσης ειδικά για τον οικονομικό και γεωγραφικό χώρο της Ελλάδας είναι εφικτή, αναγκαία και βιώσιμη ή υπό όρους βιώσιμη – ως προς την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων, σπάνιων γαιών και υλικών ειδικής διαχείρισης. Συνάμα, επιτυγχάνεται διασφάλιση των συνθηκών υγείας και εργασίας όπως και η προστασία του περιβάλλοντος, ενισχύεται ουσιαστικά η εταιρική κοινωνική ευθύνη και αναπτύσσονται συνεργασίες με πανεπιστημιακά ιδρύματα και ερευνητικά κέντρα της χώρας αλλά και του εξωτερικού.

Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκαν πρότυπες πειραματικές διαδικασίες στις εγκαταστάσεις της εταιρείας «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.» σε συνεργασία με τον Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας & Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ και τα εργαστήρια της Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., στον Καναδά.

1.2 Ορισμός ΑΗΗΕ

Τα πέντε τουλάχιστον προηγούμενα χρόνια, το ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό απόβλητο έχει καταστεί μια παραπειστική λέξη που καλύπτει όλους τους τύπους ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που έχουν ή θα μπορούσαν να μπου στην ροή αποβλήτου. Αυτό συμβαίνει επίσης, διότι το ΑΗΗΕ αυξάνεται με γεωμετρικούς ρυθμούς, αφού οι αγορές ΗΗΕ διευρύνονται και πολλά μέρη του κόσμου αναπτύσσονται ταχέως, περνώντας στον επονομαζόμενο "ψηφιακό διαχωρισμό". Η ραγδαία αύξηση των τεχνολογικών καινοτομιών και ο αυξανόμενος ρυθμός αντικατάστασης των προϊόντων, ιδιαίτερα στους τομείς των τεχνολογιών επικοινωνίας και πληροφορικής (ICT) και του εξοπλισμού γραφείων, σε συνδυασμό με την μετάβαση από τις αναλογικές στις ψηφιακές τεχνολογίες, όπως οι τηλεοράσεις επίπεδης οθόνης, επιτείνουν αυτήν την αύξηση. Οι οικονομίες κλίμακος έχουν οδηγήσει σε χαμηλότερες τιμές πολλά ηλεκτρικά αγαθά, αυξάνοντας την παγκόσμια ζήτηση για πολλά προϊόντα τα οποία τελικά καταλήγουν σε ΑΗΗΕ. Σε γενικό επίπεδο, τα ΑΗΗΕ είναι ένας όρος που καλύπτει όλα τα προϊόντα με τέλος κύκλου ζωής (EoL) τα οποία φέρουν μπαταρία ή

καλώδιο/κύκλωμα. Έτσι περιλαμβάνει τηλεοράσεις, υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, λευκές συσκευές (ψυγεία, πλυντήρια, στεγνωτήρια, κ.λπ.), ηχοσυστήματα, παιχνίδια, ψηστιέρες, βραστήρες και σχεδόν κάθε οικιακή ή επαγγελματική συσκευή, συμπεριλαμβανομένων των μαγνητικών τομογράφων και άλλων ιατρικών συσκευών. Υπάρχουν χιλιάδες ορισμοί των ΑΗΗΕ στις πολιτικές, στους Κανονισμούς, στις Οδηγίες, στα εγχειρίδια κλπ. Οι κυριότεροι ορισμοί των ΑΗΗΕ, όπως αυτοί παρουσιάζονται στην παγκόσμια βιβλιογραφία, συνοψίζονται στους ακόλουθους (Tsalavoutas et al., [2002]):

Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/96/EC: "Ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός, συμπεριλαμβανομένων όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, των συναρμολογημένων μερών και των αναλωσίμων, που συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά το χρόνο απόρριψής του". Η Οδηγία 2008/98/EC, άρθρο 3, ορίζει ως "απόβλητο" "κάθε ουσία ή αντικείμενο, το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει".

Basel Action Network (www.ban.org): "Τα ΑΗΗΕ περιλαμβάνουν μια ευρεία και διαρκώς αναπτυσσόμενη γκάμα ηλεκτρονικών συσκευών που ποικίλουν από μεγάλες οικιακές συσκευές, όπως ψυγεία, κλιματιστικά, κινητά τηλέφωνα, ηχοσυστήματα και αναλώσιμα ηλεκτρονικά στοιχεία έως υπολογιστές που απορρίπτονται από τους χρήστες".

OECD (www.oecd.org): "Οποιαδήποτε οικιακή συσκευή που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια και φτάνει στο τέλος του κύκλου ζωής της".

1.3 Προβλήματα που σχετίζονται με τα ΑΗΗΕ

Τα ΑΗΗΕ χωρίζονται σε 10 κατηγορίες σύμφωνα με την Οδηγία 2002/96/EC της ΕΕ. Διαφέρουν στην χημική και φυσική σύσταση τους από τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα. Περιλαμβάνουν επικίνδυνα και πολύτιμα υλικά που απαιτούν

ιδιαίτερη διαχείριση και πρακτικές ανακύκλωσης, για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες επιδράσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Τα προϊόντα του ΗΗΕ, σήμερα, παράγονται με πολύ μεγάλο ρυθμό (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Η συνεχής τεχνολογική ανάπτυξη και καινοτομία καθώς και η διεύρυνση της αγοράς λειτουργούν ως καταλύτες για τη διαρκή επιτάχυνση της διαδικασίας αντικατάστασης των ειδών αυτών, ενώ ταυτόχρονα προκαλούν αντίστοιχη αύξηση στις διατιθέμενες ως απόβλητα ποσότητές τους (www.minenv.gr/anakyklosi/v.menu/ahhe/hhe.html). Όταν ολοκληρωθεί ο χρόνος ζωής του, ο ΗΗΕ απορρίπτεται ως απόβλητο. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται όταν ο εξοπλισμός αντικατασταθεί με νέο, σύγχρονης τεχνολογίας.

Ανάλογα με τον ορισμό, ο αριθμός και ο τύπος των ΑΗΗΕ που συμπεριλαμβάνονται σε κάθε κυβερνητική ανάλυση και πρόγραμμα συλλογής διαφέρει ανά τον κόσμο. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, για παράδειγμα, δεν συμπεριλαμβάνουν καμία λευκή συσκευή στους στατιστικούς αριθμούς, ενώ συμπεριλαμβάνονται σε δέκα κατηγορίες στην Ευρωπαϊκή και Ιαπωνική νομοθεσία. Συνεπώς, τα εθνικά σχήματα ΑΗΗΕ δεν είναι εύκολα συγκρίσιμα και η συγκέντρωση αριθμών από όλα τα σχήματα δεν αντανακλά απαραίτητα την ενεργή ποσότητα των παγκοσμίως παραγόμενων ΑΗΗΕ. Επιπλέον, η κατηγοριοποίηση του ΗΗΕ ως "επαναχρησιμοποιήσιμου" χρησιμοποιείται, διεθνώς, ως μέσο υπεκφυγής με σκοπό την παραγωγή πλούτου από αυτόν που, τυπικά, θα έπρεπε να κατηγοριοποιηθεί ως ΑΗΗΕ – μια ξεκάθαρη παραβίαση της Συνθήκης της Βασιλείας η οποία ελέγχει τις διασυνοριακές μεταφορές των επικίνδυνων αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των ΑΗΗΕ και της απόθεσής τους (<http://www.basel.int>). Επιπλέον, μεγάλες ποσότητες ΗΗΕ που έχουν φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους παραμένουν κλεισμένες σε αποθήκες, ντουλάπες ή σοφίτες, χωρίς να μπαίνουν στην αλυσίδα της ανακύκλωσης. Επειδή οι παραπάνω ποσότητες είναι μεγάλες, το ΑΗΗΕ του πλανήτη παραμένει απροσδιόριστο όσο δεν εισέρχεται στις κατάλληλες διαδικασίες ανακύκλωσης ΑΗΗΕ. Έτσι, μια ευρέως αποδεκτή προσέγγιση για την εκτίμηση του εθνικού και παγκόσμιου ΑΗΗΕ βασίζεται στην ποσότητα ΗΗΕ στην αγορά. Ο χρόνος ζωής των διαφόρων κατηγοριών προϊόντων, σε συνδυασμό με κάποιους άλλους υπολογισμούς, βοηθά στον προσδιορισμό της συνολικής παραγωγής ΑΗΗΕ (Oguchi et al., [2004]). Η ποσότητα του ΗΗΕ στην παγκόσμια αγορά είχε ήδη αυξηθεί από 19,5 εκατομμύρια τόνους το 1990, σε

34 εκατομμύρια τόνους το 2000, σε 57,4 εκατομμύρια τόνους το 2010 και σε 76,1 εκατομμύρια τόνους το 2015 (Huisman, [2011]). Κατά συνέπεια, η παγκόσμια ποσότητα ΑΗΗΕ έχει αυξηθεί από 20 εκατομμύρια τόνους το 1998 στα 50 εκατομμύρια τόνους το 2015, ενώ η ενεργός αύξηση το 2011 εκτιμήθηκε σε 41 εκατομμύρια τόνους $\pm 10\%$. Αυτή η ποσότητα είναι αρκετή για να γεμίσει μια γραμμή από φορτηγά η οποία θα εκτείνεται στην μισή περίμετρο της υδρογείου. Το ΑΗΗΕ συνήθως θεωρείται ως ένα πρόβλημα αποβλήτων, το οποίο μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά και υγειονομικά προβλήματα εάν δεν αντιμετωπιστεί με κατάλληλο τρόπο (Schluer et al., [2009]). Όμως, υπάρχουν και πρόσθετες παράμετροι οι οποίες συχνά παραβλέπονται, όπως: τα τεράστια περιβαλλοντικά αποτυπώματα και συνεπώς, η επίδραση της παραγωγής ΗΗΕ, βάσει του κύκλου ζωής που προκύπτει από την παραγωγή, κατανάλωση και απόθεση (Kuehr and Williams, [2003]), οι στρεβλώσεις στις παγκόσμιες αλυσίδες παραγωγής και η μετατροπή τους σε μια κατάλληλη διαδικασία ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής, και η τεράστια κοινωνική σχέση που υπάρχει από την πρόσβαση στον ΗΗΕ, που επιτρέπει στην ανθρωπότητα την πρόσβαση στην πληροφορία και στην τεχνολογία.

Εκτός από τα διάφορα επικίνδυνα υλικά, τα ΑΗΗΕ περιέχουν επίσης πολλά πολύτιμα υλικά. Πάνω από 60 στοιχεία του περιοδικού πίνακα μπορούν να βρεθούν σε μία σύνθετη ηλεκτρονική συσκευή. Εξαιτίας αυτής της σύνθετης σύνθεσης πολύτιμων και επικίνδυνων ουσιών, απαιτούνται ειδικές και υψηλής τεχνολογίας εφαρμογές για την επεξεργασία των ΑΗΗΕ, με σκοπό την μεγιστοποίηση της ανάκτησης και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών και υγειονομικών επιπτώσεων. Δυστυχώς, η χρήση αυτών των μεθόδων είναι σπάνια, με σημαντικές ποσότητες ΑΗΗΕ να ταξιδεύουν τεράστιες αποστάσεις, κυρίως προς τις ασιατικές χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία (Terazono et al., [2006]), όπου απαρχαιωμένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των πολύτιμων υλικών ή την ανακύκλωση τμημάτων για περαιτέρω χρήση. Αυτές οι τοπικές "παρασκηνιακές" τεχνικές δημιουργούν κινδύνους στους ελλιπώς προστατευμένους εργαζομένους (Cobbing, [2008]) και στα τοπικά φυσικά περιβάλλοντα, οι οποίες ευτυχώς έγιναν ορατές στο γενικό κοινό, μέσω πρόσφατων εκστρατειών (Schluer, et al. [2009]), (Basel Action Network, [2007]). Επιπλέον, αυτές οι προσεγγίσεις είναι αρκετά ανεπαρκείς, υπό την έννοια της ανάκτησης, καθώς η ανακύκλωση σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως εστιάζει μόνο σε λιγοστά στοιχεία

όπως ο χρυσός και ο χαλκός (με πολύ χαμηλά ποσοστά ανακύκλωσης), ενώ τα περισσότερα από τα υπόλοιπα μέταλλα απορρίπτονται και αναπόφευκτα χάνονται (Schluer, et al. [2009]). Υπ' αυτήν την έννοια, μπορεί να αποδειχθεί ότι η επάρκεια των πηγών είναι μια άλλη σημαντική διάσταση στο ζήτημα των ΑΗΗΕ σε συνάρτηση με τα οικολογικά, υγειονομικά, οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα.

1.4 Διαχείριση πρωτοβουλιών για τα ΑΗΗΕ

Οι παρακάτω πρωτοβουλίες είναι παγκόσμιου χαρακτήρα και βρίσκονται, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, κάτω από την ομπρέλα των Ηνωμένων Εθνών, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις και ανάλογα με το είδος του εξοπλισμού δεν μπορούν να εφαρμοστούν παντού με τον ίδιο τρόπο.

Οι σημαντικότερες πρωτοβουλίες, παγκοσμίως, συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- Πρωτοβουλία Επίλυσης του Προβλήματος ΑΗΗΕ (StEP) (www.step-initiative.org)
- Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα Ηνωμένων Εθνών (UNEP) (www.unep.org)
- Συνθήκη της Βασιλείας (BC)
- Στρατηγική Προσέγγιση στην Διεθνή Διαχείριση Χημικών (SAICM) (www.saicm.org)
- Διεθνές Περιβαλλοντικό Κέντρο Τεχνολογίας (IETC) (www.unep.or.jp)
- Πρωτοβουλία Παγκόσμιας ηλε-Βιωσιμότητας (GeSI) (www.gesi.org)
- Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) (www.itu.int)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο σημαντικότεροι συνεταιρισμοί οι οποίοι προήλθαν, με βάση τη Συνθήκη της Βασιλείας, είναι:

- η Πρωτοβουλία Συνεταιρισμού Κινητής Τηλεφωνίας (MPPI) (www.basel.int/industry/mppi.html) και
- ο Συνεταιρισμός για Δράση σε Υπολογιστικό Εξοπλισμό (PACE) (www.basel.int/industry/compartnership/)

Όμως, καθώς όλες οι πρωτοβουλίες εξαρτώνται από την συμβολή των εθελοντών, σε πνεύμα και χρήμα και τα επιτυχή αποτελέσματα των διαφόρων

προγραμμάτων, η αποφυγή επικάλυψης αρμοδιοτήτων και η έμφαση σε συνεργιακές προσπάθειες δεν είναι προαπαιτούμενο μόνο για τα συμβαλλόμενα μέλη αλλά και για τους υποστηρικτές. Μια ματιά στις παραπάνω πρωτοβουλίες αποδεικνύει ότι υπάρχουν αρκετές αλληλεπικαλύψεις δραστηριοτήτων. Η πρωτοβουλία StEP, μέσω του Πανεπιστημίου των Ηνωμένων Εθνών, εισήγαγε μια στενή συνεργασία όλων των πρωτοβουλιών της UNEP, της GeSI και της ITU. Αυτό οδήγησε σε ένα Μνημόνιο Κατανόησης μεταξύ των Γραμματειών της StEP και της Συνθήκης της Βασιλείας, μέσω του οποίου επετεύχθη ο συντονισμός των αρμοδιοτήτων τους και επιμερίστηκαν οι αρμοδιότητές τους. Αυτοί οι οργανισμοί έχουν, από κοινού, ξεκινήσει ερευνητικά προγράμματα, σχετικά με την παγκόσμια κατάσταση γύρω από τα ΑΗΗΕ, τη σύσταση υποδείξεων για τα πρότυπα και την πραγματοποίηση εκδηλώσεων. Ένα παρόμοιο Μνημόνιο Κατανόησης έχει υπογραφεί ανάμεσα στις GeSI και StEP. Προς το παρόν, οι κοινές δραστηριότητες ανάμεσά τους επικεντρώνονται στην ακαδημία ΑΗΗΕ, με σκοπό την παροχή μιας πλατφόρμας για την ανταλλαγή των βέλτιστων πρακτικών και του συνεχούς διαλόγου, σε ότι αφορά στα συστήματα διαχείρισης ΑΗΗΕ, ανάμεσα στους διαμορφωτές της πολιτικής και τους εκπροσώπους των μικρομεσαίων επιχειρήσεων. Οι επιχειρήσεις ΑΗΗΕ έχουν καταστεί επικερδείς, αλλά απαιτείται μια στενή παρακολούθηση και διασυννοριακός συντονισμός για την διασφάλιση βιώσιμων λύσεων. Η πρωτοβουλία StEP είναι επαρκώς τοποθετημένη ως προς αυτές τις απαιτήσεις και παρέχει τις κατάλληλες συστάσεις για την διαμόρφωση διεθνούς και εθνικής πολιτικής, αφού λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα του θέματος των ΑΗΗΕ. Η μεγάλη πρόκληση για όλες τις πρωτοβουλίες είναι, προφανώς, η επιτυχής ολοκλήρωση των "παικτών" που θα συμβάλουν σε μια βιώσιμη συνεργασία, υποβοηθούμενη από ψηφιακή συνεργασία, μέσω του διαδικτύου, των τηλεδιασκέψεων, κ.λπ.

1.5 Στόχοι

Το παγκόσμιο πρόβλημα των ΑΗΗΕ αυξάνεται συνεχώς σε αριθμούς και ορατότητα. Υπάρχει, χωρίς αμφιβολία, μια αυξημένη διείσδυση των ηλεκτρικών ή/και των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε όλες τις καινούργιες συσκευές. Τα ευφυή ρούχα όλο και περισσότερο κερδίζουν μερίδιο στην αγορά με τον ίδιο τρόπο που τα ηλεκτρικά οχήματα και τα φωτοβολταϊκά αποκτούν μεγαλύτερη σημασία στον ανεπτυγμένο κόσμο. Βεβαίως, οι υπό ανάπτυξη και οι αναπτυσσόμενες χώρες εξακολουθούν να

έχουν πολύ δρόμο μπροστά τους για να φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο κορεσμού της αγοράς του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, το οποίο ακυρώνεται στις (μετά) βιομηχανικές χώρες από την ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογικών καινοτομιών που αφορούν στις συσκευές. Αλλά, καθώς η βιωσιμότητα και η επάρκεια όλων των προϊόντων εξαρτάται ουσιαστικά από τους περιορισμένους πόρους στον φλοιό της Γης, οι συγκρούσεις για τους πόρους αυτούς θα μπορούσαν επίσης να αυξηθούν. Κατά συνέπεια, για να διατηρηθεί μια ορισμένη αυτονομία, τα κράτη και οι εταιρείες θα πρέπει να αναπτύξουν περαιτέρω τις στρατηγικές για την μεγιστοποίηση της απόδοσης του εξοπλισμού, την περαιτέρω βελτίωση της ανάκτησης κατασκευαστικών στοιχείων και υλικών, αλλά και την εναρμόνιση της δράσης πέρα από τις συνοριακές γραμμές, καθώς τα σχετικά προβλήματα θα επιλυθούν μόνο σε διακρατικό επίπεδο μέσω συντονισμένης δράσης.

Υπό το πρίσμα αυτό, όλο και περισσότερα κράτη σε όλο τον κόσμο αρχίζουν να αναπτύσσουν τις αντίστοιχες πολιτικές διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων και την αντίστοιχη νομοθεσία τους. Επιπλέον, θα απαιτηθεί κάποια προσαρμογή των υπάρχοντων συστημάτων, κινούμενη μακριά από τη γραμμική και προς την ολιστική σκέψη, γιατί αυτό ήταν και είναι η κινητήρια δύναμη της καινοτομίας.

Η απούλοποίηση και ως εκ τούτου η αγορά παροχής υπηρεσιών επιδιόρθωσης ΗΗΕ, αντί της αγοράς προϊόντος, θεωρείται ως μία πιθανή μελλοντική εξέλιξη. Με τον τρόπο αυτόν, οι βρόχοι ΗΗΕ θα είναι κλειστοί, αποφεύγοντας την διαρροή, μέσω χαμηλών ποσοστών επιστροφής, η παράνομη μεταφορά ηλεκτρονικών αποβλήτων θα μειωθεί ουσιαστικά, θα αναπτυχθεί περαιτέρω ένα σχέδιο που θα υποστηρίζει την ανακαίνιση και την τελική ανακύκλωση των υλικών και το ψηφιακό χάσμα θα κλείσει περαιτέρω, μέσω της προσφοράς υπηρεσιών επισκευής, σε ειδική τιμή, γι' αυτούς που έχουν ανάγκη. Επιπλέον, ένας έξυπνος διαχωρισμός της εργασίας στην αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού και ειδικότερα στα διάφορα στάδια της ανακύκλωσης, θα μπορούσαν, επίσης, να επιτρέψουν στις αναπτυσσόμενες χώρες να συμβάλουν επιτυχώς στην κατάλληλη αντιμετώπιση των εγχωρίων παραγόμενων ΑΗΗΕ. Αυτή η προσέγγιση, που εισήχθη από την πρωτοβουλία StEP σαν «το καλύτερο των δύο κόσμων», συνήθως θα μπορούσε να είναι μια πιθανή πορεία προς τα εμπρός.

Η αύξηση της ευαισθητοποίησης και, ως εκ τούτου, οι πολιτιστικές και κοινωνικές συμπεριφορές πρέπει να εστιάζουν στις δραστηριότητες που σχετίζονται με τα ΑΗΗΕ, γιατί, εάν δε ληφθούν όλες τις τεχνικές και τεχνολογικές λύσεις, δε θα επιτευχθεί η απαραίτητη αποδοχή και υποστήριξη από τους καταναλωτές. Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί στις πτυχές της ανακύκλωσης, παραμελώντας θέματα όπως η επαναχρησιμοποίηση και ο σχεδιασμός και τα κίνητρα πίσω από τα χαμηλά ποσοστά επιστροφής των καταναλωτών, ακόμη και σε χώρες με καταλλήλως ανεπτυγμένα συστήματα διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων.

1.6 Κοινοτική και εθνική νομοθεσία για τα ΑΗΗΕ

Το μεγαλύτερο μέρος της νομοθεσίας που καλύπτει τον έλεγχο και την διαχείριση των αποβλήτων, όχι μόνον των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, πηγάζει από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Έπειτα, η νομοθεσία και οι πολιτικές εφαρμόζονται μέσω εθνικής νομοθεσίας που εναρμονίζεται με την ευρωπαϊκή. Οι διαδικασίες και λειτουργίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι πολύπλοκες και για αυτούς τους λόγους, αυτή η ενότητα προσπαθεί να περιγράψει το πώς σχηματίζονται η νομοθεσία και οι πολιτικές και να εστιάσει στις σχετικές Οδηγίες και στους Κανονισμούς περί αποβλήτων.

1.6.1 Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο

Στον πυρήνα της ΕΕ βρίσκονται οι ιδρυτικές συνθήκες που είναι μια σειρά από διεθνείς συμφωνίες μεταξύ της ΕΕ και των κρατών μελών της. Οι Συνθήκες καθορίζουν τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το καταστατικό της, καθώς επίσης εγκαθιδρύουν τέσσερα θεσμικά όργανα (την Επιτροπή, το Συμβούλιο των Υπουργών, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Δικαστήριο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων) για να επιβλέπουν τις διάφορες λειτουργίες μέσω των συμπεφωνημένων όρων αναφοράς. Σύμφωνα με τις Συνθήκες, τα θεσμικά όργανα της ΕΕ μπορούν να θεσπίσουν νομοθεσία η οποία, στη συνέχεια, εφαρμόζεται από τα Κράτη Μέλη.

Η Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα 75/442 ΕΕC έχει τροποποιηθεί αρκετές φορές από τότε που εισήχθη (1975) και μετά από μακρές διαβουλεύσεις, στο πλαίσιο των θεματικών στρατηγικών που υιοθετήθηκαν στο 6ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον (ΕΑΡ6), ξεκίνησε η αναθεώρησή της και υπεβλήθη μία πρόταση από την

Επιτροπή το 2005. Μετά τη δημόσια διαβούλευση, η πρόταση εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ως Οδηγία, τον Οκτώβριο του 2008 και τα Κράτη Μέλη είχαν χρονικό περιθώριο μέχρι το 2010 για τη μεταφορά της στο εσωτερικό τους δίκαιο. Σκοπός της νέας Οδηγίας ήταν να καταργήσει την τότε ισχύουσα Οδηγία για τα απόβλητα, όπως επίσης και τις Οδηγίες για τα επικίνδυνα απόβλητα (Οδηγία 91/689 EEC) και για τα απόβλητα έλαια (Οδηγία 75/439 EEC), απλοποιώντας έτσι την νομοθεσία. Ένα σημαντικό πρόβλημα με την αρχική Οδηγία ήταν η έλλειψη σαφήνειας στους ορισμούς που χρησιμοποιούνται, όπως για παράδειγμα στον λεπτομερή ορισμό του όρου «απόβλητα».

Με στόχο την μείωση των ποικίλων πρακτικών μεταξύ των κρατών μελών, λόγω των διαφορετικών ερμηνειών, η Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα (2008/98/EC) ορίζει ως:

Απόβλητα: κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει.

Διαχείριση αποβλήτων: η συλλογή, μεταφορά, ανάκτηση και διάθεση των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας των εργασιών αυτών και της φροντίδας των χώρων απόρριψης και των ενεργειών στις οποίες προβαίνουν οι έμποροι ή οι μεσίτες.

Πρόληψη: μέτρα που λαμβάνονται πριν μία ουσία, υλικό ή προϊόν καταστεί απόβλητο.

Ανάκτηση: κάθε πράξη το κύριο αποτέλεσμα της οποίας είναι το απόβλητο να υπηρετήσει ένα χρήσιμο σκοπό.

Ανακύκλωση: κάθε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μετατρέπονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες που προορίζονται είτε για τον αρχικό ή για άλλους σκοπούς.

Ανάλογα με το είδος τους, τα απόβλητα ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες κάθε μία από τις οποίες διέπεται από κανόνες οι οποίοι ρυθμίζονται από συγκεκριμένες Οδηγίες. Μία σύνοψη των Οδηγιών ανά κατηγορία αποβλήτων παρουσιάζεται στην συνέχεια:

- **Στερεά Απόβλητα**

- Οδηγία 75/442/EEC της 15ης Ιουλίου 1975 για τα απόβλητα, η οποία απαιτεί τα Κράτη Μέλη να κάνουν όλες τις απαραίτητες ενέργειες για τον περιορισμό της παραγωγής αποβλήτων, την ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης και την διασφάλιση της ασφαλούς απόθεσης. Η παραπάνω Οδηγία τροποποιήθηκε με τις ακόλουθες:

- Οδηγία 91/156/EEC της 18ης Μαρτίου 1991

- Οδηγία 91/692/EEC της 23ης Δεκεμβρίου 1991

- Απόφαση Επιτροπής 96/350/EC της 24 Μαΐου 1996

- Οδηγία 96/59/EC της 16ης Σεπτεμβρίου 1996

- Απόφαση Επιτροπής 94/3/EC της 20ης Δεκεμβρίου 1993 για τη θέσπιση καταλόγου αποβλήτων σύμφωνα με το άρθρο 1α) της Οδηγίας 75/442/EEC του Συμβουλίου περί των στερεών αποβλήτων

- Οδηγία 99/31/EC της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων για την κατά το δυνατόν πρόληψη ή μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, εισάγοντας αυστηρότερες λειτουργικές και τεχνικές απαιτήσεις για τα απόβλητα και τους χώρους υγειονομικής ταφής

- **Τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα**

- Οδηγία 78/319 της 20ης Μαρτίου 1978 σχετικά με Τοξικά & Επικίνδυνα Απόβλητα

- Οδηγία 91/689/EEC της 12ης Δεκεμβρίου 1991 που τροποποιήθηκε από την Οδηγία της Επιτροπής 94/31/EC της 27ης Ιουλίου 1994 περί της διαχείρισης, ανάκτησης και ορθής απόθεσης των επικίνδυνων αποβλήτων

- Απόφαση 94/904/EC της 22ας Δεκεμβρίου 1994

- Απόφαση 96/350/EC της 24ης Μαΐου 1996

- **Διασυνοριακή μεταφορά αποβλήτων**

- Οδηγία 78/319 της 20ης Μαρτίου 1978 σχετικά με Τοξικά & Επικίνδυνα Απόβλητα

➤ Κανονισμός EEC/259/93 της 1ης Φεβρουαρίου 1993 σχετικά με την παρακολούθηση και τον έλεγχο των μεταφορών αποβλήτων στο εσωτερικό της Κοινότητας καθώς και κατά την είσοδο και έξοδο τους (θέτει αυστηρές προϋποθέσεις για τον έλεγχο των μεταφορών αποβλήτων, λαμβάνοντας υπόψη την αυτάρκεια και εγγύτητα για την απόθεση των αποβλήτων)

- **Πολυχλωροδιφαινύλια (PCBs) και Πολυχλωροτριφαινύλια (PCTs)**

➤ Οδηγία 76/403 της 6ης Απριλίου 1976 περί της απόθεσης PCBs/PCTs

➤ Οδηγία 76/769/EEC

➤ Οδηγία 85/467/EEC

➤ Οδηγία 87/101/EEC

➤ Οδηγία 96/59/EC της 16ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετική με την απόθεση των PCBs/PCTs με σκοπό να προσεγγίσει τους νόμους των Κρατών Μελών περί της ελεγχόμενης απόθεσης PCBs, της απολύμανσης η απόθεσης εξοπλισμού που περιέχει PCBs και/ή την απόθεση των χρησιμοποιημένων PCBs με σκοπό την πλήρη εξουδετέρωσή τους

➤ Απόφαση Επιτροπής 2001/68/EC της 16ης Ιανουαρίου 2001 που θεσπίζει δύο μεθόδους μέτρησης αναφοράς για τα PCBs

- **Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια**

➤ Οδηγία 75/439/EEC της 16ης Ιουνίου 1975 περί διαθέσεως χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων, η οποία προωθεί την ασφαλή συλλογή και διάθεση των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων. Τροποποιήθηκε με τις:

➤ Οδηγία 87/101/EEC της 22ας Δεκεμβρίου 1986

➤ Οδηγία 91/692/EEC της 23ης Δεκεμβρίου 1991

- **Ηλεκτρικές στήλες και Συσσωρευτές**

➤ Οδηγία 91/157/EEC της 18ης Μαρτίου 1991 για τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες για την αξιοποίηση και ελεγχόμενη διάθεση των χρησιμοποιούμενων ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες στην Κοινότητα

- Οδηγία Επιτροπής 93/86/EEC της 4ης Οκτωβρίου 1993
- Οδηγία Επιτροπής 98/101/EC της 22ας Δεκεμβρίου 1998
- **Αμίαντος**
- Οδηγία 87/217/EEC σχετική με την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο
- **Συσκευασίες και απορρίμματα συσκευασίας**
- Οδηγία 85/339/EEC για τις συσκευασίες υγρών τροφίμων. Αντικαταστάθηκε από την:
 - Οδηγία 94/62/EC της 20ης Δεκεμβρίου 1994 για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας που προσπαθεί να εναρμονίσει τα διάφορα εθνικά μέτρα για τη διαχείριση των συσκευασιών και των απορριμμάτων συσκευασίας προκειμένου, αφ' ενός, να επιτευχθούν υψηλά επίπεδα προστασίας του περιβάλλοντος και, αφ' ετέρου, να διασφαλιστεί η λειτουργία της εσωτερικής αγοράς
 - Οδηγία Επιτροπής 2001/171/EC της 19ης Φεβρουαρίου 2001
- **Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης**
- Οδηγία 96/61/EC 24ης Μαρτίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης
- **Αποτέφρωση αποβλήτων**
- Οδηγία 89/369/EEC της 8ης Ιουνίου 1989 σχετικά με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από τις νέες και υπάρχουσες εγκαταστάσεις καύσης αστικών απορριμμάτων
- Οδηγία 2000/76/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Δεκεμβρίου 2000 σχετικά με την πρόληψη ή τον περιορισμό, όσο είναι εφικτός, των αρνητικών επιδράσεων της αποτέφρωσης και της συναποτέφρωσης αποβλήτων στο περιβάλλον, ειδικότερα δε, της ρύπανσης δια των εκπομπών στον ατμοσφαιρικό αέρα, το έδαφος και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, καθώς και των συνακόλουθων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου

- **Αποτέφρωση επικίνδυνων αποβλήτων**

- Οδηγία 94/67/EEC της 16ης Δεκεμβρίου 1994 περί αποτέφρωσης των επικίνδυνων αποβλήτων με σκοπό την πρόληψη ή τον περιορισμό των αρνητικών επιδράσεων της αποτέφρωσης αποβλήτων στο περιβάλλον και των συνακόλουθων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου

- **Διαχείριση γεωργικής ιλύος**

- Οδηγία 86/278/EEC της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία

- **Προστασία ύδατος από νιτρο-ενώσεις**

- Οδηγία 91/676/EEC που αφορά στην προστασία υπόγειων και επιφανειακών νερών από νίτρο-ενώσεις που χρησιμοποιούνται στην γεωργία.

1.6.1.1 Οδηγία 2002/96/EC σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)

Η Οδηγία περί αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού βασίζεται στο Άρθρο 175 της ιδρυτικής συμφωνίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αμστερνταμ, 1997). Τα Κράτη Μέλη υποχρεώθηκαν, με κάποιο βαθμό ελαστικότητας, να την εφαρμόσουν σταδιακά, σύμφωνα με κάποια ελάχιστα στάνταρ που καθορίστηκαν από την επιθυμία εφαρμογής και την ύπαρξη τεχνογνωσίας σε κάθε Κράτος Μέλος. Στην πράξη αυτό σήμαινε μια μεγάλη ποικιλία πρακτικών και χρονοδιαγραμμάτων εφαρμογής για όλα τα Κράτη Μέλη. Παρά τον μεγάλο αριθμό των Κρατών Μελών που υποχρεούνταν να εφαρμόσουν την Οδηγία τον Αύγουστο του 2004, μόνον η Ελλάδα και η Ολλανδία ήταν σε θέση να το κάνουν. Πήρε αρκετό χρόνο μέχρι το 2008 που όλα τα Κράτη Μέλη άρχισαν να την εφαρμόζουν, με τελευταία την Ιταλία.

Η Οδηγία συμπεριλαμβάνει όλα τα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται από τους καταναλωτές, καθώς και τα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που προορίζονται για επαγγελματική χρήση και εφαρμόζεται, με την επιφύλαξη της κοινοτικής νομοθεσίας, σχετικά με τις απαιτήσεις ασφάλειας και υγείας που προστατεύει όλους τους συντελεστές οι οποίοι έρχονται σε επαφή με τα ΑΗΗΕ. Επίσης, καθιερώνει την ευθύνη του παραγωγού ως

μέσου ενθάρρυνσης του σχεδιασμού και της παραγωγής ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που λαμβάνουν πλήρως υπόψη και διευκολύνουν την επισκευή, την πιθανή αναβάθμιση, την επαναχρησιμοποίηση, την αποσυναρμολόγηση και την ανακύκλωσή τους. Παράλληλα, επιβάλλει την εξειδικευμένη επεξεργασία των ΑΗΗΕ προκειμένου να αποφευχθεί η διάχυση ρύπων στα ανακυκλωμένα υλικά ή στα ρεύματα αποβλήτων και δίδει προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση ΑΗΗΕ, καθώς και των κατασκευαστικών τους στοιχείων, των συναρμολογημένων μερών τους και των αναλωσίμων. Οι κατηγορίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που καλύπτονται από την Οδηγία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1. Κατηγορίες ΑΗΗΕ σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2002/96/ΕC

A/A	Κατηγορία	Συντομογραφία
1	Μεγάλες οικιακές συσκευές	Μεγάλες ΟΣ
2	οικιακές συσκευές	Μικρές ΟΣ
3	Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών	ΕΠΤ
4	Καταναλωτικά είδη	ΚΕ
5	Φωτιστικά είδη	Φωτισμός
6	Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία (εξαιρουμένων των μεγάλης κλίμακας σταθερών βιομηχανικών εργαλείων)	Εργαλεία Η&Η
7	Παιχνίδια και εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού	Παιχνίδια
8	Ιατροτεχνολογικά προϊόντα (εξαιρουμένων των εμφυτεύσιμων και μολυσμένων)	Ιατροτεχνολογικά προϊόντα
9	Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	Π&Ε
10	Συσκευές αυτόματης διανομής	Διανομείς

Το τελευταίο διάστημα γίνονται ζυμώσεις για αναδιατύπωση ορισμένων άρθρων της Οδηγίας. Όπως φαίνεται από τις εκθέσεις που λαμβάνονται από την Επιτροπή, η πρόταση αναδιατύπωσης οφείλεται σε τεχνικά, νομικά και διοικητικά προβλήματα που οδηγούν, ακούσια, σε δαπανηρές προσπάθειες των παραγόντων της αγοράς και των διαχειριστών, σε διαρκή επιβάρυνση του περιβάλλοντος, σε χαμηλό βαθμό καινοτομίας όσον αφορά στη συλλογή των αποβλήτων και στην αποκατάσταση, σε έλλειψη ίσων όρων ανταγωνισμού ή ακόμη και στρέβλωσή του, αλλά και σε περιττό διοικητικό φόρτο. Πιο συγκεκριμένα, η πρόταση αναδιατύπωσης αναφέρει μια σειρά από συγκεκριμένα θέματα τα οποία τέθηκαν επίσης στις εκθέσεις των συμβούλων:

- Η έλλειψη σαφήνειας, σχετικά με τα διάφορα προϊόντα και τις συναφείς κατηγορίες τους όπως προσδιορίζονται από την Οδηγία η οποία έχει προκαλέσει διαφορετικές ερμηνείες και ως εκ τούτου πρακτικές, όχι μόνο μεταξύ των κρατών μελών, αλλά και ευρύτερα μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων μερών.
- Παρά το γεγονός ότι το 65% του ΗΗΕ που διατίθεται στην αγορά συλλέγεται χωριστά, στην πραγματικότητα, μόνο περίπου το μισό απ' αυτό αντιμετωπίζεται και χαρακτηρίζεται σύμφωνα με την Οδηγία. Αυτό σημαίνει ότι τα ελλείποντα ΑΗΗΕ αντιμετωπίζονται δυνητικά κάτω από τις ελάχιστες προβλεπόμενες απαιτήσεις ή αλλιώς εξάγονται παράνομα εκτός της ΕΕ. Είναι σαφές ότι οι κίνδυνοι που πηγάζουν απ' αυτό είναι η απελευθέρωση τοξικών ουσιών και η απώλεια των ίδιων των υλικών και πόρων. Η Επιτροπή επισημαίνει επίσης, ότι ο στόχος της συλλογής 4 kg από τα νοικοκυριά μπορεί να είναι ακατάλληλη, δεδομένου ότι για ορισμένα Κράτη Μέλη είναι πολύ χαμηλή και για άλλα είναι δύσκολο να επιτευχθεί.
- Η ισχύουσα Οδηγία δεν έχει θέσει στόχους για την επαναχρησιμοποίηση ολόκληρων συσκευών.
- Τα χαμηλά ποσοστά εκτέλεσης μπορούν να αποδοθούν στην έλλειψη πιστής εφαρμογής της καθοδήγησης και των απαιτήσεων που ορίζονται στην Οδηγία.
- Οι διαφορετικές απαιτήσεις για τα συστήματα καταχώρισης των παραγωγών μεταξύ των Κρατών Μελών έχει δημιουργήσει, σε «οικονομικούς φορείς» που πρέπει να συμμορφωθούν με τις απαιτήσεις, έως και 29 διαφορετικά συστήματα σε όλη την Ευρώπη. Αναμφίβολα, αυτό έχει οδηγήσει σε μία επαχθή διοικητική επιβάρυνση και κόστος.

Η Επιτροπή είχε εξαρχής την πρόθεση να αναθεωρήσει την Οδηγία και τα ποσοστά συλλογής το 2008 και, με την Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα, είχε ήδη δεσμευτεί για τη βελτίωση της ρύθμισης.

1.6.1.2 Σχετικές Οδηγίες και Αποφάσεις του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου περί ΑΗΗΕ

Σχετικές Οδηγίες Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου:

- Οδηγία 2002/96/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Ιανουαρίου 2003 «σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)».
- Οδηγία 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Ιανουαρίου 2003 «σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού».
- Οδηγία 2004/108/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 8ης Δεκεμβρίου 2003 «για την τροποποίηση της Οδηγίας 2002/96 σχετικά με τα ΑΗΗΕ».

Αποφάσεις Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου:

- Απόφαση 2004/249/ΕΚ της 11ης Μαρτίου του 2004 «σχετικά με ερωτηματολόγιο προς τα Κράτη Μέλη αναφορικά με την εκπλήρωση της Οδηγίας 2002/96/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τα ΑΗΗΕ».
- Απόφαση 2005/369/ΕΚ της 3ης Μαΐου του 2005 «σχετικά με τη θέσπιση κανόνων για την παρακολούθηση της συμμόρφωσης των κρατών μελών και καθιέρωση φόρμας καταγραφής δεδομένων για τους σκοπούς της Οδηγίας 2002/96/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τα ΑΗΗΕ».
- Απόφαση 2005/618/ΕΚ της 18ης Αυγούστου του 2005 «σχετικά με την τροποποίηση της Οδηγίας 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τον καθορισμό μέγιστων συγκεντρώσεων για συγκεκριμένες επικίνδυνες ουσίες σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό».

- Απόφαση 2005/717/EC της 13ης Οκτωβρίου «σχετικά με την τροποποίηση της προσαρμογής των στόχων της τεχνικής διαδικασίας, Παράρτημα της Οδηγίας 2002/95/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για περιορισμό χρήσης συγκεκριμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό».
- Απόφαση 2005/747/EC της 21ης Οκτωβρίου «σχετικά με την τροποποίηση της προσαρμογής των στόχων της τεχνικής διαδικασίας, Παράρτημα της Οδηγίας 2002/95/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για περιορισμό χρήσης συγκεκριμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό».
- Απόφαση 2006/310/EC της 21ης Απριλίου «σχετικά με την τροποποίηση της προσαρμογής των στόχων της τεχνικής διαδικασίας, Παράρτημα της Οδηγίας 2002/95/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά εξαιρέσεις στη χρήση μολύβδου».
- Απόφαση 2006/690/EC της 12ης Οκτωβρίου «σχετικά με την τροποποίηση της προσαρμογής των στόχων της τεχνικής διαδικασίας, Παράρτημα της Οδηγίας 2002/95/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά εξαιρέσεις χρήσης μολύβδου».
- Απόφαση 2006/691/EC της 12ης Οκτωβρίου «σχετικά με την τροποποίηση της προσαρμογής των στόχων της τεχνικής διαδικασίας, Παράρτημα της Οδηγίας 2002/95/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά εξαιρέσεις στη χρήση μολύβδου και καδμίου».
- Απόφαση 2006/692/EC της 12ης Οκτωβρίου «σχετικά με την τροποποίηση της προσαρμογής των στόχων της τεχνικής διαδικασίας, Παράρτημα της Οδηγίας 2002/95/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά εξαιρέσεις στη χρήση εξασθενούς χρωμίου».

1.6.1.3 Οδηγία 2002/95/EC σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (RoHS)

Από την εισαγωγή της, η Οδηγία RoHS έχει τροποποιηθεί πολλές φορές πριν η Επιτροπή υποβάλει την πρότασή της για αναδιατύπωση τον Δεκέμβριο του 2008 (COM 2008/809/EC). Το 2005, το Άρθρο 5 της Οδηγίας τροποποιήθηκε, όταν η Επιτροπή συνέστησε μέγιστες τιμές συγκέντρωσης των έξι χημικών ουσιών που αναφέρονταν, βάσει του γεγονότος ότι δεν ήταν πρακτικά δυνατόν να τις εξαλείψει συνολικά (COM 2005/618/EC). Οι μέγιστες συγκεντρώσεις τέθηκαν στο 0,1% για το μόλυβδο, τον υδράργυρο, το εξασθενές χρώμιο, τα PBB και PDBE, κατά βάρος ομοιογενούς υλικού και 0,01% κατά βάρος του ομοιογενούς υλικού για το κάδμιο. Ο κατάλογος του απαλλασσόμενου εξοπλισμού που δίνεται στο παράρτημα της αρχικής Οδηγίας έχει αυξηθεί σημαντικά, από 10 σε 39, στην αναθεωρημένη έκδοση της Οδηγίας το 2010 (COM 2010/571/EC). Ο κατάλογος διευρύνθηκε σε μεγάλο βαθμό, ως αποτέλεσμα της έλλειψης τεχνικής προόδου στα πρώτα στάδια, αλλά οι τροποποιήσεις του 2010 αντανακλούσαν και στην αλλαγή της τεχνολογίας και της επιστημονικής προόδου. Η Επιτροπή έθεσε επίσης, τις ημερομηνίες λήξης για τις εξαιρέσεις όπου πιστεύεται ότι η τεχνολογία και η επιστήμη ήταν κοντά στο να παρέχουν μια εναλλακτική λύση.

Οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης των χημικών ουσιών που επιτρέπονταν ήταν επίσης υπό εξέταση. Όπως και η Οδηγία για τα ΑΗΗΕ, η αρχική υλοποίηση της Οδηγίας RoHS ήταν ευμετάβλητη σε ολόκληρη την Ευρώπη και ένας από τους λόγους ήταν οι διαφορετικές ερμηνείες του «ομοιογενούς υλικού», που εισήχθη στην τροποποίηση των Κανονισμών το 2005 (COM 2005/618/EC). Η Οδηγία, επίσης, δεν παρέθετε κάποιες συμβουλές ή οδηγίες που διέπουν την συμμόρφωση και τις ευθύνες των παραγωγών, οπότε υπήρχε μεγάλη σύγχυση σχετικά με την απόδειξη της συμμόρφωσης του προϊόντος στην πράξη. Όπως και με τα ΑΗΗΕ, τα ποσοστά εκτέλεσης ήταν πολύ χαμηλά.

Σύμφωνα με το άρθρο 6 της αρχικής Οδηγίας, η Επιτροπή δεσμεύτηκε να επανεξετάσει την Οδηγία και ειδικότερα, αν έπρεπε ή δεν έπρεπε να συμπεριλαμβάνεται ο εξοπλισμός που καταγράφεται στις κατηγορίες 8 και 9 του παραρτήματος I της Οδηγίας για τα ΑΗΗΕ. Στη συνέχεια, η Επιτροπή υπέβαλε πρόταση

για την αναδιατύπωση της Οδηγίας RoHS, κατά την ίδια χρονική στιγμή με την Οδηγία WEEE (COM 2008/809/EC), για να προωθήσει μια εναρμονισμένη και συνεκτική νομοθεσία. Πηγαίνοντας ένα βήμα παραπέρα, η αναδιατύπωση θα καθιστούσε την RoHS σύμφωνη με τη νομοθεσία για την Καταχώριση, την Αξιολόγηση, την Αδειοδότηση και τους Περιορισμούς των χημικών προϊόντων (REACH) (Regulation 1907/2006EC).

1.6.1.4 Κανονισμός 1907/2006 για την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς χημικών προϊόντων (REACH)

Ο Κανονισμός REACH είναι μια μακρά και πολύπλοκη νομοθεσία της ΕΕ (Regulation 1907/2006EC), η οποία αποσκοπεί στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, ενώ, επίσης, ενισχύει τον ανταγωνισμό εντός της χημικής βιομηχανίας. Δημοσιεύθηκε το 2006, παράλληλα με τις τροποποιήσεις για την αδελφή νομοθεσία της, την Οδηγία περί Επικίνδυνων Ουσιών (Οδηγία 67/548/EEC). Ο Κανονισμός αποτελείται από 141 άρθρα και 17 παραρτήματα που εκτείνονται σε 849 σελίδες. Ο Κανονισμός REACH επέφερε τακτοποίηση της χημικής βιομηχανίας και, κατ' επέκταση, της βιομηχανίας ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ελέγχεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (ECHA), ώστε να διασφαλίζεται η συνοχή σε ολόκληρη την ΕΕ.

Πριν από τον REACH, οι κίνδυνοι που συνδέονταν με τις χημικές ουσίες χαρακτηρίζονταν σύμφωνα με έναν αριθμό διαφορετικών Οδηγιών και Κανονισμών που καταργούντο και αντικαθίσταντο συνεχώς, με το σύστημα REACH να προσπαθεί να εναρμονίσει τις ακολουθούμενες πρακτικές σε όλη την ΕΕ (Άρθρο 139 του REACH). Σύμφωνα με τους προηγούμενους Κανονισμούς, όπως ο Κανονισμός EEC 793/93, τα χημικά προϊόντα χαρακτηρίζονταν είτε ως «υφιστάμενα» ή «νέα» χημικά προϊόντα ανάλογα με το πότε εμφανίστηκαν στην αγορά της ΕΕ, δηλαδή, μεταξύ του 1971 και του 1981 ή και αργότερα. Όλες οι υπάρχουσες χημικές ουσίες έπρεπε να καταγράφονται στον ευρωπαϊκό κατάλογο των υφισταμένων Χημικών Ουσιών (EINECS), αλλά δεν απαιτούνταν ο έλεγχος τους πριν από τη διάθεσή τους στην αγορά. Οι νέες ουσίες ωστόσο, απαιτείτο να ελεγχθούν πριν τη διάθεσή τους στην αγορά. Οι προηγούμενες πρακτικές είχαν πολλά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένων των

διαφόρων εκθέσεων και των μηχανισμών ελέγχου μεταξύ των υφιστάμενων και των νέων χημικών ουσιών, καθιστώντας πολύ δύσκολο να επιτευχθεί συνεκτική και ολοκληρωμένη πληροφόρηση, σχετικά με τους κινδύνους και τις χρήσεις των χημικών ουσιών. Επιπλέον, η ευθύνη για την εφαρμογή των Κανονισμών μεταξύ των δημόσιων αρχών, των κατασκευαστών, των εισαγωγέων κ.λπ. ήταν ασαφής.

1.6.2 Εθνικό νομοθετικό πλαίσιο

Το νομικό πλαίσιο που χαρακτηρίζει την κατεύθυνση της διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα, είναι πλήρως εναρμονισμένο με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες (Gkaidatzis et al., [2009]). Όλες οι Κοινοτικές Οδηγίες έχουν μετατραπεί σε Ελληνικούς νόμους, με πιο πρόσφατη περίπτωση την μετατροπή της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Απόβλητα (2008/98/EC) στον Νόμο 4042/2012 του 2012 (<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=437&language=el-GR>).

Ο κύριος οδηγός πίσω από την διαχείριση αποβλήτων στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία, ήταν η Κοινή Υπουργική Απόφαση 50910/2727/2003 "Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων – Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης", με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων να επισυνάπτεται σε αυτή.

Υπάρχουν ακόμη όμως, πολλές Οδηγίες (ή συγκεκριμένα άρθρα αυτών) που η Ελλάδα κατηγορείται ότι τα παραβιάζει.

Ένας κατάλογος των νομοθετημάτων που έχουν κατά καιρούς ψηφισθεί στην Ελλάδα, βάσει των αντιστοιχών Ευρωπαϊκών Οδηγιών, παρουσιάζεται παρακάτω:

- **Στερεά Απόβλητα**

- Κοινή Υπουργική Απόφαση 9541/1427/86 για τα στερεά απόβλητα (έχει ήδη αντικατασταθεί)
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 69728/824/96 που καθορίζει ένα σύστημα για την συντονισμένη διαχείριση των αποβλήτων μέσα στην κοινότητα με σκοπό τον περιορισμό της παραγωγής αποβλήτων
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/97 της 17ης Νοεμβρίου 1997 σχετικής με την κατάρτιση ενός πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης αποβλήτων

- Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/97 της 17ης Νοεμβρίου 1997 που αφορά το Εθνικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 14312/1302/00 της 9ης Ιουνίου 2001 σχετικά με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων
- **Τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα**
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 72751/3054/85 περί τοξικών & επικίνδυνων αποβλήτων και την απόθεση των PCBs και PCTs
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 19396/1546 της 18ης Ιουλίου 1997 που καθορίζει τα μέτρα και τις προϋποθέσεις για την διαχείριση των επικινδύνων αποβλήτων
- **Διασυνοριακή μεταφορά αποβλήτων**
 - Η Οδηγία 78/319 σχετικά με Τοξικά & Επικίνδυνα Απόβλητα και ο Κανονισμός EEC/259/93 της 1ης Φεβρουαρίου 1993 σχετικά με την παρακολούθηση και τον έλεγχο των μεταφορών αποβλήτων στο εσωτερικό της Κοινότητας καθώς και κατά την είσοδο και έξοδό τους, εφαρμόστηκαν άμεσα στην Εθνική Νομοθεσία
- **Πολυχλωροδифαινύλια (PCBs) και Πολυχλωροτριφαινύλια (PCTs)**
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 72751/3054/85 περί Τοξικών & Επικίνδυνων αποβλήτων κα απόθεσης των PCBs/PCTs
 - Απόφαση 1310/86
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 7589/731/00
- **Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια**
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 71560/3053/85 περί της διάθεσης των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 98012/2001/96 που καθορίζει μέτρα και όρους για τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων
- **Ηλεκτρικές στήλες και Συσσωρευτές**
 - Κοινή Υπουργική Απόφαση 73537/1438/95 που αφορά ηλεκτρικές στήλες και συσσωρευτές που περιέχουν συγκεκριμένες επικίνδυνες ουσίες

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 19187/1702/00 σχετικά με ένα σχέδιο δράσης για την διαχείριση ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών

- **Αμίαντος**

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 8243/1113/91

- **Συσκευασίες και απορρίμματα συσκευασίας**

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 31784/954/1990 που καθορίζει τους διάφορους τύπους συσκευασίας υγρών τροφίμων

➤ Η Οδηγία 94/62/EC που τροποποιήθηκε με την 2004/12/EC για τις συσκευασίες και τα απορρίμματά τους, έχει ενταχθεί στην ελληνική νομοθεσία, σε Υπουργικές Αποφάσεις και Προεδρικά Διατάγματα

- **Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης**

➤ Η Οδηγία 96/61/EC σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης, εφαρμόστηκε στην Εθνική Νομοθεσία

- **Αποτέφρωση αποβλήτων**

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 82805/2224/1993 η οποία καθορίζει μέτρα και όρους για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από εγκαταστάσεις καύσης αστικών αποβλήτων

- **Αποτέφρωση επικίνδυνων αποβλήτων**

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 2487/455/99 που θέτει τα μέτρα και τους όρους για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των επικίνδυνων αποβλήτων

- **Διαχείριση γεωργικής ιλύος**

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 80568/4225 της 22ας Μαρτίου 1991 περί μεθόδων, όρων και περιορισμών για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων

- **Προστασία ύδατος από νιτρο-ενώσεις**

➤ Κοινή Υπουργική Απόφαση 16190/1335/97 της 25ης Ιουνίου 1997

Σήμερα, σε εφαρμογή της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η διαχείριση ΑΗΗΕ στην Ελλάδα διέπεται από τις ακόλουθες νομοθετικές διατάξεις:

- Υ.Α. οικ. 133480/2011 (ΦΕΚ 2711/Β'/15.11.2011) Τροποποίηση του παραρτήματος ΙΒ του Π.Δ. 117/2004
- Π.Δ. 15/2006 (ΦΕΚ 12/Α'/3.2.2006) Τροποποίηση του Προεδρικού Διατάγματος 117/04 (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 8ης Δεκεμβρίου 2003.
- Υ.Α. Οικ. 105134/2004 (ΦΕΚ 905/Β'/17.6.2004) Έγκριση του Συλλογικού Συστήματος Εναλλακτικής Διαχείρισης Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ» .
- Π.Δ. 117/2004 (ΦΕΚ 82/Α'/5.3.2004) Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών 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».

Καταλήγοντας, νομικά κενά σε σχέση με την διαχείριση των αποβλήτων δεν υφίστανται στην Ελλάδα σήμερα. Οι κύριες αδυναμίες του ελληνικού συστήματος εστιάζονται στην εφαρμογή των Κανονισμών.

1.7 Ορισμός ΑΗΕΕ σύμφωνα με τα ελληνικά εποπτικά συστήματα

Ο Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός (ΗΗΕ) στην Ελλάδα, ορίζεται σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, ως «ο εξοπλισμός του οποίου η ορθή λειτουργία εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών, ο οποίος υπάγεται στις κατηγορίες του Παραρτήματος ΙΑ και ο οποίος έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση μέχρι 1000V εναλλασσόμενου ρεύματος και μέχρι 1500V συνεχούς ρεύματος» (www.minenv.gr/anakyklosi/v.menu/ahhe/hhe.html).

Αναλυτικότερα, τα ΑΗΗΕ υπόκεινται στην εναλλακτική διαχείριση, όπου σε αυτή, όλοι οι υπόχρεοι (παραγωγοί και εισαγωγείς) έχουν ευθύνη να δημιουργήσουν ΣΕΔ (Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης) ή να συμμετέχουν σε αυτά. Οι διακινητές ΗΗΕ μπορούν να συνεργαστούν μόνο με αυτούς που είναι ενταγμένοι σε κάποιο ΣΕΔ (www.minenv.gr/anakyklosi/v.menu/ahhe/hhe.html).

Στην Ελλάδα σήμερα, λειτουργούν δύο συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης εθνικής εμβέλειας, η εταιρεία «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» και η εταιρεία «Φωτοκύκλωση Α.Ε.». Η Οδηγία 2002/96/ΕΚ ήρθε να καλύψει το κενό της Εναλλακτικής Διαχείρισης των ΑΗΗΕ, θέτοντας ποσοτικούς στόχους για την ξεχωριστή συλλογή, ανάκτηση, ανακύκλωση και αξιοποίηση των ΑΗΗΕ, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία εντάσσονται (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>).

Οι 10 βασικές κατηγορίες ΑΗΕΕ του Πίνακα 1.1. μεταφέρθηκαν αυτούσιες στα ελληνικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης κατά τον ίδιο αύξοντα αριθμό από το 1 έως το 10

(<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>, mba-parttime.aueb.gr/files/VimaEpih/AnakyklwsiSyskevwn_4_4_2014.pdf, http://www.electrocycle.gr/electrocycle_company/files/company_profile.pdf), ενώ οι υποκατηγορίες τους, ορίστηκαν με συγκεκριμένο τρόπο στο ελληνικό ΣΕΔ και είναι οι εξής (ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΗΜΟΥ ΔΡΑΜΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε. Φορέας: ΔΗΜΟΣ ΔΡΑΜΑΣ, [2012]):

- (1/α) Ψυγεία
- (1/β) Συσκευές κλιματισμού
- (1/γ) Μεγάλες λευκές συσκευές
- (3/α) Οθόνες Η/Υ
- (3/β) Η/Υ
- (3/β2) Εκτυπωτές
- (3/β3) Τηλέφωνα
- (3/β4) Φωτοτυπικά

- (3/β5) Εξοπλισμός T/K
- (4/α) Τηλεοράσεις
- (4/β) Λοιπός καταναλωτικός εξοπλισμός
- (5/α) Φωτιστικά
- (5/β) Λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας
- (7/α) Παιχνίδια και Εξοπλισμός Ψυχαγωγίας με οθόνη
- (7/β) Παιχνίδια και Εξοπλισμός Ψυχαγωγίας χωρίς οθόνη
- (8/α) Μεγάλος Ιατροτεχνολογικός εξοπλισμός με οθόνη
- (8/β) Μεγάλος Ιατροτεχνολογικός εξοπλισμός χωρίς οθόνη
- (8/γ) Μικρός Ιατροτεχνολογικός εξοπλισμός με οθόνη
- (8/δ) Μικρός Ιατροτεχνολογικός εξοπλισμός χωρίς οθόνη
- (10/α) Αυτόματοι Διανομείς με ψύξη
- (10/β) ΑΤΜ
- (10/γ) Λοιπές συσκευές κατηγορίας 10

Στο πεδίο εφαρμογής της «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» εντάσσονται στις βασικές 10 κατηγορίες του Πίνακα 1.2. και οι ακόλουθες τρεις.

Πίνακας 1.2. Πρόσθετες κατηγορίες ΑΗΗΕ σύμφωνα με την «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.»

<i>A/A</i>	<i>Κατηγορία</i>	<i>Παραδείγματα</i>
11	Οθόνες	Τύπου CRT, LCD
12	Συσκευές ψύξης που περιέχουν ψυκτικές ουσίες	
13	Λαμπτήρες εκκένωσης	

Στον Πίνακα 1.3. παρατίθενται παραδείγματα προϊόντων και υλικών των τριών πρόσθετων κατηγοριών της «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» που θεωρούνται ως ΑΗΗΕ και δεσμεύονται από τους αντίστοιχους κανονισμούς (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>, mba-parttime.aueb.gr/files/VimaEpih/AnakyklwsiSyskevwn_4_4_2014.pdf, http://www.electrocycle.gr/electrocycle_company/files/company_profile.pdf).

Πίνακας 1.3. Παραδείγματα προϊόντων και υλικών πρόσθετων κατηγοριών ΑΗΗΕ σύμφωνα με την «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» (http://www.netregs.org.uk/library_of_topics/waste/weee/equipment_covered_by_weeeereg.aspx)

A/A	Κατηγορία	Παραδείγματα
1	Μεγάλες οικιακές συσκευές	Ψυγεία, κλιματιστικά, φούρνοι, πλυντήρια, καλοριφέρ
2	Εξοπλισμός βιομηχανικών μεταδόσεων και τηλεπικοινωνιών	Ρολόγια, τοστιέρες, φούρνοι μικροκυμάτων
3	Μικρές οικιακές συσκευές	Υπολογιστές και τα περιφερειακά τους, τηλέφωνα, ραδιοπομποί, εξαιρουμένων των οθονών
4	Εξοπλισμός ευρείας κατανάλωσης	Τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, μουσικά όργανα
5	Εξοπλισμός φωτισμού	Λαμπτήρες φθορισμού και φωτιστικά εσωτερικού και εξωτερικού χώρου
6	Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία	Ηλεκτρικά τρυπάνια, εξοπλισμός ηλεκτρικών συγκολλήσεων, χορτοκοπτικές μηχανές

Πίνακας 1.3. (Συνέχεια ...)

A/A	Κατηγορία	Παραδείγματα
7	Παιχνίδια και αθλητικός εξοπλισμός	Ηλεκτρικά τραινάκια, ηλεκτρονικά βιντεοπαιχνίδια, κουλοχέρηδες, ηλεκτρικοί διάδρομοι τρεξίματος
8	Ιατρικός εξοπλισμός	Μηχανήματα ραδιοθεραπείας, αιμοκάθαρσης, μαγνητικής τομογραφίας, ακτινογραφιών
9	Όργανα ελέγχου και παρακολούθησης	Θερμοστάτες, ανιχνευτές καπνού, διανομείς θερμότητας
10	Αυτόματοι Διανομείς	Τροφίμων, ποσίων και χρημάτων

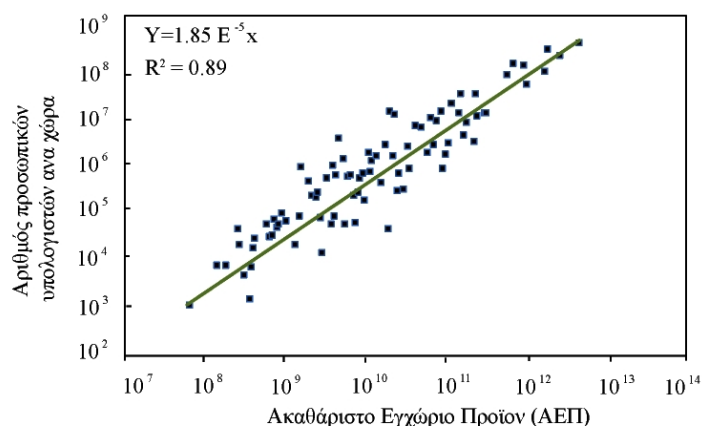
Η ανακύκλωση σήμερα αποτελεί μια καλά δομημένη και οργανωμένη διαδικασία, τόσο από νομικής όσο κι από επιχειρησιακής άποψης. Υπάρχει πλούσιο νομικό καθεστώς που καθορίζει τις διαδικασίες και την εποπτεία των διαδικασιών ανακύκλωσης και στην Ελλάδα ήδη δραστηριοποιούνται πολλές εποπτικές αρχές, ανά είδος ανακυκλώσιμου προϊόντος. Παρόλα αυτά η υγειονομική ταφή εξακολουθεί να καταλαμβάνει την μερίδα του λέοντος και οι πιθανότητες να καλυφθούν οι στόχοι του 2020 (50% ανακύκλωση των υλικών συσκευασίας) είναι αβέβαιες.

1.8 Παραγωγή ΑΗΗΕ σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο

Η παγκόσμια παραγωγή ΑΗΗΕ εκτιμήθηκε στους 20-50Mt/έτος (UNEP, [2006]), η οποία ισούταν με το 1-3% της εκτιμώμενης παγκόσμιας παραγωγής αστικών αποβλήτων (1636Mt) (OECD, [2008]). Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και οι τηλεοράσεις συνέβαλλαν με 5.5Mt το 2010, ενώ η συνολική τους παραγωγή ανήλθε στους 9.8Mt το 2015. Στις πιο εύπορες χώρες, τα ΑΗΗΕ αποτέλεσαν το 8% του όγκου των αστικών αποβλήτων (Widmer et al., [2005]).

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, με έναν τριετή μέσο κύκλο ζωής (Betts, [2008]) συμβάλλουν σε μεγαλύτερη έκταση στην συνολική ροή των ΑΗΗΕ, σε σχέση με τα ψυγεία και τους ηλεκτρικούς φούρνους, οι οποίοι έχουν έναν μέσο κύκλο ζωής 10-12 έτη.

Το αυξημένο ΑΕΠ οδηγεί σε αυξημένες αγορές ηλεκτρονικών αγαθών και συνεπώς σε αυξημένη παραγωγή ΑΗΗΕ. Για παράδειγμα, ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρονικών υπολογιστών για κάθε χώρα σχετίζεται με το ΑΕΠ της. Στο Σχήμα 1.3. παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν 161 χώρες. Ειδικότερα για την Ευρωπαϊκή Ένωση, οι ποσότητες των ΑΗΗΕ αυξάνουν κατά 3-5% ανά έτος (Robinson et al., [2009]), (Li et al., [2009]), (Hischier et al., [2005]), ένας ρυθμός τρεις φορές μεγαλύτερος σε σχέση με τα αστικά στερεά απόβλητα. Κατά την διάρκεια της περιόδου 1990-1999 οι ποσότητες που παρήχθησαν στην ΕU-15 ήταν περίπου 3,3-3,6kg/κάτοικο, ενώ οι εκτιμώμενες ποσότητες για την περίοδο 2000-2010 κυμάνθηκαν μεταξύ 3,9-4,3kg/κάτοικο. Η Ελβετία εκτιμήθηκε ότι παράγει 9kg/άτομο/έτος, ο Ευρωπαϊκός πληθυσμός 14kg/άτομο/έτος (Sinha-Khetriwal et al., [2005]), (Goosey, [2004]), με την συνολική παραγωγή στην Ευρώπη των 15 να ανέρχεται στους 5,5Mt/έτος και, στην περίπτωση της ΕU-27, στους 8,3-9,1Mt/έτος (Huisman and Magalini, [2007]). Οι ΗΠΑ παρήγαγε περίπου 2,6Mt (Cobbing, [2008]), ενώ η Κίνα παρήγαγε 2,5Mt το 2005 (Liu et al., [2006]). Δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα στοιχεία για τις υπόλοιπες χώρες, αλλά εκτιμήθηκε πως η Ινδία και η Ταϊλάνδη παρήγαγαν 0,3 και 0,1Mt ΑΗΗΕ το 2007 (Cobbing, [2008]).



Σχήμα 1.3. Αριθμός προσωπικών υπολογιστών ανά χώρα σχέση με το ΑΕΠ της (Robinson et al., [2009])

Σύμφωνα με έναν άλλο υπολογισμό που βασίζεται στα διαθέσιμα στοιχεία για τον συνολικό αριθμό των ηλεκτρονικών υπολογιστών (0,78 δισεκατομμύρια μονάδες), κινητά τηλέφωνα (3,4 δισεκατομμύρια μονάδες), σταθερά τηλέφωνα (1,2 δισεκατομμύρια μονάδες), τηλεοράσεις (1,4 δισεκατομμύρια μονάδες), και ράδια (2,5 δισεκατομμύρια μονάδες), η συνολική παραγωγή ανήλθε στους 11,7Mt/έτος (Robinson et al., [2009]). Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την διαρκώς αυξανόμενη παραγωγή των ΑΗΗΕ και το γεγονός ότι οι σχετικά μεγάλης μάζας ηλεκτρικές συσκευές (ψυγεία, κλιματιστικά, κλπ.) δεν συμπεριλαμβάνονται στον προαναφερόμενο υπολογισμό, εκτιμάται ότι οι συνολικές ποσότητες των ΑΗΗΕ πρέπει να είναι ακόμη μεγαλύτερες. Εάν ληφθεί επίσης υπόψη και η παγκόσμια αύξηση του ΑΕΠ κατά περίπου 20% τα τελευταία 6 χρόνια, τότε δικαιολογείται μια εκτίμηση των 20-50Mt/έτος (UNEP, [2006]).

Έτσι οι συνολικές ποσότητες των διαφόρων ρύπων που εμπεριέχονται στο αποτέλεσμα της ροής ΑΗΗΕ, σε μεγαλύτερη κλίμακα, στις επιχώσεις ή στα κέντρα ανακύκλωσης επηρεάζουν το περιβάλλον και/ή την δημόσια υγεία. Επομένως, παρά τα σημαντικά ποσοστά ανακύκλωσης, τα ΑΗΗΕ είναι υπεύθυνα για 5000t Cu που ετησίως εκλύονται στο περιβάλλον (http://ewasteguide.info/hazardous_substances), (Morf et al., [2007]), (Bertram et al., [2002]).

Τα προαναφερόμενα προβλήματα διευρύνονται λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι αρκετά ηλεκτρονικά ή ηλεκτρικά εξαρτήματα απορρίπτονται στα οικιακά απόβλητα και έτσι δεν επιδέχονται περαιτέρω επεξεργασία (Ladou and Lovegrove, [2008]). Περίπου το 80% της ποσότητας που συλλέγεται από την ανακύκλωση, εξαγεται σε Ασιατικές και Αφρικανικές χώρες όπως η Κίνα, Ινδία, Πακιστάν, Βιετνάμ, Φιλιππίνες, Μαλαισία, Νιγηρία, Γκάνα, κλπ. (Schmidt, [2006]). Αυτό συνεισφέρει ελάχιστα στην επεξεργασία σε καθαρά περιβαλλοντικά πλαίσια, έχοντας αυξήσει την επίδραση στο περιβάλλον και τις συνθήκες υγιεινής των εργαζομένων. Μη κυβερνητικές οργανώσεις, όπως η Greenpeace, την αναφέρουν ως "κρυφή ροή" των ΑΗΗΕ (Cobbing, [2008]).

1.9 Το σύστημα διαχείρισης των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα

Το σύστημα διαχείρισης των ΑΗΗΕ είναι δομημένο έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις που απορρέουν ως επακόλουθα της απόρριψης

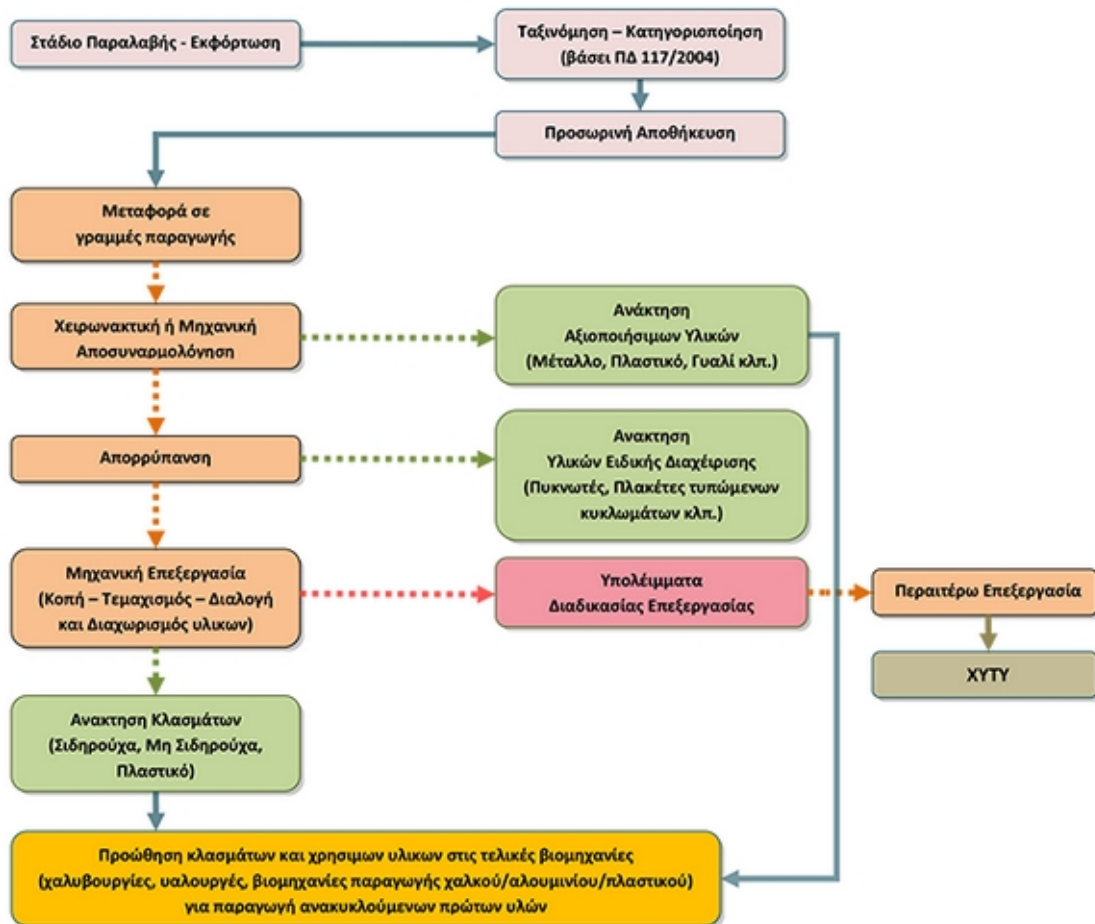
τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συλλογής, επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και επανάκτησης των ΑΗΗΕ, ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η ποσότητα που θα απορριφθεί σε χωματερές ή θα αποτεφρωθεί. Οι κανονισμοί που πλαισιώνουν τέτοιες δραστηριότητες είναι ευρέως γνωστοί ως 2002/95/EC «Οδηγία ΑΗΗΕ» (WEEE Directive) και βρίσκονται εν ισχύ από τον Φεβρουάριο του 2003 στην Ευρώπη. Σε συνδυασμό με την οδηγία 2002/95/EC «Περιορισμός Χρήσης Επικίνδυνων Ουσιών» (RoHS), οι νομοθεσίες αυτές ορίζουν ποια ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα απαιτείται να ανακτηθούν και να ανακυκλωθούν.

Ως διαχείριση των ΑΗΗΕ ορίζεται οι ενέργειες που διεξάγονται στο πλαίσιο της επεξεργασίας τους, δηλαδή η σειρά δραστηριοτήτων που περιγράφεται στο Σχήμα 1.4. Ο αυξανόμενος οικονομικός πλούτος αντικατοπτρίζεται σε υψηλότερη παραγωγή ΑΗΗΕ. Από την άλλη πλευρά, συγκεκριμένες αλλαγές στην τεχνολογία και τις καταναλωτικές συνήθειες αναμένεται να μειώσουν την παγκόσμια παραγωγή των ΑΗΗΕ, αφού οι καταναλωτές θα προτιμήσουν τους φορητούς υπολογιστές που έχουν μέσο βάρος 1-3Kg σε σχέση με τους σταθερούς υπολογιστές βάρους 25Kg, ή τους σταθερούς υπολογιστές που είναι εξοπλισμένοι με οθόνες LCD (LiquidCrystalDisplay) αντί των παλαιότερων CRTs (CathodeRayTube). Το Σχήμα 1.5. παρουσιάζει τις ροές των ΑΗΗΕ, ενώ το Σχήμα 1.6. αποδίδει το διάγραμμα ροής διαδικασιών του λειτουργικού συστήματος διαχείρισης ΑΗΗΕ στην Ελλάδα.

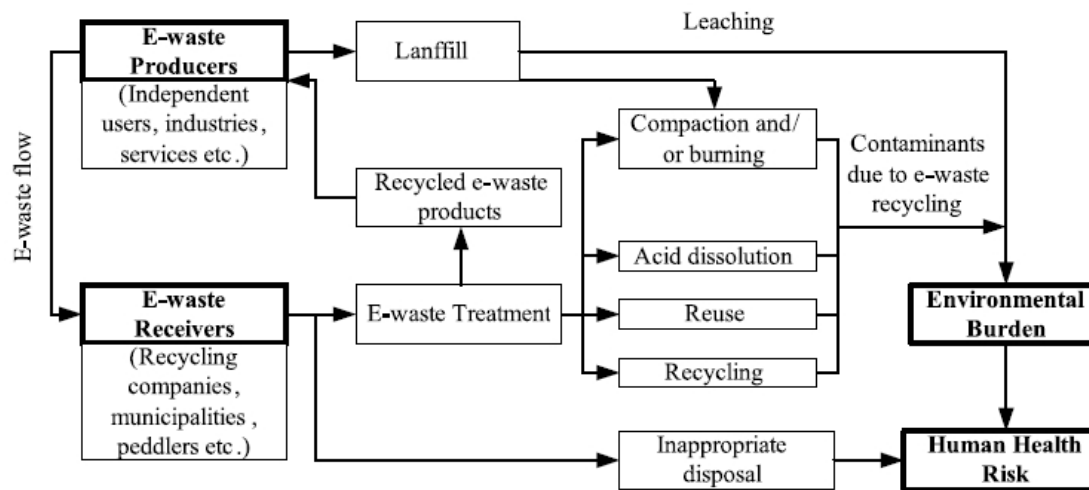
Η Οδηγία 2002/96/EC πρακτικά συμβάλλει στην μείωση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και στην υγειονομική ταφή, ενώ ενθαρρύνει την αποτελεσματικότερη χρήση των πηγών μέσω της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Τα κύρια σημεία της είναι ότι:

- η παραγωγή του ηλεκτρονικού εξοπλισμού θα πρέπει να διευκολύνει την αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση για μεταγενέστερη χρήση και την ανακύκλωση των ΑΗΗΕ,
- τα ΑΗΗΕ θα πρέπει να συλλέγονται χωριστά από τα υπόλοιπα απόβλητα,
- η συλλογή τους δεν θα πρέπει να επιφορτίζει τα νοικοκυριά,
- η τιμή στόχος για την ολοκλήρωση στο σύστημα διαχείρισης καθορίζεται στα 4kg/έτος/κάτοικο,

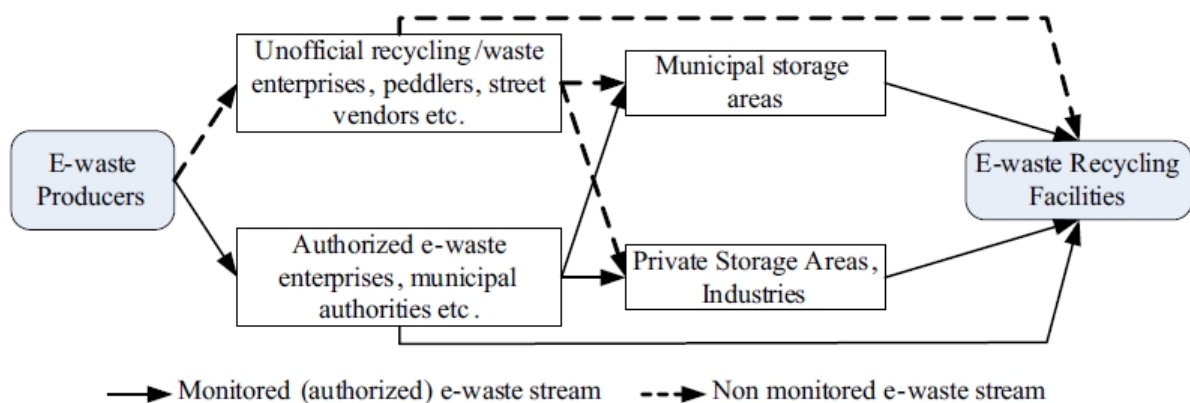
- στα τέλη του 2006, οι παραγωγοί έπρεπε να είναι ικανοί να ανακτήσουν και επαναχρησιμοποιήσουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό στόχο για κάθε μία από τις 10 κατηγορίες της Οδηγίας που ποικίλλει από 50-80%
- οι παραγωγοί είναι υπεύθυνοι για την εμπορική διαχείριση των ΑΗΗΕ.



Σχήμα 1.4. Σύστημα διαχείρισης ΑΗΗΕ στην Ελλάδα (http://www.electrocycle.gr/site/index.php?option=com_content&view=article&id=239:perigrifi-epexergasiasahhe&catid=21:2008-03-18-13-58-54&Itemid=101)



Σχήμα 1.5. Δρόμοι ΑΗΗΕ



Σχήμα 1.6. Διάγραμμα ροής διαδικασιών λειτουργικού συστήματος διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα

Μέχρι σήμερα έχουν εγκριθεί δύο συλλογικά Συστημάτων Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΕΔ) για τα ΑΗΗΕ:

- η «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.» και
- η «Φωτοκύκλωση Α.Ε.».

Αναλυτικότερα, η Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2014), δεν επενδύει αλλά ούτε και επιδιώκει κέρδη και επίσης ο ρόλος της βασίζεται στην οργάνωση και τον έλεγχο. Επίσης διακατέχει οργανωτικό ρόλο και είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία ΣΕΔ των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα.

Η Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., κινείται στα όρια του Ελληνικού Δικαίου και απαλλάσσει τις επιχειρήσεις που εμπορεύονται ή παράγουν ΗΗΕ από την υποχρέωση που τις επιβάλλει ο Νόμος 2939/2001 (Τροποποίηση 3854/2010) και το Προεδρικό Διάταγμα 117/2004. Συνεργάζεται με τους δήμους της ελληνικής επικράτειας για την οργάνωση δημοτικών σημείων συλλογής και με «μάντρες» παλαιών μετάλλων.

Συνολικά, για να επιτευχθεί η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ, εργάζονται περίπου 1.100 άτομα διαφορετικών ειδικοτήτων. Πιο αναλυτικά και σύμφωνα με στοιχεία του 2010 η κατανομή του εργατικού στις διάφορες λειτουργίες του Συστήματος είναι η ακόλουθη:

- **Κέντρα επεξεργασίας:** 350 εργαζόμενοι
- **Δίκτυο συλλογής μέσω εμπόρων scrap – 170 εταιρίες:** 550 εργαζόμενοι
- **Μεταφορείς:** 200 εργαζόμενοι (Σ' αυτούς μπορεί να προστεθεί το δίκτυο των πλανόδιων συλλογέων, μια ευαίσθητη κοινωνικά ομάδα ενταγμένη στο Σύστημα, που υπολογίζεται περίπου σε 10.000 εργαζόμενους ανά την επικράτεια)
- **Προσωπικό εταιρείας:** 30 εργαζόμενοι (Κατανέμονται στις διευθύνσεις: Logistics, Τεχνική, Οικονομική, Τοπικής Αυτοδιοίκησης και Επικοινωνίας)

Η Φωτοκύκλωση Α.Ε. ιδρύθηκε το 2009 (<http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=549449>) και εστιάζει στη συλλογή απόβλητων φωτιστικών, λαμπτήρων καθώς και μικροσυσκευών ανά την Ελλάδα (<http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=549449>), (<http://www.anakyklosianthess.gr/συλλογικά-συστήματα-εναλλακτικής-δι-3/>). Οι συμμετέχοντες στο σύστημα είναι εταιρείες οι οποίες εισάγουν φωτιστικά είδη και λαμπτήρες, ενώ παράγουν και τα πρώτα. Σε 51 νομούς της χώρας υπάρχουν ειδικά σημεία και κάδοι για τη συλλογή λαμπτήρων και φωτιστικών. Συγκεκριμένα, υπάρχουν 2.700 σημεία και 300 ειδικοί κάδοι. Καθ' ότι η Ελλάδα δε διαθέτει ειδικό εργοστάσιο επεξεργασίας λαμπτήρων, αυτοί, υφίσταται προσωρινή αποθήκευση και μεταφέρονται στο εξωτερικό, όταν συγκεντρωθούν επαρκείς ποσότητες προς ανακύκλωση. Αντιθέτως, η επεξεργασία των φωτιστικών, πραγματοποιείται σε δύο εγχώριες συμβεβλημένες μονάδες. Η «Φωτοκύκλωση Α.Ε.» απασχολεί 5 άτομα με τις παρακάτω ιδιότητες (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., [2013]):

- Γενικός διευθυντής
- Οικονομικός διευθυντής – Λογιστήριο
- Γραμματεία – Μάρκετινγκ
- Υπεύθυνος συλλογής
- Εξωτερικές εργασίες

Για την παρακολούθηση της επίτευξης των στόχων το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας αποστέλλει σχετικές εκθέσεις στην ΕΕ, κάθε δύο έτη. Η εξέλιξη της ανακύκλωσης ανά έτος και κατηγορία φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία αφορούν στο 2010. Στη χώρα μας δεν γίνεται ανάκτηση ενέργειας από ΑΗΗΕ (www.eoan.gr/el/content/13). Η αξιοποίηση των ΑΗΗΕ συμπίπτει με την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση τους.

1.10 Συλλογή ΑΗΗΕ

Η συλλογή ΑΗΗΕ, σύμφωνα με την Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε., στηρίζεται στην συνεργασία της εταιρείας (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2018) με εμπόρους παλαιών μετάλλων, καταστήματα ηλεκτρικών ειδών, αλυσίδες supermarket, δήμους, σχολεία, πανεπιστήμια, δημόσιες και ιδιωτικές εταιρείες, τράπεζες κ.α. Με σκοπό τη βέλτιστη της εξυπηρέτησης των πολιτών, τα σημεία συλλογής για τους εμπόρους παλαιών μετάλλων, τα καταστήματα ηλεκτρικών ειδών και τα σχολεία αυξάνονται συνεχώς (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2018).

Η εταιρεία Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. επιβλέπει την μεταφορά και την προσωρινή αποθήκευση των ΑΗΗΕ. Αφού οι συσκευές συλλεγούν, καταλήγουν σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους ή κατάλληλα κέντρα προσωρινής αποθήκευσης, εγκεκριμένα από αυτήν.

Η μέση ετήσια παραγωγή ΑΗΗΕ στην Ελλάδα για την περίοδο 2003-2006 ανήλθε περίπου στους 170kt, που αντιστοιχεί στο 3,8% της συνολικής ποσότητας των οικιακών στερεών αποβλήτων (www.electrocycle.gr). Την ίδια περίοδο, το 90% των ΑΗΗΕ είχε αναμιχθεί με άλλα αστικά απόβλητα (π.χ. μεταλλικά απόβλητα), χωρίς καμία προηγούμενη επεξεργασία. Αυτή η πρακτική διαχείρισης είναι γνωστή ως “γκρίζα ανακύκλωση”. Με σκοπό την αντιμετώπιση του προβλήματος της “γκρίζας

ανακύκλωσης” και συνάμα τις αυξανόμενες ποσότητες των ΑΗΗΕ, ξεκίνησε, το 2004, η λειτουργία ενός εξουσιοδοτημένου εναλλακτικού συστήματος διαχείρισης των ΑΗΗΕ, έχοντας ως βασικές υποχρεώσεις την συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις. Το σύστημα συνέλεξε περίπου 0,1kt το 2005, πρώτο έτος λειτουργίας του, 31,5kt το 2007, 47kt το 2008, υπερκαλύπτοντας τον εθνικό στόχο, όπως αυτός καθορίζεται από την Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία. Αυτοί οι στόχοι περιλαμβάνουν την χωριστή συλλογή τουλάχιστον 4kg/κάτοικο/έτος ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης που αντιστοιχούν σε συνολικά 44kt/έτος για την Ελλάδα. Ενώ, σύμφωνα με τα στοιχεία της οργάνωσης “Step Initiative”, το 2012, στην Ελλάδα διατέθηκαν στις αγορές 222,53kt ΑΗΗΕ και απερρίφθησαν 165,81kt κατά την διάρκεια του έτους 2012. Αυτό αντιστοιχεί σε 19,86kg/κάτοικο και 14,8kg/κάτοικο, αντίστοιχα (http://step-initiative.org/index.php/Overview_Greece.html). Η κατανομή συλλογής ανά περιφέρεια σε σχέση με τον πληθυσμό και ανά κατηγορία προϊόντος έως το 2010, σύμφωνα με στοιχεία της εταιρίας «Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.», παρουσιάζονται στους Πίνακες 1.4. και 1.5. αντίστοιχα.

Πίνακας 1.4. Κατανομή συλλογής ανά περιφέρεια σε σχέση με τον πληθυσμό έως το 2010

<i>ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ</i>	<i>ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (%)</i>	<i>ΣΥΛΛΟΓΗ (%)</i>
<i>ΗΠΕΙΡΟΥ</i>	<i>3</i>	<i>1</i>
<i>Ν. ΑΙΓΑΙΟΥ</i>	<i>3</i>	<i>1</i>
<i>ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ</i>	<i>7</i>	<i>2</i>
<i>ΙΟΝ. ΝΗΣΙΩΝ</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<i>Δ. ΕΛΛΑΔΑΣ</i>	<i>5</i>	<i>3</i>
<i>ΚΡΗΤΗΣ</i>	<i>7</i>	<i>3</i>

Πίνακας 1.4. (Συνέχεια...)

<i>ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ</i>	<i>ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (%)</i>	<i>ΣΥΛΛΟΓΗ (%)</i>
<i>Β. ΑΙΓΑΙΟΥ</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ</i>	<i>5</i>	<i>4</i>
<i>Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>ΣΤ. ΕΛΛΑΔΑ</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>ΠΕΛ/ΝΗΣΟ</i>	<i>5</i>	<i>7</i>
<i>ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ</i>	<i>17</i>	<i>12</i>
<i>ΑΤΤΙΚΗ</i>	<i>36</i>	<i>57</i>

Πίνακας 1.5. Ποσοστό συλλογής ανά κατηγορία προϊόντος και έτος την περίοδο 2005-2010 (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2014)

<i>A/A</i>	<i>Κατηγορία</i>	<i>(%) / Έτος</i>					
		<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>
<i>1</i>	<i>Μεγάλες οικιακές συσκευές</i>	<i>17</i>	<i>77</i>	<i>79</i>	<i>70</i>	<i>72</i>	<i>61</i>
<i>2</i>	<i>Μικρές οικιακές συσκευές</i>	<i>12</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>3</i>	<i>Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών</i>	<i>59</i>	<i>9</i>	<i>9</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>15</i>
<i>4</i>	<i>Καταναλωτικά είδη</i>	<i>3</i>	<i>9</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>9</i>	<i>16</i>

Πίνακας 1.5. (Συνέχεια...)

Α/Α	Κατηγορία	(%)/ Έτος					
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
5	Φωτιστικά είδη	1	0	0	0	0	0
6	Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία	4	0	0	0	0	0
7	Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού	0	1	1	1	1	1
8	Ιατροτεχνολογικές συσκευές	2	0	0	0	0	0
9	Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	0	0	0	0	0	0
10	Συσκευές αυτόματης διανομής	1	1	1	1	1	0
11	Μεικτά	–	–	–	4	3	3

Η κατανομή της συλλεγείσας ποσότητας ανά κατηγορία προϊόντος και έτος την περίοδο 2005-2010 συνοψίζεται στον Πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6. Ποσότητα συλλογής ανά κατηγορία προϊόντος και έτος

<i>Κατηγορία</i>	<i>Μάζα (t)/έτος</i>						<i>ΣΥΝΟΛΟ t/κατηγ.</i>
	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	
<i>Μεγάλες οικιακές συσκευές</i>	<i>130</i>	<i>6,72</i>	<i>24.810</i>	<i>33.000</i>	<i>47.528</i>	<i>28.266</i>	<i>133.740,72</i>
<i>Μικρές οικιακές συσκευές</i>	<i>91,54</i>	<i>340</i>	<i>314</i>	<i>943</i>	<i>1.320</i>	<i>1.390</i>	<i>4.398,54</i>
<i>Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών</i>	<i>450</i>	<i>1.021</i>	<i>2.827</i>	<i>5.657</i>	<i>7.921</i>	<i>6.951</i>	<i>24.827</i>
<i>Καταναλωτικά είδη</i>	<i>23</i>	<i>1.021</i>	<i>2.198</i>	<i>4.714</i>	<i>5.941</i>	<i>7.414</i>	<i>21.311</i>
<i>Φωτιστικά είδη</i>	<i>7,7</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>7,7</i>
<i>Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία</i>	<i>31</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>31</i>
<i>Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού</i>	<i>0</i>	<i>113,4</i>	<i>314</i>	<i>471</i>	<i>660</i>	<i>463</i>	<i>2.021,4</i>
<i>Ιατροτεχνολογικές συσκευές</i>	<i>15,26</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>15,26</i>
<i>Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Συσκευές αυτόματης διανομής</i>	<i>7,7</i>	<i>113,41</i>	<i>314</i>	<i>471</i>	<i>660</i>	<i>0</i>	<i>1.566,11</i>
<i>Μεικτά</i>	<i>–</i>	<i>–</i>	<i>–</i>	<i>1.886</i>	<i>1.980</i>	<i>1.390</i>	<i>5.256</i>

Πίνακας 1.6. (Συνέχεια...)

<i>Κατηγορία</i>	<i>Μάζα (t)/έτος</i>						<i>ΣΥΝΟΛΟ t/κατηγ.</i>
	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	
<i>Σύνολο / έτος</i>	<i>756,2</i>	<i>2.615,53</i>	<i>30.777</i>	<i>47.142</i>	<i>66.010</i>	<i>45.874</i>	<i>–</i>

Ο Πίνακας 1.7. αφορά στην ανακύκλωση συσκευών από την εταιρεία «Φωτοκύκλωση Α.Ε.» και τις συλλεγείσες ποσότητες ανά κατηγορία προϊόντος την περίοδο 2009-2012 (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., [2013]).

Πίνακας 1.7. Μάζα συλλογής σε τόνους ανά κατηγορία προϊόντος και έτος

<i>Κατηγορία</i>	<i>Μάζα (t)/έτος</i>				<i>Σύνολο (t)/κατηγορία</i>
	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	
<i>Λαμπτήρες</i>	<i>9,38</i>	<i>30</i>	<i>80</i>	<i>225</i>	<i>344,38</i>
<i>Φωτιστικά</i>	<i>85</i>	<i>160</i>	<i>175</i>	<i>250</i>	<i>370</i>
<i>Μικροσυσκευές</i>	<i>–</i>	<i>–</i>	<i>–</i>	<i>3,33</i>	<i>3,33</i>

Τέλος ο Πίνακας 1.8. παρουσιάζει τα στατιστικά στοιχεία αξιοποίησης των ΑΗΗΕ ανά κατηγορία προϊόντος την περίοδο 2005-2010 (www.eoan.gr/el/content/13). Εντός παρένθεσης προβάλλεται το ποσοστό αξιοποίησης ΑΗΗΕ, ανά κατηγορία.

Πίνακας 1.8. Στατιστικά στοιχεία αξιοποίησης ΑΗΗΕ ανά κατηγορία στην Ελλάδα για την περίοδο 2005-2010

Α/Α	Κατηγορία	Μάζα (t)/έτος					
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	Μεγάλες οικιακές συσκευές	85 (97%)	7.437 (97%)	19.104 (82%)	28.592 (81%)	40.756 (87%)	28.559 (88%)
2	Μικρές οικιακές συσκευές	74 (92%)	257 (92%)	220 (82%)	642 (81%)	1.085 (83%)	1.766 (82%)
3	Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών	45 (89%)	788 (89%)	2.515 (95%)	5.431 (94%)	7.281 (92%)	7.475 (95%)
4	Καταναλωτικά είδη	2,8 (89%)	754 (89%)	1.613 (82%)	3.592 (82%)	5.695 (85%)	7.033 (87%)
5	Φωτιστικά είδη	0 (0%)	0 (0%)	40,3 (90%)	78 (84%)	133 (88%)	180 (85%)
6	Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία	28 (98%)	18 (98%)	76 (99%)	113 (96%)	103 (96%)	59 (94%)
7	Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού	0,07 (94%)	57 (94%)	93 (53%)	116 (43%)	348 (61%)	168 (63%)
8	Ιατροτεχνολογικές συσκευές	0 (0%)	34 (87%)	35 (92%)	147 (88%)	128 (93%)	127 (94%)
9	Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	0 (0%)	0 (0%)	4,1 (98%)	80 (92%)	30 (86%)	46 (92%)
10	Συσκευές αυτόματης διανομής	4,2 (99%)	11 (99%)	518 (98%)	242 (93%)	313 (93%)	120 (91%)
11	Λαμπτήρες εκκενώσεως αερίου	0 (0%)	0 (0%)	17,6 (87%)	11,3 (94%)	11 (94%)	65 (93%)

Πίνακας 1.8. (Συνέχεια...)

A/A	Κατηγορία	Μάζα (t)/έτος					
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Σύνολο αξιοποίησης	239	9.356	24.236	39.044	55.883	45.598
	Σύνολο συλλογής (οικιακού τομέα)	100	9.599	28.733	44.305	62.847	44.552
	Χωριστή συλλογή ανά κάτοικο (Kg)	0,01	0,86	2,57	3,94	5,57	3,94

1.11 Επεξεργασία ΑΗΗΕ

Μετά την συλλογή ακολουθεί το στάδιο της επεξεργασίας. Για το σκοπό αυτό, τα ΑΗΗΕ οδηγούνται σε κατάλληλες μονάδες επεξεργασίας μέσω ενός δικτύου μεταφοράς, το οποίο περιλαμβάνει 30 εταιρείες μεταφοράς ΑΗΗΕ που είναι συμβεβλημένες με την εταιρεία. Η τελευταία, επιβλέπει και αδειοδοτεί την επεξεργασία των ΑΗΗΕ. Η επεξεργασία πραγματοποιείται σε 9 ανάλογες εγκεκριμένες μονάδες εκ των οποίων 8 βρίσκονται στην Ελλάδα και 1 στη Γερμανία όπου επεξεργάζονται οι λάμπες φθορισμού (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2014). Η διαλογή πραγματοποιείται με ειδικά εμπορευματοκιβώτια όπου η διακίνηση και η διανομή είναι εφικτές μέσω οργανισμών και δημόσιων υπηρεσιών καθώς και με αυτόνομες επιχειρήσεις και πανεπιστημιακά ιδρύματα.

Στις μονάδες επεξεργασίας, τα στάδια που ακολουθούνται, όπως καθορίζονται κι εγκρίνονται από την Ανακύκλωση Συσκευών, είναι με τη σειρά τα ακόλουθα:

- υποδοχή και ζύγιση των φορτίων,
- εκφόρτωση των ΑΗΗΕ από τα φορτηγά,
- ταξινόμηση των ΑΗΗΕ ανάλογα με το είδος της συσκευής,
- προσωρινή αποθήκευσή τους στους ειδικά εγκεκριμένους χώρους του εργοστασίου,
- αποσυναρμολόγηση και απορρύπανση των συσκευών,

- περαιτέρω μηχανική επεξεργασία,
- ανάκτηση κλασμάτων (μέταλλα, πλαστικό, γυαλί),
- αποθήκευση των επικίνδυνων υλικών και περαιτέρω διαχείρισή τους από κατάλληλα αδειοδοτημένες εταιρείες.

Τα επιτρεπόμενα υπολείμματα της επεξεργασίας, που επίσης καθορίζονται από την Ανακύκλωση Συσκευών, προωθούνται προς υγειονομική ταφή σε αδειοδοτημένους Χ.Υ.Τ.Α./Χ.Υ.Τ.Υ.

Οι μονάδες επεξεργασίας της εταιρείας Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. ανά την Ελλάδα και σύμφωνα με τις κατηγορίες επεξεργασίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.7. (ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., 2018).



Σχήμα 1.7. Συμβεβλημένες μονάδες επεξεργασίας ΑΗΗΕ και κατηγορία επεξεργασίας τους (2018)

			Συνεργαζόμενες Μονάδες Διαχείρισης ΑΗΗΕ
ΕΚΑΝ ΑΒΕΕ	Επεξεργασία όλων των κατηγοριών εκτός ψυγείων - λαμπτήρων (υπάρχει δυνατότητα απορρύπανσης STEP1 ψυγείων)	Αγ. Θεόδωροι Κορινθίας	
HFR SA	Σταθερή μονάδα ψυγείων	Αγ. Θεόδωροι Κορινθίας	
ΑΦΟΙ ΚΩΝ/ΔΗ ΑΒΒΕ & ΝΕ	Επεξεργασία λευκών συσκευών εκτός ψυκτικών μηχανισμών	Θεσσαλονίκη	
ΑΦΟΙ ΚΩΝ/ΔΗ ΑΒΒΕ & ΝΕ	Επεξεργασία όλων των κατηγοριών εκτός λαμπτήρων	Άσπρος Κιλκίς	 
HER SA	Επεξεργασία ΑΗΗΕ κατηγ. 3,4,9 Έλεγχος επαναχρησιμοποίησης μερών (εξειδίκευση πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων)	Λάρισα	
BIANATT ΑΕ	Επεξεργασία όλων των κατηγοριών εκτός ψυκτικών μηχανισμών - λαμπτήρων	Αττική	
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ - ΧΥΘΡΙΑ ΑΒΕΕ	Επεξεργασία όλων των κατηγοριών εκτός ψυγείων -λαμπτήρων	Μυτιλήνη	
ΕΔΙΣΑΚ ΕΠΕ	Επεξεργασία όλων των κατηγοριών εκτός ψυκτικών μηχανισμών - λαμπτήρων	Ηράκλειο Κρήτης	
POLYECO SA	Προσωρινή αποθήκευση λαμπτήρων με σκοπό την διασυνοριακή μεταφορά σε αδειοδοτημένες μονάδες επεξεργασίας του εξωτερικού	Αττική, Θεσ/νίκη	

Σχήμα 1.7. Συνέχεια...

2^ο Κεφάλαιο

Μεθοδολογίες ανάκτησης υλικών από ΑΗΗΕ

2.1 Ανάλυση υλικών που παράγονται από την αποσυναρμολόγηση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών

Ο ΗΗΕ περιλαμβάνει σημαντικές ποσότητες από πολύτιμα υλικά όπως μέταλλα, πολύτιμα μέταλλα, σπάνιες γαίες, υψηλής ποιότητας πλαστικά και άλλα συστατικά, τα οποία θα έπρεπε να ανακτηθούν. Όμως, η γενική τάση για ολοκληρωμένη ανάπτυξη καθιστά πιο δύσκολη την αποσυναρμολόγηση και διαχωρισμό και εμποδίζει την ανάκτηση και τις περιβαλλοντικά ευεργετικές διαδικασίες κατεργασίας (Christiansen and Muncck-Kampmann, [2000]). Ο Πίνακας 2.1. παρουσιάζει τις μέσες μάζες και κύκλους ζωής διαφόρων τύπων ΑΗΗΕ και ειδών που συμπεριλαμβάνονται σε αυτά (Robinson, [2009]).

Από την αποσυναρμολόγηση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών παράγονται κυρίως σιδηρούχο και μη σιδηρούχο κλάσμα, γυαλί, πλαστικό, ηλεκτρομηχανικά (H/M) μέρη καθώς και λοιπά στοιχεία (http://www.electrocycle.gr/electrocycle_company/files/company_profile.pdf). Στην κατηγορία αυτή, περιλαμβάνονται πολύτιμα μέταλλα όπως χρυσός και άργυρος αλλά και επικίνδυνες ουσίες όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος κλπ..

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2., βάσει στοιχείων της εταιρείας "Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε.", το σιδηρούχο κλάσμα που προέρχεται από τη μηχανική επεξεργασία των ΑΗΗΕ είναι το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων κλασμάτων (45,5%) (http://www.electrocycle.gr/electrocycle_company/files/company_profile.pdf). Οι μεγάλες οικιακές συσκευές είναι η κατηγορία με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε σίδηρο (58.3%) και ακολουθούν τα όργανα παρακολούθησης και ελέγχου με ποσοστό παραγόμενου σιδήρου 53,3%. Από τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα προκύπτουν κυρίως μέταλλα (σίδηρος 34,4% και άλλα μέταλλα 35%), ενώ από τα φωτιστικά είδη προκύπτει κυρίως γυαλί (51,6%).

Πίνακας 2.1. Τύποι ΑΗΗΕ και είδη που συμπεριλαμβάνονται σε αυτά, μέσες μάζες και μέσοι κύκλοι ζωής τους

	Είδος	Μάζα (kg)	Εκτιμώμενος κύκλος ζωής (έτη)
ΑΗΗΕ που χαρακτηρίζονται ως ηλεκτρονικά απόβλητα	Ηλεκτρονικός υπολογιστής	25	3
	Τηλεμοιότυπο	3	5
	Υψηλής ποιότητας ηχοσύστημα	10	10
	Κινητό τηλέφωνο	0,1	2
	Ηλεκτρονικά παιχνίδια	3	5
	Φωτοαντιγραφικό	60	8
	Ράδιο	2	10
	Τηλεόραση	30	5
	Βίντεο/DVD player	5	5
	ΑΗΗΕ που χαρακτηρίζονται ως ηλεκτρικά απόβλητα	Κλιματιστικό	55
Πλυντήριο πιάτων		50	10
Ηλεκτρικός φούρνος		60	10
Μίξερ		1	5
Πιστολάκι μαλλιών		1	10
Ηλεκτρικό σίδερο		1	10
Βραστήρας		1	3
Φούρνος μικροκυμάτων		15	7
Καταψύκτης		35	10
Τηλέφωνο		1	5
Τοστιέρα		1	5
Στεγνωτήριο		35	10
Ηλεκτρική σκούπα		10	10
Πλυντήριο ρούχων		65	8
Ψυγείο		35	10

Πίνακας 2.2. Ποσοστιαία ανάλυση παραγόμενων υλικών σε (t) ανά κατηγορία (στοιχεία έως το 2010 (ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., [2013]))

Κατηγορίες προϊόντων	Σιδηρούχο μεταλλικό κλάσμα	Μη σιδηρούχο μεταλλικό κλάσμα	Γυαλί	Πλαστικό	Ηλεκτρομηχανολογικά (Η/Μ) μέρη	Λοιπά	Σύνολο
Μεγάλες οικιακές συσκευές	58,3	5,1	0,6	7	12,5	16,6	100
Μικρές οικιακές συσκευές	25,7	6,8	0,8	29,8	11,7	25,3	100
Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών	33,2	3,8	12,8	18	11,4	20,8	100
Καταναλωτικά είδη	13,1	1,4	36,6	13	3,8	32	100
Φωτιστικά είδη	17,3	15,9	51,6	3,9	2,3	8,9	100
Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία	30,6	11,9	—	5,4	40	12,2	100
Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού	19,7	1,8	11,3	13,5	1,3	52,5	100
Ιατροτεχνολογικές συσκευές	34,4	35	0	4	13,8	12,7	100
Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	53,3	0,9	0	24,5	8,3	13,1	100
Συσκευές αυτόματης διανομής	44,5	3,6	0,1	11,5	39,8	10,5	100
Ανάλυση παραγόμενων υλικών στο σύνολο	45,5	4,5	8,3	10,6	10,9	20,1	100

Βάσει στοιχείων της ίδιας εταιρείας, ο ακόλουθος Πίνακας 2.3. παρουσιάζει σιδηρούχα και μη μέταλλα, πλαστικό και Η/Μ μέρη, τα οποία προέρχονται από την αποσυναρμολόγηση και ανακτώνται κυρίως από τις μεγάλες οικιακές συσκευές σε ποσοστά 80,9%, 72,2%, 41,5% και 72,2%, αντίστοιχα. Το γυαλί (69,5%) προκύπτει κυρίως από την απορρύπανση των οθονών υπολογιστών και των τηλεοράσεων.

Πίνακας 2.3. Ποσοστιαία παραγωγή υλικών στο σύνολο της διαχείρισης έως το 2010 (<http://www.wwf.gr/images/pdfs/wwf-nomo-report2011.pdf>)

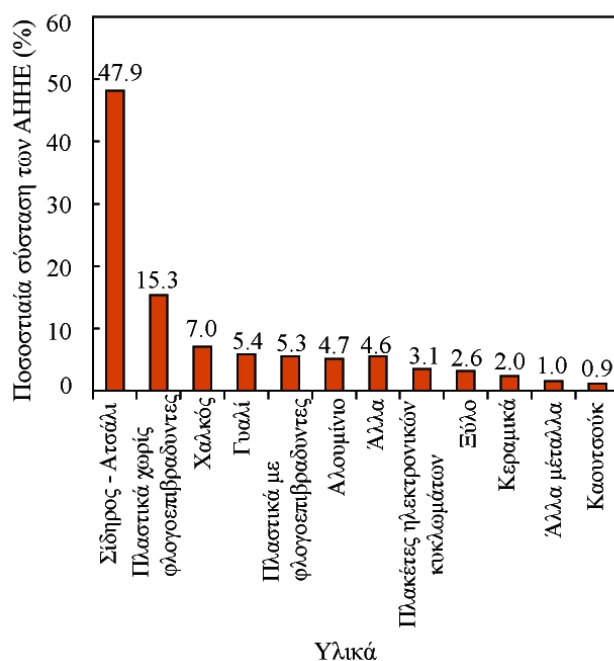
Κατηγορίες προϊόντων	Σιδηρούχο μεταλλικό κλάσμα	Μη σιδηρούχο μεταλλικό κλάσμα	Γυαλί	Πλαστικό	Ηλεκτρομηχανολογικά (Η/Μ) μέρη	Λοιπά
Μεγάλες οικιακές συσκευές	80,9	72,2	4,2	41,5	72,2	51,9
Μικρές οικιακές συσκευές	2,4	6,4	0,4	11,8	4,5	5,3
Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών	11,2	13	23,7	26,1	16,1	15,9
Καταναλωτικά είδη	4,5	4,8	69,5	19,2	5,5	25
Φωτιστικά είδη	0,1	0,9	1,5	0,1	0,1	0,1
Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία	0,1	0,3	—	0,1	0,5	0,1
Παιχνίδια, εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού	0,2	0,2	0,7	0,7	0,1	1,4
Ιατροτεχνολογικές συσκευές	0,2	2,1	0	0,1	0,3	0,2
Όργανα παρακολούθησης και ελέγχου	0,1	0	0	0,2	0,1	0,1
Συσκευές αυτόματης διανομής	0,3	0,2	0	0,3	0,7	0,1
Σύνολο	100	100	100	100	100	100

Η ποσοστιαία σύσταση των ΑΗΗΕ, όπως καταγράφεται από των διαχωρισμό των υλικών σε μονάδες ανακύκλωσης) (http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/1784/1/patsias_konstantinos.pdf), εμφανίζεται στο Σχήμα 2.1.

2.2 Σπάνιες Γαίες

Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών, η ραγδαία αύξηση των τεχνολογικών καινοτομιών επέφερε την αύξηση της ζήτησης για σπάνιες γαίες. Ένα σημαντικό μέρος αυτής της αύξησης οφείλεται στις λεγόμενες "πράσινες τεχνολογίες" που συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, υπό την

έννοια της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης, την περαιτέρω ανάπτυξη των εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ή τον έλεγχο της μόλυνσης του αέρα. Οι κυριότερες σπάνιες γαίες είναι οι εξής: ύτριο (Y), λανθάνιο (La), δημήτριο (Ce), πρασεοδύμιο (Pr), νεοδύμιο (Nd), προμήθειο (Pm), σαμάριο (Sm), ευρώπιο (Eu), γαδολίνιο (Gd), τέρβιο (Tb), δυσπρόσιο (Dy), όλμιο (Ho), έρβιο (Er), θούλιο (Tm), υττέρβιο (Yb), λουτέσιο (Lu) και σκάνδιο (Sc). Υπάρχει μια σημαντική ανησυχία ότι η ζήτηση συγκεκριμένων ανεξάρτητων σπάνιων γαιών όπως το νεοδύμιο, το δυσπρόσιο, το λανθάνιο και το ευρώπιο μπορεί να ξεπεράσει την υπάρχουσα παραγωγή μέσα σε λίγα χρόνια. Η Κίνα έχει ήδη θέσει περιορισμούς στην εξαγωγή σπάνιων γαιών, ενώ μόλις το 2014 αδειοδοτήθηκαν δύο ορυχεία για παραγωγή ευρείας κλίμακος στις ΗΠΑ και την Αυστραλία. Οι ποσότητες σπάνιων γαιών βάσει των κυριότερων κρατών-παραγωγών φαίνεται στον Πίνακα 2.4. (Schüler et al, [2011]).



Σχήμα 2.1. Ποσοστιαία σύσταση των ΑΗΗΕ όπως καταγράφεται από των διαχωρισμό των υλικών σε μονάδες ανακύκλωσης

Πίνακας 2.4. Παραγωγή σπάνιων γαιών ανά παραγωγό κράτος

Κράτος	Ποσότητα Σπάνιων Γαιών (kt)
Κίνα	36
Η.Π.Α	13
Αυστραλία	5,4
Δημοκρατίες Πρώην Σοβιετικής Ένωσης	19
Ινδία	3,1
Βραζιλία	0,65
Μαλαισία	0,38
Άλλες χώρες (Καναδάς, Γροιλανδία, Νότια Αφρική, Μαλάουι, Βιετνάμ, κ.α.)	22
Συνολική Ποσότητα εκτός Κίνας	64
Συνολική Ποσότητα Παγκοσμίως	99

Οι κυριότερες εφαρμογές τεχνολογιών που χρησιμοποιούν σπάνιες γαίες είναι οι ακόλουθες (Schüler et al., [2011]):

- Μαγνήτες για ηλεκτροκίνηση και ανεμογεννήτριες
- Μπαταρίες για ηλεκτροκίνηση
- Καταλύτες αυτοκίνησης
- Βιομηχανικοί καταλύτες
- Φωτισμός ενεργειακής απόδοσης
- Κράμματα μετάλλων
- Κεραμικά υλικά

- Ενισχυτικά υαλουργίας
- Στίλβωση
- Ηλεκτρονικά

Το 2008, γύρω στο 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης σπάνιων γαιών χρησιμοποιήθηκε στους τομείς της υαλουργίας, της στίλβωσης και των κεραμικών. Γύρω στο 20% χρησιμοποιήθηκε για μόνιμους μαγνήτες, ένα επιπλέον 20% για αυτοκίνηση και βιομηχανικούς καταλύτες, ένα ακόμη 20% για κράματα μετάλλων και μπαταρίες και ένα περίπου 7% για φωτισμό. Παρόλα αυτά, τα μεγάλα ερευνητικά ινστιτούτα και οι δημόσιοι φορείς δεν έχουν πραγματοποιήσει μία σε βάθος ανάλυση ροής υλικού για τις σπάνιες γαίες και τα διαθέσιμα στοιχεία είναι εκτιμήσεις από κάποιους ειδικούς. Η μεγαλύτερη αύξηση σε ζήτηση εστιάζεται σε εφαρμογές με μόνιμους μαγνήτες και πιο συγκεκριμένα σε ανεμογεννήτριες, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και σκληρούς δίσκους. Η παγκόσμια ζήτηση εκτιμήθηκε στους 120.000t το 2008 και στους 170.000 – 200.000t το 2014.

Μόνο λίγες βιομηχανικές δραστηριότητες ανακύκλωσης εφαρμόζονται για τις σπάνιες γαίες. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει ανακύκλωση μεγάλης κλίμακας για τις σπάνιες γαίες που προέρχονται από μαγνήτες, μπαταρίες, φωτισμό και καταλύτες. Στην ουσία οι διαδικασίες ανακύκλωσης σπάνιων γαιών είναι υπερβολικά σύνθετες και χρονοβόρες, εάν δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση, ενώ είναι υποχρεωτική η φυσική και χημική επεξεργασία. Επίσης, η διαδικασία ανακύκλωσης των σπάνιων γαιών από ηλεκτροκινητήρες, σκληρούς δίσκους και άλλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, απαιτεί εκτεταμένη αποσυναρμολόγηση. Πολλές παράμετροι για μία ευρύτερη ανακύκλωση σπάνιων γαιών λαμβάνονται υπόψη, όπως η ανάγκη για υψηλές τιμές, οι απώλειες των προς απόσυρση προϊόντων λόγω των εξαγωγών σε αναπτυσσόμενες χώρες και η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, όπως των ηλεκτροκινητήρων στα οχήματα και των ανεμογεννητριών, κατά 10-20 χρόνια, προτού εισαχθούν στην οικονομία της ανακύκλωσης. Στην Ελλάδα, δεν έχουν γίνει μελέτες σχετικά με την ανακύκλωση, ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση σπάνιων γαιών.

2.3 Υλικά ειδικής διαχείρισης

Στον ΗΗΕ περιέχονται και άλλες επιβλαβείς και επικίνδυνες ουσίες τόσο για τον ανθρώπινο οργανισμό όσο και για το περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές, θα πρέπει να διαχειρίζονται με ορθή και συγκεκριμένη μεθοδολογία και χαρακτηρίζονται ως Υλικά Ειδικής Διαχείρισης. Οι συνηθέστερες από αυτές τις ουσίες είναι (<http://www.recyclingsympraxis.gr/page/technologies/weee>):

- PCB, φλογοεπιβραδυντές (TBBA, PBB, PBDE), CFC, PVC
- Βαρέα μέταλλα (αρσενικό, βάριο, βερύλλιο, κάδμιο, χρώμιο, μόλυβδος, λίθιο, υδράργυρος, νικέλιο, σελήνιο, οξειδία ψευδαργύρου)
- Ραδιενεργές ουσίες (π.χ. αμερίκιο, ράδιο)

Οι πολυβρωμιωμένοι διφαινυλαιθέρες (PBDEs), είναι φλογοεπιβραδυντές οι οποίοι επηρεάζουν το περιβάλλον και, δεδομένου ότι είναι λιποφιλικό, βιοδιασπώνται στους ζώντες οργανισμούς (Deng et al, [2007]), ενώ τα προς απόσυρση ψυγεία και κλιματιστικά περιέχουν χλωρο-φθορο-άνθρακες (CFCs) τα οποία τελικά καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος όταν μελλοντικά, διαρρεύσουν από τους χώρους φύλαξης (Scheutz et al, [2004]).

Στην Ελλάδα, τα Υλικά Ειδικής Διαχείρισης και τα υπολείμματα, που στον Πίνακα 2.3. περιλαμβάνονται κατά το μεγαλύτερο μέρος στα Λοιπά υλικά, κατέχουν το 13.8% και το 11.43% αντίστοιχα της μηχανικής επεξεργασίας.

2.4 Τεχνικές και τεχνολογίες ανακύκλωσης υλικών από ΑΗΗΕ

Η ανακύκλωση διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τον σκοπό χρήσης των ανακτημένων υλικών, την ανακύκλωση κλειστού κυκλώματος και την ανακύκλωση ανοικτού κυκλώματος.

2.4.1 Θεωρία ανακύκλωσης

2.4.1.1 Ανακύκλωση κλειστού βρόχου (Closed-Loop Recycling)

Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται τμήματα των ΑΗΗΕ για κατασκευή προϊόντων του ίδιου είδους. Δεδομένου ότι η σύσταση των προϊόντων και υλικών είναι ήδη γνωστά από τις κατασκευάστριες εταιρίες, η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει τον εντοπισμό των βλαβερών ουσιών στα ΑΗΗΕ. Οι

δυνατές διαδικασίες διαχείρισης που ακολουθούνται κατά την διεκπεραίωση μιας τέτοιας μορφής ανακύκλωσης είναι οι εξής:

- Επανακατασκευή
- Επαναπώληση και επαναχρησιμοποίηση
- Επισκευή και αναμόρφωση

Παρακάτω εξηγούνται συνοπτικά οι γενικές αρχές αυτών των διαδικασιών:

- **Επανακατασκευή (Reconstuction).** Η επανακατασκευή είναι η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης μιας συσκευής, της αντικατάστασης των μη λειτουργικών ή πεπαλαιωμένων εξαρτημάτων της και της συναρμολόγησής της ως καινούριο προϊόν. Λαμβάνει χώρα συνήθως όταν ένα προϊόν φτάσει στο τέλος της ζωής του, δηλαδή όταν παύσει να λειτουργεί ικανοποιητικά και επιστραφεί στους κατασκευαστές του. Είναι πρακτικότερο να γίνεται αποστολή προϊόντων στους κατασκευαστές τους αντί σε μια εταιρία επισκευών διότι οι κατασκευαστές διαθέτουν όλες τις πληροφορίες για τα προϊόντα τους και επιπλέον μειώνεται η ποικιλία των προϊόντων προς επεξεργασία, άρα και η πολυπλοκότητα της διαδικασίας.
- **Επαναπώληση και επαναχρησιμοποίηση (Resale and Reuse).** Η επαναπώληση είναι η επαναφορά ενός λειτουργικού προϊόντος στο ρεύμα της αγοράς χωρίς να γίνει επεξεργασία σε αυτό, ενώ η επαναχρησιμοποίηση είναι η προώθηση προς πώληση λειτουργικών εξαρτημάτων. Στην Ευρώπη υπάρχουν κέντρα επαναχρησιμοποίησης/ανακύκλωσης με σκοπό τους την προώθηση στην αγορά των λειτουργικών συσκευών και την συλλογή εξαρτημάτων από ελαττωματικά προϊόντα. Όσα αντικείμενα κριθούν ακατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση ανακυκλώνονται.
- **Επισκευή και αναμόρφωση (Repair and Refurbishing).** Προϊόντα που για οποιονδήποτε λόγο έχουν μειωμένη λειτουργικότητα ή εμφανίζουν ψεγάδια στην εξωτερική τους εμφάνιση δύνανται να προωθηθούν προς επισκευή. Ενώ η επισκευή ενός προϊόντος έχει ως στόχο την διόρθωση συγκεκριμένων προβλημάτων του, η αναμόρφωση συνδυάζει την επισκευή με συντήρηση ώστε εν τέλει το προϊόν να έχει βελτιωμένη αξιοπιστία

καθαρίζοντάς το, δοκιμάζοντάς το και αντικαθιστώντας εξαρτήματα όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Η αναμόρφωση λαμβάνει χώρα συνήθως όταν ένα προϊόν παύει να λειτουργεί ή όταν λήγει το συμβόλαιο εκμίσθωσης του και αυτό επιστρέφεται στους κατασκευαστές προτύπων εξαρτημάτων.

2.4.1.2 Ανακύκλωση ανοικτού βρόχου (Open-Loop Recycling)

Με αυτήν την διαδικασία, γίνεται δυνατή η ανάκτηση υλικών και εξαρτημάτων από προϊόντα και στη συνέχεια η χρήση τους για κατασκευή προϊόντων διαφορετικού είδους. Τα τέσσερα κύρια είδη προϊόντων που ανακτώνται απ' αυτό το είδος της ανακύκλωσης είναι πλαστικό, μέταλλο, καθοδικές λυχνίες και πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Όσα εξαρτήματα θεωρούνται λειτουργικά επαναχρησιμοποιούνται. Σε αντίθετη περίπτωση, ανάλογα με την δυσλειτουργία που παρουσιάζουν, είτε επισκευάζονται είτε αποστέλλονται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις επικινδύνων αποβλήτων. Το μεταλλικό τμήμα που προκύπτει από την επεξεργασία αποσυναρμολογείται για την ανάκτηση των πολύτιμων υλικών του και εν συνεχεία τεμαχίζεται σε ειδικούς τεμαχιστές μετάλλου. Ένας μεγάλος ανεπιθύμητος παράγοντας της ανακύκλωσης ανοικτού κυκλώματος είναι ότι, αντίθετα με την ανακύκλωση κλειστού κυκλώματος, υπάρχει δυσκολία εντοπισμού των επικίνδυνων ουσιών, αφού δεν είναι πάντοτε γνωστή η πλήρης σύσταση των προς ανακύκλωση προϊόντων.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την επεξεργασία προϊόντων κατά την ανακύκλωση ανοικτού κυκλώματος λαμβάνει χώρα μέσω των παρακάτω βημάτων:

- Απορρύπανση
- Αποσυναρμολόγηση
- Τεμαχισμός
- Μαγνητικός διαχωρισμός
- Αεροδιαχωρισμός
- Επαγωγικός διαχωρισμός
- Συμπύεση

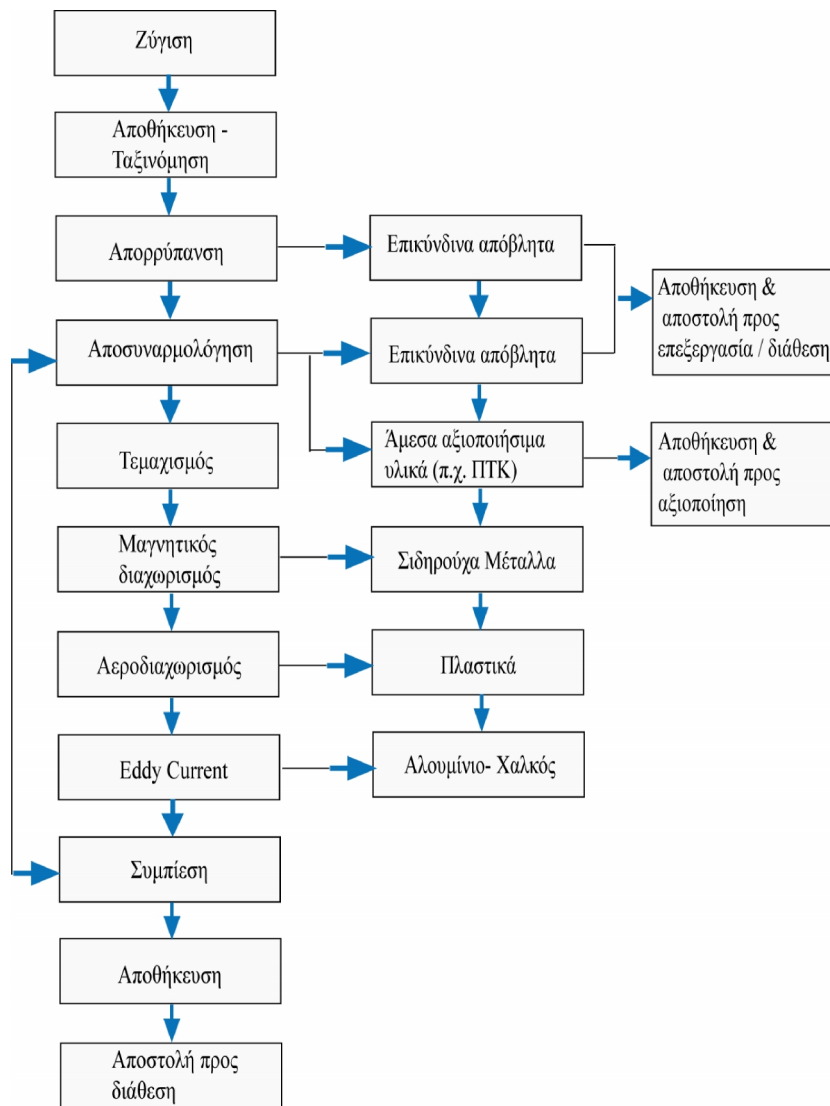
Ο ολοκληρωμένος αλγόριθμος της επεξεργασίας παρουσιάζεται μέσω του διαγράμματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

2.4.2 Κατηγορίες επεξεργασίας κατά την ανακύκλωση

Διακρίνονται δύο κατηγορίες επεξεργασίας κατά την ανακύκλωση, η μία στοχεύει στην μείωση του όγκου των χρήσιμων υλικών (απορρύπανση, αποσυναρμολόγηση, τεμαχισμός, συμπίεσής), ενώ η δεύτερη στον διαχωρισμό τους από τα ανεπιθύμητα υλικά (ηλεκτρομαγνήτης, αεροδιαχωριστής, δινορεύματα). Στην συνέχεια αναλύονται οι βασικές αρχές των παραπάνω μεθόδων.

2.4.2.1 Απορρύπανση (De-pollution)

Τα ΑΗΗΕ αποτελούνται από συναρμολογούμενα σύνολα υλικών και έχουν συνήθως πολύπλοκη σύσταση. Μέρος των υλικών αυτών θεωρείται επικίνδυνο για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, εάν δεν ληφθούν μέτρα για την ανάκτησή τους ή την εξουδετέρωσή τους. Ως πιο επικίνδυνα υλικά θεωρούνται τα βαρέα μέταλλα (υδράργυρος, χρώμιο, μόλυβδος, χαλκός, κάδμιο κ.α.), τα βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας, το αρσενικό, οι αλογονωμένες ουσίες (CFC, PVC, PCB), τα ραδιενεργά υλικά και ο αμίαντος.



Σχήμα 2.2. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου επεξεργασίας ΑΗΗΕ (<http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=64>)

Η απομάκρυνση τέτοιων ουσιών από τα ΑΗΗΕ γίνεται επιτακτική, δεδομένου ότι, κατά την υγειονομική ταφή υλικών, απελευθερώνονται στο περιβάλλον βλαβερές ουσίες, όπως μόλυβδος από απορρίμματα γυαλιών καθοδικού σωλήνα ή υδράργυρος από μπαταρίες. Επίσης, οι βλαβερές ουσίες που δεν απομακρύνονται κατά την ανακύκλωση παραμένουν προσκολλημένες στο ανακυκλωμένο υλικό και δύνανται, εν συνεχεία, να έρθουν σε επαφή με τον άνθρωπο ή το περιβάλλον, μέσω μιας νέας συσκευής που περιείχε το μολυσμένο ανακυκλωμένο υλικό. Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων λαμβάνει χώρα στο στάδιο της απορρύπανσης, όπου οι ουσίες των προϊόντων που αναγνωρίζονται ως επικίνδυνες απομακρύνονται και είτε αποθηκεύονται σε δοχεία με κατάλληλες επιγραφές ή εξουδετερώνονται μέσω ειδικών

διαδικασιών. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα συνηθέστερα, κατά ποσότητα, ΑΗΗΕ και οι, προς απορρύπανση, βλαβερές ουσίες που αυτά συνήθως περιέχουν (Ijomah and Chiodo, [2010]), (<http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/producer/electrical/documents/weee-hazwaste.pdf>).

Πίνακας 2.5. Συνηθέστερα κατά ποσότητα ΑΗΗΕ και οι προς απορρύπανση βλαβερές ουσίες που αυτά συνήθως περιέχουν

Προϊόντα/Υλικά	Βλαβερές ουσίες
Καθοδικές λυχνίες (CRT)	Οξείδια του μολύβδου (PbO), φωσφορίζουσες ουσίες
Οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD)	Υδράργυρος (Hg), υγροί κρύσταλλοι
Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων	Φλογοεπιβραδυντές, βηρύλλιο (Be)
Μπαταρίες	Μόλυβδος (Pb), υδράργυρος (Hg), κάδμιο (Cd), λίθιο (Li)
Λαμπτήρες εκκένωσης	Υδράργυρος (Hg)
Ηλεκτρικά καλώδια	Φλογοεπιβραδυντές, πλαστικοποιητές, χλωρο- παραφίνες
Πλαστικά	Φλογοεπιβραδυντές
Πυκνωτές	Πολυχλωροδιφαινίλια (PCB)
Ψυκτικές συσκευές	Χλωροφθοράνθρακες (CFC), διφθοροχλωρομεθάνιο (HCFC)

2.4.2.2 Αποσυναρμολόγηση

Σε πολλές περιπτώσεις, γίνεται επιθυμητή η συλλογή συγκεκριμένων, μόνο, τμημάτων των ΑΗΗΕ. Η αποσυναρμολόγηση έχει ως στόχο την απομάκρυνση και ανάκτηση τέτοιων επιθυμητών υποσυνόλων των ΑΗΗΕ, χωρίς θεωρητικά να προκληθεί ζημιά σε αυτά. Σε ορισμένες, βέβαια, περιπτώσεις, κρίνεται οικονομικά ωφέλιμη η μερική ή η πλήρης καταστροφή ενός τμήματος του αποσυναρμολογούμενου υλικού (με κοπή ή τεμαχισμό αυτού) ώστε να εξασφαλισθεί η πρόσβαση στα επιθυμητά μέρη του.

Οι διαδικασίες αποσυναρμολόγησης στις ανάλογες εγκαταστάσεις πρέπει να ακολουθούν τη σχετική νομοθεσία, όπως αναφέρεται στο παράρτημα 2 της Οδηγίας ΑΗΗΕ και περιγράφεται λεπτομερέστερα στο άρθρο “Guidance on Best Available Treatment Recovery and Recycling Techniques (BATRR) and treatment to Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)” της DEFRA.

Θεωρητικά, στην διαδικασία της αποσυναρμολόγησης ή του διαχωρισμού απομακρύνονται συστηματικά τα υποσύνολα από το γενικό σύνολο (<http://www.eoan.gr/el/content/13>). Κατά την αποσυναρμολόγηση, εξασφαλίζεται ότι, στα στοιχεία αυτά, δεν προκαλείται φθορά. Πιο ειδικά, Αποσυναρμολόγηση Τέλους Κύκλου Ζωής (TKZ) καλείται η ενέργεια όπου τα εξαρτήματα διαχωρίζονται και ανακτώνται με άρτιο τρόπο. Ο βαθμός επιτυχίας της ανάκτησης των υποσυνόλων, κατατάσσει την αποσυναρμολόγηση TKZ σε κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

- Μη καταστροφική (non destructive): χωρίς να καταστραφεί κανένα υποσύνολο, ή στοιχείο του προϊόντος (π.χ. λύνοντας κοχλιωτές συνδέσεις).
- Μερικώς καταστροφική (partly destructive): με καταστροφή κάποιων συνδέσεων ή επιλεγμένων εξαρτημάτων (π.χ. οξυγονοκοπή).
- Επιλεκτική αποσυναρμολόγηση (selective disassembly): η διαδικασία προχωρά μέχρι ένα επιθυμητό «βάθος» (disassembly depth), όπου εκτιμάται ότι είναι κοστολογικά και περιβαλλοντικά συμφέρουσα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της εφαρμογής συστηματικής αποσυναρμολόγησης είναι τα εξής:

- Ανάκτηση ολοκληρωμένων και πιθανώς λειτουργικών υποσυνόλων (επαναχρησιμοποίηση).
- Καθαρότερη ανάκτηση υλικών (αυξημένος βαθμός απόδοσης της μετέπειτα ανακύκλωσης).
- Καλύτερη επίτευξη απομάκρυνσης ή/και απομόνωσης επικίνδυνων ουσιών.

Ακόμα και σήμερα, η χειρωνακτική εργασία από το ανθρώπινο δυναμικό αποτελεί απαραίτητη διαδικασία στο στάδιο της αποσυναρμολόγησης, παρά την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τα αυτοματοποιημένα συστήματα. Οι κύριοι λόγοι που καθιστούν την αποσυναρμολόγηση όχι τόσο αποδοτική είναι (<http://www.eoan.gr/el/content/13>):

- Μεγάλη ποικιλία διαφορετικών προϊόντων ΗΗΕ και συνδέσεων που χρησιμοποιούν.

- Κατασκευαστική σύνθεση προϊόντων προσανατολισμένη στην εύκολη συναρμολόγηση και στην ασφάλεια συνδέσεων και όχι τόσο στην αποσυναρμολόγηση, με συνεπαγόμενη δυσκολία για την τελευταία.
- Ποικιλία υλικών. Συνεπάγεται δύσκολο διαχωρισμό τους, ενώ πολλά από αυτά είναι και μη ανακυκλώσιμα.
- Έλλειψη κατασκευαστικών δεδομένων για την γεωμετρία και την κατασκευαστική δομή των προϊόντων.
- Τυχειότητα τόσο του χρόνου επιστροφής, όσο και της κατάστασης των προϊόντων μετά το TKZ τους και αλλαγές των αρχικών χαρακτηριστικών τους, όπως φθορές, θραύσεις, αντικατάσταση μερών με άλλα, ρύποι, σκουριές κ.λπ.

Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία του σταδίου αυτού, είναι απαραίτητο να εξεταστεί σε ποια κατηγορία του ΗΗΕ ανήκει η συσκευή που πρόκειται να αποσυναρμολογηθεί. Αναλυτικότερα:

- **Κατηγορία 1** (Μεγάλες Οικιακές Συσκευές). Αποτελείται κυρίως από πλυντήρια ρούχων και πιάτων, ψυγεία και κουζίνες. Κατά την αποσυναρμολόγηση αφαιρούνται οι πυκνωτές, οι πλακέτες με τυπωμένα κυκλώματα, τα εξωτερικά καλώδια, και τα ελαστικά μέρη. Σχεδόν όλο το σύνολο (99%) των συσκευών της κατ. 1 αποτελείται από σιδηρούχα μέταλλα (Δημόπουλος, [2004]). Στον Πίνακα 2.6. παρατίθενται συσκευές και ο αντίστοιχος μέσος χρόνος αποσυναρμολόγησης.

Πίνακας 2.6. Συσκευές και μέσος χρόνος αποσυναρμολόγησης (Δημόπουλος, [2004]), (Θεοδώρου, [2012])

Συσκευές	Μέσος χρόνος αποσυναρμολόγησης (min/τεμάχιο)
Πλυντήρια ρούχων και πιάτων, ψυγεία και κουζίνες.	3,7
Θερμοσίφωνες, απορροφητήρες, μεγάλες συσκευές ψύξης	4,5
Καλοριφέρ λαδιού	25 (λόγω του χρόνου που απαιτείται για την εκκένωση του λαδιού)

- **Κατηγορία 2** (Μικρές οικιακές συσκευές). Αποτελείται κυρίως από καφετιέρες, ηλεκτρικές σκούπες, σεσουάρ και ηλεκτρικά σίδερα. Παρόλο που οι συσκευές αυτές, χαρακτηρίζονται από μικρή μάζα, ο απαιτούμενος χρόνος αποσυναρμολόγησης θεωρείται συγκριτικά μεγάλος και ανέρχεται σε 2,1 λεπτά ανά τεμάχιο. Ο Πίνακας 2.7. παρουσιάζει την ποσοστιαία σύσταση των αποσυναρμολογημένων υλικών.

Πίνακας 2.7. Υλικά και σύσταση επί τοις εκατό στις μικρές οικιακές συσκευές (Δημόπουλος, [2004])

Υλικά	Ποσοστιαία σύσταση (%)
Σιδηρούχα μέταλλα	44
Πλαστικά	38
Πηγία	11
Αλουμίνιο	2
Λοιπά υλικά	5

- **Κατηγορία 3.** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κυρίως τα μηχανήματα γραφείου, όπως π.χ. οι Η/Υ και τα περιφερειακά αυτών, τα φωτοτυπικά μηχανήματα καθώς και οι συσκευές φαξ. Ο μέσος χρόνος αποσυναρμολόγησης είναι περίπου 6 λεπτά ανά τεμάχιο για τους Η/Υ, ενώ για τις επόμενες δύο συσκευές έως και 20 λεπτά ανά τεμάχιο. Ο Πίνακας 2.8. αναφέρεται στο ποσοστό των αποσυναρμολογημένων υλικών των παραπάνω συσκευών.

Πίνακας 2.8. Ποσοστό αποσυναρμολογημένων υλικών (Δημόπουλος, [2004])

Υλικά	Ποσοστιαία σύσταση (%)
Σιδηρούχα μέταλλα	55
Πλαστικά	24
Κυκλώματα	5
Πηγία	2

Πίνακας 2.8. (Συνέχεια...)

Υλικά	Ποσοστιαία σύσταση (%)
Λοιπά υλικά	14

- **Κατηγορία 4.** Η κατηγορία αυτή αποτελείται από συσκευές που περιέχουν οθόνη, καθώς και τα είδη εξοπλισμού για την αναπαραγωγή ήχου και εικόνας. Τα αποσυναρμολογούμενα υλικά ποικίλουν ως προς τη σύνθεσή τους. Δηλαδή, οι ασπρόμαυρες οθόνες χαρακτηρίζονται από ένα είδος γυαλιού, ενώ οι έγχρωμες από παραπάνω. Οι συσκευές είναι δυνατό να περιβάλλονται με δύο τρόπους: πλαστικό περίβλημα ενισχυμένο με μέταλλο και ξύλο το οποίο συνήθως εμπεριέχει ρητίνες φαινόλης/φορμαλδεΐδης. Και τα δύο, χάρη στις βρωμιούχες ουσίες τις οποίες περιέχουν, επιβραδύνουν την διαδικασία της καύσης. Στην κατηγορία των συσκευών που περιέχουν οθόνη, αφαιρούνται οι λυχνίες, πλαστικά και ξύλινα μέρη, οι μπαταρίες και οι πυκνωτές (που μπορεί να περιέχουν PCB). Το 12% της αποσυναρμολόγησης, αποτελείται από τυπωμένα κυκλώματα, ενώ το μικρής τάξεως 7% από σιδηρούχα μέταλλα. Επιπλέον, ο μέσος χρόνος αποσυναρμολόγησης εκτιμάται σε 8 λεπτά ανά τεμάχιο, ενώ μπορεί να ποικίλει αναλόγως τη συσκευή με εύρος από 2 έως 20 λεπτά ανά τεμάχιο. Παράλληλα, στις συσκευές ήχου και εικόνας ο αντίστοιχος χρόνος είναι 11 λεπτά, ο οποίος αποτελεί αρκετά μεγάλο χρόνο. Στον Πίνακα 2.9. φαίνονται τα ποσοστά των αποσυναρμολογημένων υλικών των συσκευών ήχου και εικόνας.

Πίνακας 2.9. Ποσοστό αποσυναρμολογημένων υλικών συσκευών ήχου και εικόνας (Δημόπουλος, [2004]), (Θεοδώρου, [2012])

Υλικά	Ποσοστιαία σύσταση (%)
Πλαστικά	37
Σιδηρούχα μέταλλα	26
Κυκλώματα	11
Πηγία	8
Λοιπά υλικά	18

2.4.2.3 Τεμαχισμός (Shredding)

Αυτός ο τρόπος είναι ο επικρατέστερος και γι' αυτό θα παρουσιασθεί λεπτομερέστερα. Είναι ο τρόπος που θα ανακυκλώνονται τα ΑΗΗΕ σε ολόκληρη την Ελλάδα. Η βασική αρχή της επεξεργασίας αυτής είναι: αρχικά, οι συσκευές τεμαχίζονται σε πολύ μικρά κομμάτια και στη συνέχεια διαχωρίζονται τα διάφορα υλικά με ειδικές διεργασίες. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με σκοπό το διαχωρισμό των καθαρών υλικών έτσι ώστε να αυξάνεται η τιμή πώλησής τους (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Μπορεί, κανείς, να τον χαρακτηρίσει μη ελεγχόμενη αποσυναρμολόγηση.

Οι συσκευές εισάγονται σε κυλινδρικό δοχείο (σε ορισμένες περιπτώσεις συμπιέζονται πρώτα σε πρέσες), όπου υπάρχουν ειδικά σφυριά τα οποία περιστρέφονται και κομματιάζουν τις συσκευές, μέχρι αυτές να φτάσουν στο επιθυμητό μέγεθος (συνήθως 10-100mm) (Δημόπουλος, [2004]), (<http://www.eoan.gr/el/content/13>). Οι κυριότεροι τύποι τεμαχιστών είναι οι σφυρόμηλοι, θραυστήρες κρούσης και περιστροφικοί κόπτες (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Ενδιαφέρον επίσης, παρουσιάζει μία νέα τεχνολογία που προωθείται από

την εταιρεία MeWa, όπου τα ΑΗΗΕ τεμαχίζονται με τη διαδικασία σύγκρουσης των συσκευών μεταξύ τους, ενώ επικρατούν συνθήκες υψηλής πίεσης (<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=7Z1up05Xrto%3d&tabid=777&language=el-GR>). Ο τρόπος αυτός είναι αποτελεσματικός, διότι τα υλικά των συσκευών διαφοροποιούνται αλλά χωρίς να κόπτονται τα ομοιογενή κομμάτια. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται σε σημαντικό βαθμό ο απαιτούμενος χρόνος για την απορρύπανση και αποσυναρμολόγηση στην αρχή της διαδικασίας του τεμαχισμού. Παρ' όλα αυτά, ένα σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η εναπόθεση επικίνδυνων κατασκευαστικών στοιχείων π.χ. μπαταρίες, πυκνωτές κ.λπ. στην είσοδο του τεμαχιστή.

Η μέθοδος ακολουθείται κυρίως για τους παρακάτω λόγους (<http://www.eoan.gr/el/content/13>):

- Επίτευξη διαχωρισμού υλικών με χαμηλό κόστος
- Άρση δυσκολιών στην αποσυναρμολόγηση που προκύπτουν από φθορές χρήσης, κατά τη διάρκεια ζωής της συσκευής.

Ο τεμαχισμός όμως, φέρει και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα (<http://www.eoan.gr/el/content/13>):

- Επιτυγχάνει χαμηλό ποσοστό ανακύκλωσης υλικών.
- Δεν επιτρέπει επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων ή υποσυνόλων.
- Συχνά παρατηρείται ρύπανση υλικών τα οποία θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν, με άλλα, επικίνδυνα ή μη ανακυκλώσιμα, καθιστώντας τα απορριπτέα.
- Αποκλίνει από το πνεύμα της πρόσφατης εθνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας που δίνουν προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση των ΑΗΗΕ.

Η ανακύκλωση ΑΗΗΕ με τεμαχισμό μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελεσματική, κοστολογικά συμφέρουσα και προτιμητέα για τα λεγόμενα «ιστορικά» προϊόντα. Η έρευνα ήδη προσανατολίζεται προς νέες πιο ολοκληρωμένες λύσεις για την διαχείριση των ΑΗΗΕ του μέλλοντος.



Σχήμα 2.3. Τεμαχιστής - Κοκκοποιητής (Artech Recycling technik GmbH)

Στο στάδιο αυτό, με συγκεκριμένες διαδικασίες, πραγματοποιείται επιλεκτική αφαίρεση από τα ΑΗΗΕ ουσιών και στοιχείων από τα οποία κατασκευάζονται και παρασκευάζονται και είναι ωφέλιμο να συλλέγονται χωριστά (Δημόπουλος, [2004]), (Θεοδώρου, [2012]), (http://www.unep.org/pdf/pressreleases/E-waste_publication_screen_finalversion-sml.pdf):

- Πυκνωτές που περιέχουν πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB)
- Κατασκευαστικά στοιχεία που περιέχουν υδράργυρο, όπως διακόπτες και οπισθοφωτιστικές λυχνίες
- Μπαταρίες
- Πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων από κινητά τηλέφωνα, εν γένει και από άλλες συσκευές, αν η επιφάνεια της πλακέτας υπερβαίνει τα 10 τετραγωνικά εκατοστά
- Δοχεία υγρών ή κολλωδών καθώς και έγχρωμων μελανιών
- Πλαστικά υλικά που περιέχουν βρωμιούχους φλογοεπιβραδυντές
- 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, όπου ενδείκνυται), 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, διάμετρος>25mm ή ανάλογος όγκος)

Παρακάτω παρατίθενται κατασκευαστικά στοιχεία των ΑΗΗΕ, τα οποία συλλέγονται χωριστά και υφίστανται ειδική επεξεργασία (Δημόπουλος, [2004]), (Θεοδώρου, [2012]), (http://www.unep.org/pdf/pressreleases/E-waste_publication_screen_finalversion-sml.pdf):

- 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

Όπως προαναφέρθηκε, τα ΑΗΗΕ που εισέρχονται στους τεμαχιστές διασπώνται σε μικρότερα τμήματα με κοπή, πτώση ή σύγκρουση μεταξύ τους, υπό υψηλή πίεση.

Για τον διαχωρισμό των υλικών σε ομάδες και την αύξηση της ειδικής επιφάνειας μέσω ειδικών μηχανημάτων (Δημόπουλος, [2004]), πραγματοποιούνται οι ακόλουθες διαδικασίες:

- συρρίκνωση
- άλεση
- κοπή (εφαρμόζοντας μηχανική πίεση ή εναλλασσόμενη προσέγγιση και απομάκρυνση των επιφανειών ή συνεχή κίνηση των επιφανειών θραύσης ή πρόσκρουση των υλικών πάνω σε σταθερή επιφάνεια) (Δημόπουλος, [2004])

Η διαδικασία του τεμαχισμού είναι πολύ σημαντική, γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να επιλεγούν με δέουσα προσοχή τα σωστά μηχανήματα, εφόσον

αναλυθούν οι παρακάτω παράμετροι
(<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=437&language=el-GR>):

- Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του υλικού που πρόκειται να τεμαχιστεί (μέγεθος, δομή, σκληρότητα κ.λπ.)
- Ο σκοπός χρήσης του (π.χ. θραύση σάκων ή μετάλλων)
- Οι απαιτούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος (πχ. compost, RDF κ.λπ.)

2.4.2.3.1 Κοσκίνισμα – Δονούμενα κόσκινια

Σ' αυτό το στάδιο, διαχωρίζονται υλικά διαφορετικού μεγέθους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των διαφορετικών μεγεθών, των οπών οι οποίες βρίσκονται πάνω σε διάτρητες επιφάνειες. Η κλίση και η κατάλληλη δόνηση των κόσκινων παρεμποδίζουν την ομαλή έμφραξη των οπών. Η κίνηση των δονούμενων κόσκινων είναι συνήθως κάθετη προς την επιφάνεια κοσκινίσματος. Η θέση τους είναι μετά τον τεμαχιστή και σκοπό έχουν να μειώνουν αισθητά το μέγεθος των κόκκων.

2.4.2.3.2 Τράπεζα διαχωρισμού

Ο διαχωρισμός των υλικών, στη διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται με την τριβή, τη βαρύτητα και την υδραυλική ροή (<http://www.eoan.gr/el/content/13>). Η τράπεζα διαχωρισμού εκμεταλλεύεται τις παραπάνω ενέργειες, χρησιμοποιώντας κεκλιμένες τράπεζες όπου κυλάει νερό.

2.4.2.3.3 Κονιορτοποίηση

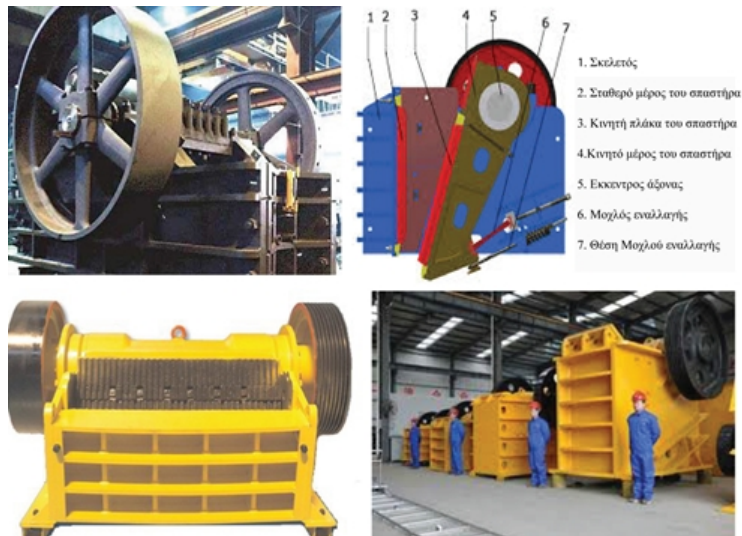
Η διαδικασία αυτή είναι πανομοιότυπη με αυτή του τεμαχισμού. Η βασική διαφορά τους είναι ότι σε αυτήν, παράγονται κόκκοι μικρότερης κλίμακας απ' ό,τι στον τεμαχισμό (10-20 mm). Αυτό είναι πολύ σημαντικό για το διαχωρισμό στα επόμενα στάδια. Πριν το τελικό στάδιο διαχωρισμού χαλκού, αργίλου και πλαστικού, χρησιμοποιείται η κονιορτοποίηση (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Επίσης, διαχωρίζει υλικά, τα οποία θα μπορούσαν να είναι επιβλαβή σε επόμενα στάδια επεξεργασίας. Το δυναμικό προσωπικό είναι απαραίτητο να δώσει ιδιαίτερη προσοχή σε θέματα υγείας όταν χρησιμοποιεί αυτή τη

διαδικασία, διότι η προκύπτουσα σκόνη είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία και πρέπει να αποφεύγεται η εισπνοή της. Για το λόγο αυτό, οι κατασκευαστές προτείνουν ειδικά συστήματα για την απομάκρυνση της σκόνης.

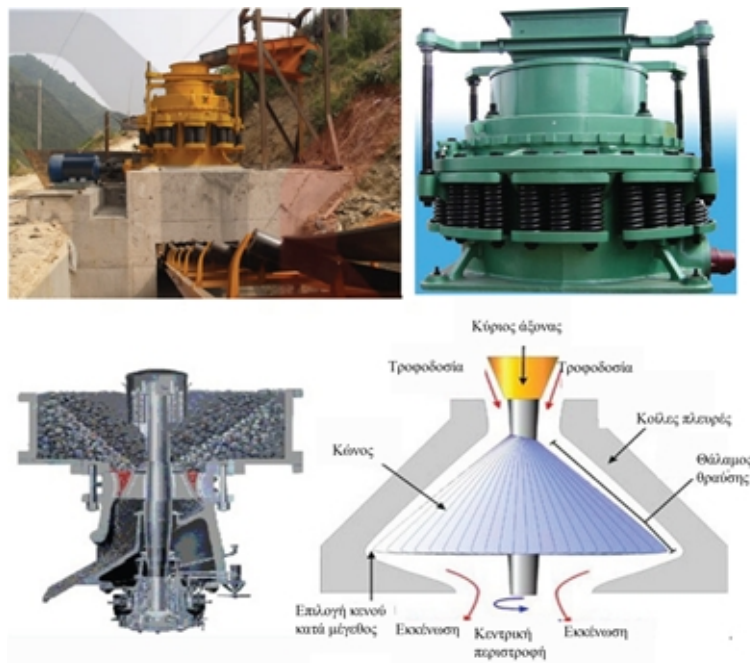
2.4.2.3.4 Ανάλυση τεμαχιστών και μύλων

Οι τεμαχιστές χρησιμοποιούνται για την πρόθραυση, δηλαδή για την καταστροφή μεγάλων τεμαχίων υλικού μέχρι να τα φέρουν στη μορφή χαλικιών, ώστε μετά από αυτό να εισαχθούν στον μύλο. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τεμαχιστών:

- **Σιαγωνωτός τεμαχιστής.** Αποτελείται από δύο επιφάνειες που κινούνται η μια παλινδρομικά εναντίον της άλλης και συνθλίβουν το υλικό που περνάει ενδιάμεσα. Συνήθως η μια επιφάνεια είναι σταθερή και η άλλη κινείται. Η όλη διαδικασία προσομοιάζει στην κίνηση των σιαγώνων.
- **Κωνικός τεμαχιστής.** Βασίζεται στην ίδια αρχή μετακίνησης μιας επιφάνειας εναντίον μιας άλλης, μόνο που στην περίπτωση του κωνικού τεμαχιστή υπάρχει περιστροφή αντί για παλινδρόμηση.
- **Κάθετος κρουστικός τεμαχιστής.** Χρησιμοποιεί το ίδιο το υλικό για την θραύση του, το οποίο και εκσφενδονίζει, δια της περιστροφής, επάνω στα τοιχώματα του τεμαχιστή, με μεγάλη ταχύτητα. Συγκρούσεις των σωματιδίων με τα τοιχώματα, όσο και με σωματίδια που περιήλθαν στον σπαστήρα σε μεταγενέστερο χρόνο, λειοτρίβουν τα σωματίδια μειώνοντας την κοκκομετρία τους. Χρησιμοποιείται πάρα πολύ στα μεταλλεύματα.



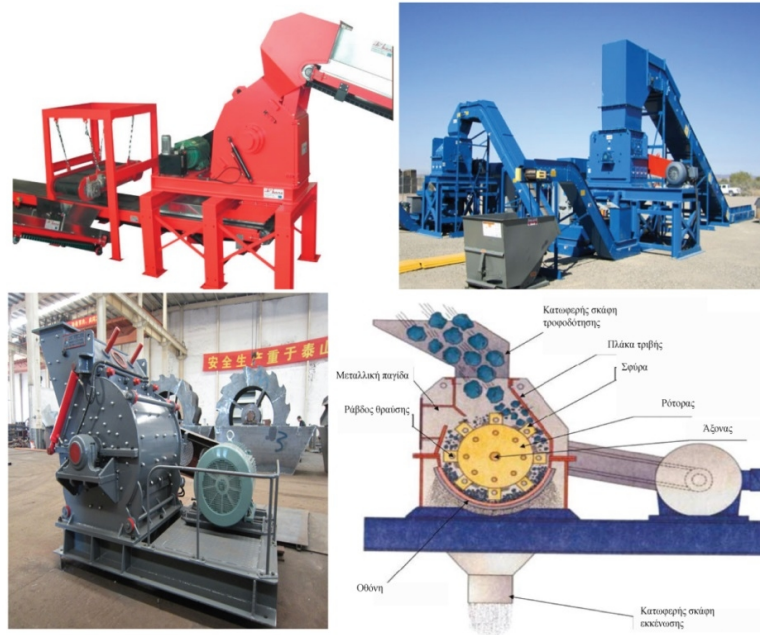
Σχήμα 2.4. Σιαγωνωτός τεμαχιστής (google.com)



Σχήμα 2.5. Κωνικός τεμαχιστής (google.com)

Οι μύλοι χρησιμοποιούνται στην περαιτέρω θλίψη και καταστροφή του υλικού, ώστε να το φέρουν σε πολύ χαμηλότερες κοκκομετρίες, της τάξης μεγέθους της άμμου, αλλά ακόμα και τις ιλύως και της αργίλου, ώστε να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία.

- **Σφυρόμυλος.** Περιστρέφει σειρά παράλληλα παραταγμένων σφυριών που έρχονται σε πρόσκρουση και συνθλίβουν το υλικό.



Σχήμα 2.6. Σφυρόμυλος (google.com)

- **Σφαιρόμυλοι.** Αποτελούνται από κλειστό κυλινδρικό δοχείο που περιστρέφεται οριζόντια. Μέσα στο δοχείο, υπάρχει το υλικό προς λειοτρίβηση και μικρές ως μεσαίες χαλύβδινες σφαίρες. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο γεγονός ότι με τη σύγκρουση των σφαιρών μεταξύ τους και με το υλικό θραύει και κοκκοποιεί το υλικό.

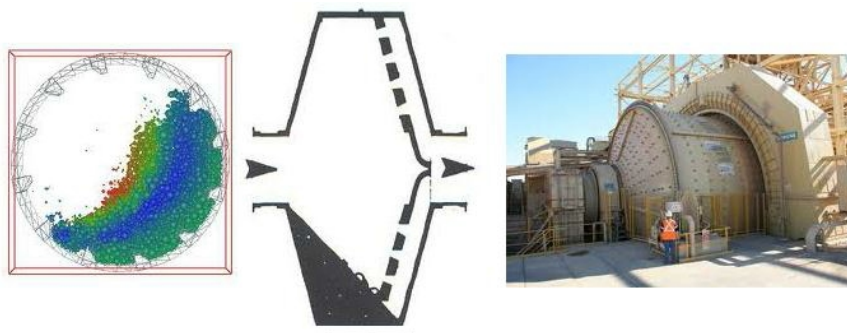


Σχήμα 2.7. Σφαιρόμυλοι και σχηματική περιγραφή της αρχής λειτουργίας τους (google.com)

- **Κυλινδρόμυλοι.** Βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, αλλά, αντί για χαλύβδινες σφαίρες, έχουν συμπαγείς χαλύβδινους σωλήνες.

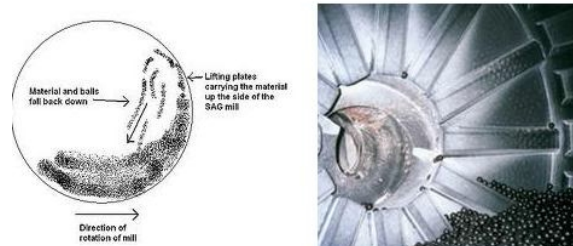


Σχήμα 2.8. Κυλινδρόμυλοι (google.com)



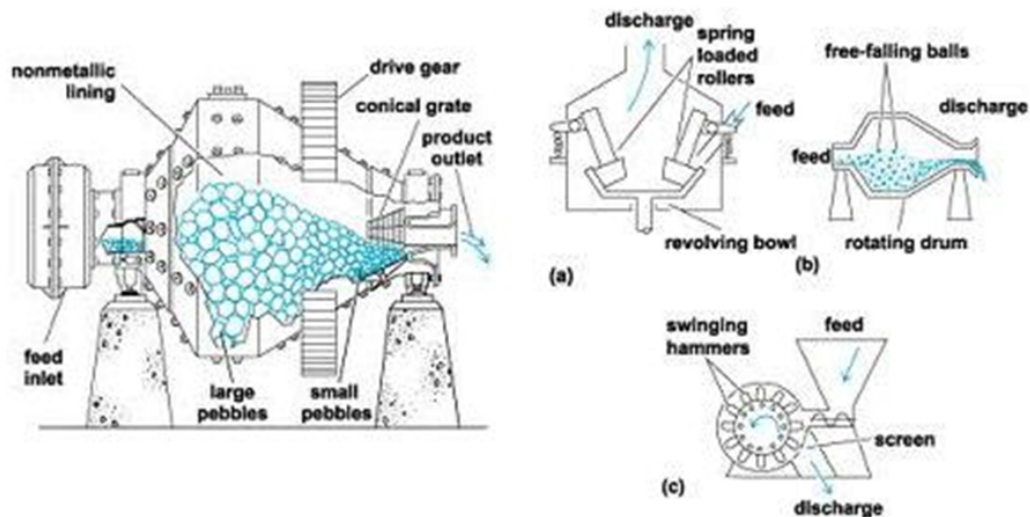
Σχήμα 2.9. Αυτογενείς μύλοι (google.com)

- **Αυτογενείς μύλοι.** Αποτελούν απλοποίηση των ανωτέρω δύο τύπων. Δεν χρησιμοποιούν ούτε κυλίνδρους ούτε σφαιρίδια. Το λειοτριβητικό σώμα εκεί πέρα είναι το ίδιο το υλικό, τεμάχια του οποίου αλληλοσυγκρούονται και σπάνε.
- **Ημιαυτογενείς μύλοι.** Όπως παραπάνω, αλλά χρησιμοποιούν λίγα σφαιρίδια και η λειοτρίβηση γίνεται, κατά ένα μεγαλύτερο ποσοστό, αυτογενώς. Τα σφαιρίδια χρησιμοποιούνται περισσότερο για την αναμόχλευση του υλικού παρά για τη λειοτρίβησή του.



Σχήμα 2.10. Ημιαυτογενείς μύλοι (google.com)

- **Λιθολειοτριβητής - Λιθόμυλος.** Χρησιμοποιούν λίθους ή σφαιρίδια από χαλαζία και άλλα σκληρά υλικά. Χρησιμοποιούνται όταν δεν είναι επιθυμητή η επιμόλυνση του λειοτριβήματος με σιδηρούχα υλικά.



Σχήμα 2.11. Λιθολειοτριβητής - Λιθόμυλος (google.com)

- **Κυλινδρόμυλοι υψηλής πίεσης.** Πολύ αποτελεσματικός τρόπος λειοτριβής, η οποία πραγματοποιείται με την συντριπτική καταστροφή σωματίων που διέρχονται διαμέσου δύο πολύ ισχυρών και βαρέων χαλύβδινων (συνήθως) κυλίνδρων που είναι τοποθετημένοι αντιδιαμετρικά και εφαπτομενικά και περιστρέφονται σε επαφή, με την ίδια ταχύτητα.



Σχήμα 2.12. Κυλινδρόμυλοι υψηλής πίεσης (google.com)

- **Μύλος τύπου Buhrstone (Δισκολειοτριβητής).** Βασίζεται στην κλασική τεχνική μύλευσης με ένα δίσκο που περιστρέφεται επάνω από ένα δίσκο που παραμένει σταθερός, είτε κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και το υλικό προς μύλευση βρίσκεται στη διεπαφή των δύο δίσκων. Το υλικό διέρχεται από μια οπή στο κέντρο της επάνω τοποθετημένης πέτρας. Έχει το

πλεονέκτημα της μεγάλης αποτελεσματικότητας ακόμα και σε μικρές μονάδες, φορητές πολλές φορές, αλλά έχει και το μειονέκτημα των φθορών των δίσκων.



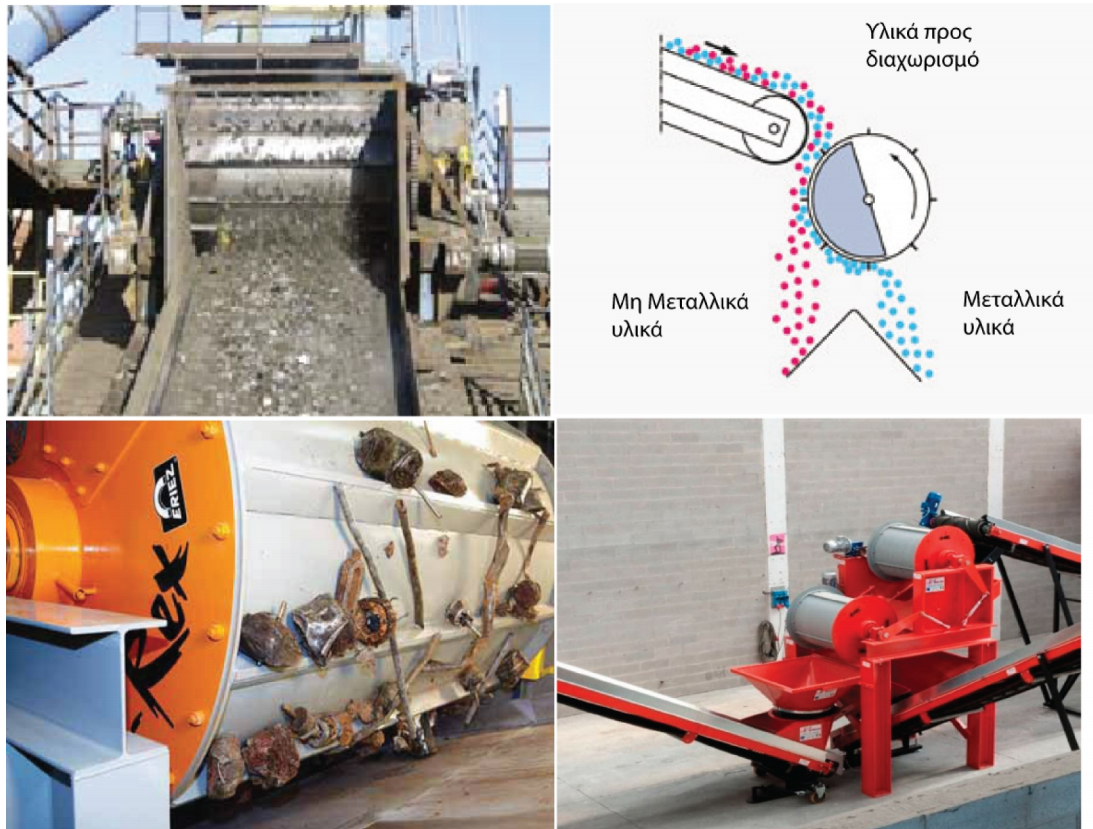
Σχήμα 2.13. Μύλος τύπου Buhrstone (google.com)

2.4.2.4 Μαγνητικός διαχωρισμός

Πρόκειται για μια απλή μέθοδο διαχωρισμού των μαγνητιζόμενων, δηλαδή σιδηρούχων υλικών, από το ρεύμα των ΑΗΗΕ. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στην έλξη των μαγνητιζόμενων υλικών από ένα μαγνητικό τύμπανο ή έναν, κατάλληλα τοποθετημένο, μαγνητικό ιμάντα, καθώς αυτά ρέουν με την βοήθεια μεταφορικής ταινίας. Ο μαγνητικός ιμάντας τοποθετείται πάνω από την μεταφορική ταινία και συνήθως οι μαγνήτες τοποθετούνται κατά μήκος ή κατά πλάτος του διαχωριστικού πεδίου, όταν η ταχύτητα ροής των απορριμμάτων είναι υψηλή (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>).

Οι μέθοδοι μείωσης όγκου που ταυτόχρονα εγγυώνται και την ομοιογένεια των υλικών, ο τεμαχισμός ή η κονιορτοποίηση, προηγούνται του μαγνητικού διαχωρισμού. Έτσι, δεν είναι απαραίτητη η χρήση ισχυρού μαγνητικού πεδίου για το διαχωρισμό των σιδηρούχων στοιχείων των ΑΗΗΕ. Δύο είναι τα κύρια είδη μαγνητών που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό: ο μαγνητικός ιμάντας και τα μαγνητικά τύμπανα.

Ο πρώτος, βρίσκεται επάνω από τη μαγνητική ταινία και έλκει τα μαγνητικά υλικά, που στη συνέχεια μεταφέρονται εκτός πεδίου. Η θέση του μαγνήτη, διαμορφώνει δύο υποκατηγορίες μαγνητών: τους κατά πλάτος ή τους κατά μήκος (αυτοί είναι χρήσιμοι στην περίπτωση όπου τα απορρίμματα διέρχονται με μεγάλη ταχύτητα) του διαχωριστικού πεδίου.



Σχήμα 2.14. Μαγνητικό τύμπανο (Steinert)

Νέο τεχνολογικό επίτευγμα των ΗΠΑ αποτελούν οι μαγνητικοί ιμάντες με τρεις μαγνήτες. Η ανακάλυψη αυτή είναι καθοριστική για το μαγνητικό διαχωρισμό, αφού συχνό φαινόμενο αποτελεί ο μαγνητισμός άλλων υλικών που παρασύρονται από μέταλλα. Γενικά, η ανάκτηση του σιδήρου από τα υλικά των ΑΗΗΕ, μέσω μαγνητισμού, είναι μία από τις κύριες διαδικασίες διαχωρισμού στις Μονάδες Επεξεργασίας. Ειδικά, η ανάκτηση σιδήρου αποτελεί έναν πολύ σημαντικό πόρο εσόδων για τις μονάδες αυτές. Συνήθως, η χρήση ενός σεβαστού πλήθους μαγνητών σε μία Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ είναι αναγκαία. Αυτό συμβαίνει διότι, τα ΑΗΗΕ διαθέτουν υπέρογκες ποσότητες σιδηρούχων μετάλλων, των οποίων η αξία στην αγορά είναι αρκετά μεγάλη, ενώ αντίθετα, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των μαγνητικών μηχανημάτων είναι χαμηλό.

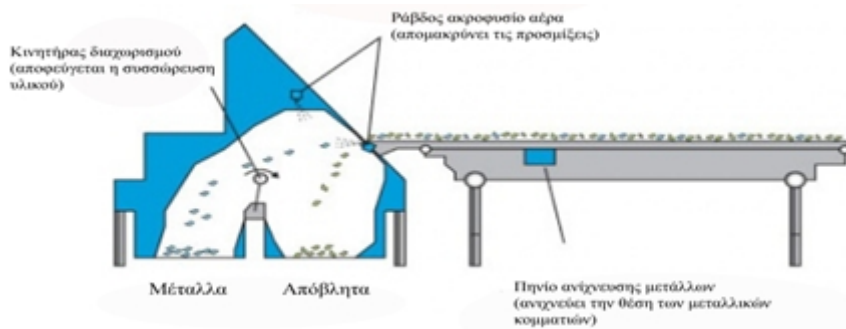


Σχήμα 2.15. Μαγνητική ταινία (Steinert)

2.4.2.5 Αεροδιαχωρισμός (Air separation)

Ο αεροδιαχωρισμός αποτελεί διεργασία διαχωρισμού ενός ανομοιογενούς μείγματος, όπως είναι και τα ΑΗΗΕ, στα επί μέρους υλικά, υπό την επίδραση ρεύματος αέρα. Βασίζεται στις διαφορετικές τροχιές που διαγράφουν τα διαφορετικού βάρους σωματίδια μέσα σε στρώμα αέρα, κυρίως λόγω της επίδρασης της βαρύτητας. Η αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού εξαρτάται από την ταχύτητα του εμφυσημένου αέρα, το χρόνο παραμονής, την υγρασία, το βάρος και το σχήμα των σωματιδίων.

Ο συνηθέστερος τύπος αεροδιαχωριστή ονομάζεται διαχωριστής τύπου «ζικ-ζακ». Η κατασκευή του θυμίζει σχήμα ζικ-ζακ λόγω της τοποθέτησης των καναλιών μέσα στα οποία τοποθετούνται τα προς διαχωρισμό υλικά και ρέει ο αέρας. Το βαρύ κλάσμα του μίγματος παραμένει στο κάτω μέρος των καναλιών, ενώ το ελαφρύτερο κινείται στα υψηλότερα επίπεδά τους παρασυρόμενα από τον αέρα. Για να μειωθεί η ανεπιθύμητη επίδραση της τριβής κατά την διάρκεια της διαδικασίας, δηλαδή η συγκέντρωση υλικών σε συγκεκριμένα σημεία του καναλιού, η κατασκευή υποστηρίζεται και από ένα σύστημα δόνησης. Για να μην προσκολλώνται τα σωματίδια στα τοιχώματα, αυτά καλύπτονται από ένα ελαστικό στρώμα και παράλληλα υπάρχει και ένα σύστημα δόνησης. Έτσι, γίνεται ο διαχωρισμός των ελαφρών κλασμάτων των αποβλήτων, από τα βαρέα.

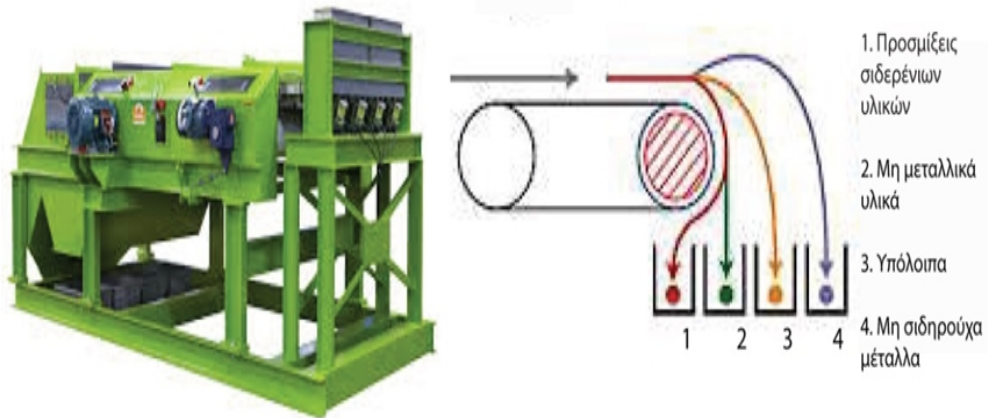


Σχήμα 2.16. Σύστημα Αεριοδιαχωρισμού (Search and Separate – S+S)

2.4.2.6 Επαγωγικός διαχωρισμός (Eddy Current separation)

Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του αλουμινίου και του χαλκού από τα ΑΗΗΕ. Τα υλικά αυτά δεν γίνεται να ανακτηθούν με μαγνητικό διαχωρισμό, αφού δεν είναι μαγνητικά υλικά, οπότε η μέθοδος του επαγωγικού διαχωρισμού είναι ένα επιπλέον απαραίτητο βήμα της διαδικασίας. Η μέθοδος στοχεύει στη δημιουργία δινορευμάτων στον εισερχόμενο χαλκό και στο αλουμίνιο, ώστε να αυτά να έλκονται ή να απωθούνται από τον διαχωριστή, με αποτέλεσμα να διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα απόβλητα.

Ο διαχωριστής που χρησιμοποιείται γι' αυτήν την μέθοδο είναι ένας απλός περιστρεφόμενος δρομέας με μόνιμο μαγνήτη. Ο δρομέας αυτός στρέφεται με μεγάλη ταχύτητα στο εσωτερικό ενός μεγάλου τυμπάνου, δημιουργώντας ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο στο χώρο όπου βρίσκονται τα απόβλητα. Η αυξομείωση της μαγνητικής ροής στα μη μαγνητικά υλικά (χαλκός, αλουμίνιο) επάγει σε αυτά δινορεύματα που παράγουν μαγνητικό πεδίο τέτοιας φοράς, ώστε να αντιτίθεται την φορά του μαγνητικού πεδίου του δρομέα. Ως αποτέλεσμα, η αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων δημιουργεί ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τον διαχωρισμό του χαλκού και του αλουμινίου από το κλάσμα των ΑΗΗΕ. Η ανάκτηση των υλικών αυτών, σε μία Μονάδα Επεξεργασίας ΑΗΗΕ, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές κερδών, διότι οι ποσότητες ανακτημένου αργιλίου και χαλκού έχουν μεγαλύτερη αγοραστική αξία απ' ότι τα υπόλοιπα υλικά.



Σχήμα 2.17. Αρχή λειτουργίας Eddy Current (Steinert)

2.4.2.7 Ηλεκτροστατικός Διαχωρισμός

Τα στοιχεία τα οποία συνθέτουν τα ΑΗΗΕ δεν παρουσιάζουν απαραίτητα ομοιομορφία, όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έτσι, ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός, εφαρμόζοντας ηλεκτρικά πεδία, διαχωρίζει τα μέταλλα από τα μη-μέταλλα (π.χ. χαλκός - πλαστικά καλωδίων). Η διαδικασία αυτή είναι επιτυχής όσον αφορά το διαχωρισμό των υλικών (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>).

2.4.2.8 Διαχωρισμός Ειδικού Βάρους

Με αυτή την τεχνική, ξεχωρίζονται τα υλικά με διαφορετικό ειδικό βάρος (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Αυτή η διαδικασία θα μπορούσε να επιτευχθεί και με αεροδιαχωρισμό. Οι τεχνολογίες και τα μηχανήματα που χρησιμοποιεί είναι κυκλώνες, φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες και διαχωριστήρες υγρής κλίνης (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Χρησιμοποιείται για να γίνει διαχωρισμός του ειδικού βάρους των κλασμάτων των ΑΗΗΕ, έτσι ώστε να έχουν υψηλή αγοραστική αξία και, κατά συνέπεια, αυξάνεται η βιωσιμότητα της Μονάδας Επεξεργασίας ΑΗΗΕ.

2.4.2.9 Πυρομεταλλουργική επεξεργασία

Σ' αυτήν τη διαδικασία, τα μέταλλα τήκονται και ανακτώνται, χρησιμοποιώντας, ως καύσιμο, τα μέρη των υλικών που δεν είναι κατασκευασμένα από μέταλλο (Δημόπουλος, [2004]), (Θεοδώρου, [2012]). Αφού απομονωθούν τα υγρά και αποσυναρμολογηθούν τα πολύτιμα υλικά, το υπόλοιπο συμπιέζεται και οδηγείται στην υψικάμινο, εκεί όπου τήκονται τα μέταλλα και διαχωρίζονται έτσι ώστε να μην δημιουργήσουν ανεπιθύμητα κράματα. Σημαντικό ρόλο κατέχουν οι λόγοι που θα χρησιμοποιηθούν τα ανακυκλώμενα υλικά. Για παράδειγμα, ο χαλκός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και είναι υλικό το οποίο μπορεί να σχηματίσει κράματα χάλυβα από όπου είναι αρκετά δύσκολο να αφαιρεθεί, με συνέπεια να μειώνεται η αξία του (Θεοδώρου, [2012]). Τέλος, για την εφαρμογή της μεταλλουργικής επεξεργασίας, οι απόψεις δίστανται. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι, συγκριτικά με την αποσυναρμολόγηση, οι απολαβές της ενέργειας που αποκτούμε είναι προτιμότερες. Άλλοι, βλέπουν την μέθοδο ως μια αποτέφρωση αποβλήτων.

2.4.2.10 Υδρομεταλλουργία

Συχνά ενδείκνυται, κατά την διαδικασία επεξεργασίας των ΑΗΗΕ, να κάνουμε τον πρώτο διαχωρισμό πυρομεταλλουργικά, ιδιαίτερα εάν, σε επόμενη φάση, τα πλαστικά μέρη χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας. Αυτό επιτρέπει το "τραχύ" τεμαχισμό των υλικών, αλλά ταυτόχρονα, εστιάζει την προσοχή μας στα περισσότερα "επικίνδυνα" υλικά, συστατικά και στοιχεία. Μια

συμπληρωματική επεξεργασία λαμβάνει χώρα χρησιμοποιώντας τη υδρομεταλλουργική διύλιση.

2.4.2.11 Συμπίεση

Η διαδικασία αυτή, πραγματοποιείται συνήθως σε τελικό στάδιο. Η συμπίεση εφαρμόζεται για τη μείωση του όγκου, έτσι ώστε τα υλικά να μεταφέρονται με χαμηλότερο κόστος (<http://www.eoan.gr/el/content/13>). Με τα μηχανήματα συμπίεσης, πλινθοποίησης και μπρικεττοποίησης επιτυγχάνεται ελάττωση της επιφάνειας, αύξηση της πυκνότητας και ευκολότερος χειρισμός των υλικών, διαμορφώνοντας έτσι ιδανικότερες συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς τους.

Η αποθήκευση και η μεταφορά των ΑΗΗΕ διευκολύνεται σημαντικά, από οικονομικής και πρακτικής άποψης, εάν μειώνεται ο όγκος που αυτά καταλαμβάνουν. Για αυτόν το λόγο, το τελικό στάδιο της διαχείρισης των ανακυκλώσιμων ΑΗΗΕ είναι η συμπίεσή τους, υπό πίεση εμβόλων. Οι συμπιεστές λειτουργούν πιέζοντας τα απόβλητα με έμβολα, μειώνοντας έτσι τον όγκο τους και αυξάνοντας την πυκνότητά τους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται αυτόματα με σύστημα αισθητήρων, συνήθως φωτοκύτταρων και τα συμπιεσμένα υλικά συσκευάζονται με πλαστικό ή δένονται με τον καταλληλότερο κατά περίπτωση τρόπο.

2.5 Ανακύκλωση PCBs

Οι πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCBs) χρησιμοποιούνται για την μηχανική υποστήριξη και την ηλεκτρική αγωγή σύνδεση, χρησιμοποιώντας αγωγίμους δρόμους που σχηματίζονται με στρώματα χαλκού, πάνω σε μη αγωγή υποστρώματα. Οι πλακέτες αυτές βρίσκουν εφαρμογή στην κατασκευή μηχανών του εμπορίου και στους υπολογιστές, όπως επίσης στην επικοινωνία, στον έλεγχο και στον εξοπλισμό οικιακής διασκέδασης. Οι PCBs είναι σημαντικά τμήματα του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και έχουν εκτινάξει προς τα εμπρός την βιομηχανία των ηλεκτρονικών. Το αγωγίμο κύκλωμα κατασκευάζεται συνήθως από χαλκό, αλλά και από αλουμίνιο, νικέλιο, χρώμιο και άλλα μέταλλα. Επίσης οι PCBs είναι η πλατφόρμα πάνω στην οποία τοποθετούνται ηλεκτρονικά στοιχεία όπως ημιαγωγίμα μικροσίπς και

πυκνωτές. Οι PCBs παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατασκευή και τις πωλήσεις αξίας ενός τρισεκατομμυρίου δολαρίων ΗΗΕ, κάθε χρόνο. Για παράδειγμα, οι προσωπικοί υπολογιστές είναι ο πιο δημοφιλής ηλεκτρονικός εξοπλισμός που βασίζεται σε PCBs. Οι PCBs συνήθως περιέχουν εποξικές ρητίνες, fiberglass, χαλκό, νικέλιο, σίδηρο, αλουμίνιο και αρκετή ποσότητα πολύτιμων μετάλλων, όπως χρυσός και άργυρος.

Στην τεχνολογία και στη μηχανική των πολύ σύνθετων πλακετών, το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έχουν ακόμη οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία και η Γαλλία. Με την πάροδο του χρόνου, το ανταγωνιστικό αυτό πλεονέκτημα θα αντιστραφεί προς όφελος της Ασίας. Η Ασία παράγει τα τρία τέταρτα της παγκόσμιας ποσότητας PCBs, με πάνω από 1000 κατασκευαστές να βρίσκονται μόνο στην Κίνα. Το 2003, ο μεγαλύτερος παραγωγός PCBs, παγκοσμίως, ήταν η Ιαπωνία με 29%, ακολουθούμενη από την Κίνα με 17% και τις ΗΠΑ με 15%. Η Ταϊβάν ήταν ο τέταρτος μεγαλύτερος παραγωγός με 13%, η Ευρώπη παρήγαγε μόνο 10% και η Ν. Κορέα 8%. Ανάμεσα στους δέκα κορυφαίους κατασκευαστές, κανείς δεν είχε έδρα στην Αμερική. Σήμερα, η Κίνα έχει ξεπεράσει την Ιαπωνία στην πρωτοπορία για την παγκόσμια παραγωγή. Ενδεικτικά, το 2006, εκτιμήθηκε ότι η Κίνα παρήγαγε 10,6 δισεκατομμύρια δολάρια κέρδος από την παραγωγή PCBs, που αντιστοιχεί στο 25% του παγκόσμιου συνόλου.

2.5.1 Υλικά κατασκευής και θερμική συμπεριφορά για τα PCBs

Οι PCBs περιέχουν επικίνδυνα συστατικά όπως βαρέα μέταλλα και βρωμιούχους φλογεπιβραδυντές (BFRs) που προκαλούν μεγάλες ζημιές στο περιβάλλον εάν δεν ανακυκλωθούν σωστά (Hawken, [1993]), (Wang et al., [2005]). Τα υλικά που βρίσκονται στις PCBs μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες:

- οργανικά,
- μέταλλα και
- κεραμικά.

Γενικά, οι PCBs αποτελούνται από περίπου 40% μέταλλα, 30% πλαστικά και 30% κεραμικά (Ogunniyi et al., [2009]), (Luda, [2011]).

Το μη μεταλλικό κλάσμα των πλακετών (NMF) αποτελείται από θερμοσκληραινόμενες εποξικές ρητίνες, βρωμιούχους φλογοεπιβραδυντές και άλλα πρόσθετα υλικά που καταλαμβάνουν περίπου 70% κ. β. των PCBs (He et al., [2006]), (Lee et al., [2004], Lee et al., [2000]). Οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες δεν μπορούν να υποστούν περεταίρω επεξεργασία και μορφοποίηση ή να επανατακούν λόγω της δικτυωτής δομής τους. Τα υλικά κατασκευής για τα περισσότερα είδη πλακετών τυπωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, συνοψίζονται περιληπτικά στον παρακάτω κατάλογο, όπου δίνεται και ο βιομηχανικός κωδικός του τύπου της κάθε πλακέτας:

- FR-4 Υφασμένο γυαλί κι εποξική ρητίνη
- FR-2 Φαινολικό βαμβακοειδές χαρτί
- FR-3 Βαμβακοειδές χαρτί κι εποξική ρητίνη
- FR-5 Υφασμένο γυαλί κι εποξική ρητίνη
- FR-6 Γυαλί ματ και πολυεστέρας
- CEM-1 Βαμβακοειδές χαρτί κι εποξική ρητίνη
- CEM-2 Βαμβακοειδές χαρτί κι εποξική ρητίνη
- CEM-3 Μη υφασμένο γυαλί κι εποξική ρητίνη
- CEM-4 Υφασμένο γυαλί κι εποξική ρητίνη
- CEM-5 Υφασμένο γυαλί κι εποξική ρητίνη

Άλλα υλικά περιλαμβάνουν το Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (Teflon). Οι πυκνωτές των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων που αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία από μόνοι τους, όσον αφορά την συνολική ποσότητα τους, ως μέρος της συνολικής μάζας των τυπωμένων κυκλωμάτων, αποτελούνται συνήθως από:

- χαρτί,
- πλαστικό,
- μίκα και
- κεραμικά υλικά.

2.5.2 Μη μεταλλικά μέρη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων – Λύσεις με προοπτικές αξιοποίησης

Οι τοξικές ουσίες που περιέχονται στα μη μεταλλικά κλάσματα των πλακετών είναι κυρίως BFRs, όπως τετραβρωμοδιφαινόλη-A (TBBA), κ.λπ., αλλά και κατάλοιπα βαρέων μετάλλων, όπως μόλυβδος, χρώμιο, υδράργυρος, κάδμιο κ.α. (Dimitrakakis et al., [2008]). Ο προορισμός και οι ροές υλικών αυτών των επικίνδυνων ουσιών είναι πολύ σημαντικές κατά την διαδικασία της ανακύκλωσης των μη σιδηρούχων κλασμάτων από τα απόβλητα PCBs. Η αφαίρεση και επεξεργασία των BFRs και των βαρέων μετάλλων που περιέχονται μέσα στο μη μεταλλικό κλάσμα των PCBs είναι μια τελική λύση για την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης που οφείλεται στις επικίνδυνες ουσίες.

Η σύνθεση των υλικών κυμαίνεται ανάλογα με την προέλευση και τον τύπο των αποβλήτων PCBs και την διαδικασία διαχωρισμού. Σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Yokoyama και Iji (Yokoyama and M. Iji, [1997]), τα NMFs αποτελούνταν από εποξειδική ρητίνη, (32% κ.β.), ίνες υάλου (65% κ.β.), και ακαθαρσίες, όπως χαλκός και υλικό συγκόλλησης (3% κ.β.).

Οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες, οι ίνες υάλου, το κυτταρινικό χαρτί, τα κεραμικά και τα υπολειπόμενα μέταλλα που περιέχονται στο μη μεταλλικό κλάσμα των ανακυκλωμένων πλακετών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα πλήρωσης σε διάφορα συνθετικά υλικά ρητινών.

Το μη μεταλλικό κλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως υλικό πλήρωσης στην κατασκευή σκυροδέματος. Στην διάρκεια των ετών, ένας μεγάλος αριθμός οικοδομικών έργων, ανά τον κόσμο, έχει υποστεί δομικές ενισχύσεις με πολυμερή υλικά κατασκευασμένα από ίνες υάλου και ρητίνες. Η χρήση αυτών των τεχνικών βαίνει σταδιακά αυξανόμενη (Arya et al., [2002]). Η προσθήκη των NMFs στο τσιμέντο μπορεί να αυξήσει τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος, όπως την αντοχή, την ανθεκτικότητα και την συστολή.

Οι φαινολικές ρητίνες είναι μερικά από τα πιο κοινά και παλαιότερα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή. Οι μήτρες φαινολικών συνθετικών παράγονται με φαινολικές ρητίνες που δρουν ως συνδετικοί παράγοντες, με διάφορα υλικά πλήρωσης, στερεοποιητές, και παράγοντες χρωματισμού και κατασκευάζονται

υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υπό δεδομένες πιέσεις. Λόγω της σχετικά χαμηλής τους τιμής, της ευκολίας κατασκευής τους και των υψηλών μηχανικών αντοχών τους, οι μήτρες φαινολικών ρητινών χρησιμοποιούνται ευρύτατα και υπάρχει ζήτησή τους για την κατασκευή ραδιοφώνων, παρελκόμενων κουζινών και διακοπών ηλεκτρονικών συσκευών.

Η αυξανόμενη παραγωγή των μητρών φαινολικών ρητινών αύξησε την ζήτηση για ξυλάλευρο, που χρησιμοποιείται ως οργανικό μέσο πλήρωσης. Με τις πηγές παραγωγής ξυλείας να μειώνονται και την αυξανόμενη τιμή του ξυλάλευρου, είναι επείγουσα πλέον ανάγκη οι παραγωγοί των μητρών να προστατεύσουν τις πηγές ξυλείας και να αντικαταστήσουν το ξυλάλευρο με εναλλακτικές πηγές. Το μη μεταλλικό κλάσμα των PCBs, και πιο συγκεκριμένα το κομμάτι εκείνο που παρασκευάζεται από τις PCBs χαρτιού έχει μελετηθεί με σκοπό την υποκατάσταση του ξυλάλευρου (Guo et al., [2008]). Οι ιδιότητες μητρών φαινολικών συνθετικών, με παρόμοια ειδική πυκνότητα, μπορούν να συγκριθούν με του ξυλάλευρου.

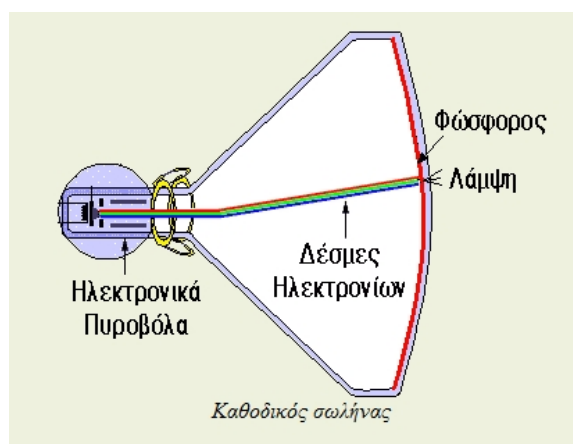
2.6 Ανακύκλωση CRTs

Η παραγωγή τηλεοπτικών μεταδόσεων, εδώ και 80 χρόνια, είχε καταστήσει τον καθοδικό σωλήνα (CRT) την κυρίαρχη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την προβολή εικόνων. Όμως, την τελευταία περίπου δεκαετία, η ικανότητα των συσκευών υγρού κρυστάλλου (LCDs) να παρέχουν έγχρωμες και ευρείες οθόνες, έχει οδηγήσει στην διευρυμένη χρήση τους σε τηλεοράσεις, οθόνες υπολογιστών και άλλες σχετικές εφαρμογές. Λόγω της εκτεταμένης αλλαγής που έλαβε χώρα, σήμερα είναι πρακτικά αδύνατη η αγορά οθόνης υπολογιστή ή τηλεόρασης με καθοδικό σωλήνα. Η αλλαγή αυτή σε συνδυασμό με το τέλος κύκλου ζωής των συσκευών CRT, έχει καταστήσει την ανακύκλωση CRTs ένα σημαντικό ζητούμενο με τεχνολογικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις.

2.6.1 Παραγωγή αποβλήτων CRTs

Με έναν αριθμό τηλεοράσεων και υπολογιστών να πλησιάζει στο τέλος της ζωής του, η βιομηχανία ήρθε αντιμέτωπη με ένα σημαντικό πρόβλημα που έχει να κάνει με τους χρησιμοποιημένους καθοδικούς σωλήνες (CRT), οι οποίοι

έχουν έως 85% περιεκτικότητα σε μόλυβδο. Η ποσότητα του οξειδίου του μολύβδου που υπάρχει στις CRTs ποικίλλει. Το γυαλί της CRT περιέχει οξείδια του πυριτίου, του νατρίου, του καλίου, του αργιλίου και του ασβεστίου. Αυτά τα υλικά συναντώνται αρκετά συχνά σε εμπορικές εφαρμογές που περιλαμβάνουν γυαλί. Το εσωτερικό του πλαισίου της CRT επικαλύπτεται με στρώματα φωσφόρου, τα οποία μπορεί να περιέχουν κάδμιο και άλλα μέταλλα. Το εξωτερικό τμήμα της χοάνης είναι επικαλυμμένο με γραφίτη και το εσωτερικό τμήμα με οξείδιο του σιδήρου (Industry Council for Electronics Electronics Equipment Recycling-Department of Trade and Industry, [2003]).



Σχήμα 2.18. Τα τμήματα μιας συσκευής CRT

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, που πιστεύεται ότι είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρονικών αποβλήτων στον κόσμο, εκτιμάται ότι πάνω από 100 εκατομμύρια υπολογιστές, οθόνες και τηλεοράσεις αποσύρονται ετησίως και αυτή η ποσότητα αυξάνεται κάθε χρόνο (United States Government Accountability Office / Report GAO – 06 - 47, [2005]). Άλλες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι πάνω από 500 εκατομμύρια υπολογιστές τέθηκαν εκτός λειτουργίας στις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ 1997 και 2007 (Huang et al., [2006]). Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών εκτίμησε ότι τα ΑΗΗΕ αντιστοιχούν στο 1 έως 4% των αστικών στερεών αποβλήτων, αλλά αυξάνονταν κατά τρεις φορές σε σχέση με το ποσοστό των άλλων οικιακών απορριμμάτων (Hileman, [2006]). Επίσης, στις Ηνωμένες Πολιτείες, εκτιμήθηκε ότι περίπου 500 εκατομμύρια CRTs ήταν αποθηκευμένες σε νοικοκυριά μέχρι το έτος 2003 (Kim et al., [2005]). Στην Κίνα, 5 εκατομμύρια νέοι υπολογιστές και 10 εκατομμύρια νέες τηλεοράσεις αγοράζονται κάθε

χρόνο, από το 2003 (Hicks et al., [2005]). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, εκτιμήθηκε ότι, το 2002, δημιουργήθηκαν 104.532 τόνοι γυαλιού CRT στους οποίους οι τηλεοράσεις συνέβαλαν 69.000t και οι οθόνες υπολογιστών 26.000t, ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο, υπολογίστηκε ότι 20 εκατομμύρια υπολογιστές καταστάθηκαν ανενεργοί το 1994 και το ποσοστό αυτό είχε αυξηθεί σε 100 εκατομμύρια μέχρι το 2004 (Widmer et al., [2005]).

2.6.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων CRTs

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα απόβλητα CRT οφείλονται, κυρίως, στην περιεκτικότητα αυτών σε μόλυβδο. Η κύρια επίδραση της τοξικότητας του μολύβδου είναι στο κεντρικό νευρικό σύστημα του ανθρώπου. Η υψηλή έκθεση σε μόλυβδο θα μπορούσε επίσης να βλάψει σοβαρά τον εγκέφαλο και τα νεφρά των ανθρώπων και θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποβολές στις εγκύους. Τα υψηλά επίπεδα του μολύβδου θα μπορούσαν επίσης να επηρεάσουν την ανάπτυξη του εγκεφάλου των παιδιών, καθώς και τα όργανα που είναι υπεύθυνα για την παραγωγή σπέρματος στους άνδρες (United States Department of Health and Human Services, [2005]). Η κύρια περιβαλλοντική επίδραση του CRT είναι ο διαχωρισμός των ιόντων μολύβδου από τα θραύσματα υάλου που περιέχουν μόλυβδο (π.χ. σπασμένο κωνικό γυαλί των CRTs) όταν αναμιγνύονται με όξινα ύδατα, σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων. Εκτιμάται ότι το 40% του μολύβδου, που βρέθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής στις Ηνωμένες Πολιτείες, προέρχεται από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές (United States Department of Health and Human Services, [2005]), (Turbini et al., [2001]). Μια μελέτη (Turbini et al., [2001]) βρήκε ότι το 40,2% του μολύβδου, στα οικιακά στερεά απόβλητα, προέρχεται από οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές, εκ των οποίων οι τηλεοπτικές οθόνες αντιπροσωπεύουν το 35,8%, με το υπόλοιπο 4,4% να προέρχεται από άλλες πηγές.

2.6.3 Κανονιστικές Απαιτήσεις

Για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων των CRTs, έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός κανονισμών παγκοσμίως. Η κορωνίδα αυτών είναι η Ευρωπαϊκή Οδηγία Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού. Η Οδηγία εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο

στις 13 Φεβρουαρίου 2003, η οποία μεταφέρθηκε στη νομοθεσία των Κρατών Μελών στις 13 Αυγούστου 2004 και τέθηκε σε ισχύ στις 13 Αυγούστου 2005 (Official J. Eur. Union, [2003]). Από την 1^η Ιουλίου 2006 και μετά, απαγορεύθηκε η διάθεση στην ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων που περιέχουν τις εξής επικίνδυνες ουσίες: μόλυβδος, κάδμιο, υδράργυρος, εξασθενές χρώμιο, βρωμιούχους επιβραδυντές φλόγας, πολυβρωμιούχα διφαινύλια (PBB) και αιθέρεις πολυβρωμιούχων διφαινυλίων (PBDE) σύμφωνα με την Οδηγία RoHS.

Τα απόβλητα που προέρχονται από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές κατατάσσονται στα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Ο φορέας εναλλακτικής διαχείρισης ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων της Ελλάδας είναι η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., και έχει την ευθύνη να οργανώνει τη συλλογή και ανακύκλωση του συγκεκριμένου ρεύματος αποβλήτων.

Επίσης, από τον Απρίλιο του 2007, τουλάχιστον επτά πολιτείες στις Ηνωμένες Πολιτείες (Αρκάνσας, Καλιφόρνια, Μέιν, Μασαχουσέτη, Μινεσότα, Νιου Χάμσαϊρ, και Ρόουντ Άιλαντ) έχουν απαγορεύσει τη διάθεση με υγειονομική ταφή των διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των CRTs. Σε τέσσερις πολιτείες (Καλιφόρνια, Μέιν, Μέριλαντ και Ουάσινγκτον) έχουν περάσει ολοκληρωμένη νομοθεσία ανακύκλωσης. Επιπλέον, τουλάχιστον 16 πολιτείες και ανάμεσά τους η Νέα Υόρκη, πρότειναν νομοθεσία για την ανακύκλωση, το 2007, που υιοθετούσε είτε ένα προηγμένο τέλος ανάκτησης είτε ένα εκτεταμένο σύστημα ευθύνης του παραγωγού (Solmer and Stoll, [2007]).

2.6.4 Επικάλυμμα εσωτερικού της χοάνης και ανακύκλωση

Το επικάλυμμα του εσωτερικού της χοάνης, όταν αυτή προορίζεται για παραγωγή ανακυκλωμένου γυαλιού από CRT, δεν είναι πάντα απαραίτητο να αφαιρεθεί, καθόσον είναι πολύ μικρό ποσοτικά, σε σχέση με την όλη μάζα του γυαλιού και επιπλέον το ίδιο το γυαλί περιέχει οξειδία του σιδήρου, του νατρίου και πυριτικά άλατα. Ο γραφίτης αναμένεται να καεί με την θέρμανση. Συνάμα, η παρουσία ψηγμάτων οξειδίων του σιδήρου μπορεί να προσδώσει ένα ελαφρύ χρωματισμό του παραγόμενου γυαλιού. Πολλές φορές η προσθήκη οξειδίων του

σιδήρου είναι ευεργετική στην διαδικασία τήξης και πήξης του γυαλιού, με μείωση των αντίστοιχων χρόνων (Shute and Badger, [1942]) και αύξηση του ιξώδους.

2.6.5 Περιεκτικότητα σε μόλυβδο

Η περιεκτικότητα σε μόλυβδο δεν είναι σταθερή σε όλα τα μέρη του CRT. Κυμαίνεται ανά τμήμα. Τα τμήματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μόλυβδο και άρα άμεσα αξιοποιήσιμα, είναι το χωνί (funnel), που αποτελεί το μεγαλύτερο, κατά μάζα, μέρος του CRT, με περιεκτικότητα σε μόλυβδο 22-28%wt. Η οθόνη ή πάνελ περιέχει πολύ μικρότερες ποσότητες μολύβδου, συνήθως γύρω στο 3-5%. Από το παραπάνω φαίνεται ότι η ποσότητα αυτή προσεγγίζει τις περιεκτικότητες που απαιτούνται για την κατασκευή υάλων ραδιοπροστασίας, πράγμα που κάνει το θρυμματισμένο CRT κατάλληλη πρώτη ύλη για κατασκευή τέτοιων υάλων. Παρ' όλα αυτά, το χωνί δεν περιλαμβάνει μόνο καθαρό γυαλί. Είναι επιστρωμένο με αγωγίμο επικάλυμμα που συνήθως αποτελείται από σωματίδια γραφίτη, όπως προαναφέρθηκε, αλλά και οξειδίων του σιδήρου σε διάλυμα πυριτικού νατρίου (Na_2SiO_3) (<http://www.kemcointernational.com/G9104AINTERNALCONDUCTIVEFUNNELCOATING.htm>).

Πίνακας 2.10. Μόλυβδος και περιεκτικότητές του στα τμήματα των οθονών (Lee et al., [2004]), (Lee et al., [2000])

Τμήμα	Είδος οθόνης	Ποσότητα (Kg)	% περιεκτικότητα σε μόλυβδο κάθε τμήματος (κατά βάρος)
Χοάνη	CRT	0,910	22-28
Εμπρόσθια οθόνη	CRT	0,180	0-4
Λαιμός (στόμιο)	CRT	0,012	26-32
Υαλότριμμα	CRT	0,026	70-80

2.6.6 Μολυβδύαλος

Η μολυβδύαλος (leadglass) είναι μια ποικιλία γυαλιού από το οποίο κατασκευάζεται το CRT. Σε αυτό, το οξείδιο του μολύβδου αντικαθιστά το οξείδιο του ασβεστίου, σε τυπικά ποσοστά από 18-40% (ενίοτε και παραπάνω).

Η μολυβδύαλος χρησιμοποιείται στην διακόσμηση αλλά και σε εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας (λυχνία καθοδικών ακτίνων, ύαλοι ραδιοπροστασίας).

Πίνακας 2.11. Κωδικοί τύποι του γυαλιού οθονών CRT σύμφωνα με την Ιαπωνική τυποποίηση

Είδος	Τύπος	Ιδιότητες γυαλιού
Έγχρωμο γυαλί οθόνης CRT	PT-28C	Μολυβδύαλος ελεύθερη από βάριο-στρόντιο
	PT-28HG	Κρυστάλλινο χρώμα, υψηλό όριο καταπόνησης και υψηλές απορροφητικές ιδιότητες ακτίνων X
	PT-28S	Τέσσερις τύποι μετάδοσης: 86%, 73%, 57%, 46% στα 10,16mm και 546nm
	PT-28T	Συμβατό για σφράγιση με έγχρωμο γυαλί χοάνης
Έγχρωμο γυαλί οθόνης CRT υψηλής καθαρότητας χρώματος και χαρακτηριστικών αντίθεσης	PT-28C	Γυαλί νεοδυμίου, ενισχυμένο με μόλυβδο και ελεύθερο από βάριο-στρόντιο
	PT-28X	Κρυστάλλινο χρώμα, υψηλό όριο καταπόνησης και υψηλές απορρόφησης ακτίνων X Δύο τύποι μετάδοσης: 86%, 60% στα 10,16mm και 546nm Συμβατό για σφράγιση με έγχρωμο γυαλί χοάνης
Έγχρωμο γυαλί οθόνης CRT για προβολή	PC-28	Μολυβδύαλος ελεύθερη από βάριο-στρόντιο Υπερβολικά κρυστάλλινο χρώμα, υψηλό όριο καταπόνησης και υψηλές απορροφητικές ιδιότητες ακτίνων X Υψηλή μετάδοση: 90% στα 10,16mm και 546nm Συμβατό για σφράγιση με έγχρωμο γυαλί χοάνης
Γυαλί χοάνης και ασπρόμαυρης οθόνης CRT	ST-5KHL	Φιμέ γυαλί βαρίου-μόλυβδου με ιδιότητες απορρόφησης ακτίνων X
	ST-5DHL	Δύο τύποι μετάδοσης: 42%, 30% στα 10,16mm και 546nm

Πίνακας 2.11. (Συνέχεια...)

Είδος	Τύπος	Ιδιότητες γυαλιού
Γυαλί χοάνης έγχρωμης CRT	FT-22H	Μολυβδύαλος καθαρή από ποτάσα-ανθρακικό νάτριο Υψηλό όριο καταπόνησης, υψηλές απορροφητικές ιδιότητες ακτίνων X και ηλεκτρική ανθεκτικότητα
Σωλήνας λαϊμού έγχρωμης CRT	L-35	Μολυβδύαλος καθαρή από ποτάσα-ανθρακικό νάτριο Υψηλό όριο καταπόνησης, υψηλές απορροφητικές ιδιότητες ακτίνων X και ηλεκτρική ανθεκτικότητα Συμβατό για σφράγιση με έγχρωμο γυαλί χοάνης
Σωλήνας λαϊμού ασπρόμαυρης CRT	L-29	Μολυβδύαλος καθαρή από ποτάσα-ανθρακικό νάτριο Υψηλή ηλεκτρική ανθεκτικότητα και απορρόφηση ακτίνων X (χαμηλότερο σημείο καταπόνησης απ' ότι ο L-35)

Πίνακας 2.12. Διάφοροι τύποι γυαλιού μολύβδου και τα ποσοστά περιεκτικότητας οξειδίου του μολύβδου (<http://www.georgianglassmakers.co.uk/pdf/files/hynesandjonson.pdf>)

Χημική σύνθεση (%μάζα)					
Χημική ένωση	Οπτικό γυαλί F8 (n _d :1,5955, v:39, 18)	Γυαλί σφράγισης	Καθοδικός σωλήνας (γυαλί στομίου)	Κρύσταλλος μολύβδου (>30% PbO)	Κρύσταλλος μολύβδου (>24% PbO)
SiO ₂	50,2	57,1	56,2	55,2	59,5
Al ₂ O ₃	—	1,5	1,7	—	—
B ₂ O ₃	0,4	—	—	0,6	0,8
Na ₂ O	3,8	4,9	4,2	0,4	1,9
K ₂ O	5,6	7,0	8,4	11,7	11,0
PbO	39,7	29,5	29,3	31,8	24,5
ZnO	—	—	—	—	1,5
As ₂ O ₃	0,3	—	—	0,3	0,4
Sb ₂ O ₃	—	—	0,3	—	0,4

Σήμερα οι χρήσεις της μολυβδύαλου έχουν περιοριστεί, ενώ έχουν αποκλειστεί οι οικιακές χρήσεις, οι χρήσεις στο ανοικτό περιβάλλον, λόγω παρατηρούμενων εκπλύσεων του οξειδίου του μολύβδου και οι χρήσεις τροφίμων, λόγω των βλαβερών συνεπειών που έχει ο μόλυβδος στην ανθρώπινη υγεία. Παρόλα αυτά, στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει άμεση σχέση με τρόφιμα, με το περιβάλλον ή και ειδικότερα με τις καιρικές συνθήκες, η χρήση της επιτρέπεται.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μολυβδύαλου σταχυολογούνται επιγραμματικά παρακάτω:

- Πλεονεκτήματα
 - Η πρόσκτηση μολύβδου από το κύριο σώμα του γυαλιού, του δίνει ιδιαίτερη λάμψη, διαφάνεια και διαθλαστικότητα.
 - Η πρόσμιξή του γίνεται χωρίς να χρωματιστεί το γυαλί.
 - Αυξάνει την εργασιμότητα και κατεργασιμότητα του γυαλιού βελτιώνοντας τις προϋποθέσεις τήξης.
 - Κάνει το γυαλί πιο μαλακό και άρα η κοπή και μορφοποίησή του γίνονται ευκολότερες.
 - Απορροφά επιβλαβείς, για την ανθρώπινη υγεία, ακτινοβολίες (ραδιενέργεια, ακτίνες X)
- Μειονεκτήματα
 - Ο μόλυβδος. Όπως προαναφέρθηκε, είναι δηλητηριώδης και επιδρά σωρευτικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι αιτία νευροπαθειών. Συνεπώς εφαρμογές που αφορούν τρόφιμα και περιβάλλον αποκλείονται.
 - Απαιτούνται ειδικοί περιορισμοί κατά την θραύση – λειοτρίβισή του, καθώς και για την τήξη του, καθότι τα οξείδια του μολύβδου, θερμαινόμενα, είναι ιδιαίτερα πτητικά και εισπνέονται.
 - Προσδίδει αυξημένο ειδικό βάρος στο γυαλί.
 - Η ευκολία κατεργασιμότητας μπορεί να είναι μειονέκτημα από την άποψη του ότι φθείρεται με μεγαλύτερη ευκολία.

2.6.7 Ύαλοι ραδιοπροστασίας

Οι ύαλοι ραδιοπροστασίας είναι μολυβδύαλοι που χρησιμοποιούνται στην προστασία του ανθρώπου από βλαβερές ακτινοβολίες, όπως οι ακτίνες X και γ. Οι συνήθεις διαστάσεις κατασκευής των υάλων αυτών κυμαίνονται από 1,5m×2,5m. Τα πάχη κυμαίνονται από 6-12mm ανάλογα με τις προσδοκώμενες επιδόσεις (<http://raybloc.net/wp-content/uploads/jan-1.jpg>). Μικρότερης κλίμακας προϊόντα μπορούν να κατασκευαστούν επίσης από εμπλουτισμένο με

μόλυβδο γυαλί, όπως μέσα ατομικής προστασίας, μάσκες προσώπου κ.α. (http://www.medicalsafetyglasses.com/Merchant2/merchant.mvc?Screen=SFNT&Store_Code=MSG).

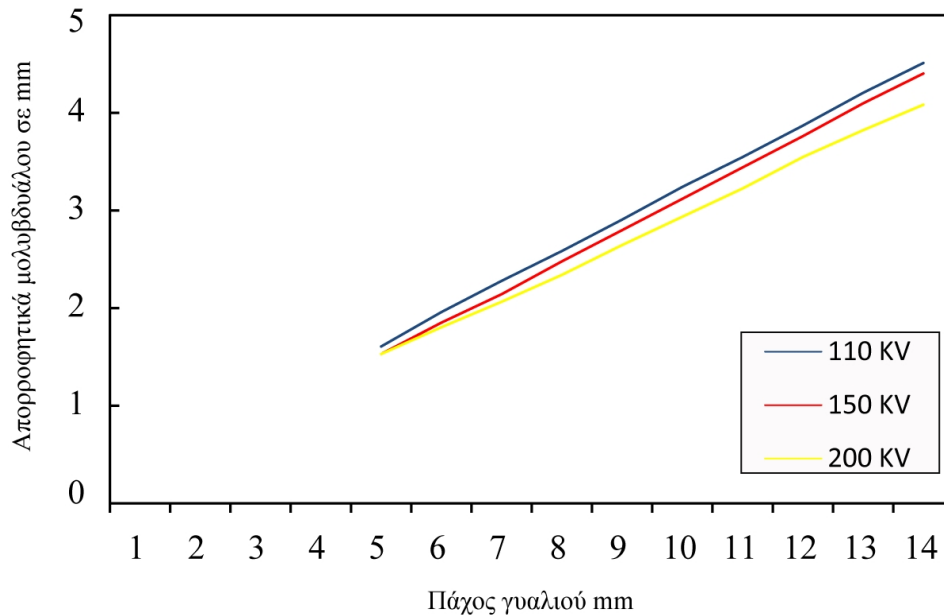
Πίνακας 2.13. Απορρόφηση των ακτίνων X (πρότυπη ακτίνα από 60 έως 150kV) του γυαλιού και αντίστοιχη ανάλογη απορρόφηση πλακιδίων μολύβδου ενός γυαλιού 22% κ.β. σε οξείδιο του μολύβδου

Πάχος γυαλιού (mm)	Ισοδύναμο μολύβδου (mm Pb)	Σχόλια
6,0 +/- 0,5	1,1	
7,0 +/- 0,5	1,5	
8,0 +/- 0,5	1,8	Το ισοδύναμο μολύβδου ασφαλίζεται σε ένα ηλεκτρονιοβόλο ακτίνων X μεταξύ 60 και 150kV
9,0 +/- 0,5	2,0	
10,0 +/- 0,5	2,2	
11,0 +/- 0,5	2,5	
—	3,0	Το ισοδύναμο μολύβδου ασφαλίζεται σε ένα ηλεκτρονιοβόλο ακτίνων X μεταξύ 60 και 200kV

Η απορροφητικότητα των ύαλων ραδιοπροστασίας σε ραδιενέργεια είναι ανάλογη του πάχους και των περιεκτικοτήτων σε μολύβδο. Τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε οξείδιο του μολύβδου είναι από 20 έως 30%, άλλα έχουν κατασκευαστεί και μολυβδύαλοι με 60-65% κατά βάρος στη μάζα του γυαλιού. Η απορροφητικότητα σε ραδιενέργεια του κάθε είδους γυαλιού προσμετράται αναγόμενη συνήθως στην αντίστοιχη απορροφητικότητα που θα είχε ο μολύβδος και εκφράζεται σε αντίστοιχο πάχος φύλλου μολύβδου.

Πίνακας 2.14. Αντιστοίχιση της απορροφητικότητας δεσμών ακτίνων Χ, του γυαλιού RD50 (περιεκτικότητας 65% κ.β. οξειδίου του μολύβδου) που παράγεται από την εταιρεία Schott.

Ελάχιστο πάχος inches (mm)	Μέγιστο πάχος inches (mm)	Ισοδύναμο εξασθένισης σε mmPb για ένα ηλεκτρονιοβόλο των:					Μέγιστο βάρος lbs/ft ² (kg/m ²)	Μέγιστες διαστάσεις inches×inches (mm×mm)
		80kV	100kV	110kV	150kV	200kV		
0,16 (4,0)	0,22 (5,5)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	61,73 (28)	82,68 × 39,37 (2,100 × 1,000)
0,20 (5,0)	0,28 (7,0)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	77,16 (35)	94,49 × 43,31 (2,400 × 1,100)
0,28 (7,0)	0,35 (9,0)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	99,21 (45)	94,49 × 43,31 (2,400 × 1,100)
0,33 (8,5)	0,41 (10,5)	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	116,85 (53)	94,49 × 43,31 (2,400 × 1,100)
0,39 (10,0)	0,47 (12,0)	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	134,48 (61)	78,74 × 39,37 (2,000 × 1,000)
0,45 (11,5)	0,55 (14,0)	3,5	3,6	3,5	3,5	3,3	156,53 (71)	78,74 × 39,37 (2,000 × 1,000)
0,63 (16,0)	0,75 (19,0)	—	5,0	4,9	4,9	4,6	211,64 (96)	59,06 × 31,50 (1,500 × 800)
0,79 (20,0)	0,91 (23,0)	—	6,3	6,1	6,1	5,8	255,74 (116)	59,06 × 31,50 (1,500 × 800)



Σχήμα 2.19. Διάγραμμα απορροφητικότητας μολυβδούλου (που περιέχει 70% οξείδιο μολύβδου) ως προς αντίστοιχο πάχος φύλλου μεταλλικού μολύβδου.

2.6.8 Ανακυκλωτική διαδικασία αποβλήτων-οθονών CRT

Η ανακύκλωση των αποβλήτων από CRTs αποτελείται από δύο μεγάλες τεχνολογίες, την ανακύκλωση γυαλί-προς-γυαλί και την ανακύκλωση γυαλί-προς-μόλυβδο.

Η ανακύκλωση γυαλί-προς-γυαλί είναι μια διαδικασία κλειστού βρόχου, όπου τα απόβλητα των CRTs αποστέλλονται προς τους κατασκευαστές των CRTs για την ανάκτηση μολυβδούλου ή αμόλυβδου γυαλιού που απαιτείται για την κατασκευή νέων CRTs. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Weitzman, [2003]):

- Αφαίρεση του CRT από πλαστικό περίβλημα
- Απελευθέρωση του κενού στο σωλήνα
- Αφαίρεση διαφόρων μετάλλων και μη υαλωδών μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρονιοβόλου, διαχωρισμός υαλοπίνακα από την γυάλινη χοάνη και απομάκρυνση των επικαλύψεων φωσφόρου από τον υαλοπίνακα

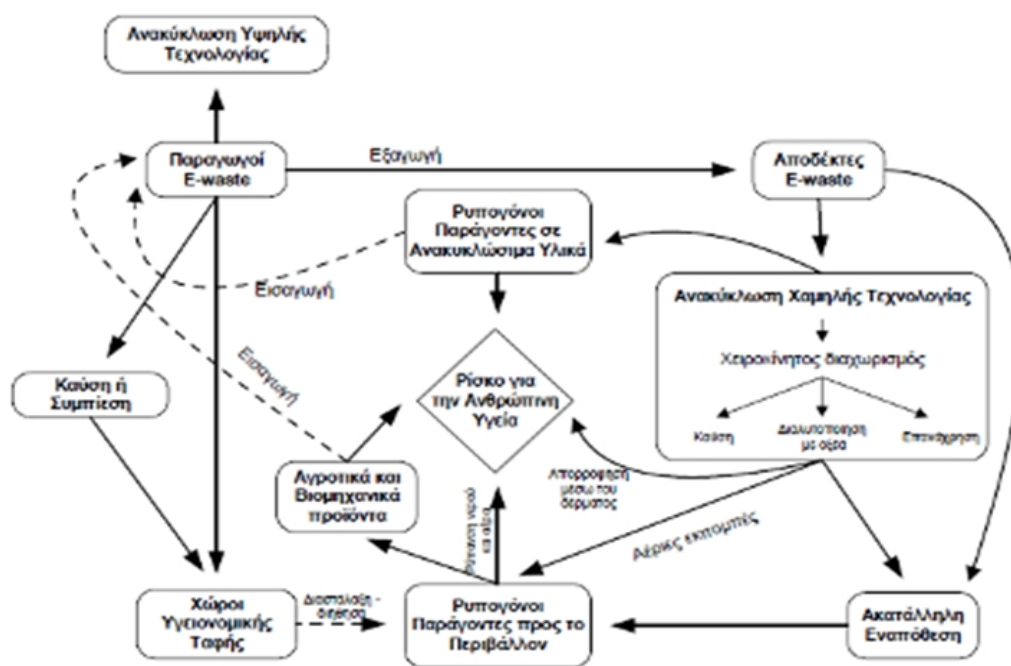
Το υψηλό κόστος της συλλογής και η χειρωνακτική εργασία αποτελούν σημαντικά εμπόδια στη διαδικασία (Kang and Schoenung, [2004]).

Η γυαλί-προς-μόλυβδο ανακύκλωση περιλαμβάνει τον διαχωρισμό και την ανάκτηση μολυβδύαλου CRT που χρησιμοποιείται από τη σύντηξη. Η διαδικασία είναι πιο αποδοτική, από άποψη κόστους, σε σύγκριση με την ανακύκλωση γυαλί-προς-γυαλί και διασφαλίζει τους εργαζομένους από την εισπνοή σκόνης μολύβδου (Kang and Schoenung, [2005]).

Οι οθόνες CRT, μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους, διαχειρίζονται ως ΑΗΗΕ, δηλαδή, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους, ανακυκλώνονται. Δεδομένης της υψηλής συγκέντρωσης σε μόλυβδο και με στόχο την βελτιστοποίηση της ανάκτησής του, ακολουθούνται τα ακόλουθα στάδια:

- Συλλογή και μεταφορά των οθονών
- Τεμαχισμός και κονιοποίηση των επιμέρους τμημάτων
- Διαχωρισμός και επιλογή των κατάλληλων προς ανακύκλωση υλικών
- Τήξη και εξευγενισμός
- Ραφινάρισμα – απομάκρυνση των προσμίξεων
- Δημιουργία επιθυμητού προϊόντος – κράματος

Οι οθόνες CRT αποτελούνται από πλαστικό περίβλημα, σύστημα λυχνιών καθοδικών ακτίνων, καλώδια, άλλα μέταλλα και ελαστικά.



Σχήμα 2.20. Η διαδρομή των CRTs (Robinson, [2009])

2.6.8.1 Ειδικές Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Οθονών CRT

Τα υλικά από τα οποία αποτελούνται οι οθόνες CRT μπορούν να διατεθούν, μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους είτε προς τελική διάθεση σε αποτεφρωτήρες επικινδύνων αποβλήτων και ΧΥΤΕΑ είτε να ανακτηθούν – ανακυκλωθούν, σε κατάλληλα αδειοδοτημένες μονάδες.

Ως προς την αποτέφρωση ή/και συναποτέφρωση ΑΗΗΕ, έχει παρατηρηθεί ότι, ακόμη και μικρή συμμετοχή τους, αυξάνει δραματικά τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην τέφρα και τα απαέρια.

Η Ολλανδία είναι η χώρα, απ' αυτές της Ευρώπης, όπου τα ΑΗΗΕ οδηγούνται προς αποτέφρωση. Σε κάθε περίπτωση, η πολιτική της ΕΕ είναι η χωριστή συλλογή και η επεξεργασία συγκεκριμένων κατηγοριών αποβλήτων, ώστε να μην επιβαρύνονται με βαρέα μέταλλα και αλογονούχες ενώσεις μεγαλύτερα ρεύματα αποβλήτων, όπως τα αστικά.

Ως προς τη διάθεση σε ΧΥΤΕΑ, μετά από την εφαρμογή των ευρωπαϊκών οδηγιών 30/1999 και 33/2003 για την ταφή των αποβλήτων, τόσο τα επικίνδυνα όσο και τα μη επικίνδυνα απόβλητα θάβονται σε «κύτταρα» ειδικών προδιαγραφών, γεγονός που καθιστά το κόστος διάθεσής τους πολύ υψηλό.

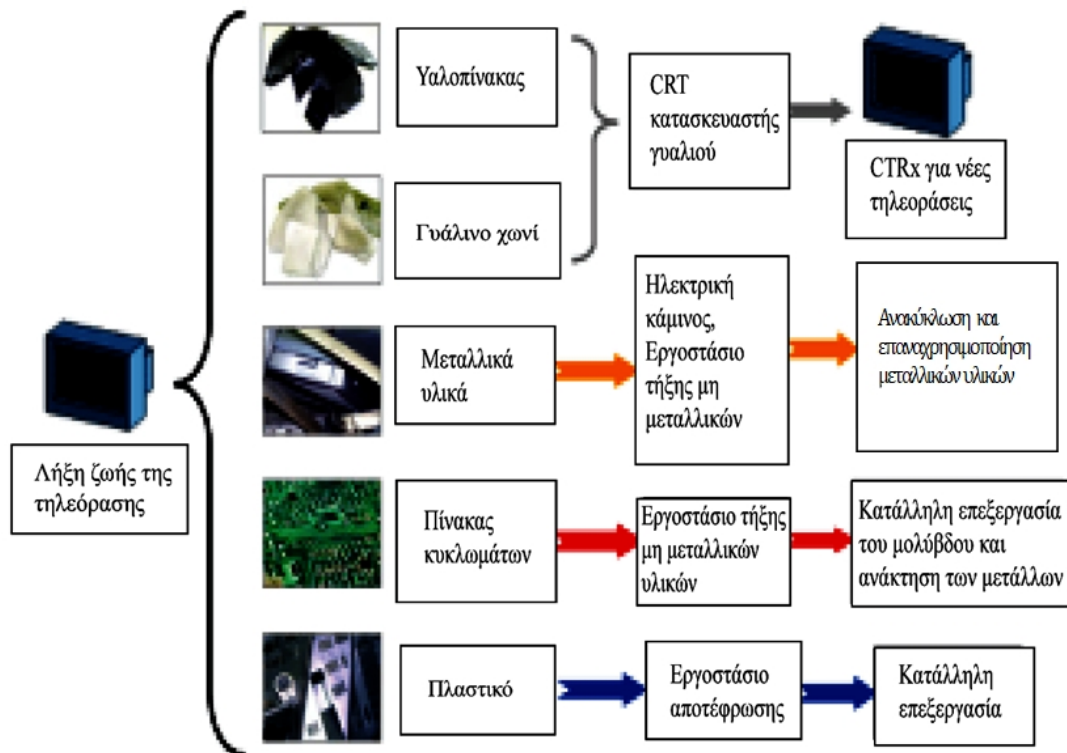
Επιπλέον, κανένας χώρος ταφής δεν θεωρείται απόλυτα στεγανός για όλη τη διάρκεια ζωής του, οπότε υπάρχει κίνδυνος για την έκλυση βαρέων μετάλλων και άλλων ουσιών στο περιβάλλον.

Τέλος, η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ είναι πιο φιλική, προς το περιβάλλον, επεξεργασία. Πρώτο στάδιο της ανακύκλωσης και ίσως το βασικότερο, αποτελεί η προεπεξεργασία των αποβλήτων. Η σωστή προεπεξεργασία με διαχωρισμό, έχει, ως αποτέλεσμα, μεγαλύτερα ποσοστά ανάκτησης πρώτων υλών, διαχωρισμό των επικινδύνων ουσιών και ορθολογική τελική διάθεσή τους, ανάλογα με την σύστασή τους.

Πρώτο στάδιο διαχωρισμού είναι η αποσυναρμολόγηση. Θεωρητικά, με την αποσυναρμολόγηση, απομακρύνονται τα επιθυμητά συστατικά μέρη, χωρίς να φθείρονται. Ανάλογα με το επίπεδο ανάκτησης που επιτυγχάνεται, η αποσυναρμολόγηση διακρίνεται σε μη καταστροφική, μερικώς καταστροφική και καταστροφική, αν και η τελευταία δεν εμπίπτει στον ορισμό. Άλλη

κατηγορία αποτελεί η επιλεκτική αποσυναρμολόγηση, η οποία προχωρά μέχρι το επιθυμητό επίπεδο, ανάλογα με την εκτίμηση κόστους – οφέλους.

Οι κύριες τάσεις λύσεως δομής είναι ο τεμαχισμός, η χειρονακτική και η αυτόματη αποσυναρμολόγηση. Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται η επέκταση ζωής υποσυνόλων των προϊόντων, με επαναχρησιμοποίηση τους και αύξηση του χρόνου ζωής τους, η καθαρή ανάκτηση υλικών, με αύξηση των ποσοτήτων ανακύκλωσης και ο περιορισμός των ποσοτήτων των επικινδύνων υλικών. Μειονεκτήματα αποτελούν η τεράστια ποικιλία διαφορετικών τύπων προϊόντων, η πολυπλοκότητά τους, οι απαιτούμενοι χρόνοι διαχωρισμού τους, η μη ύπαρξη αυτοματοποιημένης μεθόδου, το υψηλό κόστος, κ.ά.



Σχήμα 2.21. Συνοπτική παρουσίαση ανακτήσιμων υλικών (Βαφειιάδης και Νικολούδης, [2008])

Η, κλειστής διαδρομής, ανακύκλωση μολυβδύαλου περιλαμβάνει την ανάκτηση και την επεξεργασία του υλικού για χρήση ως υαλόθραυσμα, στην παρασκευή νέων CRT οθονών. Προϋπόθεση για τους κατασκευαστές αποτελούσε πάντα η ανταπόκριση στα πρότυπα ποιότητας, κυρίως χημικής σύστασης, που έθετε η κάθε παραγωγός εταιρεία.

Συνεπώς, για τη μέγιστη διασφάλιση αποδεκτού και επαναχρησιμοποιήσιμου υαλοθραύσματος, καλό είναι, αρχικά, να γίνεται διαχωρισμός των δύο βασικών τμημάτων, του γυαλιού του εξωτερικού πάνελ και του γυαλιού χοάνης, λόγω των διαφορών που έχουν στη σύσταση. Ακολουθεί η απομάκρυνση των φωσφορικών επικαλύψεων.

Για την αφαίρεση των φωσφόρων τόσο από το μπροστινό πάνελ όσο και από την χοάνη, η καλύτερη επεξεργασία είναι ο υγρός καθαρισμός. Μετά τον τεμαχισμό του γυαλιού, τα θραύσματα οδηγούνται σε δοχεία που περιέχουν νερό και κομμάτια αλουμινίου. Τα δοχεία υπόκεινται σε δυνατή ανάδευση, για, περίπου, 4 ώρες ή και περισσότερο. Με αυτό τον τρόπο οι φωσφόροι απομακρύνονται από το γυαλί και περνάνε στο νερό, απ' όπου καθιζάνουν με φυσικοχημικές επεξεργασίες.

Έπειτα, η μολυβδύαλος μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων οθονών, είναι όμως φθίνουσα δραστηριότητα, λόγω της αντικατάστασης των CRT από LCD ή άλλων υάλινων προϊόντων.

2.6.8.2 Διαδικασία αποσυναρμολόγησης οθονών CRT

Κατά την διαδικασία αποσυναρμολόγησης οθονών CRT, αρχικά, οι οθόνες αποσυναρμολογούνται χειρωνακτικά και πραγματοποιείται διαλογή διαφόρων μερών, τα οποία οδεύουν σε δευτερογενή και τριτογενή επεξεργασία. Η χειρωνακτική αποσυναρμολόγηση έχει, ως αποτέλεσμα, την συλλογή υλικών όπως: το κύριο γυάλινο μέρος της οθόνης CRT, πλαστικά τεμάχια που είναι κυρίως καπάκια και περιβλήματα, καλώδια, πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων τα οποία συλλέγονται μαζί με το μαγνητικό ζυγό (TV Yoke), εξωτερικά περιβλήματα από ξύλο ή μελαμίνη, το όπλο ηλεκτρονίων το οποίο συλλέγεται ξεχωριστά και διάφορα άλλα απορρίμματα όπως λαστιχένια τεμάχια κ.λπ. που δεν υφίστανται ανακύκλωση.

Σε ένα δεύτερο στάδιο, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός γυαλιού οθόνης από γυαλί χοάνης και αφαιρείται το εξωτερικό σιδερένιο περίβλημα ή στεφάνη που τα συγκρατεί ενωμένα.

Το γυαλί οθόνης και χοάνης διαχωρίζονται σε ειδικό μηχάνημα χωρίς ανθρώπινη παρεμβολή και το φωσφορικό επίχρισμα αφαιρείται, επίσης, από μια

μηχανική επεξεργασία έκπλυσης με νερό και κατόπιν συλλέγεται σε δεξαμενή όπου κατακαθίζει. Το όλο σύστημα κοπής και καθαρισμού υποβοηθείται στην ψύξη του από κλειστό κύκλωμα νερού, ώστε να μην διαρρέει υγρό απόβλητο στο περιβάλλον.

Η πλακέτα και ο μαγνητικός ζυγός υφίστανται τεμαχισμό, με τη βοήθεια ειδικού μηχανήματος και, στην έξοδό τους, τα υλικά υφίστανται ένα πρώτο στάδιο χειροδιαλογής όπου η θραυσμένη πλακέτα και τα σύρματα του μαγνητικού ζυγού διαχωρίζονται. Κατά τον διαχωρισμό λαμβάνει χώρα και χειροδιαλογή άλλων υλικών και διαχωρισμός τους, όπως επιπλέον καλώδια και σίδερα.

Οι καθαρές πλακέτες οδηγούνται, εκ νέου, σε περαιτέρω τεμαχισμό και κατόπιν, σε χειροδιαλογή απ' όπου επιπλέον υλικά ταξινομούνται, όπως σιδερένια ελάσματα, πυκνωτές, κάποια επιπλέον καλώδια – κυρίως ψιλά – χάλκινα ελάσματα, τεμάχια πλαστικού και αλουμίνιο στη μορφή ελασμάτων, επίσης.

Το υλικό που απομένει και που αποτελείται από υλικό από το οποίο απαρτίζονται οι πλακέτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων υφίσταται ακόμα ένα στάδιο επεξεργασίας με μηχανικό σφυρόμυλο, αεριοδιαχωριστή και μαγνητικό διαχωριστή από όπου προκύπτει χαλκούχο τρίμμα σε μορφή ρινισμάτων, σιδηρούχο τρίμμα πάλι σε μορφή ρινισμάτων και μη μεταλλικό μέρος. Το μη μεταλλικό μέρος αποτελείται από χαρτί, ξύλο ή και ίνες υάλου. Όλα αυτά τα υλικά είναι συμπεπηγμένα με ρητίνες.

Η αποκόλληση της οθόνης (πάνελ) από τη χοάνη πραγματοποιείται σε κλειστό ή περίκλειστο χώρο είτε με μηχανικό τρόπο, δηλαδή με κοπή, με τη βοήθεια αδαμαντοτροχών είτε με θερμικό τρόπο με τη βοήθεια σύρματος που πυρακτώνεται γύρω από το σημείο της ένωσης του λαιμού με το πάνελ.

Για μονάδες παραγωγής μικρών όγκων, ένα απλό αεροστεγές κυτίο είναι αρκετό. Αυτό μπορεί να κατασκευαστεί αυτοσχέδια, με υλικά του εμπορίου. Ένα τυπικό αεροστεγές κυτίο (Glovebox) και κάποιοι απλοί ηλεκτρικοί αδαμαντοκόφτες ή αδαμαντοτροχοί χειρός επαρκούν για την ολοκλήρωση της αποκόλλησης.

Για την αφαίρεση του φωσφορικού επικαλύμματος της οθόνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ισχυρή ηλεκτρική σκούπα με έναν αποξεστήρα. Τέτοια ή παρόμοια μονωμένα κυτία χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό επικίνδυνων και ραδιενεργών υλικών.

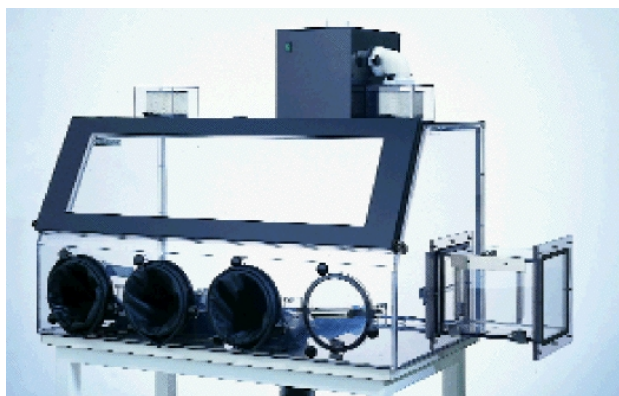


Σχήμα 2.22. (α) Αποκόλληση του λαιμού από το πάνελ με μηχανικό τρόπο (αδαμαντοτροχοί), (β) Αποκόλληση με τήξη μέσω θερμαινόμενου σύρματος (λεπτή γκρίζα ταινία που περιβάλλει το CRT)



Σχήμα 2.23. Ημιαυτόματη μηχανή αποκόλλησης του πάνελ του CRT από το λαιμό (google.com)

Η όλη διαδικασία γίνεται μέσα σε γυάλινο κουβούκλιο για την αποφυγή εισπνοών αερολυμάτων του φωσφορικού επικαλύμματος.



Σχήμα 2.24. Τυπικό αεροστεγές κυτίο (google.com)



Σχήμα 2.25. Αποξεστής συνδεδεμένος με αντλία αέρα για την απορρόφηση του δηλητηριώδους φωσφορικού υλικού (google.com)

Το μέσο μέγεθος των κόκκων του φωσφορικού επικαλύμματος είναι πάρα πολύ μικρό (4-10 μ m) πράγμα που πολλαπλασιάζει την επικινδυνότητά του. Πέρα από την τοξικότητα, το μέγεθος των κόκκων είναι ικανό να προξενήσει ερεθισμούς στους πνεύμονες και πνευμονοκονιώσεις. Συνεπώς, επιπλέον προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται κατά την μετακίνηση των υλικών.

Μετά την παραγωγή αποβλήτων CRT, το γυαλί CRT από τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, ως επί το πλείστον, διατίθεται για χρήση στην κατασκευή νέων CRT. Τα τελευταία χρόνια, πολλοί μελετητές έχουν δώσει μεγάλη προσοχή στην ανακύκλωση των γυαλιών CRT, στην κλασσική

ανακύκλωση κλειστού βρόχου (δηλαδή απορρίμματα CRT σε νέο CRT) καταρχάς, όπως προαναφέρθηκε, αλλά όλο και πιο συχνότερα στην ανακύκλωση ανοικτού βρόχου (δηλαδή απορρίμματα CRT σε νέα προϊόντα, όπως το αφρώδες γυαλί). Παρόλα αυτά, μόνο περιορισμένες προηγούμενες εργασίες συζητούν την επαναχρησιμοποίηση γυαλιού χοάνης (Méar et al., [2006]), (Méar et al., [2005]) κι αυτό λόγω της τοξικότητας του μόλυβδου. Λίγες μελέτες έχουν αναφερθεί για το πώς μπορεί να διαχωριστεί ο μόλυβδος από το γυαλί χοάνης. Μια μόνο έκθεση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτό θα μπορούσε να είναι ίσως η τελευταία επιλογή (<http://www.icer.org.uk/IcerDtiCrtFinal.pdf>).

2.6.8.3 Λειοτρίβηση-Κοκκοποίηση υάλου

Το γυαλί διαφόρων συστάσεων και περιεκτικότητων σε οξειδία είναι σκληρότητας γύρω στο 6-7 κατά την κλίμακα του Mohs (λίγο πιο μαλακό από τον ορυκτό χαλαζία). Έχει κογχώδη θραυσμό, όπως όλα τα κεραμικά υλικά και περιορισμένη αντοχή στη θλίψη – εφελκυσμό, διάτμηση, και κάμψη, εκτός αν είναι σε μορφή ίνας οπότε, η αντοχή στην κάμψη εμφανίζεται πολύ αυξημένη. Το γυαλί CRT, λοιπόν, στην θραυσμένη του μορφή και ως ανακυκλώσιμο υλικό, δεν διαφέρει, στα εξωγενή χαρακτηριστικά του, από τα συνήθη ορυκτά και πετρώματα, επομένως, οποιαδήποτε μηχανήματα του εμπορίου, που είναι σχεδιασμένα για να αντιμετωπίζουν ορυκτά και πετρώματα, είναι κατάλληλα για τον χειρισμό και του γυαλιού. Το παραπάνω προσδίδει σε μια βιομηχανία ισχυρούς βαθμούς ελευθερίας όσον αφορά την επιλογή του εξοπλισμού της, καθόσον στο εμπόριο κυκλοφορεί μια πλειάδα διαφορετικών σπαστήρων και μύλων.

Οι εμπορικές τεχνικές θραύσης και κοκκοποίησης του, προς ανακύκλωση, γυαλιού σήμερα βασίζονται εν πολλοίς στις τεχνικές λειοτρίβησης των αδρανών υλικών και των ορυκτών, όπως ειπώθηκε προηγουμένως.

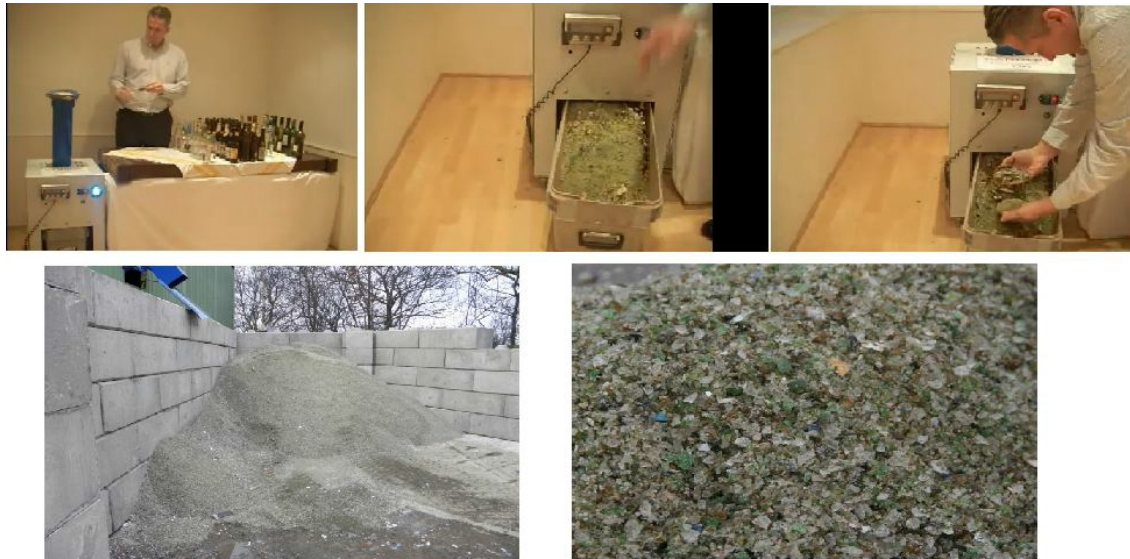
Παρόλα αυτά, διαφοροποιούνται ως προς το μέγεθος, την ισχύ και τη φέρουσα ικανότητα. Έχουν κατασκευαστεί μεγάλοι βιομηχανικοί σπαστήρες με τονάζ γύρω στους 250-500 τόνους υλικού ανά ώρα και μικροί, οικιακής έως βιοτεχνικής χρήσης, με ικανότητες πολύ περιορισμένες, της τάξης μερικών εκατοντάδων κιλών. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται βασίζονται στις

προαναφερθείσες μεθόδους θραύσης λειοτρίβησης μεταλλευτικών ορυκτών και βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων.

Η τεχνική της θραύσης με κρουστικούς παλμούς είναι μια επινόηση που επίσης χρησιμοποιείται σήμερα και βασίζεται στην μετάδοση υψηλής ενέργειας κρουστικών παλμών, ώστε να διαρρήξουν το γυαλί. Αριθμεί πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κλασσικούς συμβατικούς τεμαχιστές, όπως η μεγάλη ταχύτητα, η πολύ μικρή κοκκομετρική κατανομή του τελικού προϊόντος και η ευκολία παραγωγής άμμων υάλου, καθώς και η δυνατότητα διαχωρισμού παραπροϊόντων, όπως χαρτιά και μέταλλα.



Σχήμα 2.26. Διάφοροι τύποι τεμαχιστών γυαλιού (google.com)



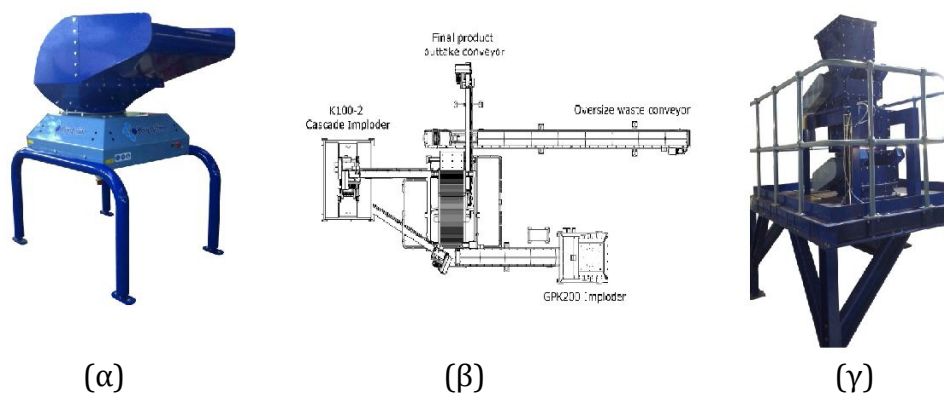
Σχήμα 2.27. Οικιακός τεμαχιστής υπερήχων της εταιρείας GlassVac (GlassVac)

Η θραύση με κρουστικούς παλμούς δεν πλεονεκτεί τόσο ενεργειακά της μηχανικής θραύσης (όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα), όσο στο γεγονός της καταλληλότητας του τελικού προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι οι ενεργειακοί παλμοί μπορεί να κατευθυνθούν κατά ενός συγκεκριμένου υλικού, αφήνοντας ανεπηρέαστα όλα τα υπόλοιπα προϊόντα. Έτσι μπορεί το γυαλί να θραυστεί και ταυτόχρονα να διαχωριστεί από άλλα υλικά, όπως πλαστικό και μέταλλο.

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η απευθείας λειοτρίβηση του υλικού, χωρίς την απαίτηση να έχει υποστεί πρόθραυση κατά την τροφοδοσία. Κι αυτό γιατί η θραύση επιτυγχάνεται με μετάδοση παλμών στο κύριο σώμα του υλικού, που καταλήγουν σε ρηγματώσεις και όχι η μηχανική σύνθλιψη του υλικού που περιέχει περιορισμούς στα μέγιστα σωμάτια (συνήθως πολύ μεγάλα τεμάχια υλικού δεν είναι δυνατόν να θραυστούν σε συμβατικό θραυστήρα είτε γιατί δεν χωράνε είτε γιατί εμποδίζουν την θραύση μικρότερων τεμαχιδίων). Άρα συνήθως η τροφοδοσία τους απαιτεί πρόθραυση.

Ένα τρίτο πλεονέκτημα της θραύσης με κρουστικούς παλμούς είναι η πολύ μικρότερη κοκκομετρική κατανομή του τελικού προϊόντος, σε σχέση με αντίστοιχες μηχανικές θραύσεις. Η προσθήκη, τώρα, οξειδίων του μολύβδου στο γυαλί αφαιρεί, εν γένει, από τις μηχανικές αντοχές του γυαλιού και μειώνει το μέτρο του Young, την αντοχή σε θραύση και λειοτρίβηση, κάνοντάς το

ευκολότερο στην μηχανική επεξεργασία. Η εταιρεία Krysteline έχει αναπτύξει την τεχνολογία και έχει κατοχυρώσει την ευρεσιτεχνία κατασκευής θραυστήρων κρουστικών παλμών.



Σχήμα 2.28. (α) Αυτόνομος θραυστήρας, (β) Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, (γ) Σύστημα διπλής και τριπλής θραύσης της εταιρείας Krysteline

Ειδικά για την μολυβδύαλο του CRT, οι χαμηλότερες μηχανικές αντοχές είναι ένα επιπλέον πλεονέκτημα στην λειοτρίβηση και θραύση. Επομένως, οι θραυστήρες υπερήχων θα μπορούν να παραγάγουν άμμο μολυβδύαλου με σχετικά μεγαλύτερη ευκολία.

2.6.9 Νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης οθονών CRT

Το βασικό υλικό προς ανάκτηση στις οθόνες CRT είναι ο Pb. Για την ανάκτηση του Pb έχουν δοκιμαστεί πειραματικά με επιτυχία οι ακόλουθες μέθοδοι:

- **Αναγωγική τήξη.** Στην αναγωγική τήξη ο μόλυβδος διαχωρίζεται από το γυαλί, μέσω χημικών και μηχανικών διεργασιών. Χημικά το PbO ανάγεται στο γυαλί. Στη συνέχεια και με φυσικές διεργασίες, τα τεμάχια του Pb αυξάνονται και καθιζάνουν. Για να επιτευχθεί διαχωρισμός, πρέπει, αρχικά, να μειωθεί το ιξώδες του γυαλιού, το οποίο πραγματοποιείται με την προσθήκη οξειδίων αλκαλίων. Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη σύσταση του γυαλιού. Όταν το γυαλί τηχθεί, είναι ελαφρύτερο του PbO και επιπλέει. Οπότε ο διαχωρισμός είναι εφικτός (Inano, [2012]).
- **Υδρομεταλλουργία.** Σύμφωνα με τον Zhang (Zhang et al., [2013]), μπορεί να επιτευχθεί ανάκτηση του Pb από το γυαλί μέχρι 97%, μετά από προσβολή του γυαλιού με αλκαλικά διαλύματα και κάτω από έντονες

μηχανικές διεργασίες. Πιο συγκεκριμένα, η ανάκτηση επιτεύχθηκε με μηχανική ανάδευση του γυαλιού σε σφαιρόμυλο, παρουσία διαλύματος NaOH 5M στους 70°C.

Σε άλλη μελέτη που δημοσιεύτηκε από τον Strzalkowska (Strzalkowska et al., [2012]), η προσβολή του γυαλιού με νιτρικό οξύ μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό βαθμό ανάκτησης Pb.

2.7 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών

Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται όλο και πιο αισθητή η διείδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο όρος ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνει την αιολική, ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια, την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων και της βιομάζας, τα μικρά υδροηλεκτρικά και τις κυψέλες καυσίμου. Ο καλύτερος τρόπος αξιοποίησής τους είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που πραγματοποιείται άμεσα από τις προαναφερόμενες πηγές. Η ηλιακή ενέργεια, συνήθως, αξιοποιείται μέσω των φωτοβολταϊκών, τα οποία μετατρέπουν απ' ευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά βασίζουν την λειτουργία τους στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο το οποίο πρωτοπαρατηρήθηκε το 1839. Η κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού στοιχείου ανάγεται στα 1937, αλλά η ουσιαστική εφαρμογή του κατέστη δυνατή από την δεκαετία του 1950. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή φωτοστοιχεία αποτελούν την "καρδιά" των φωτοβολταϊκών συστημάτων που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

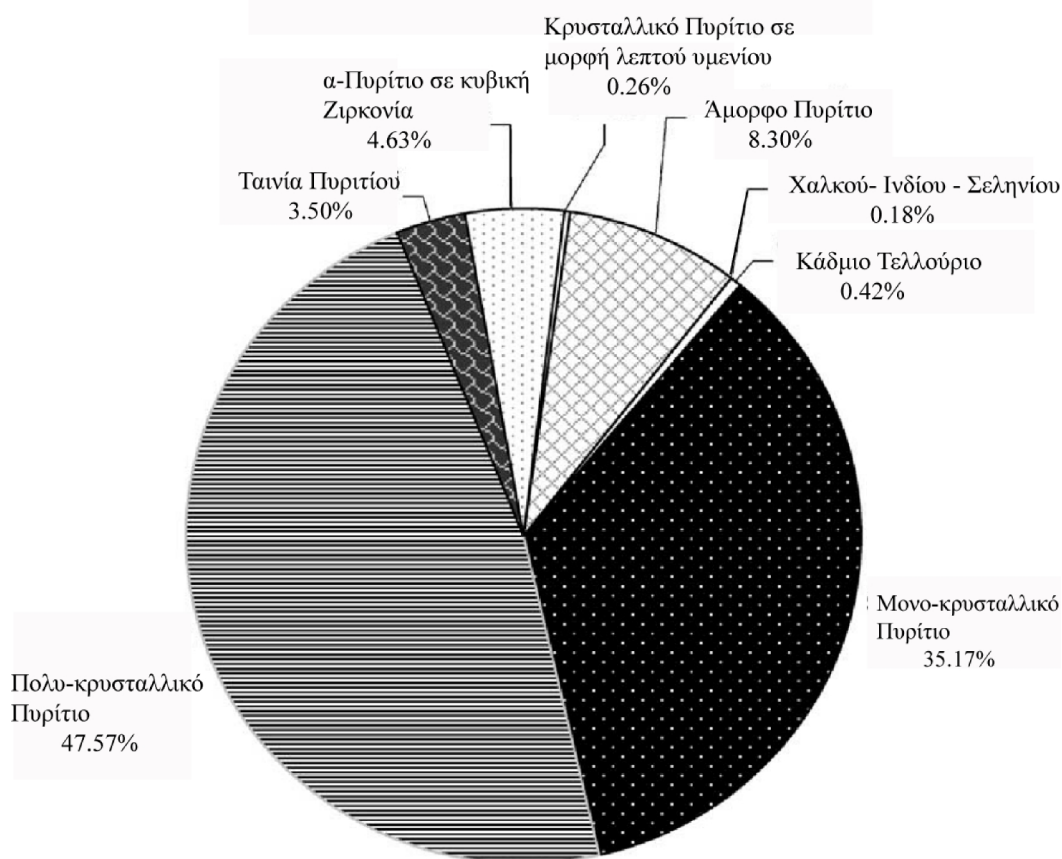
2.7.1 Είδη φωτοβολταϊκών και χρησιμοποιούμενα υλικά

Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορα υλικά και διάφορους τρόπους. Ανάλογα με την τεχνολογία, τα Φ/Β μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη χρησιμοποιεί την τεχνολογία thickfilm, ενώ η δεύτερη την τεχνολογία thinfilm. Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο (Si), καθώς είναι και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Σήμερα, το πυρίτιο αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των Φ/Β. Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται και από συνδυασμό άλλων υλικών, όπως θειούχο κάδμιο (CdS), αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) και χαλκό

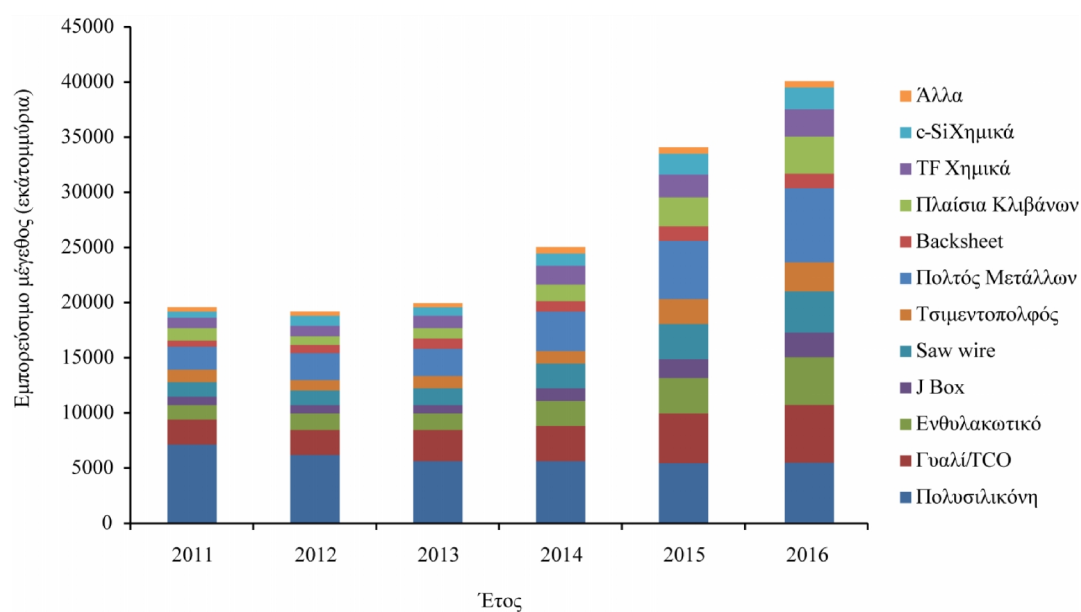
- ίνδιο - σελήνιο (CuInSe_2), χαλκό - γάλλιο - δισελήνιο (CuGaSe_2), χαλκό - ίνδιο - θείο (CuInSe_2) κ.α. (Goetzberger et al.,[2003]). Στο Σχήμα 2.29. παρουσιάζεται μια εικόνα της παγκόσμιας αγοράς ανά κατηγορία τεχνολογίας.

Η καθιέρωση του πυριτίου, ως βασικού στοιχείου στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία, οφείλεται στην εξελιγμένη τεχνολογία που το ακολουθεί, την ευρεία χρήση του στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών, καθώς επίσης και στην υψηλή αξιοπιστία που παρουσιάζει σε ακραίες θερμοκρασιακές ή διαβρωτικές συνθήκες. Τέλος, δεν μπορούν να μην ληφθούν υπ' όψιν και οι περιβαλλοντικοί λόγοι, καθώς ορισμένα από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στους υπολοίπους ημιαγωγούς όπως το Κάδμιο, το Τελλούριο, το Αρσενικό και το Σελήνιο είναι τοξικά (Κυρίτσης, [2003]). Τα Φ/Β κύτταρα πυριτίου ανάλογα με την επεξεργασία που υφίσταται το υλικό κατασκευής τους, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: σε αυτά που κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο και σε αυτά στα οποία χρησιμοποιείται άμορφο πυρίτιο. Τα ηλιακά κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου διαχωρίζονται περαιτέρω σε μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά (Καγκαράκης, [1992]), (Luque and Hegedus, [2005]), (Ζαχαρίου και Πρωτογερόπουλος, [2000]). Η σύνδεση, εν σειρά, φωτοβολταϊκών στοιχείων δημιουργεί το επονομαζόμενο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Παγκόσμια Αγορά ανά κατηγορία Τεχνολογίας 2001



Σχήμα 2.29. Μερίδια αγοράς υλικών για την κατασκευή Φ/Β πλαισίων ανά κατηγορία τεχνολογίας για το 2001 (Goetzberger et al, [2003])



Σχήμα 2.30. Διεθνείς αγορές χημικών και υλικών για την παραγωγή Φ/Β στοιχείων (AEIConsulting, USA)

Τα κυρίαρχα μοντέλα Φ/Β πλαισίων στην αγορά είναι τα ακόλουθα:

- Το μονο-κρυσταλλικό πυρίτιο (Single-Crystalline Silicon, sc-Si)
- Το πολυ-κρυσταλλικό πυρίτιο (Multi-crystalline Silicon, mc-Si)
- Το κρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λεπτού υμενίου (thinfilm)
- Το άμορφο και νανοκρυσταλλικό πυρίτιο (Amorphous ή Thinfilm Silicon, Si)
- Χαλκού-ινδίου-σεληνίου (CuInSe₂ ή CIS)
- Καδμίου-τελλουρίου (CdTe)
- Γαλλίου-Αρσενικού (GaAs)
- Οργανικά φωτοβολταϊκά
- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά



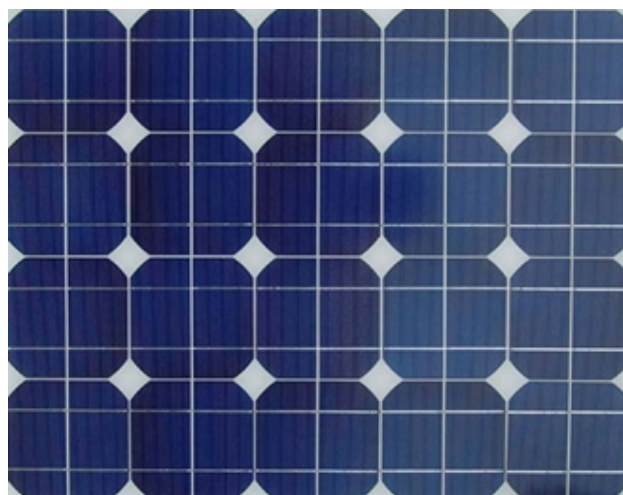
Σχήμα 2.31. Τύποι φωτοβολταϊκών κυττάρων
(<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>)

Αναλυτικότερα:

- **Μονο-κρυσταλλικό πυρίτιο (Single-Crystalline Silicon, sc-Si).** Το βασικό υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών αυτών είναι το μονο-κρυσταλλικό πυρίτιο. Το πάχος των υλικών αυτών είναι σχετικά μεγάλο, περίπου 300μm (Μακρής, [2009]). Τα εργαστηριακά φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν φθάσει σχεδόν σε αποδοτικότητα 24%, με τις εμπορικές μονάδες των

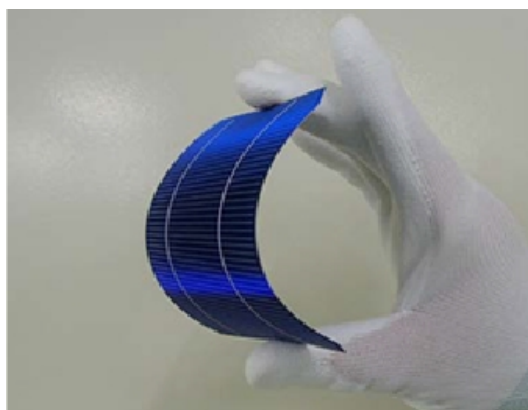
κυττάρων τους να κυμαίνονται από 13 έως 16% και να χαρακτηρίζονται από το υψηλό κόστος κατασκευής. Το χρώμα των κυττάρων είναι συνήθως σκούρο μαύρο με μία ενιαία και επίπεδη δομή (Τρυπαναγνωστοπούλου, [2010]).

- **Πολυ-κρυσταλλικό πυρίτιο (Multi-crystalline Silicon, mc-Si).** Η κατασκευή φωτοβολταϊκών πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου είναι πιο γρήγορη διαδικασία και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη, σε σχέση με αυτή των φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα στοιχεία αυτά κόβονται σε τετραγωνική μορφή και αποτελούνται από λεπτά στρώματα πάχους 10 έως 50 μm (Μακρής, [2009]). Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονο-κρυσταλλικές περιοχές. Γενικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονο-κρυσταλλικών περιοχών του πολυ-κρυσταλλικού Φ/Β, τόσο υψηλότερη απόδοση παρουσιάζει. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%, ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση") και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>)



Σχήμα 2.32. Μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία (<http://www.sunblog.org>)

- **Κρυσταλλικό πυρίτιο σε μορφή λεπτού υμενίου (thin film).** Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου, σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονο-κρυσταλλικών και πολυ-κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Παρόλο που η κατασκευή αυτών των στοιχείων προσφέρει μείωση 50% στη χρήση του πυριτίου, το κόστος κατασκευής είναι πολύ υψηλό. Τα φωτοβολταϊκά αυτού του είδους έχουν χαμηλότερες αποδόσεις, σε σχέση με τα προηγούμενα είδη. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος τους είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18% (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>).



Σχήμα 2.33. Φ/Β στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου σε μορφή λεπτού υμενίου (Μ. Τρυπαναγνωστοπούλου, [2010])

- **Το άμορφο και νανοκρυσταλλικό πυρίτιο (Amorphous ή Thin film Silicon, α -Si).** Η τεχνολογία των λεπτών επιστρώσεων (thin films) είναι, θεωρητικά, πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, χάρη της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού και έχουν χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τα προηγούμενα είδη. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων πάχους συνήθως 10-4nm οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση πυριτίου πάνω σε ένα υπόστρωμα από γυαλί ή αλουμίνιο, πάχους 1-3mm. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου κυμαίνεται από 6-8% ενώ σε εργαστηριακό περιβάλλον έχουν επιτευχθεί μεγαλύτερες αποδόσεις που αγγίζουν το 15%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται

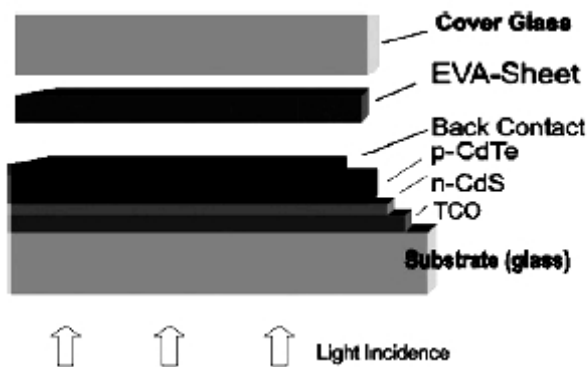
για την παρασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες πλαισίων. Σε εργαστηριακά Φ/Β κύτταρα η απόδοση φτάνει περίπου 13% (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>).

Τα πλεονεκτήματα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο α-Si είναι: το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες και πως πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του, σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα. Δηλαδή για την παραγωγή της ίδιας ενέργειας απαιτείται σχεδόν διπλάσια επιφάνεια, σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>).

- **Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe₂ ή CIS).** Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά, παρόλ' αυτά, η απόδοσή του, με τις σύγχρονες τεχνικές, κυμαίνεται στο 11% (Δ. Παναγόπουλος, [2007]). Είναι ένα λεπτό πολυ-κρυσταλλικό υλικό, όπου εργαστηριακά η απόδοσή του έφτασε το επίπεδο του 19,5% (R. W. Miles et al., [2005]), η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Πλεονεκτεί στο χαμηλό κόστος κατασκευής του, αλλά σήμερα, στην αγορά, έχει χαμηλή απόδοση, γύρω στο 10% (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>). Είναι ευαίσθητος στο ερυθρό και στο υπέρυθρο τμήμα του ηλιακού φάσματος, το οποίο δεν απορροφάται από το άμορφο πυρίτιο. Με την πρόσμιξη γάλλιου, η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση, παρ' όλα αυτά, τα επόμενα χρόνια, αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο (L. D. Partain, [1995]). Κατά την διαδικασία παραγωγής των στοιχείων αυτής της κατηγορίας, καταναλώνονται οι εξής πόροι (M. Raugel et al., [2007]):

➤ Γαλί, 24,96kg/m²

- Νερό 1,25kg/m²
 - Mo+Cu+In+Ga+Se+CdS+ZnO+CuSn 70g/m²
 - Ηλεκτρική ενέργεια 24,3kWh/m²
- **Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe).** Το τελλουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα, όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές, όμως, μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο, η απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16% (Oliver and Jackson, [2001]). Μελλοντικά, αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο, με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης, προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>). Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωσή του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

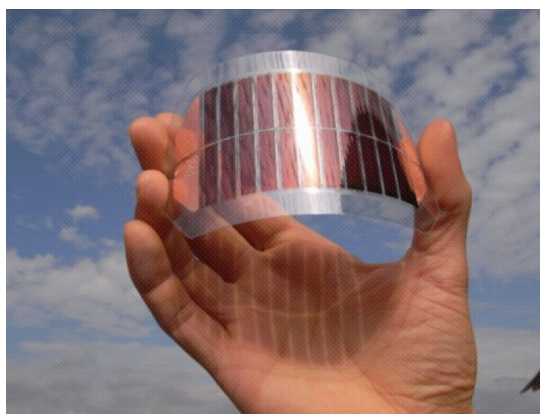


Σχήμα 2.34. Δομή ενός τυπικού Cd-Te Φ/Β στοιχείου (Raugei et al, [2007])

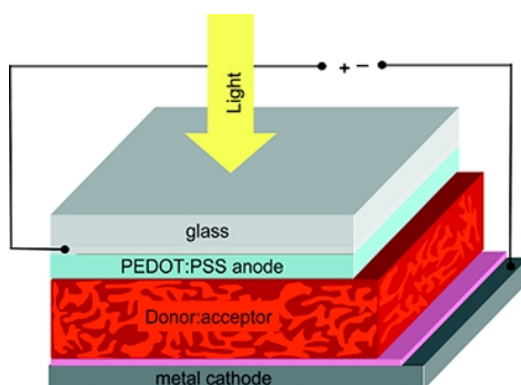
- **Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).** Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων, όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα κι από τον χρυσό. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV, που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοσή του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων

GaInP/GaAs/Ge (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 32% (Miles et al, [2005]). Επίσης, είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση του σε εφαρμογές ηλιακών συλλεκτών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι αντέχει σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός το οποίο μαζί με την υψηλή του απόδοση το κάνει ιδανικό για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>).

- **Οργανικά φωτοβολταϊκά.** Στα λεγόμενα ηλεκτροχημικά ή οργανικά στοιχεία, η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται σε οργανικά συστήματα. Τα πολυμερή ηλιακά κύτταρα (πλαστικά ηλιακά κύτταρα) είναι ένας τύπος των οργανικών φωτοβολταϊκών. Είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία εμφανίζεται με την μορφή λεπτού φιλμ. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Η αρχική τους μορφή ήταν υγρή και στην πορεία των ερευνών έφτασε σε πηκτή, παχύρρευστη μορφή. Οι ερευνητές προσπαθούν να κατασκευάσουν όσο πιο δυνατόν στερεά οργανικά στοιχεία, ώστε να σχηματιστεί το πλαίσιο. Λόγω της ρευστότητας της πρώτης ύλης (υγρό διάλυμα), τα οργανικά φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν ευκαμψία. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από πολυχρωμία, λόγω των χρωστικών ουσιών στο διάλυμα (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>). Βέβαια, σήμερα η απόδοσή τους δεν βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, καθώς έχει φτάσει μόλις στο 2,5%. Σημαντικό, όμως, είναι το βασικό πλεονέκτημα των φωτοβολταϊκών στοιχείων αυτής της τεχνολογίας που είναι το, εξαιρετικά χαμηλό, κόστος παρασκευής τους, γεγονός που επιτρέπει να θεωρείται δυνατή η αξιοποίησή τους ακόμα και με το μειονέκτημα του πολύ μικρότερου χρόνου ζωής τους, σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία (<http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>).



Σχήμα 2.35. Οργανικά Φ/Β στοιχεία (<http://solarenergy.gr>)

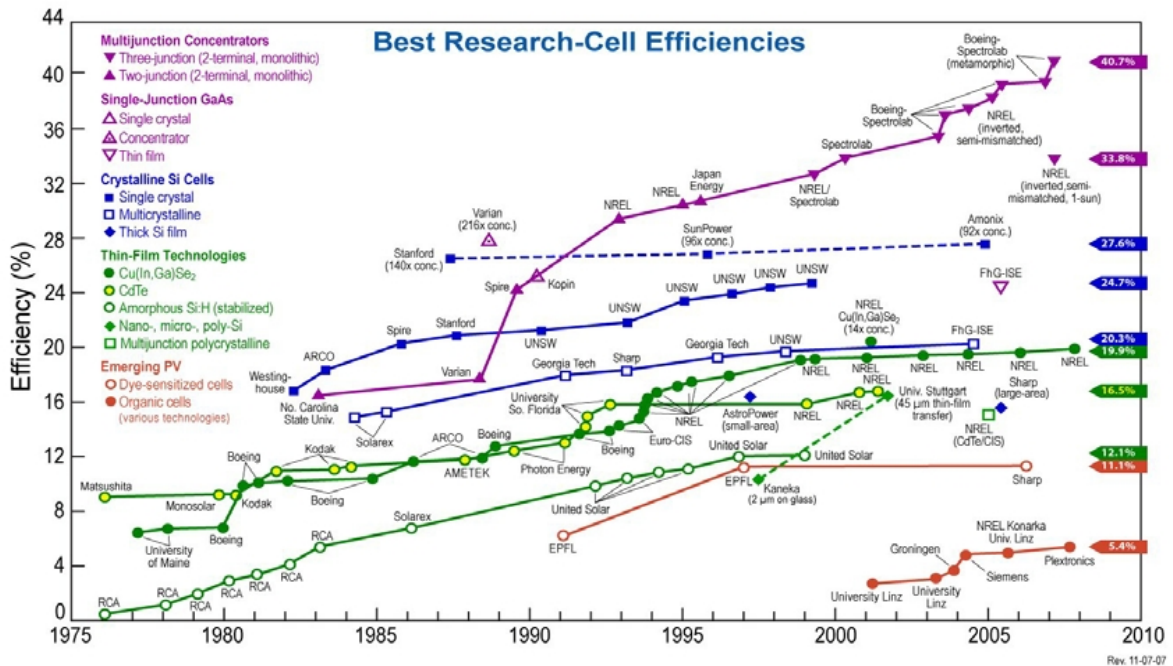


Σχήμα 2.36. Τυπική δομή στρώσεων οργανικού Φ/Β. Το PEDOT:PSS είναι ένα διαφανές, αγωγίμο πολυμερές (Kronholm and Hummelen (Kees), [2008])

- **Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά.** Τα νανοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα ή αλλιώς, τα ηλιακά κύτταρα κβαντικών τελείων είναι κύτταρα, τα οποία βασίζονται σε νανοκρυστάλλους. Η τεχνολογία των νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες (Τρυπαναγνωστοπούλου, [2010]). Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά κβαντικών τελείων μπορούν να προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος, καθαρή πηγή ενέργειας και απόδοση έως και 65% (Ellingson et al., [2005]). Τα φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα (DSSC) είναι φωτοβολταϊκά βασισμένα σε νανοδιάστατο ημιαγωγό. Κύτταρα λεπτού φιλμ στα οποία ο ημιαγωγός βρίσκεται ανάμεσα στον φωτοευαίσθητοποιητή και τον ηλεκτρολύτη και βασίζονται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο. Αυτό το χαμηλού κόστους σύστημα αναπτύχθηκε το 1991 από τον Michael Grätzel

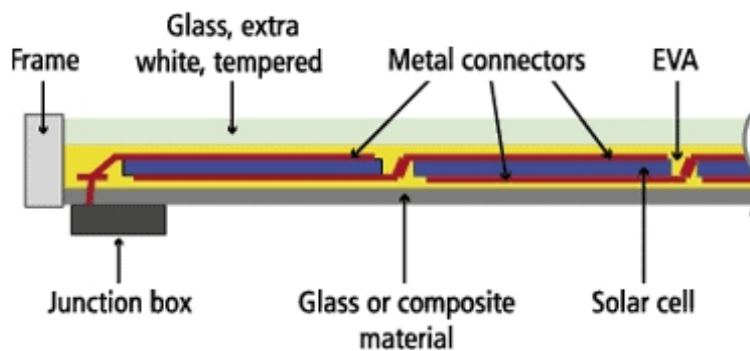
and Brian O'Regan στην Πολυτεχνική Σχολή της Λωζάνης (O'Regan and Grätzel, [1991]).

Το Σχήμα 2.37. παρουσιάζει την εξέλιξη των Φ/Β στοιχείων από το 1975 έως το 2010.



Σχήμα 2.37. Εξέλιξη της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων (National Renewable Energy Laboratory, USA)

Το Σχήμα 2.38. δείχνει πώς γίνεται η συναρμολόγηση των ηλιακών στοιχείων σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

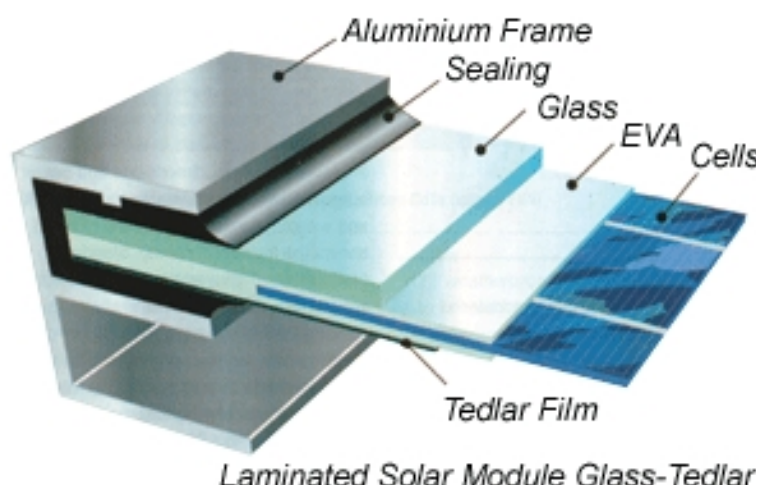


Σχήμα 2.38. Συστατικά φωτοβολταϊκού πλαισίου

Συνήθως, τα ηλιακά στοιχεία περιβάλλονται από ένα λεπτό φιλμ EVA (πάχους 0,25 - 0,5mm), ενώ στην πάνω πλευρά μπαίνει και ένα ενισχυμένο γυαλί (ειδικό γυαλί με αντανακλαστική στρώση και μεγάλη αντοχή). Από κάτω,

μπαίνει ή μία στρώση tedlar ή κάποιο άλλο υλικό (π.χ. γυαλί ή μέταλλο). Οι στρώσεις αυτές των υλικών ενθυλακώνονται σε ένα πλαίσιο αλουμινίου. Στο πίσω μέρος μπαίνει ένα κουτί σύνδεσης από πολυεστέρα για τη σύνδεση των καλωδίων, το οποίο προσκολλάται με κόλλα σιλικόνης.

Αναλύοντας ένα κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό, αυτό αποτελείται από ένα εξωτερικό κάλυμμα από γυαλί, σε ποσοστό μάζας επί του συνόλου περίπου 65%. Ακολουθεί το πλαίσιο αλουμινίου, 20%, το οξικό βινύλιο αιθυλενίου, 7,5%, το υπόστρωμα φθοριούχου πολυβινυλίου σε ποσοστό 2,5% και το κουτί σύνδεσης 1%. Τα ηλιακά κύτταρα αποτελούν το 4% της μάζας της φωτοβολταϊκής μονάδας.



Σχήμα 2.39. Τομή φωτοβολταϊκής μονάδας και διαστρωματώσεις αυτής

Για να κυκλοφορήσει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο στην ευρωπαϊκή αγορά πρέπει να ικανοποιεί κάποιες προδιαγραφές, ανάλογα με την τεχνολογία του. Συγκεκριμένα, τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές CEC 503 ή EN 61215 ή IEC 61215 ή ισοδύναμες, ενώ τα thin-film την προδιαγραφή IEC 61646 ή ισοδύναμες. Αντιστοίχως, οι αντιστροφείς πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές του προτύπου DINEN 60529.

Μεταξύ των άλλων, οι προδιαγραφές αυτές προβλέπουν μια σειρά από ελέγχους που εγγυώνται την αντοχή και την καλή λειτουργία των πλαισίων. Οι έλεγχοι αυτοί περιλαμβάνουν δοκιμές σε εξειδικευμένα εργαστήρια για αντοχή των πλαισίων σε ακραίες συνθήκες, υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία, χαλαζόπτωση, πιέσεις, ελκυσμούς και ταλαντώσεις. Για παράδειγμα, το τεστ αντοχής σε χαλαζόπτωση περιλαμβάνει 'βομβαρδισμό' του

πλαίσιου με κομμάτια πάγου διαμέτρου 2,5 εκατοστών και με ταχύτητα 23m/s, υπό 11 διαφορετικές γωνίες πρόσκρουσης. Αν το πλαίσιο δεν περάσει τα τεστ, το προϊόν αυτό δεν παίρνει πιστοποίηση και δεν πρόκειται να έχει εμπορικό μέλλον.

2.7.2 Διαδικασία κατασκευής φωτοβολταϊκών

Όπως έχει προαναφερθεί, το υλικό κατασκευής των Φ/Β στοιχείων είναι κυρίως το πυρίτιο (Si). Ως βασική μονάδα εργαστηριακής παρασκευής θεωρείται το Φ/Β στοιχείο. Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων (συνήθως 33 ή 36) συνδεδεμένων σε σειρά, ώστε να εμφανίζουν συγκεκριμένη τάση ανοικτού κυκλώματος (17V έως 22V), τοποθετούνται σε επίπεδη γυάλινη πλάκα, προσαρμοσμένη σε μεταλλικό πλαίσιο, συνήθως από αλουμίνιο, υψηλής αντοχής. Το πίσω μέρος επικαλύπτεται από ένα ειδικό πλαστικό υλικό ενθυλάκωσης και όλα τα στηρίγματα συνδέονται με χρήση ανοξειδωτων κοχλιών και περικοχλίων ασφαλείας (Hara et al, [2000]). Η τελική κατασκευή ικανοποιεί ειδικές προδιαγραφές, ώστε να διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία. Επιπλέον, πρέπει να είναι ανθεκτική σε ατμόσφαιρα υψηλής περιεκτικότητας σε άλμη, σε δυνατές κρούσεις χαλαζόπτωσης και σε θερμικές καταπονήσεις (Hara et al, [2000]).

Η όψη του φωτοβολταϊκού καλύπτεται από μια διαφανή επικάλυψη-ουσία (π.χ. SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Si₃N₄, MgF₂). Η μεμβράνη αυτή έχει δείκτη διάθλασης τέτοιοι ώστε, για μια περιοχή μηκών κύματος, συνήθως γύρω στα 600nm, κοντά στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας (480 nm), να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός (αντι-ανακλαστική επίστρωση). Επίσης, τα μεταλλικά ηλεκτρόδια συλλογής των φορέων, πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργό περιοχή (Τρυπαναγνωστοπούλου, [2010]).

Το μεταλλικό πλέγμα, που τοποθετείται στην επιφάνεια, όπου προσπίπτει το φως, πρέπει να έχει το σχήμα αραιής μεταλλικής σχάρας, έτσι ώστε οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς να συλλέγονται απ' όλη την έκταση της επιφάνειάς του, προκαλώντας ταυτόχρονα την ελάχιστη δυνατή μείωση στη διέλευση του φωτός. Ενώ το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του φωτοβολταϊκού και συνήθως αποτελείται, για λόγους κόστους και βάρους της

διάταξης, από λεπτό και σχετικά πυκνό μεταλλικό πλέγμα (Τρυπαναγνωστοπούλου, [2010]).

2.7.3 Ανάλυση κύκλου ζωής φωτοβολταϊκών

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκές μονάδες θεωρείται καθαρή τεχνολογία παραγωγής ενέργειας. Σε αντίθεση με την καύση ενεργειακών πρώτων υλών – λιγνίτη, petcoke, μαζούτ, κ.ά. – από την οποία παράγονται τοξικά αέρια και αέρια θερμοκηπίου, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική έχει ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Μελέτες αποδεικνύουν ότι η παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά έχει μειωμένες εκπομπές, σε σχέση με την καύση ενεργειακών υλών κατά 89% (V. M. Fthenakis and P. D. Moskowitz, [2000]).

Παρόλα αυτά, η ανάλυση κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών αποδεικνύει ότι ενδεχομένως να προκύπτουν κίνδυνοι για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, σε κάποια τμήματα του κύκλου. Ο κύκλος ζωής μια φωτοβολταϊκής μονάδας αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Εξόρυξη και παραγωγή πρώτων υλών
- Κατασκευή φωτοβολταϊκής μονάδας
- Χρήση για την παραγωγή ενέργειας
- Διαχείριση και διάθεση μετά το τέλος ζωής της

Σε γενικές γραμμές, οι επικείμενοι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι κατά τον κύκλο ζωής του φωτοβολταϊκού στοιχείου μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- **Η εξόρυξη των υλικών που μετά από επεξεργασία θα αποτελέσουν τις πρώτες ύλες.** Οι κρυσταλλικές μορφές Si βρίσκονται στη φύση είτε ως πυριτική άμμος είτε σε πετρώματα όπως οι χαλαζίτες. Η εξόρυξή τους εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε μία από τις εμφανίσεις. Γενικά, όμως, ακολουθείται η εξής διαδικασία για την λήψη της πυριτικής πρώτης ύλης: μεταφορά γαιών, εκσκαφή, σπάσιμο, λειοτρίβιση, πλύσιμο και κοσκίνισμα (Angello, [2004]). Επικινδυνότητα από την παραπάνω δραστηριότητα αποτελεί η έκλυση στην ατμόσφαιρα σκόνης πυριτίου, η

οποία συνδέεται με πυριτίαση, πάθηση των πνευμόνων λόγω χρόνιας εισπνοής σκόνης κρυσταλλικού πυριτίου (Ασπιρτάκης et al., [2008]).

- **Η επεξεργασία του εξορυχθέντος διοξειδίου του πυριτίου ώστε να παραχθεί μεταλλουργικών προδιαγραφών πυρίτιο.** Το μεταλλουργικό πυρίτιο χρησιμοποιείται για την παρασκευή κραμάτων αλουμινίου και χάλυβα, χημικών σιλικόνων, υψηλής καθαρότητας πολυσιλικόνων που εφαρμόζονται ως ημιαγωγοί για φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Το 6% του μεταλλουργικού πυριτίου καταλήγει στη βιομηχανία φωτοβολταϊκών (Williams, [2000]).

2.7.4 Διαδικασία παραγωγής αποβλήτων φωτοβολταϊκών

Η βιομηχανία παραγωγής φωτοβολταϊκών κυψελών έχει υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη. Δεδομένου ότι ο μέσος χρόνος ζωής τους είναι 25 – 30 έτη, πρόκειται να προκύψουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Σύμφωνα με την μελέτη της Bio Intelligence Service, που εκπονήθηκε για λογαριασμό της ευρωπαϊκής ένωσης, το 2050 αναμένονται στην Ευρώπη 9,57 εκατ. τόνοι αποβλήτων από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα.

Τα απόβλητα από τις φωτοβολταϊκές μονάδες προκύπτουν σε δύο στάδια στον κύκλο ζωής τους: κατά την παραγωγή στο εργοστάσιο και μετά το τέλος ζωής τους. Η ανακύκλωση που αφορά στα απόβλητα του πρώτου σταδίου είναι ευκολότερη, σε σχέση με εκείνη που αναμένεται στις επόμενες δεκαετίες από τη συλλογή των αποβλήτων στις θέσεις εγκατάστασης των συστημάτων.

Άλλωστε, η μη ελεγχόμενη διαχείριση των φωτοβολταϊκών μετά το τέλος ζωής τους και η διάθεσή τους επί τόπου στη θέση λειτουργίας τους είναι μείζονος σημασίας περιβαλλοντικό θέμα που θα έρθει στην επιφάνεια και συνδέεται με την έκπλυση του Pb και Cd στο έδαφος. Άλλα προβλήματα αποτελούν η εξόρυξη συμβατικών πρώτων υλών, η κατανάλωση αποθεμάτων σπάνιων μετάλλων όπως άργυρος, ίνδιο, γάλλιο και γερμάνιο και η μείωση των χώρων τελικής διάθεσης αποβλήτων λόγω των μεγάλων όγκων γυαλιού που θα προκύψουν προς ταφή, εάν δεν αναπτυχθεί έγκαιρα η ανακύκλωση.

Παρόλο ότι οι φάσεις του πυριτίου δεν αποτελούν επικίνδυνες ενώσεις, η

τελική διάθεση των φωτοβολταϊκών κυψελών δημιουργεί ερωτηματικά ως προς τα ιχνοστοιχεία που περιέχουν (Cd, Pb, Se) (Fernández-Carrasco et al, [2009]). Μερικά από τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι Cd, Se, Te, In. Το Cd είναι το κύριο συστατικό για την παραγωγή CdTe μονάδων και δευτερεύον συστατικό για τα CIS. Τα CIS περιέχουν 5 – 14 gCd ή Se ανά τετραγωνικό μέτρο της μονάδας. Οι μονάδες CdTe περιέχουν 7 – 12 gCd ή Te ανά τετραγωνικό μέτρο.

Ο ακόλουθος πίνακας συγκεντρώνει τις συστάσεις που παρουσιάζουν οι φωτοβολταϊκές μονάδες, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν (Snader, [2007]):

Πίνακας 2.15. Σύσταση Φ/Β ανά κατηγορία

ΥΛΙΚΟ	ΜΟΝΑΔΑ	ΜΟΝΑΔΑ ΛΕΠΤΟΥ ΦΙΛΜ		
	ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	α-Si	CdTe	CIS/CIGS
Γυαλί	74%	86%	95%	84%
Αλουμίνιο	10%	<1%	<1%	12%
Άλλα συστατικά (συμπεριλαμβανομένων και των σπάνιων μετάλλων)	16%	14%	4%	4%
Σπάνια μέταλλα	Ag	In, Ge		In, Ga
Βαρέα Μέταλλα	Pb		Cd	Cd

2.7.5 Νομοθεσία περί αποβλήτων φωτοβολταϊκών

Το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, στις 18 Ιανουαρίου 2012, ψήφισε την τροποποίηση της Οδηγίας σχετικά με τα Απόβλητα από Ηλεκτρικό και Ηλεκτρονικό Εξοπλισμό (ΑΗΗΕ), ενσωματώνοντας και τη διαχείριση των φωτοβολταϊκών, μετά το τέλος

ζωής τους, σε αυτή. Οι ηλιακές μονάδες είναι πλέον υποχρεωτικό να συλλέγονται και να ανακυκλώνονται. Η συλλογή πρέπει να φτάσει στο 85%, ενώ η ανακύκλωση στο 80%. Τα φωτοβολταϊκά κατηγοριοποιήθηκαν στην κατηγορία 8 της Οδηγίας - Consumer Equipment and Photovoltaic Panels.

2.7.6 Εφαρμόσιμες τεχνολογίες ανακύκλωσης

Η ισχύουσα νομοθεσία, σήμερα, δεν προβλέπει την υποχρεωτική συλλογή και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών (κάτι που σχεδιάζει και υλοποιεί εθελοντικά η βιομηχανία φωτοβολταϊκών, μέχρι να γίνει υποχρεωτικό κάτι τέτοιο από τη νομοθεσία). Συγκεκριμένα, η ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει δεσμευτεί να συλλέγει το 65%, κατ' ελάχιστον, των φωτοβολταϊκών που έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη από το 1990 και να ανακυκλώνει το 85% των υλικών (Πρωτοβουλία PVCYCLE).

Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe η υποχρέωση ανακύκλωσης αποτελεί ήδη πάγια πρακτική. Με την προμήθεια των πλαισίων αυτών, ο τελικός χρήστης δεσμεύεται με συμβόλαιο να παραδώσει τα φωτοβολταϊκά στην κατασκευάστρια εταιρία, μετά τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους, η δε κατασκευάστρια εταιρία δεσμεύεται να τα ανακυκλώσει και να ανακτήσει το CdTe. Στην αρχική τιμή των πλαισίων αυτών περιλαμβάνεται και το κόστος συλλογής και ανακύκλωσης, έστω κι αν κάτι τέτοιο θα συμβεί μετά από 20-30 χρόνια. Έχει δημιουργηθεί μάλιστα και ειδικό ασφαλιστικό ταμείο το οποίο διασφαλίζει τη συλλογή και ανακύκλωση των πλαισίων ακόμη κι αν, εν τω μεταξύ, εκλείψουν οι κατασκευάστριες εταιρίες.

Τα περισσότερα τμήματα των φωτοβολταϊκών μονάδων αποτελούν ανακυκλώσιμα υλικά. Σε ποσοστά μέχρι και 95% μπορούν να ανακυκλωθούν οι ημι-αγωγοί, το γυαλί, τα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (Krueger, [1999]). Στην πραγματικότητα, η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών εξαρτάται από το είδος των τεχνολογιών παραγωγής των κυψελών.

Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου: Μετά από τη χειρονακτική διαλογή των διαφόρων υλικών, μεταλλικά πλαίσια, καλώδια σύνδεσης, πλαστικά, η υπόλοιπη μονάδα σπάει σε σπαστήρες και στη συνέχεια οδηγείται

σε χημικά μπάνια με σκοπό την απομάκρυνση των μεταλλικών ή/και οργανικών επικαλύψεων.

Φωτοβολταϊκά άλλων τεχνολογιών: Υλικά όπως αλουμίνιο και κουτιά σύνδεσης αποσυναρμολογούνται χειρονακτικά. Η υπόλοιπη μονάδα συνθλίβεται σε τεμαχιστές όπου πραγματοποιείται διαχωρισμός ποιοτήτων, δηλαδή γυαλί, πλαστικά και μέταλλα και στη συνέχεια οδηγούνται σε σφυρόμυλο όπου αποκτούν κοκκομετρία 4-5mm. Σε αυτό το μέγεθος θεωρείται ότι έχει καταστραφεί ο δεσμός της πλαστικοποίησης.

Στο επόμενο στάδιο, για την αφαίρεση των films των ημι-αγωγών, το κλάσμα οδηγείται σε περιστρεφόμενο τύμπανο όπου εκπλύεται με οξέα και υπεροξείδιο.

Μέσω κοχλίας και διαχωριστών, το υαλόθραυσμα διαχωρίζεται από το υγρό κλάσμα. Πλένεται, κοσκινίζεται και οδηγείται προς ανακύκλωση κυρίως σε υαλουργίες ή άλλες μονάδες παραγωγής προϊόντων με γυαλί.

Το υγρό κλάσμα είναι αυτό που περιέχει τα μέταλλα. Για την ανάκτησή τους ακολουθεί φυσικοχημική επεξεργασία, όπου με αύξηση του pH πραγματοποιείται καθίζηση. Η λάσπη μετάλλων που καθιζάνει συμπυκνώνεται, είτε μηχανικά είτε θερμικά, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των μετάλλων. Τέλος, τα ανακτώμενα μέταλλα οδηγούνται σε χυτήρια ή άλλες μονάδες.

Οι διαδικασίες διαχείρισης και ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι αντίστοιχες εκείνων που εφαρμόζονται για τις οθόνες LCD, για τις γυάλινες οθόνες, τους καθρέπτες, τα κρύσταλλα αυτοκινήτων και γενικά των εκτός λειτουργίας προϊόντων που περιέχουν μεγάλες ποσότητες γυαλιού.

Δύο εταιρείες έχουν αναπτύξει μέχρι σήμερα τεχνολογίες ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών κυψελών, η DeutscheSolar και η FirstSolar.

2.7.7 Νέες τάσεις στην τεχνολογία ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών

Πέρα από τις, ήδη εφαρμοσμένες, τεχνολογίες που στοχεύουν στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών κυψελών, των κρυστάλλων αυτοκινήτων και των οθονών CRT, η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα παρουσιάζει πλήθος

μεθοδολογιών και τεχνικών ανακύκλωσης, κυρίως όμως για τα μη πυριτικά φωτοβολταϊκά συστήματα.

Για τις φωτοβολταϊκές κυψέλες προτείνεται η προσθήκη έως 5% των υπολειμμάτων της παραγωγικής διαδικασίας των κυψελών στο τσιμέντο και στο σκυρόδεμα. Η σταθεροποίησή τους με τσιμέντο μειώνει το ενδεχόμενο απελευθέρωσης ρύπων στο περιβάλλον, αν και παρατηρήθηκε έντονη πτώση ύστερων αντοχών (έως και 30%) (Fernández-Carrasco et al., [2009]).

Η ευρεσιτεχνία USpatent 2002/0030035A1 στηρίζεται σε μία πυρομεταλλουργική μέθοδο ανάκτησης και υποστηρίζει ότι είναι εφικτή η ανακύκλωση φωτοβολταϊκών μονάδων λεπτού υμενίου CdTe/CdS. Τα θραύσματα υπόκεινται σε πυρόλυση στους 300°C, με σκοπό την αποσύνθεση των οργανικών κλασμάτων. Τα εναπομείναντα ανόργανα συστατικά εκτίθενται σε αέρια πλούσια σε χλώριο σε θερμοκρασία των 400°C, οπότε και σχηματίζεται CdCl₂ και TeCl₄. Τα τελευταία διαχωρίζονται και ανακτώνται βαρυτικά.

Μια ακόμα θερμική μέθοδος ανάκτησης περιγράφεται στην ευρεσιτεχνία USpatent 4401463, που εφαρμόζεται σε φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου CdTe. Σύμφωνα με την μέθοδο, το οργανικό κλάσμα απομακρύνεται σε αέρια μορφή μετά από πυρόλυση ενώ τα μεταλλικά στοιχεία ανακτώνται με την λογική της διύλισης μετά από σταδιακή θέρμανση σε κλίβανο.

Επίσης, προτείνεται η διαχείριση φωτοβολταϊκών πλαισίων CdTe και CIS σε χυτήρια χαλκού, με διαδικασία αντίστοιχη της επεξεργασίας των αποβλήτων της βιομηχανίας χάλυβα (σκόνες EAF) (Fthenakis and Moskowitz, [2000]).

Θέμα μελέτης αποτελεί και η ανάκτηση του Cd και Te από τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά συστήματα με έκπλυση του scrap με όξινα διαλύματα H₂SO₄, θειϊκού σιδήρου ή χλωριούχου σιδήρου. Με σκοπό να γίνει η ανάκτηση πιο αποδοτική, η μέθοδος απαιτεί πίεση στα 400 PSIG και θερμοκρασία 110°C, σε ατμόσφαιρα οξυγόνου (Tolley and Palmer, [1991]).

Η εταιρεία Drinkard Metalox Inc. (DMI) έχει αναπτύξει μία μέθοδο έκπλυσης με HNO₃. Τα μέταλλα οξειδώνονται και διαλυτοποιούνται. Έπειτα, ακολουθεί διήθηση ή/και διαχωρισμός CdO και TeO μιγμάτων, τα οποία με αναγωγή επανέρχονται στην μεταλλική τους κατάσταση.

Η εταιρεία Solar Cells Inc. έχει αναπτύξει μια μέθοδο έκπλυσης με ανθρακικό αμμώνιο, βασιζόμενη στην ευρεσιτεχνία USpatent 4053553, για την ανάκτηση του καδμίου και Te από μονάδες CdTe. Τα απόβλητα εκπλύνονται με ζεστά υδατικά αμμωνιακά διαλύματα, παρουσία οξειδωτικού μέσου, με σκοπό τη δέσμευση του καδμίου σε υδατοδιαλυτά τετραμινικά σύμπλοκα. Η εταιρεία αναφέρει καλύτερα ποσοστά ανάκτησης για το Te (80%) ενώ η λάσπη Cd με τα υπόλοιπα μέταλλα (Te, Sn, Ni, Al, Cu) ανακτάται από την βιομηχανία παραγωγής μπαταριών NiCd (INMETCO).

2.8 Ανάκτηση χρυσού

Ένας σημαντικός αριθμός μεθόδων έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση χρυσού και , γενικώς, πολύτιμων μετάλλων από ΑΗΗΕ. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν φυσικές, πυρομεταλλουργικές και (βιο) υδρομεταλλουργικές τεχνολογίες ανάκτησης μετάλλων.

Στην μη κυανιούχα έκπλυση συστημάτων που περιλαμβάνουν χρυσό, η μέθοδος με χρήση θειουρίας, η θειοκυανική μέθοδος και η μέθοδος συνδυασμού αυτών, μπορούν να σχηματίσουν σταθερά και διαλυτά σύμπλοκα του χρυσού για την ανάκτησή του, ενώ ο ρυθμός ανάκτησής του μπορεί να ξεπεράσει το 70% [Zhang and Xu, 2016]. Σε μία άλλη πρόταση, η χρήση της μεθόδου ηλεκτροχημικής ανάκτησης για τον εμπλουτισμό των πολύτιμων μετάλλων στα ηλεκτρονικά απόβλητα, μειώνει σημαντικά την κατανάλωση χημικών ουσιών και την παραγωγή αποβλήτων, καθώς το οξειδωτικό διάλυμα και το διάλυμα εκχύλισης βασικών μετάλλων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία νέου υλικού [Diaz et al., 2016]. Μια πυρομεταλλουργική μέθοδος που επικεντρώνεται στην ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων κατά την ανακύκλωση αποβλήτων PCB, προτείνει την πρόλυση υψηλής θερμοκρασίας η οποία πραγματοποιείται επί δέκα λεπτά σε έναν κλίβανο οριζόντιου σωλήνα στην θερμοκρασιακή περιοχή 800-1350° C και όπου ρέει Αργόν με ρυθμό 1L/min [Cayumil et al, 2016]. Ο μηχανισμός της κλασματοποίησης υπερκρίσιμου ρευστού μέσω της κλασματώσεως του με σκοπό την ανάκτηση χρυσού, έχει επίσης αναφερθεί στην βιβλιογραφία [Ruan and Xu, 2016]. Η βιοϋδρομεταλλουργία, ως ένα μίγμα βιοτεχνολογίας και μεταλλουργίας, η οποία βασίζεται στην χρήση μικροβίων για τη μεταποίηση μετάλλων, είναι μια

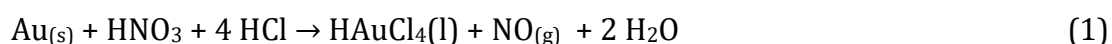
αποτελεσματική τεχνολογία για την παραγωγή μετάλλων από πρωτογενή μεταλλεύματα και μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε ένα στάδιο [Chen et al., 2015], είτε σε πολλαπλά στάδια [Isildar et al., 2016]. Παράλληλα, έχει προταθεί μια μέθοδος για ανάκτηση χρυσού από απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού χρησιμοποιώντας υπερθειικό αμμώνιο κατά την οποία ο χρυσός ανακτήθηκε ως λεπτή επικάλυψη χρησιμοποιώντας οξειδωση υποστρώματος χωρίς διαδικασίες τεμαχισμού ή άλεσης [Alzate et al., 2016]. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά, η υδρομεταλλουργική μέθοδος ανάκτησης χρυσού που εφαρμόστηκε στην παρούσα διατριβή.

2.8.1 Υδρομεταλλουργική ανάκτηση ιζημάτων πλούσιων σε χρυσό

Η γενική αρχή της ανάκτησης του χρυσού από πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων εμπλουτισμένων με χρυσό ήταν η διάλυση των μεταλλικών μερών του χρυσού με βασιλικό νερό (aqua regia) και καταβύθισή του με μεταδιθειώδες κάλιο (μεταμπισουλφίτ).

Αρχικά, όλα τα μεταλλικά μέρη διαλύονται άμεσα σε διάλυμα βασιλικού νερού. Προηγούμενα βήματα διάλυσης των μη πολύτιμων μετάλλων σε HNO₃ ή HCl αξιολογήθηκαν, κατά τη διαδικασία, ως μη ουσιώδη και έχουν παραληφθεί. Επιπλέον, ένα αρχικό στάδιο της διάλυσης μετάλλων σε HCl ή HNO₃ θα αυξήσει τις ποσότητες των υγρών αποβλήτων, ως εκ τούτου, αποφασίστηκε ότι η άμεση διάλυση σε βασιλικό νερό θα ήταν περισσότερο προτιμώμενη. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιελάμβανε τέσσερα γενικά βήματα:

1^ο βήμα. Διάλυση του χρυσού σε βασιλικό νερό για την παραγωγή τετραχλωροχρυσικού οξέος



Χρησιμοποιήθηκε διάλυμα βασιλικού νερού από HNO₃/HCl σε αναλογία 1/3 και τα αντιδραστήρια προήλθαν από βιομηχανικά διαλύματα HCl και HNO₃ περιεκτικότητας 33% και 55% κ.β., αντίστοιχα. Σε αυτό το στάδιο, είναι σημαντικό όλες οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται να έχουν καλό εξαερισμό και διαδικασίες εξουδετέρωσης, προκειμένου να εξουδετερωθεί η

περίσσεια του NO_x . Η προτεινόμενη μέθοδος που επελέγη σε αυτό το έργο ήταν εξουδετέρωση σε κορεσμένο διάλυμα NaOH .

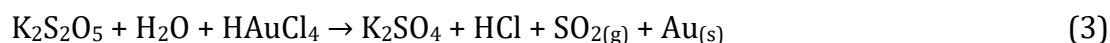
2ο βήμα. Εξουδετέρωση της περίσσειας HNO_3 με ουρία

Σ' αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε ο τερματισμός της αντίδρασης χώνευσης. Αυτό επιτεύχθηκε με την προσθήκη ουρίας στο διάλυμα και εξουδετέρωσης της περίσσειας HNO_3 υπό την μορφή στερεάς νιτρικής ουρίας.



3ο βήμα. Καθίζηση του χρυσού με μεταδιθειώδες κάλιο (μεταμπισουλφίτ)

Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, προστίθεται ένας παράγοντας καταβύθισης στο διάλυμα ιόντων χλωριδίου, προκειμένου να αντικαταστήσει τον χρυσό στο διάλυμα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκε ως παράγων καταβύθισης το μεταδιθειώδες κάλιο, το οποίο είναι μια άφθονη χημική ουσία που χρησιμοποιείται κυρίως στο κρασί και τα αλκοολούχα ποτά, για την εξόντωση μικροοργανισμών, κατά το τέλος της διαδικασίας της ζύμωσης του κρασιού και της μπύρας. Κατά την εξαγωγή χρυσού, το μεταδιθειώδες κάλιο, αφαιρεί, από τα άτομα χλωρίου, το χρυσό και δημιουργεί υδροχλωρικό οξύ, ενώ ο χρυσός στερεοποιείται και καθιζάνει.



Ωστόσο, σωματίδια χρυσού σε πολύ μικρές ποσότητες παραμένουν σε εναιώρηση εντός του διαλύματος. Για να καθιζάνει η περίσσεια χρυσού, επιλέχθηκε χλωριούχος κασσίτερος. Ο χλωριούχος κασσίτερος, που ενεργεί ως δείκτης της παρουσίας του χρυσού σε ένα διάλυμα, είτε είναι σε μορφή ιόντων είτε σε μορφή εναιωρήματος χλωριούχου κασσιτέρου. Όταν προστεθεί σε ένα διάλυμα χλωροχρυσικού οξέος, αποκτά ένα σκούρο χρώμα, ενδεικτικό της παρουσίας χρυσού που είναι διασπαρμένος μέσα στο διάλυμα. Γενικά, η λειτουργία του χλωριούχου κασσιτέρου είναι, ως επί το πλείστον, για τη δοκιμή της παρουσίας του χρυσού σε ένα διάλυμα αντί της καταβυθίσεώς του.

4^ο βήμα. Καθίζηση του κολλοειδούς χρυσού με χλωριούχο κασσίτερο



ή



Μετά την καταβύθιση, τα ιζήματα συλλέγονται, περιστασιακά, είτε με χαρτί φιλτραρίσματος, είτε με το χέρι, από τον πυθμένα του αντιδραστήρα καθίζησης.

2.8.2 Ανάπτυξη διαδικασίας εκχύλισης χρυσού

Η βιομηχανική διαδικασία, χρησιμοποιεί μια ικανοποιητική ποσότητα ΑΗΗΕ. Η διαδικασία αυτή, αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- Χειρονακτική αποσυναρμολόγηση
- Ανάκτηση και απομόνωση αναλώσιμων αποβλήτων πλούσιων σε χρυσό
- Υδρομεταλλουργική ανάκτηση πλούσιων σε χρυσό ιζημάτων
- Δύλιση – Καθαρισμός ιζήματος χρυσού

Η διαδικασία αρχίζει με την χειρονακτική αποσυναρμολόγηση υπολογιστών και την ταξινόμηση εξαρτημάτων σε έντεκα μεγάλες κατηγορίες. Αυτές είναι:

- **Χαλύβδινα μέρη.** Συνήθως είναι τα κελύφη, ο σκελετός και μερικά ελάσματα συνδέσεως ενδότερα της μηχανής.
- **Πλαστικά μέρη.** Συνήθως καλύμματα, αλλά και καλωδιώσεις και διακόπτες.
- **Τροφοδοτικά.** Αποτελούν μια κατηγορία από μόνα τους.
- **Αλουμίνια αποθέρμανσης ή ψήκτρες.** Εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται προκειμένου να διατηρηθεί μια χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας που εξασφαλίζει την καλύτερη απόδοση των υπολογιστών.
- **Σύμπυκνοι δίσκοι (CDs), ψηφιακοί βιντεοδίσκοι (DVD Rom) και δισκέτες.** Αποτελούν μια κατηγορία από μόνα τους.
- **Σκληροί δίσκοι.** Αποτελούν μια κατηγορία από μόνοι τους.

- **Περιφερειακές πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων.** Περιλαμβάνουν όλες τις τυπωμένες πλακέτες μιας συσκευής.
- **Καλώδια.** Αποτελούν μια κατηγορία από μόνα τους.
- **Μπαταρίες.** Αποτελούν μια κατηγορία από μόνες τους.

Κατά το αρχικό στάδιο της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, οι τεμαχισμένες πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, αλέθονται και τα μεταλλικά τμήματα διαχωρίζονται από τα μη μεταλλικά, μέσω μιας δονούμενης τράπεζας σε συνδυασμό με ένα μαγνητικό διαχωριστή, σε δύο κλάσματα, το κλάσμα σιδηρούχων και το κλάσμα των χαλκούχων. Το μεταλλικό προϊόν αυτού του σταδίου παραλείπεται από την περαιτέρω υδρομεταλλουργική επεξεργασία για την εξαγωγή χρυσού, δεδομένης της παντελούς απουσίας του, σύμφωνα με σειρές μετρήσεων XRF που έχουν πραγματοποιηθεί.

Στο δεύτερο βήμα της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, πραγματοποιείται επιλογή συγκεκριμένων τμημάτων των αποβλήτων που είναι εμπλουτισμένα σε χρυσό.

2.8.3 Συσκευή μεγάλης κλίμακας ανάκτησης χρυσού μέσω αναλώσιμων ηλεκτρονικών υπολογιστών

Η συσκευή αυτή αποτελείται από έναν κυλινδρικό αντιδραστήρα τιτανίου για την χώνευση των ιζημάτων που είναι πλούσια σε χρυσό (το τιτάνιο είναι αδιαπέραστο σε μίγματα βασιλικού νερού), ένα σύστημα καθαρισμού για την αφαίρεση και εξουδετέρωση των αερίων εκπομπών και έναν άλλο υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενικό πλαστικό κυλινδρικό αντιδραστήρα όπου συμβαίνει η καταβύθιση του χρυσού.

Το πρώτο μέρος της συσκευής (Σχήμα 2.40), ο αντιδραστήρας χώνευσης, αποτελείται από ένα δοχείο τιτανίου σε σχήμα κάδου που μπορεί να υποχωρεί για την μεταφορά των διαλυμάτων. Στην κορυφή του αντιδραστήρα τοποθετείται ένας απορροφητής αναθυμιάσεων, για την απομάκρυνση των αερίων προϊόντων της χώνευσης (κυρίως επικίνδυνων και καρκινογόνων NO_x). Τα αέρια απομακρύνονται και οδηγούνται, μέσω ενός συμπυκνωτή, ο οποίος στην πραγματικότητα είναι μια στήλη απόσταξης. Το υγρό προϊόν από την απόσταξη εντός της στήλης, οδηγείται πίσω στον αντιδραστήρα για να συμβάλει

περαιτέρω στην αντίδραση χώνευσης. Η περίσσεια αερίων οδηγείται, μέσω ενός συστήματος καθαρισμού, που αποτελείται από τρία έως τέσσερα κυλινδρικά δοχεία που μοιάζουν με φιάλες Dreschel. Η πλήρωση των δοχείων, με πυκνό διάλυμα NaOH 33,3gr/100ml, γίνεται μέχρι το 70% του συνολικού όγκου τους και εξουδετερώνει τις αναθυμιάσεις από τη διαδικασία της χώνευσης.

Ένα ψηφιακό pH-μετρο συνδέεται με έναν από τους κυλίνδρους Dreschel, μετρά διαρκώς το pH και όταν αυτό πέφτει κάτω από την οριακή τιμή 11,5 ένας αυτοματοποιημένος διακόπτης ξαναγεμίζει τις φιάλες Dreschel με φρέσκο διάλυμα κορεσμένου NaOH.

Τα αέρια οδηγούνται στο εσωτερικό των φιαλών Dreschel, μέσω ενός κενού, που δημιουργείται από τη χρήση μιας αντλίας νερού και ενός απορροφητήρα, που συνδέεται σε μια δεξαμενή νερού που ανακυκλώνει το νερό, σε ένα κλειστό σύστημα. Το ρεύμα του αέρα που δημιουργείται οδηγεί τα εκλύόμενα αέρια μακριά από τον αντιδραστήρα, μέσω του ξηραντήρα και των δοχείων καθαρισμού, με σκοπό την πλήρη εξουδετέρωση των NO_xs. Ως εκ τούτου, μπορούν να επιτευχθούν μηδενικές εκπομπές NO_xs.

Οι κύλινδροι, που περιέχουν 55% κ.β. HNO₃ και 33% κ.β. HCl, συνδέονται μέσω σωλήνων με τον αντιδραστήρα προκειμένου να τον εφοδιάσουν με αντιδραστήρια μέσω κλειστού κυκλώματος. Ο αντιδραστήρας μπορεί να περιστρέφεται ή και να συνδέεται με ηλεκτρικό μοτέρ. Μία πηγή θερμότητας, δηλαδή μία φλόγα ακετυλενίου ή μία ηλεκτρική αντίσταση, τοποθετείται σε επαφή με την εξωτερική επιφάνεια του αντιδραστήρα τιτανίου και μπορεί να βοηθήσει στην ολοκλήρωση της αντίδρασης, με παροχή περίσσειας θερμότητας.

Η αντίδραση ολοκληρώνεται όταν σταματήσουν να εκπέμπονται καφέ ατμοί (NO_x) από την αντίδραση. Αυτό διαπιστώνεται μέσω παρατήρησης από ένα γυάλινο πλαίσιο που έχει κατασκευαστεί στο καπάκι του αντιδραστήρα. Μετά την ολοκλήρωση της αντιδράσεως, η πηγή θερμότητας τίθεται εκτός και χρησιμοποιείται ουρία για την εξουδετέρωση της περίσσειας HNO₃. Έπειτα, το διάλυμα απομακρύνεται από τον αντιδραστήρα μέσω ενός φίλτρου προς στον αντιδραστήρα καθίζησης, που ουσιαστικά είναι ένα κυλινδρικό πλαστικό δοχείο με ερμητικό καπάκι σφράγισης. Η μεταφορά των υγρών, διαμέσου του φίλτρου και μέσα στον αντιδραστήρα καθίζησης, υποβοηθείται με τη χρήση κενού. Αφού

το διάλυμα μεταφερθεί μέσα στον αντιδραστήρα καταβύθισης, προστίθεται μεταδιθειώδες κάλιο, υπό τη μορφή κορεσμένου διαλύματος και ξεκινά η καθίζηση. Προκειμένου να απομακρυνθεί ο υπολειμματικός κolloειδείς χρυσός από το διάλυμα, προστίθεται επίσης διάλυμα χλωριούχου κασσιτέρου.

Οι αντιδραστήρες καθίζησης συνδέονται εν σειρά, ανά δύο ή πιθανώς τρεις ή και τέσσερις, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.41. Συνδέονται με τους σωλήνες κενού, ενώ βρίσκονται και οι ίδιοι υπό κενό, προκειμένου να είναι σε θέση να μεταφέρουν τα διαλύματα αφού έχουν καθιζάνει στον επόμενο αντιδραστήρα, και η διαδικασία της καθίζησης επαναλαμβάνεται μέχρις ότου δεν απομείνει χρυσός στο διάλυμα.

Τα συστήματα που περιγράφονται παραπάνω μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν με ασήμαντα υλικά, δηλαδή πλαστικά δοχεία, πλαστικούς σωλήνες, εξοπλισμό κηπουρικής και εύκαμπτους σωλήνες. Προφανώς, πολύ λίγα μηχανικά μέρη και συσκευές απαιτείται να προστεθούν, όπως αντλίες νερού και μετρητές pH. Το σύνολο της ως άνω περιγραφείσας εγκατάστασης είναι κατάλληλο για χαμηλού προϋπολογισμού μικρο-μεσαίες επιχειρήσεις που ειδικεύονται στον τομέα της ανακύκλωσης ΑΗΗΕ.

Υπάρχουν, ωστόσο, και συστήματα που είναι ήδη ενσωματωμένα και διατίθενται στο εμπόριο, όπως η 7kg Gold Refining System of EMAK Gold Refining Ltd, η οποία έχει αγοραστεί και εγκατασταθεί για την εκτέλεση των δοκιμών παραγωγής χρυσού. Η συσκευή μπορεί να επεξεργαστεί μια ποσότητα 7kg απορριμμάτων υπολογιστή με 3 λίτρα τυποποιημένου HNO_3 (55-60% κ.β.) και 9 λίτρα τυποποιημένου HCl (30-33% κ.β.). Μία ποσότητα 3-5 λίτρα νερού βρύσης προστίθεται επίσης στα θραύσματα πριν από την ένεση των αντιδρώντων οξέων, ενώ μία πηγή θερμότητας (φλόγα ακετυλενίου) χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της χώνευσης για να επιταχυνθεί η αντίδραση.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των προαναφερόμενων εγκαταστάσεων είναι ιδιαίτερα χαμηλού κόστους διότι χρησιμοποιούν πλαστικούς σωλήνες, πλαστικά δοχεία και εξαρτήματα και άλλες μη μεταλλικές βαλβίδες, που είναι εύκολα προσβάσιμα και είναι πολύ κοινά σε εμπορικές εφαρμογές. Τα δοχεία πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας,

τουλάχιστον 1cm πάχους, προτείνονται για την κατασκευή των αντιδραστήρων καθίζησης. Κατά γενικό κανόνα, η συνολική χωρητικότητα όγκου τους προτείνεται να είναι τουλάχιστον διπλάσια του όγκου των υγρών που πρέπει να διεκπεραιωθούν. Ως εκ τούτου, για τον χειρισμό ενός 15 έως 20 λίτρων διαλύματος, θα είναι επαρκές ένα δοχείο 40 λίτρων. Ο ίδιος κανόνας ισχύει και για τους αντιδραστήρες της χώνευσης τιτανίου. Μια κατάλληλη αντλία νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να ανακυκλώνει νερό σε 1 έως 2 κυβικά μέτρα νερού και να διατηρήσει τις συνθήκες κενού σε όλο το δίκτυο της εγκατάστασης. Το νερό της δεξαμενής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη των αερίων. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει χρήση των τεσσάρων μεγάλων κυλίνδρων κλίμακας, που μοιάζουν με μπουκάλια Dreschel και μπορούν επίσης να κατασκευαστούν από πλαστικούς σωλήνες ύδρευσης. Ο βέλτιστος όγκος τους προτείνεται να είναι περίπου τέσσερις φορές ο συνολικός όγκος των διαλυμάτων που υποβάλλονται σε διαχείριση εντός των εγκαταστάσεων.

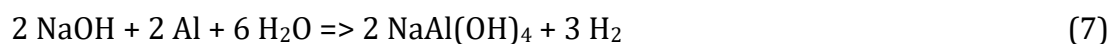
2.8.4 Καθαρισμός ιζημάτων χρυσού

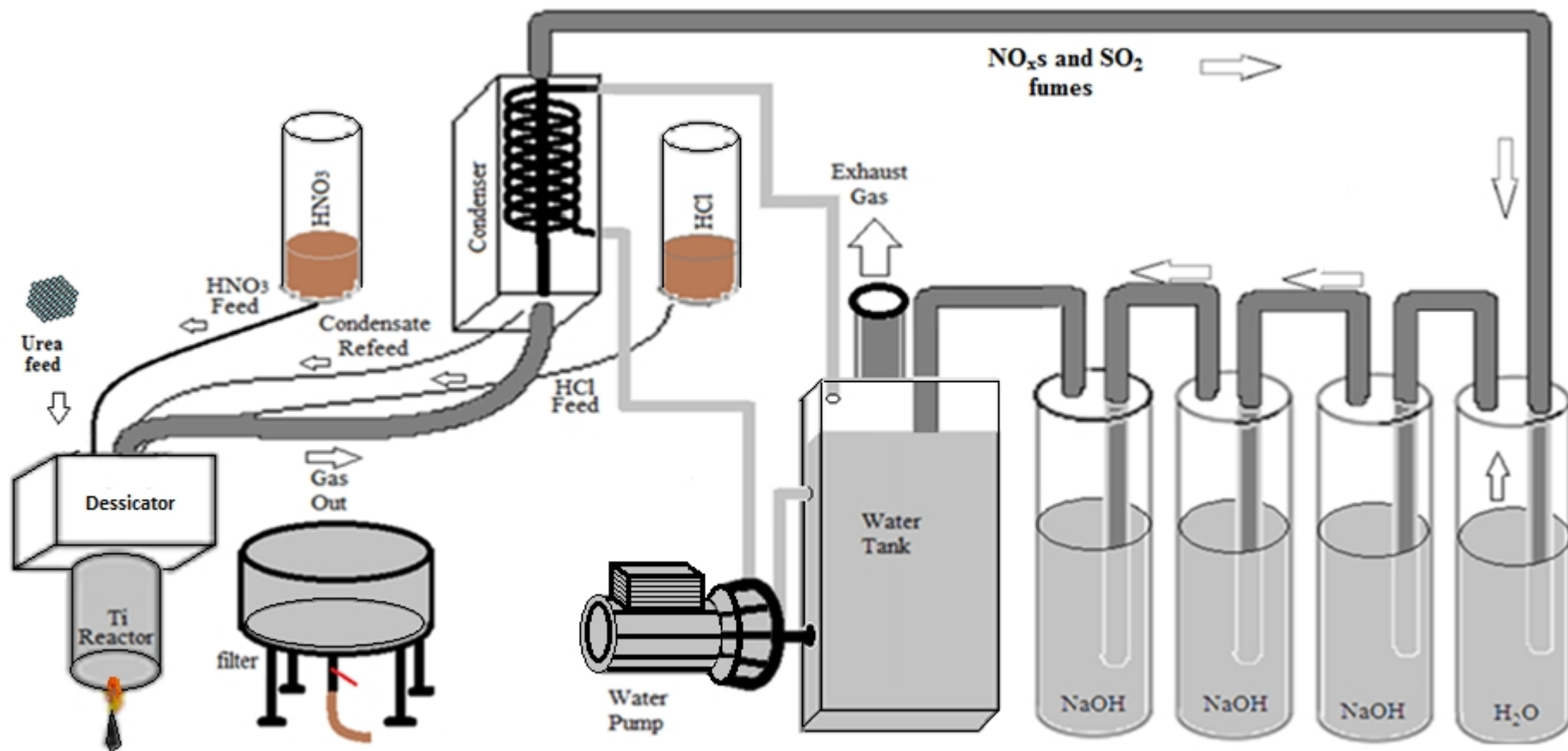
Οι προτεινόμενες εγκαταστάσεις, όπως έχουν περιγραφεί προηγουμένως, παράγουν ιζήματα πλούσια σε χρυσό. Ωστόσο, το ποσοστό του χρυσού που περιέχεται σε αυτά τα ιζήματα, σπάνια ξεπερνά το 20%. Επομένως, απαιτείται ένα επιπλέον στάδιο καθαρισμού, που να εκτελείται *in vitro*, προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη καθαρότητα του χρυσού. Έτσι, τα συλλεγόμενα ιζήματα οδηγούνται και πάλι σε χώνευση σε χημικό εργαστήριο, σε ένα διάλυμα βασιλικό νερό HNO_3/HCl με συγκεντρώσεις 55% και 33% κ.β., αντίστοιχα. Η χώνευση διαρκεί έως 1 ώρα, για τα πλούσια σε χρυσό ιζήματα, και η περίσσεια HNO_3 απομακρύνεται από το διάλυμα με ουρία. Στη συνέχεια, το διάλυμα, συνήθως κίτρινης έως πορτοκαλί απόχρωσης, ενδεικτικό της παρουσίας του χλωροχρυσικού οξέος, καταβυθίζεται με μεταδιθειώδες κάλιο, προκειμένου να απομακρυνθεί ο χρυσός. Ένα δεύτερο στάδιο καθίζησης, με χλωριούχο κασσίτερο, πραγματοποιείται επίσης με σκοπό την απομάκρυνση του κολλοειδούς χρυσού από την υδατική φάση του διαλύματος. Η όλη διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί, υπό κλίμακα στο χημείο, σ' έναν απαγωγό.

Οι χημικές συσκευές που χρησιμοποιούνται θα μπορούσαν να εξουδετερώσουν 100% τους ατμούς των οξειδίων του αζώτου. Αυτές

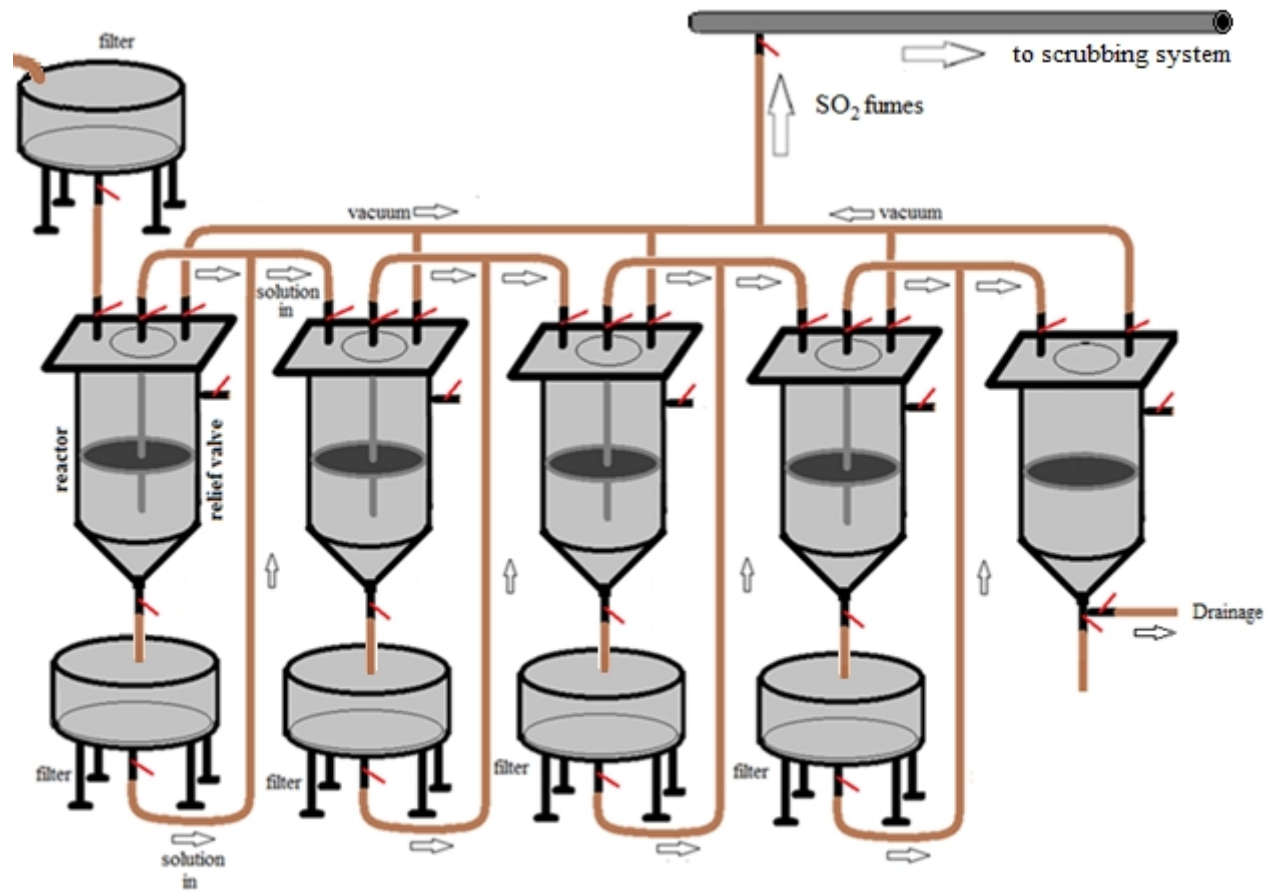
αποτελούνται από μία κωνική γυάλινη φιάλη χωρητικότητας 1lt, ερμητικά σφραγισμένη, που συνδέεται με ένα σύστημα αποστακτήρα που μπορεί να επιστρέψει τα υγροποιημένα αέρια πίσω στον αντιδραστήρα και να συνεισφέρει στη συνέχιση της αντίδρασης. Μια συσκευή εξουδετέρωσης των ατμών περιλαμβάνει τέσσερις φιάλες Dreschel, 0,5lt, συνδεδεμένες εν σειρά και οι οποίες επαρκούν για την εξουδετέρωση των αναθυμιάσεων NO_x από την χώνευση ιζημάτων βάρους περίπου 100 έως 200gr, με τη χρήση 200 έως 300ml πυκνού διαλύματος βασιλικού νερού (3 μέρη HCl 33% κ.β. και 1 μέρος HNO₃ 55-60% κ.β., αντίστοιχα). Για την καθίζηση και την συλλογή των χρυσοφόρων ιζημάτων, χρησιμοποιείται μια γυάλινη διαχωριστική χοάνη χωρητικότητας 1,5lt, ώστε να καταβυθιστεί ο χρυσός που περιέχεται στο χλωροχρυσικό διάλυμα με χρήση μεταδιθειώδους καλίου και χλωριούχου κασσίτερου.

Στα επόμενα βήματα και κατά τη διάρκεια αυτής της επεξεργασίας, παρεμβάλλεται ένα ακόμη στάδιο, που περιλαμβάνει την πλύση του ιζήματος με ένα διάλυμα βάσης, συνηθέστερα κορεσμένο διάλυμα NaOH. Το στάδιο αυτό προστίθεται προκειμένου να αφαιρεθούν ορισμένες κατηγορίες μετάλλων που καθιζάνουν μαζί με τον χρυσό και αντιδρούν με το NaOH, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αργιλίου και του σιδήρου.

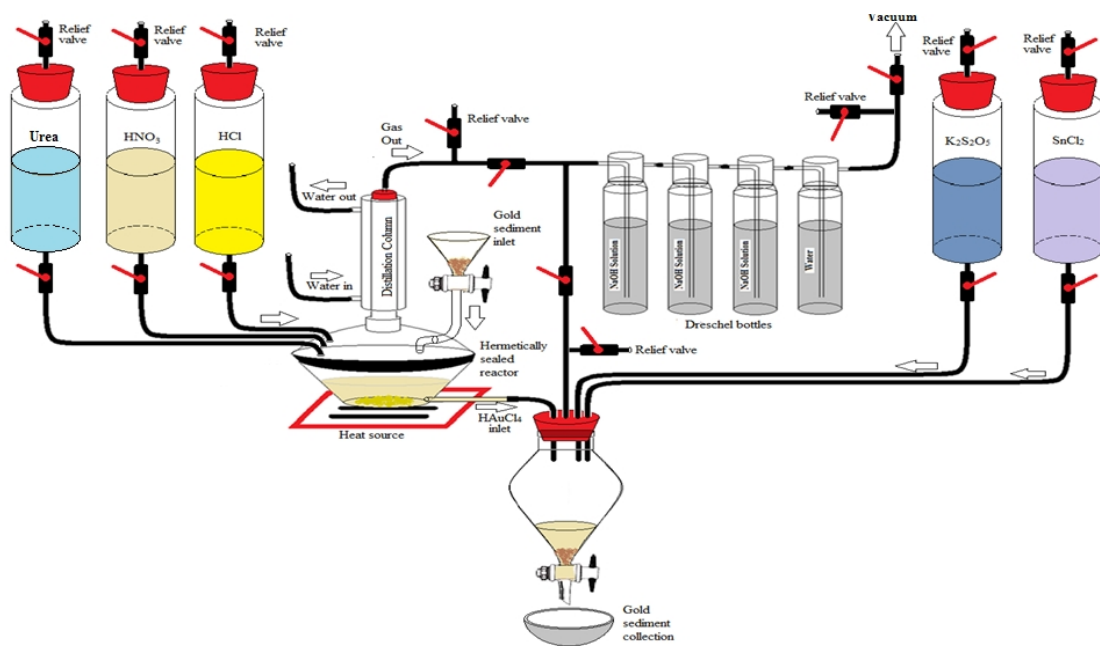




Σχήμα 2.40. Απεικόνιση των διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την χώνευση του χρυσού



Σχήμα 2.41. Απεικόνιση των διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την κατακρήμνιση και αποκομιδή του χρυσού



Σχήμα 2.42. Πειραματική διάταξη για τον καθαρισμό και εμπλουτισμό των ιζημάτων χρυσού

3^ο Κεφάλαιο

Συμβολή διατριβής

3.1 Εισαγωγή

Τα μέταλλα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ηλεκτρονική για τις μοναδικές φυσικές και χημικές τους ιδιότητες (Eggert, [2011]). Η ανάπτυξη της τεχνολογικής καινοτομίας καθιστά τον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό (ΗΗΕ) λειτουργικότερο και ευφυέστερο, χρησιμοποιώντας όλο και μεγαλύτερο αριθμό μετάλλων από τον περιοδικό πίνακα (Reck and Graedel, [2012]). Για παράδειγμα, τα τσιπ υπολογιστών κατασκευάζονταν με 12 στοιχεία, στη δεκαετία του '80, αλλά, σήμερα, χρησιμοποιούνται 60 διαφορετικά στοιχεία (Bloodworth, [2014]). Ως εκ τούτου, τα ΗΗΕ θεωρούνται εξαιρετικά ετερογενή υλικά, τα οποία περιλαμβάνουν πολύτιμα μέταλλα σε τυπωμένα κυκλώματα (PCB), λίθιο και κοβάλτιο σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ίνδιο σε οθόνες LCD κ.λπ.

Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται μια τεράστια άνοδος της κατανάλωσης προϊόντων υψηλής τεχνολογίας, η οποία οφείλεται στην ταχεία τεχνολογική πρόοδο (Izattetal., [2014]). Ο ΗΗΕ καθίσταται απαραίτητος, λόγω των επιπτώσεων της ευημερίας και της αύξησης του πληθυσμού. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για την επίλυση του προβλήματος των ηλεκτρονικών αποβλήτων, το συνολικό ποσό των ΗΗΕ που τέθηκε σε κυκλοφορία το 2012 ήταν, περίπου 56,5 εκατομμύρια τόνοι (StEP, [2015]). Η ζήτηση του ΗΗΕ στο μέλλον εξακολουθεί να αυξάνεται, καθώς εκατομμύρια άνθρωποι στις αναδυόμενες οικονομίες επιδιώκουν τον σύγχρονο τρόπο ζωής. Με βάση τις ακριβείς προδιαγραφές που απαιτούνται σε ορισμένες εφαρμογές του ΗΗΕ, πολλά τυπικά κρίσιμα μέταλλα (ίνδιο, στοιχεία σπανίων γαιών, πολύτιμα μέταλλα, λίθιο και κοβάλτιο) καταναλώνονται, ευρέως, στα ηλεκτρονικά. Περισσότερο από το 80% του ινδίου χρησιμοποιείται στις οθόνες LCD, τα τελευταία χρόνια και περίπου το 35% του λιθίου και το 40% του κοβαλτίου για την παραγωγή μπαταριών Li (USGS, [2015]).

Εκτός από την τεράστια ζήτηση κρίσιμων μετάλλων, η ανεπάρκειά τους στο φλοιό της Γης, καθώς και η ύπαρξη σε μερικές περιοχές οδηγούν σε σοβαρούς κινδύνους εξάντλησης και προσφοράς στο μέλλον. Για παράδειγμα, η πρωτογενής παραγωγή ινδίου ήταν μόνο 755 τόνοι παγκοσμίως. Η Κίνα παρέχει από το 1990 το 85-95% των σπανίων γαιών, παγκοσμίως, ενώ το 72% του συνολικού κοβαλτίου προέρχεται από το Κονγκό και το 56% του λιθίου από τη Χιλή (USGS, [2015]). Για να

αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της προσφοράς, η πιο λογική μέθοδος είναι να αυξηθεί η αποδοτικότητα των δευτερευόντων πόρων στην ανακύκλωση. Γενικά, όσον αφορά στην ανακύκλωση των κρίσιμων μετάλλων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο βασικοί τομείς: τα παραγόμενα αποκόμματα της παραγωγικής διαδικασίας (αποκαλούμενα νέα απορρίμματα) και τα προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανακύκλωση νέων απορριμμάτων είναι πολύ ευκολότερη, σε σύγκριση με τα ΑΗΗΕ. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του μετάλλου σε νέα απορρίμματα, η γνωστή και καθορισμένη πηγή δημιουργίας αποβλήτων και ο συνεχής σχηματισμός νέων απορριμμάτων (Buchertetal., [2009]). Επί του παρόντος, τα νέα απορρίμματα αποτελούν την κύρια πηγή ανακύκλωσης κρίσιμων μετάλλων. Για παράδειγμα, το ίνδιο ανακυκλώνεται κυρίως από στόχους αποβλήτων ΙΤΟ (οξειδία ινδίου-κασσιτέρου). Ωστόσο, όταν πρόκειται για την ανακύκλωση αποβλήτων ηλεκτρονικών ειδών, η κατάσταση δεν είναι τόσο αισιόδοξη, όπως τα νέα απορρίμματα.

Αναμφισβήτητα, τα ΑΗΗΕ είναι ο δυνητικός πόρος των κρίσιμων μετάλλων. Σύμφωνα με το Εθνικό Ινστιτούτο Επιστήμης Υλικών της Ιαπωνίας, υπάρχουν 6800 τόνοι χρυσού (16% των παγκόσμιων αποθεμάτων), 60.000 τόνοι αργύρου (22%) και 1700 τόνοι ινδίου (15,5%) στα ιαπωνικά αστικά ορυχεία (NIMS, [2015]). Το 2015, η συνολική ποσότητα παραγωγής ΑΗΗΕ ήταν, περίπου, 43,9 εκατομμύρια τόνοι (Baldéetal., [2015]). Η ανακύκλωσή τους έχει ενεργό αντίκτυπο στη μείωση των κινδύνων εφοδιασμού, με τη μείωση της πίεσης στην εξόρυξη παρθένων μεταλλευμάτων (Prakashetal., [2010]). Ωστόσο, η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ απαιτεί μια καλά οργανωμένη και αφοσιωμένη αλυσίδα επεξεργασίας, που περιλαμβάνει διάφορους ενδιαφερόμενους. Εκτιμάται ότι, εάν ο ρυθμός συλλογής των ΑΗΗΕ, ο ρυθμός διάλυσης, η αποτελεσματικότητα πριν από την επεξεργασία και τα ποσοστά ανάκτησης μετάλλων είναι 80%, 90%, 80% και 90% αντίστοιχα, ο ρυθμός ανακύκλωσης των μεταλλικών στοιχείων είναι μόνο 51,84%. Υποθέτοντας ότι τουλάχιστον το 50% των μεταλλικών στοιχείων που ανακυκλώνονται από τα ΑΗΗΕ μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο προσφοράς κρίσιμων μετάλλων, τότε είναι απαραίτητο να υπάρχει υψηλό ποσοστό ανακύκλωσης, για κάθε βήμα. Ωστόσο, το ποσοστό συλλογής απέχει πολύ από την ικανοποίηση. Το 2014, μόνο το 15% περίπου των παγκόσμιων ΑΗΗΕ αντιμετωπίστηκε επισήμως, παρά το γεγονός ότι πολλές χώρες και

περιοχές έχουν εκδώσει σχετικούς νόμους και νομοθεσίες, για την καθιέρωση συστήματος ωρίμανσης (Baldéetal., [2015]; Ongondoetal., [2011]). Στην ΕΕ, μόνο το 25-40% των ΑΗΗΕ επεξεργάζεται στο επίσημο σύστημα και τα υπόλοιπα απορρίπτονται σε αστικά απόβλητα ή εξάγονται σε αναπτυσσόμενες χώρες (Reck and Graedel, [2012]). Παρόλο που υπάρχουν προηγμένες τεχνολογίες σε ορισμένες αναπτυγμένες χώρες, ο χαμηλός ρυθμός συλλογής μειώνει την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης μετάλλων. Και στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα περισσότερα ΑΗΗΕ διακινούνται στο άτυπο σύστημα ανακύκλωσης (Sthiannorkao and Wong, [2013]) και αντιμετωπίζονται με ακατέργαστες μεθόδους, όπως ανοικτή καύση ή έκπλυση με οξύ, με αποτέλεσμα την απώλεια μετάλλων και σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (Rocchettieta., [2013], Sepúlvedaeta., [2010]). Εκτιμήθηκε ότι πάνω από το 80% του κοβαλτίου και σχεδόν όλων των REEs χάθηκαν, κατά την ανακύκλωση των μπαταριών (Sommereta., [2015]).

Εκτός από το πρόβλημα συλλογής, υπάρχει και τεχνολογικό και οικονομικό πρόβλημα στην ανακύκλωση των κρίσιμων μετάλλων από τα ΑΗΗΕ. Ο κύριος λόγος είναι ότι τα κρίσιμα μέταλλα βρίσκονται σε χαμηλή συγκέντρωση στα ΑΗΗΕ ή είναι απλώς, μια μικρή σύνθεση σ' ένα σύνθετο υλικό μήτρας. Μερικές φορές, οι τεχνολογίες δεν είναι το πρόβλημα, αλλά η οικονομική σκοπιμότητα. Για παράδειγμα, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανάκτηση ινδίου από λυχνίες LCD (Ferellaeta., [2016]; Silveiraeta., [2015]), αλλά μικρή ποσότητα ινδίου ανακυκλώνεται από τα αποβλήτα LCD στην βιομηχανία. Η ανακύκλωση λαμπτήρων φθοριόντων απορριμμάτων αντιμετωπίζει παρόμοια κατάσταση. Τα ΑΗΗΕ είναι ένα πολύπλοκο και ποικίλο υλικό και η ανάκτηση ορισμένων μετάλλων δεν είναι, συνήθως, οικονομικά βιώσιμη. Απαιτεί σύγχρονες λειτουργίες, οι οποίες μπορούν να ανακτήσουν, από κοινού, διάφορα μέταλλα (μόλυβδος, κασσίτερος, νικέλιο, χαλκό, αντιμόνιο, κοβάλτιο, πολύτιμα μέταλλα κ.λπ.). Για παράδειγμα, δεκαεπτά είδη στοιχείων ανακτώνται με υψηλές αποδόσεις, από τα ολοκληρωμένα εργοστάσια τήξης του Umicore.

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι ένα σημαντικό και διαρκώς επιδεινούμενο πρόβλημα. Τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) είναι ένα ραγδαία αυξανόμενο ρεύμα αποβλήτων το οποίο μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το περιβάλλον. Αυτό, κυρίως, οφείλεται στην πολύπλοκη χημική σύσταση των υλικών που εμπεριέχονται σε αυτά, τα οποία σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη ποσότητά τους, δημιουργούν μια δύσκολα

διαχειριζόμενη κατηγορία αποβλήτων. Για την ορθή διαχείριση τους έχουν υιοθετηθεί τεχνολογικές καινοτομίες και έχει θεσπιστεί ένα αυστηρό νομοθετικό πλαίσιο, πράγμα που συμβάλλει στη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας, τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων.

3.2 Συνεισφορά της διατριβής στην διαδικασία ανακύκλωσης ΑΗΗΕ

Με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογικής καινοτομίας, χρησιμοποιούνται μεγάλα ποσά μετάλλων στην ηλεκτρονική. Την τελευταία εικοσαετία, η παγκόσμια εξόρυξη ινδίου, REEs, λιθίου και κοβαλτίου αυξήθηκε από 149 σε 819 τόνους, 64,5 έως 133kt, 6,0 έως 36,0kt και 18,5 έως 112,0kt αντίστοιχα. Η παραγωγή και κατανάλωση μετάλλων και ιδιαιτέρως των πολύτιμων μετάλλων και σπάνιων γαιών θα συνεχίσει να αυξάνεται στο μέλλον. Ένας από τους πιο απαιτητικούς καταναλωτές θα είναι οι ηλεκτρονικές βιομηχανίες. Μέχρι το 2014, η παραγωγή LCD κατανάλωνε περισσότερο από το 80% του συνολικού ινδίου, ενώ, περίπου το ένα τρίτο των συνολικών σπάνιων γαιών χρησιμοποιούνται στον ΗΗΕ. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι, για το λίθιο και το κοβάλτιο, η κατανάλωσή τους σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες αυξήθηκε σε 35% και 41% στις παγκόσμιες αγορές, αντίστοιχα. Όσον αφορά στα πολύτιμα μέταλλα και δεδομένου ότι η συνολική ποσότητα ΗΗΕ αυξάνεται δραματικά, η κατανάλωση τους διατηρεί περίπου το 10% της παραγωγής. Οι υψηλότερες απαιτήσεις στο μέλλον θα επιβαρύνουν τον κίνδυνο προσφοράς αυτών των μετάλλων.

Τα ΑΗΗΕ αποτελούν σημαντική δευτερεύουσα πηγή ανάκτησης όλων των κρίσιμων μετάλλων. Η ανακύκλωσή τους μπορεί να ανακουφίσει τον κίνδυνο προσφοράς κρίσιμων μετάλλων, γεγονός που έχει αυξήσει την παγκόσμια συνείδηση. ΕΕ, Ηνωμένες Πολιτείες, Κίνα, Ιαπωνία και πολλές άλλες χώρες έχουν θεσπίσει συναφείς νόμους και κανονισμούς για την ενθάρρυνση της ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ, ενώ ορισμένες χώρες έχουν θέσει και ελάχιστα ποσοστά ανακύκλωσης των προϊόντων-στόχων. Γενικά, η παγκόσμια διαχείριση και ανακύκλωση των ΑΗΗΕ έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο.

Στην ουσία, η επαρκής ανακύκλωση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης πρωτογενών πρώτων υλών και η αποτελεσματική συλλογή αποτελεί προϋπόθεση, για την ανάκτηση μετάλλων. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ενιαία λύση για αποτελεσματική συλλογή δεδομένου ότι η κατάσταση διαφέρει από χώρα σε χώρα.

Μόνο περίπου 6,5 εκατομμύρια ΑΗΗΕ αντιμετωπίστηκαν στο επίσημο σύστημα, το 2014. Η τάση, για καταλληλότερη διαχείριση των ΑΗΗΕ, συνεχώς εντείνεται και ολοένα και αυξάνεται ο αριθμός των διαφορετικών ενδιαφερομένων, που επιθυμούν να συμμετάσχουν σε αυτή, όπως κυβερνήσεις, κατασκευαστές, ερευνητική κοινότητα και το κοινό. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για να εξασφαλιστεί η εφαρμογή των πολιτικών και να υλοποιηθούν οι επίσημοι στόχοι. Σε παγκόσμιο επίπεδο, γίνονται προσπάθειες να απαγορευθεί η παράνομη διασυνοριακή διακίνηση ΑΗΗΕ από τις ανεπτυγμένες χώρες στις αναπτυσσόμενες χώρες, αποτρέποντας την απώλεια μετάλλων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος, που προκαλείται από ακατάλληλες μεθόδους ανακύκλωσης. Για να μεγιστοποιηθεί η συνολική ανάκτηση των μετάλλων, απαιτούνται επίσης αποτελεσματικές τεχνολογίες αποσυναρμολόγησης, προεπεξεργασίας και ανάκτησης.

Μερικές φορές, η ανακύκλωση των ΑΗΗΕ δεν αποτελεί μόνο τεχνολογικό πρόβλημα, αλλά και οικονομικό πρόβλημα. Γενικά, δεν είναι οικονομικά ωφέλιμο για τη βιομηχανία να ανακτά ορισμένες σπάνιες γαίες από τα ΑΗΗΕ, καθώς οι συγκεντρώσεις τους είναι σχετικά χαμηλές. Από την άλλη πλευρά, τα ΑΗΗΕ περιέχουν μεγάλες ποσότητες πολύτιμων μετάλλων. Επομένως, απαιτούνται προηγμένες εγκαταστάσεις και λειτουργίες, που μπορούν να ανακτήσουν πολλά είδη μετάλλων. Ωστόσο, οι ολοκληρωμένες μονάδες τήξης απουσιάζουν, στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Επομένως, για την ανακύκλωση των μετάλλων από τα ΑΗΗΕ, πρέπει να ενθαρρυνθεί τόσο η εισαγωγή σχετικών τεχνολογιών, όσο και η επένδυση σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις.

Η παρούσα διατριβή αφορά την ανακύκλωση των ΑΗΗΕ και πιο συγκεκριμένα των οθονών CRT, των φωτοβολταϊκών πάνελ, αλλά και την παραγωγή πολύτιμων μετάλλων από τη διαδικασία της ανακύκλωσης.

Τις προηγούμενες δεκαετίες οι οθόνες CRT τοποθετούνταν ευρέως σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τηλεοράσεις. Όμως, τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας, έχουν αρχίσει να αντικαθίστανται από τις πιο σύγχρονες οθόνες LCD. Αυτό σημαίνει ότι πολλές οθόνες CRT φτάνουν στο τέλος του κύκλου ζωής τους και καθίστανται, παγκοσμίως, ένα σταδιακά αυξανόμενο ρεύμα αποβλήτων. Οι οθόνες CRT περιέχουν μολυβδύαλο, ο οποίος ανήκει στα επικίνδυνα

απόβλητα. Ο μόλυβδος είναι ένα είδος μετάλλου, το οποίο είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. Επομένως, η απόθεση και διαχείριση της μολυβδύαλου έχει καταστεί ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα, στη διαχείριση των ΑΗΗΕ. Εξαιτίας της σταθερότητας του μολύβδου που περιβάλλει τον κρύσταλλο κάθε οθόνης, ο διαχωρισμός του είναι πολύ δύσκολος και δεν υπάρχουν αποτελεσματικοί τρόποι για την απομάκρυνσή του απ' αυτόν. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, καθίσταται απαραίτητη η γνώση τόσο της χημικής σύστασης, όσο και της κ.β. περιεκτικότητας των στοιχείων που εμπεριέχονται στις οθόνες CRT. Αρχικά, γίνεται μελέτη της ανακύκλωσης των οθονών CRT. Χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα αυτών, τα οποία ελήφθησαν από τις εγκαταστάσεις της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αυτή που περιγράφεται στην Παράγραφο 2.4.2 (Δημόπουλος, [2004]), (<http://www.eoan.gr/el/content/13>). Αφού γίνει αποσυναρμολόγηση και χειροδιαλογή, τα επιμέρους εξαρτήματα οδηγούνται σε τεμαχιστές, ώστε να τεμαχιστούν (<http://www.econews.gr/2004/10/21/electrical-electronic-waste-management-tech/>). Τα γυαλιά υφίστανται δευτερογενή επεξεργασία σε κυλινδρικό μύλο (άλεση), ώστε να αποστρογγυλευθούν και να είναι ασφαλή στο χειρισμό και στην επεξεργασία (Σχήμα 2.12.).

Ο κύκλος ζωής των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων έχει ευρέως διερευνηθεί στην βιβλιογραφία. Όμως, το τέλος του κύκλου ζωής έχει, γενικώς, εξαιρεθεί από όλες τις αναλύσεις, εξαιτίας της περιορισμένης ποσότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων που καταλήγουν στην απόθεση και της έλλειψης δεδομένων, σχετικά με το τέλος του κύκλου ζωής τους. Τις επόμενες δεκαετίες, αναμένεται ότι η απόθεση φωτοβολταϊκών πλαισίων θα καταστεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα. Η διατριβή παρέχει ξεκάθαρα και αδιαμφισβήτητα στοιχεία, για το τέλος του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα οποία μπορούν μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε ερευνητή ασχοληθεί με τη διαχείριση φωτοβολταϊκών τεχνολογιών. Αποδεικνύεται ότι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια περιέχουν σημαντικές ποσότητες ενώσεων πυριτίου, αργύρου, χαλκού και αλουμινίου. Στο πλαίσιο της μελέτης περί της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών αναζητήθηκαν δείγματα φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για τη συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων φωτοβολταϊκών στοιχείων, επελέγησαν δύο ελληνικές εταιρείες οι οποίες δραστηριοποιούνται στον τομέα της παραγωγής φωτοβολταϊκών πλαισίων, η εταιρεία HelioSphera και η εταιρεία

Exel Group. Η όλη διαδικασία επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα της μελέτης του Krueger (Krueger, [1999]), σύμφωνα με την οποία, τα περισσότερα τμήματα των φωτοβολταϊκών μονάδων υπάγονται στα ανακυκλώσιμα υλικά και τα ποσοστά ανακύκλωσης των ημιαγωγών, των υάλων και των σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων μπορούν να προσεγγίσουν μέχρι και το 95%.

Ως προς την ανάκτηση χρυσού, αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε μια βελτιστοποιημένη διαδικασία για την ανάκτηση χρυσού από απόβλητα υπολογιστών.

Η συμβολή της διατριβής αυτής συνοψίζεται στα ακόλουθα σημεία:

- Παρουσιάζεται, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, μια ανάλυση στερεών φάσεων και χημική ανάλυση των μερών και εξαρτημάτων των απορριφθεισών οθονών CRT, υιοθετώντας διαδικασίες ανακύκλωσης όπως αυτές περιγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία και χρησιμοποιώντας τις εγκαταστάσεις μιας εταιρείας, που ειδικεύεται στον χώρο αυτό. Πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα αποβλήτων οθονών CRT εξετάστηκαν ως προς α) τις στερεές φάσεις τους, με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) και περίθλαση ακτίνων X (XRD) και β) τον χημισμό τους με φθορισμό ακτίνων X (XRF) και μερικό προσδιορισμό ιχνοστοιχείων (με τη μέθοδο ICP-MS). Τα δείγματα των οθονών CRT παρουσιάζουν σημαντικές συγκεντρώσεις Ba, Sr και Pb, όπως επίσης σημαντικές είναι και οι συγκεντρώσεις Zr και Ce. Ενδιαφέρον, επίσης, φαίνεται να έχουν και οι συγκεντρώσεις Au.
- Ο καθορισμός της συγκέντρωσης του κάθε στοιχείου που περιέχεται στα απόβλητα των οθονών CRT είναι πολύ σημαντικός για την αλυσίδα της ανακύκλωσης. Μπορούν να καθοριστούν ποιες είναι οι επιβλαβείς ουσίες για τον ανθρώπινο οργανισμό και για το περιβάλλον και να υιοθετηθούν αποτελεσματικότερες και ασφαλέστερες μέθοδοι διαχείρισής τους. Επίσης, οι πληροφορίες που αντλούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές οθονών για την βελτίωση του οικολογικού σχεδιασμού των προϊόντων τους και κατά συνέπεια του περιβαλλοντικού αποτυπώματός τους.
- Γίνεται μία συστηματική ανάλυση δειγμάτων φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία προέρχονται από δύο εταιρείες οι οποίες εμφανίζουν μεγάλη διεύθυνση στην συγκεκριμένη εγχώρια αγορά. Η ανάλυση των δειγμάτων αυτών αφορούσε

τόσο τις στερεές φάσεις τους (SEM / XRD) όσο και τον χημισμό τους (XRF), αλλά και τον μερικό προσδιορισμό ιχνοστοιχείων που εμπεριέχονται σε αυτά (ICP-MS). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατέδειξαν ότι τα δείγματα της πρώτης εταιρείας (HelioSphera) συνεισφέρουν μόνον στην ανακύκλωση γυαλιού, ενώ τα δείγματα της δεύτερης εταιρείας (Exel Group) βασίζουν την σύστασή τους, κυρίως, στο Si, αλλά δεν είναι αμελητέες και οι συγκεντρώσεις στοιχείων όπως το Bi και ο Ag. Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν ότι ο σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί και πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπεται η όσο το δυνατό μεγαλύτερη ανάκτηση υλικών, τα οποία δεν συναντώνται στην φύση σε μεγάλο βαθμό καθαρότητας και η εξόρυξη τους είναι δαπανηρή και υγειονομικά-περιβαλλοντικά επιβλαβής.

- Αναπτύχθηκε και προτάθηκε μια καινοτόμος διαδικασία ανάκτησης χρυσού από απόβλητα τα οποία προέρχονταν από επιτραπέζιους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η όλη διαδικασία βασίζεται στην χώνευση του υλικού στο εσωτερικό αντιδραστήρων. Οι μετρήσεις XRF που πραγματοποιήθηκαν εντόπισαν σημαντικές ποσότητες χρυσού προς ανάκτηση στις επαφές των τυπωμένων κυκλωμάτων και στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας των υπολογιστών. Η διαδικασία δοκιμαστικής παραγωγής ήταν προσοδοφόρα, αφού απέφερε συνολικά 6.785,04€, ενώ, δυνητικά, θα μπορούσε να αποφέρει 8.180,61€, εάν πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα και πωλήσεις του υλικού. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με το μικρό κόστος εγκατάστασης της μονάδας ανάκτησης χρυσού, η οποία περιλαμβάνει, κατά κύριο λόγο, πλαστικούς σωλήνες και υδραυλικά εξαρτήματα, τη σύντομη διάρκεια της ανάκτησης (8 ημερολογιακές ημέρες) και τη συμμετοχή ενός μόνο εργαζομένου για την υλοποίηση της, καθιστούν την όλη διαδικασία κατάλληλη για εφαρμογή σε οποιαδήποτε μικρομεσαία επιχείρηση, με σχετικά σημαντικό κέρδος και μικρό κόστος εγκατάστασης και παραγωγής. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η ποιότητα του παραγόμενου χρυσού είναι υψηλή και συγκεκριμένα 22 καρατίων. Αυτό σημαίνει ότι, με την προτεινόμενη διαδικασία, είναι εφικτή η ανάκτηση ενός πολύτιμου μετάλλου όπως ο χρυσός, μέσω της ανακυκλωτικής διαδικασίας των ΑΗΗΕ, με υψηλή καθαρότητα και ποιότητα και χωρίς την ανάγκη της δαπανηρής και επιβλαβούς εξόρυξης του φυσικού στοιχείου. Η εφαρμογή μιας

τέτοιας διαδικασίας, σε γενικευμένη κλίμακα, θα μπορούσε να επιφέρει, μελλοντικά, γεωοικονομικές, γεωστρατηγικές και γεωπολιτικές διαφοροποιήσεις στον παγκόσμιο χάρτη, αφού, λόγω των γεωλογικών αποθεμάτων και των γεωπολιτικών περιορισμών, ορισμένα κρίσιμα μέταλλα αντιμετωπίζουν σοβαρούς κινδύνους εφοδιασμού. Οι ανασφαλείς προμήθειες ορισμένων κρίσιμων μετάλλων θα μπορούσαν να εμποδίσουν την ανάπτυξη και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Συνεπώς, η επίτευξη του βιώσιμου εφοδιασμού των ΑΗΗΕ με κρίσιμα μέταλλα έχει μεγάλη σημασία.

4^ο Κεφάλαιο

Μελέτη διαδικασίας ανακύκλωσης οθονών CRT στην Ελλάδα

4.1 Περιγραφή δειγμάτων οθονών CRT

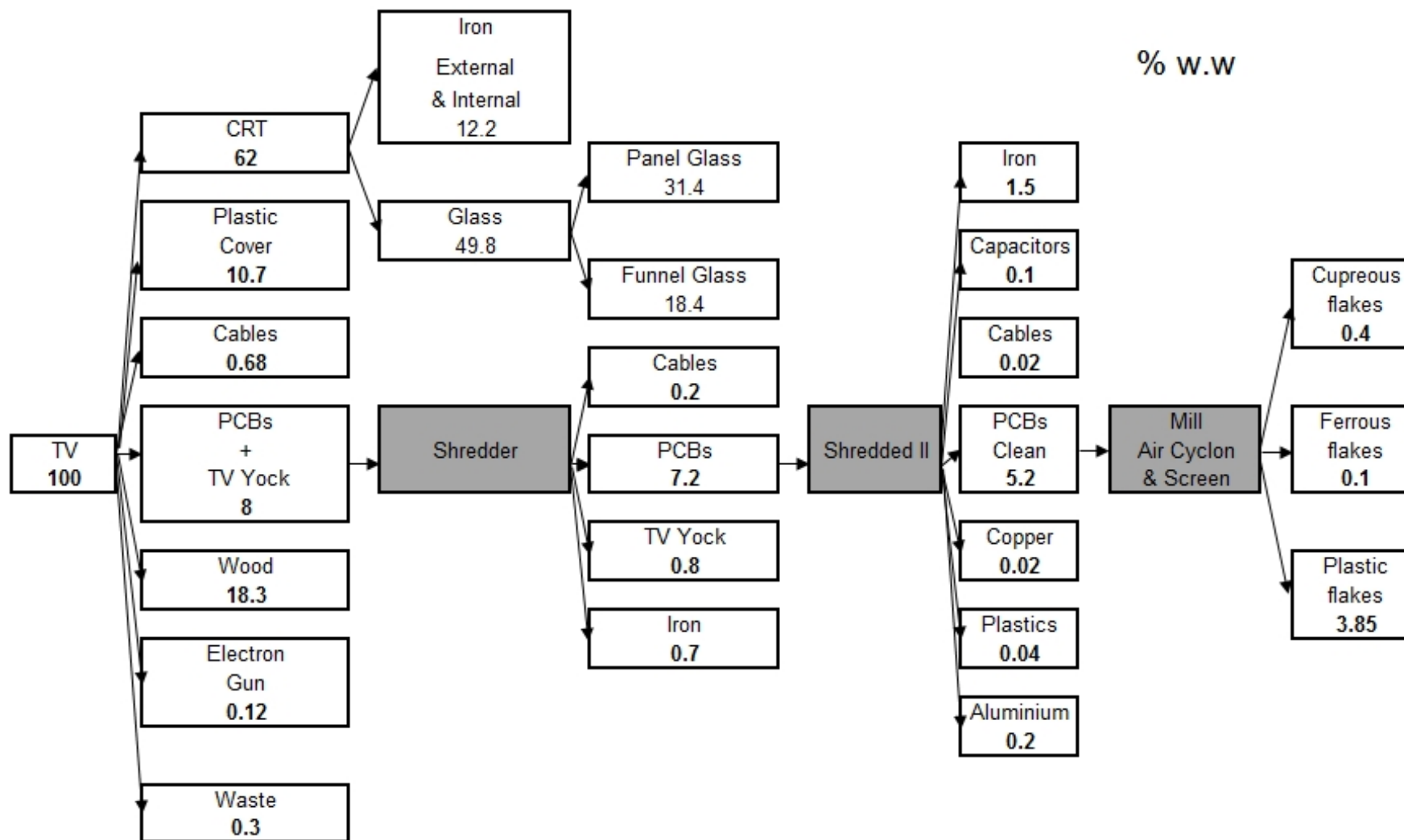
Στο πλαίσιο της επιστημονικής μελέτης, περί της ανακύκλωσης των οθονών CRT, χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα αυτών, τα οποία ελήφθησαν από τις εγκαταστάσεις της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.. Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης οθονών CRT, όπως περιεγράφη στην παράγραφο 2.6.8.2, έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της εταιρείας, όπου και πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες των υλικών.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.1., απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά του κύκλου επεξεργασίας των οθονών CRT, μαζί με τα ποσοστά που καταλαμβάνει το κάθε υλικό, όπως έχουν μετρηθεί από την διαδικασία που εφαρμόζεται στην εταιρεία. Οι μετρήσεις απεικονίζονται σε, κατά βάρος, ποσοστιαία συμμετοχή.

Τα δείγματα, τα οποία επελέγησαν, αντιστοιχούν στο μπροστινό, ενδιάμεσο και πίσω μέρος μίας οθόνης CRT. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 3ων δειγμάτων, το καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε αντιπροσωπευτικά κομμάτια των οθονών CRT. Στην εταιρεία ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε., συλλέγονται οι οθόνες CRT και ακολούθως, γίνεται η αποσυναρμολόγηση τους με μη καταστροφικές μεθόδους, με τεμαχιστές, κοκκοποιητές και βιομηχανικούς μύλους άλεσης, ο τεμαχισμός και η διαλογή-διαχωρισμός με διάφορες μεθόδους, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.2. και 4.3.

Από την δειγματοληψία οθονών CRT προέκυψαν τα παρακάτω δείγματα:

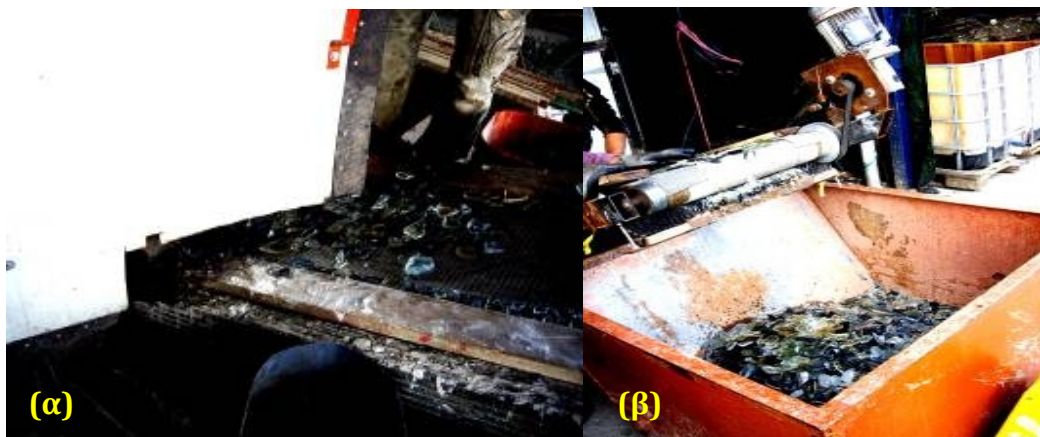
- **Δείγμα CRT-1.** Αντιστοιχεί σε γυαλιά από το μπροστινό μέρος της οθόνης CRT τα οποία έχουν σκούρο μπλε χρώμα, καθώς περιέχουν μεγάλες ποσότητες οξειδίου του βαρίου.
- **Δείγμα CRT-2.** Αντιστοιχεί σε γυαλιά από το πίσω μέρος της οθόνης CRT, την χοάνη, είναι διάφανα και περιέχουν μεγάλες ποσότητες οξειδίου του μολύβδου.
- **Δείγμα CRT-3.** Αντιστοιχεί σε γυαλιά από το ενδιάμεσο μέρος της οθόνης CRT με χρώμα μπλε προς διάφανο.



Σχήμα 4.1. Ισοζύγιο μάζας από την αποσυναρμολόγηση των οθονών CRT όπου απεικονίζεται η διαδικασία αποσυναρμολόγησης και θραύσης των επιμέρους κομματιών

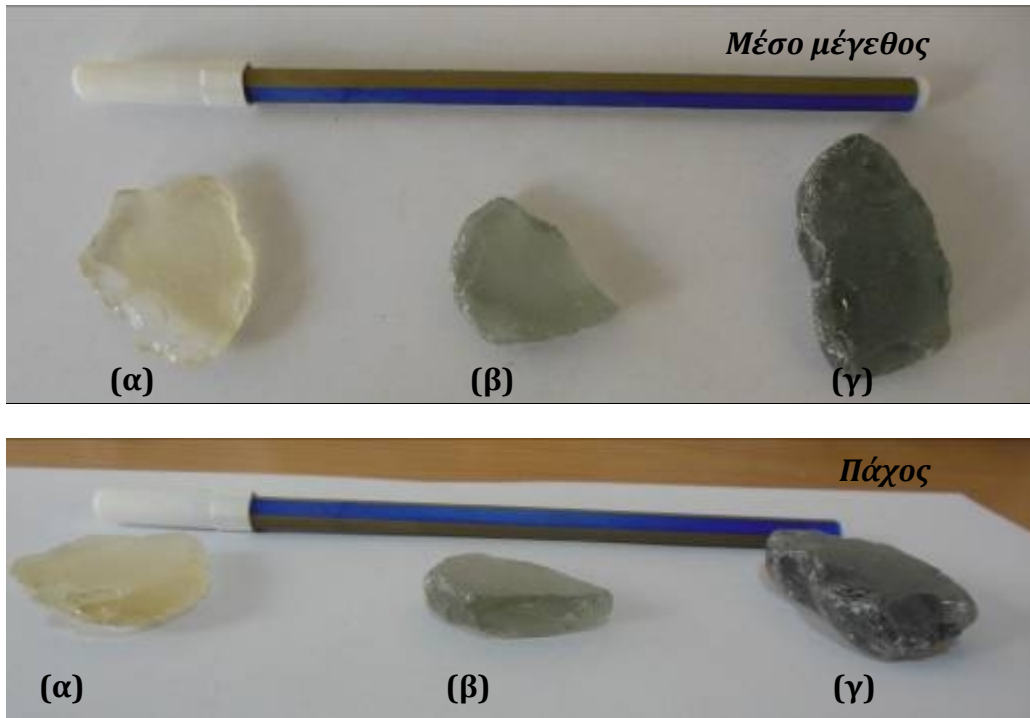


Σχήμα 4.2. (α) Καθοδικοί σωλήνες από οθόνες CRT, αποσυναρμολογημένοι και τοποθετημένοι σε παλλετοδεξαμενές, (β) Χειρωνακτική αφαίρεση καλωδίων από ολοκληρωμένα κυκλώματα τηλεοράσεων CRT



Σχήμα 4.3. (α) Τα γυαλιά υφίστανται δευτερογενή επεξεργασία σε κυλινδρικό μύλο (άλεση) ώστε να αποστρογγυλευθούν και να είναι ασφαλή στον χειρισμό και στην επεξεργασία, (β) Γυαλιά, τα οποία αφού αποστρογγυλευθούν στον μύλο και υποστούν έκπλυση και δευτερογενή καθαρισμό, συλλέγονται σε κατάλληλους κάδους

Στο Σχήμα 4.4., απεικονίζονται δείγματα και των τριών κατηγοριών ως προς το μέσο μέγεθος και το πάχος τους.



Σχήμα 4.4. (α) Δείγμα CRT-2, (β) Δείγμα CRT-3 και (γ) Δείγμα CRT-1, ύστερα από την διαδικασία αποσυναρμολόγησης, τεμαχισμού και διαλογής-διαχωρισμού

Στο Σχήμα 4.5., απεικονίζονται κομμάτια γυαλιού, όπου είναι εμφανής η μετάβαση από το μπροστινό προς το πίσω μέρος (χοάνη) της οθόνης CRT.



Σχήμα 4.5. Τεμάχια γυαλιού οθόνης CRT με εμφανή μετάβαση από το μπροστινό προς το πίσω μέρος (χοάνη)

4.2 Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης οθονών CRT

Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρείας "ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ – ΧΥΤΗΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε."

Η εταιρεία διαθέτει τις ακόλουθες **Διεθνείς Πιστοποιήσεις**:

- Πιστοποίηση Συστήματος Ποιότητας **ΕΛΟΤ EN ISO 9001:2008**
- Πιστοποίηση Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης: **ΕΛΟΤ EN ISO 14001:2004**
- Πιστοποίηση Συστήματος Ασφάλειας & Υγιεινής: **ΕΛΟΤ ISO 18001:2007**

Η εταιρεία διαθέτει, επίσης, **Άδειες Συλλογής – Μεταφοράς** στις περιφέρειες:

- **Περιφέρεια Β. Αιγαίου**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 48622/1359/ΑΦ 6.1.16.1/2013
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς επικινδύνων αποβλήτων λιπαντικών ελαίων (Α.Λ.Ε.) Α.Π. 20144/1710/Α 6.1.16.3/2012
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Ν. Αιγαίου**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 46914/10256/2013
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Αττικής**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. Φ 1264/1035/ΠΕΡΙΒ-ΣΑ/2013
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Δυτ. Ελλάδος**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 313/16257/2014
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Πελοποννήσου**

- Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 904/2012
- Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Ανατ. Μακεδονίας – Θράκης**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 346/2015
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 1021/2013
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Θεσσαλίας**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 246/3679/2011
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς μη επικινδύνων, Α.Π. 577/22563/2014
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Κρήτης**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Ιονίων Νήσων**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Ηπείρου**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015
- **Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας**
 - Άδεια συλλογής – μεταφοράς Η.Σ. & Συσσωρευτών, ΑΠ 47758/1239/2015

Τέλος, η εταιρεία διαθέτει **Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων** (Α.Ε.Π.Ο) με ενσωματωμένη την άδεια διαχείρισης για τις παρακάτω δραστηριότητες:

1. Εγκατάσταση απορρύπανσης & Διάλυσης οχημάτων τέλους κύκλου ζωής (ΟΤΚΖ) (ΠΔ 116, ΦΕΚ 81Α/5.3.04) χωρίς τεμαχισμό

2. Εγκατάσταση αποθήκευσης και επεξεργασίας παλαιών μετάλλων
3. Εγκατάσταση αποθήκευσης και επεξεργασίας χρησιμοποιούμενων ηλεκτρικών στηλών & συσσωρευτών
4. Εγκατάσταση αποθήκευσης κι επεξεργασίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών (ΑΗΗΕ) που βρίσκονται στο τέλος κύκλου ζωής τους, με παράλληλη αξιοποίηση των προϊόντων τους (ΠΔ 117, ΦΕΚ 82Α/5.3.04).
5. Προσωρινή αποθήκευση ελαστικών από σημεία συλλογής (ΠΔ 109, ΦΕΚ 75Α/5.3.04).
6. Αποθήκευση διαλογή και δεματοποίηση ανακυκλώσιμων μη επικίνδυνων υλικών, με παραγόμενα υλικά αλουμίνιο , χαλκό, σκραπ σιδήρου κλπ.
7. Συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασιών (Νόμος 2939/2001, ΦΕΚ179Α)

Στα πλαίσια της περιβαλλοντικής πολιτικής της, η εταιρεία έχει υποβάλει Περιβαλλοντική Δήλωση, συμφώνως προς τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 761/2001 για την Εφαρμογή Συστήματος Οικολογικής Διαχείρισης και Ελέγχου (EMAS).

4.2.1 Ποσοτικοποίηση και δειγματοληψία CRT

Κατά την παραγωγική διαδικασία της εταιρείας, προέκυψαν τέσσερα ιζήματα:

- **Δείγμα PH-1.** Είναι φωσφορούχο επίχρισμα, προερχόμενο από την αφαίρεση, με χειρωνακτικό τρόπο, του επιχρίσματος στη εσωτερική πλευρά μιας οθόνης CRT.
- **Δείγμα TNK-2.** Είναι ίζημα που έχει απορριφθεί σε μια δεξαμενή και αποτελείται, σε μεγάλο βαθμό, από υαλόθραυσμα και υαλόσκονη.
- **Δείγμα DR-3.** Είναι ίζημα, που έχει κατακαθίσει στο χαντάκι απορροής του μηχανήματος κοπής και καθαρισμού των οθονών CRT, δηλαδή στο αυλάκι που είναι κατασκευασμένο για να παρασέρνει τις σκόνες σε μορφή αιωρήματος, από το μηχάνημα προς τη δεξαμενή.
- **Δείγμα RT-4.** Προέρχεται από το εσωτερικό του μηχανήματος καθαρισμού των οθονών CRT. Πρόκειται για ίζημα, που πέφτει κατά τον αυτόματο καθαρισμό της οθόνης CRT, με περιστροφική βούρτσα και νερό, στο ειδικό μηχάνημα αφαίρεσης και καθαρισμού των οθονών CRT της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ- ΧΥΤΗΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε..

Το Σχήμα 4.6. απεικονίζει την απορροή νερού και το δοχείο συλλογής, στις εγκαταστάσεις της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ – ΧΥΤΗΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε..



Σχήμα 4.6. (α) Απορροή νερού με αιωρήματα από επιχρίσματα και υαλοτρίμματα που οδεύουν προς το δοχείο συλλογής, (β) δοχείο συλλογής του νερού και των επιχρισμάτων

Ο Πίνακας 4.1. δίνει μια συνοπτική περιγραφή των προαναφερθέντων δειγμάτων.

Πίνακας 4.1. Ιζήματα που προκύπτουν από την διαδικασία επεξεργασίας των οθονών CRT της εταιρείας

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
PH-1	Ίζημα από την αφαίρεση φωσφορούχου επιχρίσματος
TNK-2	Ίζημα δεξαμενής
DR-3	Ίζημα το οποίο έχει καθιζάνει στο χαντάκι απορροής
RT-4	Ίζημα από το ειδικό μηχάνημα αφαίρεσης-καθαρισμού οθονών CRT

Ο συγκεντρωτικός Πίνακας 4.2. περιλαμβάνει τα συνολικά 41 δείγματα που ελήφθησαν, για τις ανάγκες της παρούσας επιστημονικής έρευνας.

Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός πίνακας δειγμάτων

A/A	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΕΙΔΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CRT-1	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΟΘΟΝΗ CRT	Γυαλί μπροστινού μέρους οθόνης
CRT-2	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΟΘΟΝΗ CRT	Γυαλί πίσω μέρους οθόνης CRT (χοάνη)-Διάφανο χρώμα
CRT-3	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΟΘΟΝΗ CRT	Χρωματισμένο γυαλί ενδιάμεσου μέρους οθόνης
PH-1	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΙΖΗΜΑ	Ίζημα από την αφαίρεση φωσφορούχου επιχρίσματος
TNK-2	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΙΖΗΜΑ	Ίζημα δεξαμενής
DR-3	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΙΖΗΜΑ	Ίζημα το οποίο έχει καθιζάνει στο χαντάκι απορροής
RT-4	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	ΙΖΗΜΑ	Ίζημα από το ειδικό μηχάνημα αφαίρεσης-καθαρισμού οθονών CRT

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, έγινε επεξεργασία συνολικής ποσότητας 5.070kg CRT (Σχήμα 4.7.). Αφού προστέθηκε 50,2kg νερού, ελήφθησαν 81,55kg επιχρίσματος, υάλου και νερού. Μετά τη διαδικασία ξήρανσης, απέμειναν 31,35kg επιχρίσματος και υάλου, εκ των οποίων το 31,25%, δηλαδή 9,79kg είναι το γυαλί. Συνεπώς, μετά τη διαδικασία αφαίρεσής του, απομένουν 21,56kg επιχρίσματος ή αλλιώς **4,2524 kg/t.**

Εισερχόμενο Υλικό		5.070,00	→	Είδος	Τεμάχια	Kg	Μέσο βάρος
				Οθόνες	27	380	14,07
				Τηλεοράσεις	265	4690	17,70
Εξερχόμενο Υλικό		5.120,20		λόγω χρήσης νερού			
Παράγωγα Υλικά							
A/A	Είδος	Kg	%	το σύνολο του crt είναι περίπου 60%			
1	Καλώδια εσωτερικά	52,00	1,02%				
2	Καλώδια εξωτερικά	22,00	0,43%				
3	Πυκνωτές Ηλ/τικοί	8,50	0,17%				
4	Πυκνωτές Ηλ/τικοί (<..)	8,05	0,16%				
5	Electroguns	6,80	0,13%				
6	Sludge	81,55	1,59%				
7	Funnel	1.260,00	24,61%				
8	Panel	1.806,00	35,27%				
9	Tv yokes	152,00	2,97%				
10	Αλουμίνιο	0,35	0,01%				
11	Χαλκός	1,45	0,03%				
12	Σιδηρούχο	472,00	9,22%				
13	Πλαστικά (μικρά κομμάτια)	9,85	0,19%				
14	Πλαστικά BFR	164,00	3,20%				
15	Πλαστικά BFR free	548,35	10,71%				
16	Πλακέτες	400,00	7,81%				
17	Υπόλειμμα	55,55	1,08%				
18	Ξύλο / Μελαμίνη	71,75	1,40%				

Σχήμα 4.7. Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση οθονών CRT και TV

Όλες οι τηλεοράσεις (265 τεμάχια) και τα μόνιτορ Η/Υ (27 τεμάχια) χορηγήθηκαν από την εταιρεία ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε. για τις ανάγκες της έρευνας. Με χειροδιάλυση, πάρθηκαν 292 τεμάχια συνολικού βάρους 5070kg. Επιπλέον, ελήφθησαν τα παράγωγα υλικά του Σχήματος 4.7.

Η μέθοδος δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε περιγράφεται στη συνέχεια.

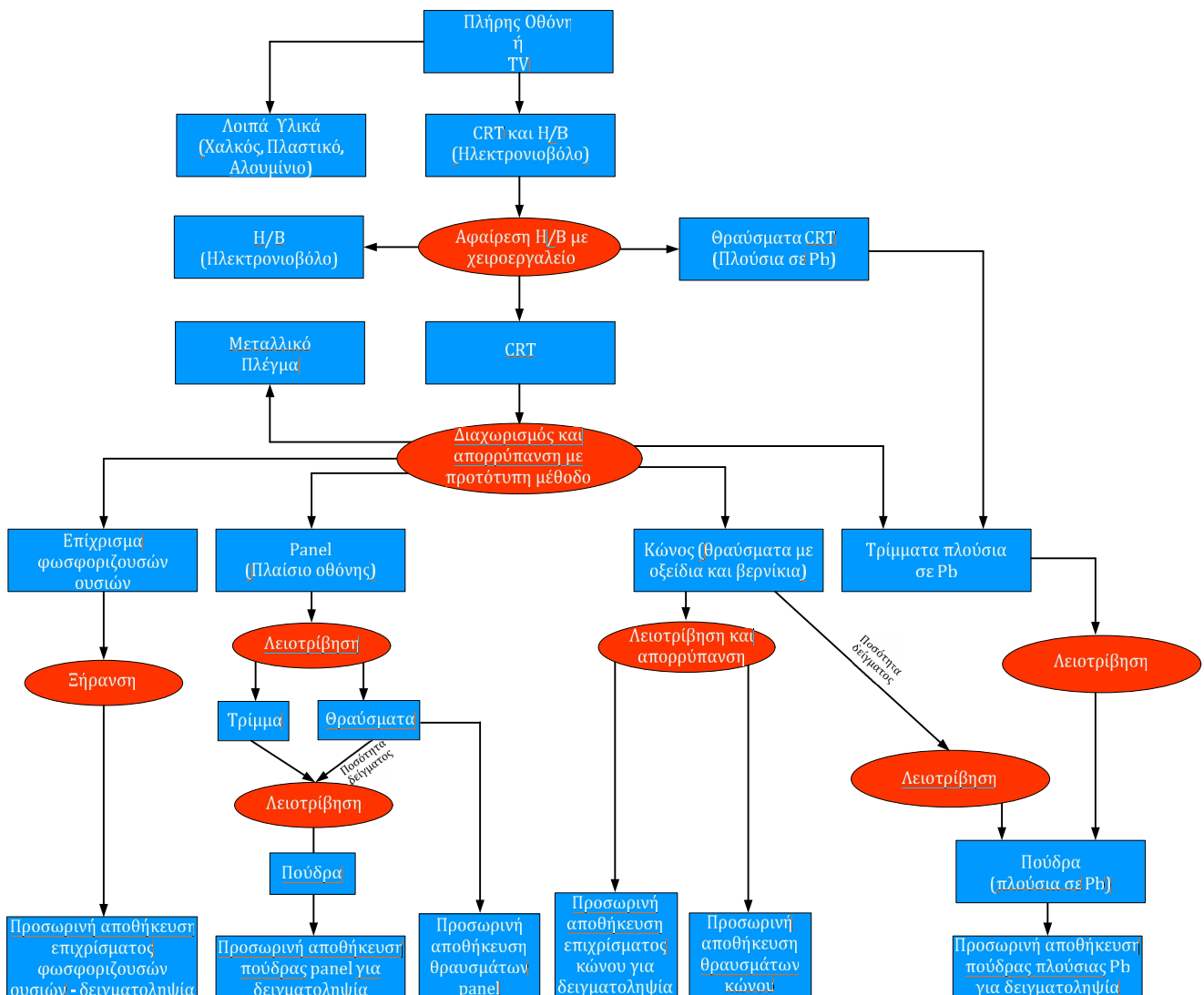
Συλλογή χονδρικού δείγματος (gross sample): Από την ετήσια παραγωγή διαχωρίζαμε ανά τακτά διαστήματα (2 φορές την εβδομάδα) ποσότητα επιχρίσματος και α) γυαλί οθόνης, β) γυαλί κώνου, γ) τρίμμα κοπής.

Αφού ομογενοποιήθηκε η συνολική ποσότητα, έγινε μείωση του χονδρικού δείγματος από και, με κατάλληλες διεργασίες, αφαιρέθηκε η υγρασία και, στη συνέχεια, με διαδοχικές αναμίξεις και τεταρτημόριση, ελήφθη το πρώτο εργαστηριακό δείγμα (laboratory sample) στο επίπεδο της επιχείρησης ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε..

Η δειγματοληψία έγινε για μεν τα γυαλιά στις 2 εξόδους του μηχανήματος διαίρεσης και πλύσης (COMPTON 2012) για δε το επίχρισμα στις θέσεις (1), (2) και (3) οι οποίες επελέγησαν σκόπιμα με το κριτήριο της μεγάλης συγκέντρωσης του υλικού.

Ελάττωση μεγέθους του στερεού: Από τη δειγματοληψία τελικά ελήφθησαν δείγματα 1kg επιχρίσματος, 1kg τρίμματος με επίχρισμα, 1kg γυαλιού κώνου, 1kg γυαλιού οθόνης. Αποθηκεύτηκαν προσωρινά με προστασία από την υγρασία. Στη συνέχεια στο ΕΚΠΑ έγινε η επεξεργασία τους με λειοτρίβηση, τεταρτημόριση, έγιναν οι μετρήσεις και ένα μέρος εστάλη στον Καναδά.

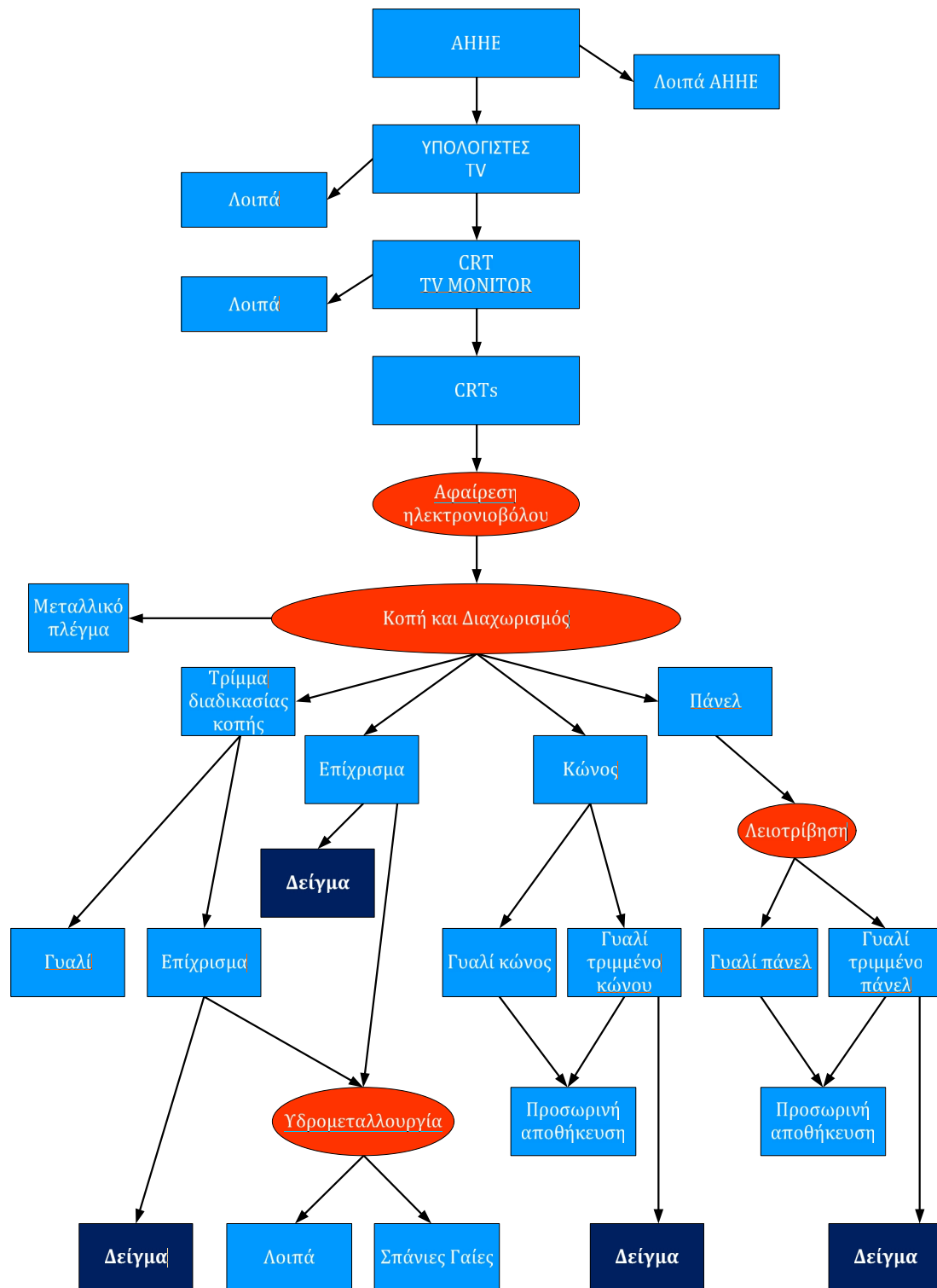
Στο σύνολο φτιάχτηκαν 2 σειρές ομοίων δειγμάτων (αντιδείγμα). Η μία σειρά αποθηκεύθηκε για λόγους επαλήθευσης. Στο Σχήμα 4.8. παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής δειγματοληψίας οθονών CRT και TV.



Σχήμα 4.8. Διάγραμμα ροής δειγματοληψίας οθονών CRT και TV

4.2.2 Συνοπτική ανάλυση στοιχείων βιωσιμότητας των διαδικασιών ανακύκλωσης CRTs

Στο Σχήμα 4.9. παρουσιάζεται η παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης οθονών CRT και TV.



Σχήμα 4.9. Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης οθονών CRT και TV

Στο Σχήμα 4.10. φαίνεται η συνολική ποσότητα ΑΗΗΕ στην οποία εφαρμόστηκε η διαδικασία της ανακύκλωσης για το έτος 2016 και η οποία ανέρχεται σε περίπου 1,29t. Σε αυτά περιλαμβάνονταν περίπου 0,17t ψυγείων τα οποία εξαιρέθηκαν από τη διαδικασία, αφού δε συμπεριλαμβάνονται στις αδειοδοτήσεις της εταιρείας. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται οι ποσότητες ΑΗΗΕ σύμφωνα με την κατηγοριοποίησή τους.

	Είσοδος 2016	1.287.155,00
	Ψυγεία (Αποστολές)	172.010,00
	Εισερχόμενη Συνολική Ποσότητα Προς παραγωγή	1.115.145,00
	Ποσότητα από αποθήκη	1.115,00
	Συνολική Παραγωγή	1.116.260,00
	Κατ 1β	15.980,00
	Κατ 1γ	752.125,00
	Κατ 2	52.715,00
	Κατ 3α	18.475,00
	Κατ 3β	79.345,00
	Κατ 4α	131.025,00
	Κατ 4β	21.350,00
	Κατ 5α	4.890,00
	Κατ 6	5.460,00
	Κατ 7α	7.990,00
	Κατ 7β	10.930,00
	Κατ 8	300,00
	Κατ 9	13.755,00
	Κατ 10	1.920,00
		1.116.260,00

Σχήμα 4.10. Συνολική παραγωγή έτους 2016 ανά κατηγορία ΑΗΗΕ

Στο Σχήμα 4.11. παρουσιάζονται τα παράγωγα προϊόντα από την ετήσια διαχείριση των ΑΗΗΕ του έτους 2016. Παρατηρείται ότι ενώ η διάθεση των υλικών ειδικής διαχείρισης εμφανίζει κόστος, το σύνολο της διαδικασίας των υπολοίπων υλικών εμφανίζει κέρδη που την καθιστά βιώσιμη. Σημειώνεται ότι στα στοιχεία αυτά δεν συνυπολογίστηκαν οι αξίες των σπάνιων γαιών που περιλαμβάνονται στο επίχρισμα.

Παράγωγα από εισερχόμενη ποσότητα 1.116.260 kg ΑΗΗΕ			
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΙΔΟΥΣ (ΠΑΡΑΓΩΓΑ)	Ποσότητα σε kg	Τιμή / kg	ΣΥΝΟΛΟ Εσόδων
ΠΑΛΑΙΑ ΣΙΔΕΡΑ ΠΑΚΕΤΑ, ΠΑΛΑΙΑ ΣΙΔΕΡΑ	565.640,00	0,205	115.956,20
ΙΝΟΧ	13.035,00	1,020	13.295,70
ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΑ	4.420,00	3,300	14.586,00
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΟ	535,00	0,520	278,20
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΜΑΛΑΚΟ, ΣΚΛΗΡΟ, ΠΡΟΦΙΛ	60.690,00	1,150	69.793,50
Ορείχαλκος	70,00	3,170	221,90
ΠΛΑΣΤΙΚΑ ABS (ΧΡΩΜ-ΑΣΠΡΑ-ΜΑΥΡΑ)	63.740,00	0,000	0,00
ΓΥΑΛΙ	1.220,00	0,000	0,00
Funnel	32.519,00	-0,030	-975,57
Panel	51.302,00	-0,030	-1.539,06
Φθορίζον επίχρισμα - λάσπη	120,00	-0,030	-3,60
TV Yokes	4.005,00	1,400	5.607,00
electron guns	194,00	0,000	0,00
TV Equators	1.960,00	1,400	2.744,00
ΜΟΤΕΡ	105.820,00	0,360	38.095,20
ΜΟΤΕΡ / MAGNETRONS	5.570,00	0,360	2.005,20
ΜΟΤΕΡ / ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΕΣ	970,00	0,360	349,20
ΜΟΤΕΡ / ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΚΙΑ	1.255,00	0,360	451,80
ΠΗΝΙΑ - ΜΟΤΕΡΑΚΙΑ	275,00	0,360	99,00
Hard disks CD/DVD-ROM, floppy drives, θύρες	5.335,00	0,500	2.667,50
τροφοδοτικά	5.405,00	0,500	2.702,50
ΠΥΚΝΩΤΕΣ PCB	424,00	-1,170	-496,08
ΠΥΚΝΩΤΕΣ	791,00	-1,170	-925,47
ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ	4.483,00	0,680	3.048,44
ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΑΦΗΣ	209,00	0,000	0,00
ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΕΣΤΙΕΣ	410,00	-1,170	-479,70
ΠΛΑΚΕΤΕΣ	19.697,00	0,300	5.909,10
ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ	15.413,00	1,400	21.578,20
ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ	16.169,00	1,400	22.636,60
ΜΕΛΑΝΙΑ - ΤΟΝΕΡ	706,00	0,000	0,00
ΠΑΝΕΛ ΟΘΟΝΗΣ	2.111,00	-1,170	-2.469,87
ΦΡΕΟΝ	183,00	-1,170	-214,11
ΕΛΑΙΑ - ΚΑΜΜΕΝΑ ΛΑΔΙΑ	437,00	0,000	0,00
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ	532,00	0,000	0,00
ΜΠΕΤΟΝ	81.830,00	0,000	0,00
ΜΕΛΑΜΙΝΗ - ΣΥΛΟ	4.580,00	0,000	0,00
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ - ΛΑΣΤΙΧΑ	13.895,00	0,000	0,00
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ	30.310,00	0,000	0,00
	1.116.260,00		314.921,78
Εισερχόμενα τεμάχια	65.435,00		

Σχήμα 4.11. Παράγωγα προϊόντα και προϊόντα προς περαιτέρω επεξεργασία από ετήσια διαχείριση των ΑΗΗΕ του έτους 2016

Είδος	Καλώδια	ΠΛΑΚΕΤΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΣΕ Kg	Τιμή / Kg	ΣΥΝΟΛΟ Εσόδων
	Ποσότητα προς περαιτέρω επεξεργασία σε Kg	Ποσότητα προς περαιτέρω επεξεργασία σε Kg			
	31.582,00	18.970,00	50.552,00		
Σιδηρούχο (κοκκοποιημένο/μικρά κομμάτια)		3.240,00	3.240,00	0,205	664,20
Μέταλλο Mixed (κοκκοποιημένο)		6.720,00	6.720,00	5,000	33.600,00
Άλουμνιο (κοκκοποιημένο / μικρά κομμάτια)		1.395,00	1.395,00	1,100	1.534,50
Χαλκός	10.970,00		10.970,00	4,300	47.171,00
Πλαστικά		485,00	485,00	0,000	0,00
Μοτεράκια		405,00	405,00	0,360	145,80
Υλικό προς περαιτέρω επεξεργασία (mixed plastic - metals) από πλακέτες		4.785,00	4.785,00	1,000	4.785,00
Εσωτερικά Καλώδια (μικρά)		1.335,00	1.335,00	1,400	1.869,00
Υλικό προς περαιτέρω επεξεργασία (mixed plastic - metals) από καλώδια	19.530,00	200,00	19.730,00	0,100	1.973,00
Υπόλειμματα μηχανικής διαδικασίας	1.082,00	405,00	1.487,00	0,000	0,00
Σύνολο	31.582,00	18.970,00	50.552,00		91.742,50

Σχήμα 4.11. (Συνέχεια ...)

4.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία και ανάλυση στερεών φάσεων

4.3.1 Ποιοτική ανάλυση στερεών φάσεων των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Η ανάλυση στερεών φάσεων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με περιθλασίμετρο ακτίνων - X (XRD, Siemens 5005), στα εργαστήρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Η αποτίμηση των ακτινοδιαγραμμάτων που προκύπτουν, γίνεται με τη χρήση του προγράμματος Eva 10.0, που ανήκει στο πακέτο diffac^{plus} της Siemens, σε περιβάλλον Windows.

Ο κατάλογος των συντομογραφιών που χρησιμοποιούνται στα αποτελέσματα των αναλύσεων στερεών φάσεων, παρατίθεται στον Πίνακα 4.3.

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση στερεών φάσεων των τριών δειγμάτων τα οποία προέρχονται από οθόνες CRT. Τα ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X

παρατίθενται στην Παράγραφο 4.5. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στερεών φάσεων των τριών δειγμάτων οθονών CRT παρατίθενται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.3. Κατάλογος συντομογραφιών

GL/PH	Glass Amorphous Phase
Si	Silicon (Si)
ClS	Celestine (SrSO ₄)
Mg-Phs	Magnesium Hydrogen Phosphate (Mg(H ₂ PO ₄) ₂)
SiLeadOxChl	Silver Lead Oxide Chloride (AgPb ₄ O ₄ Cl)
SiBorSlf	Silver Boron Sulfide (Ag ₅ BS ₄)
BaPhs	Barium Phosphate Hydrate (Ba(PO ₃) ₂ ·2H ₂ O)
CaPhs	Calcium Phosphate (Ca ₄ P ₆ O ₁₉ /4CaO·3P ₂ O ₅)
Mnz	Monazite (CePO ₄)
Alms	Alamosite (PbSiO ₃)
BaSi	Barium Silicon Oxide (Ba ₅ Si ₈ O ₂₁)
SrCe	Strontium Cerium Oxide (Sr ₂ CeO ₄)
Ap	Apatite (Ca ₅ (F,Cl)P ₃ O ₁₂)
LeadSi	Lead Silicate (Pb ₃ SiO ₅)
BaMo	Barium Molybdenum Oxide
CeGd	Cerium Gadolinium Oxide ((Gd _{0.6} Ce _{0.4}) ₂ O _{4.2})
KSrBr	Potassium Strontium Bromide (KSr ₂ Br ₅)
BaZrPhs	Barium Zirconium Phosphate (Ba ₂ Zr ₄ (PO ₄) ₆)
AuO	Gold Oxide (Au ₂ O ₃)
Qtz	Quartz (SiO ₂)
Cal	Calcite (CaCO ₃)
BaPhsSi	Barium Phosphorus Silicide (Ba ₃ Si ₄ P ₆)
Major minerals	MJ
Medium minerals	MD
Trace or minor minerals	TR

Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα αναλύσεων στερεών φάσεων δειγμάτων οθονών CRT

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
CRT-1	GL/PH ^{MJ}	BaPhs ^{TR}	CaPhs ^{TR}	Mnz ^{TR}
CRT-2	GL/PH ^{MJ}	Alms ^{TR}	-	-
CRT-3	GL/PH ^{MJ}	BaSi ^{TR}	SrCe ^{TR}	-

Όπως φαίνεται και στα τρία δείγματα των οθονών CRT, η κύρια φάση είναι η άμορφη ύαλος. Τα δείγματα CRT-1 και CRT-2 παρουσιάζουν ιδιαίτερα άμορφες φάσεις υάλου, ενώ στο δείγμα CRT-2 παρατηρείται φτωχή κρυσταλλικότητα (poor crystallinity) της άμορφης φάσης.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στερεών φάσεων των ιζημάτων από την γραμμή παραγωγής ανακύκλωσης των οθονών CRT (δείγμα PH-1, TNK-2, DR-3 και RT-4) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5. Τα ακτινοδιαγράμματα XRD παρατίθενται στην Παράγραφο 4.6.

Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα αναλύσεων στερεών φάσεων ιζημάτων προερχόμενων από ανακύκλωση οθονών CRT στις εγκαταστάσεις της εταιρείας

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ							
PH-1	GL/PH ^{MJ}	Ap ^{MD}	LeadSi ^{MD}	BaMo ^{TR}	CeGd ^{MD}	Cl ^{sMD}	KSrBr ^{TR}	BaZrPhs ^{TR}
TNK-2	GL/PH ^{MJ}	LeadSi ^{TR}	BaMo ^{TR}	AuO ^{TR}	-	-	-	-
DR-3	GL/PH ^{MJ}	Qtz ^{MD}	CaI ^{TR}	LeadSi ^{TR}	AuO ^{TR}	BaPhsSi ^{TR}	-	-
RT-4	GL/PH ^{MJ}	LeadSi ^{MD}	-	-	-	-	-	-

Όπως φαίνεται και στα τέσσερα δείγματα της γραμμής παραγωγής ανακύκλωσης των οθονών CRT, η κύρια φάση είναι η άμορφη ύαλος.

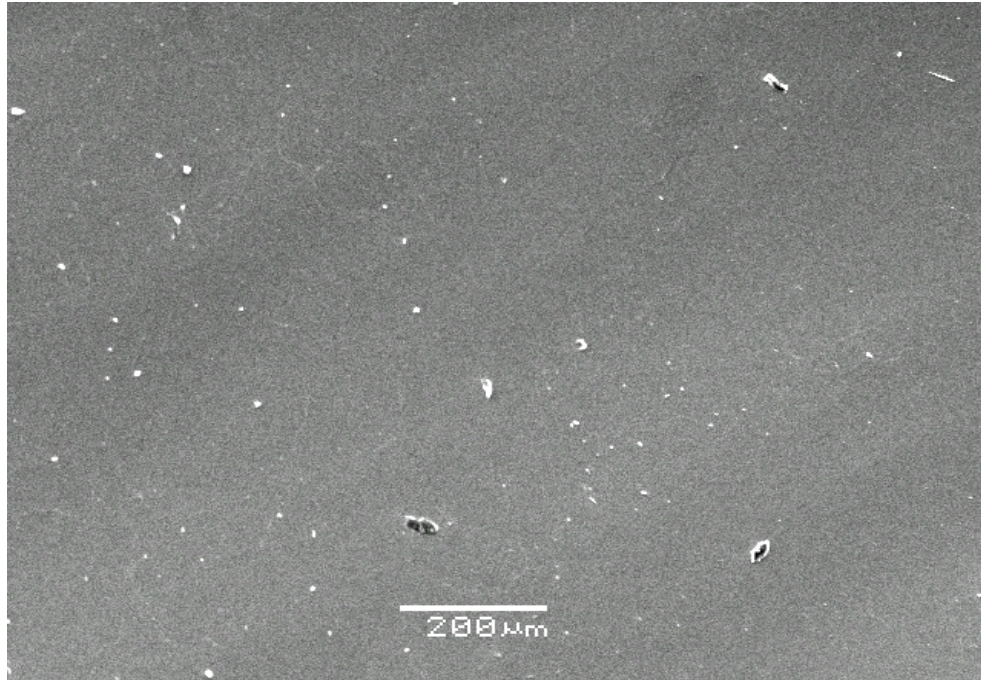
4.3.2 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM – Scanning Electron Microscopy)

Ένα από τα πιο ισχυρά και αποτελεσματικά όργανα, για τη μελέτη της μικροδομής των υλικών, είναι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, το οποίο επιτρέπει τη μεγεθυσμένη απεικόνιση ενός δείγματος, με διακριτική ικανότητα της τάξης του nm, μέσω της αλληλεπίδρασής του με μια δέσμη ηλεκτρονίων. Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM – Scanning Electron Microscopy) συνθέτει την εικόνα της επιφάνειας του δείγματος, δηλαδή επιτρέπει την τοπογραφική μελέτη των επιφανειών, συλλέγοντας τα δευτερεύοντα και οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια.

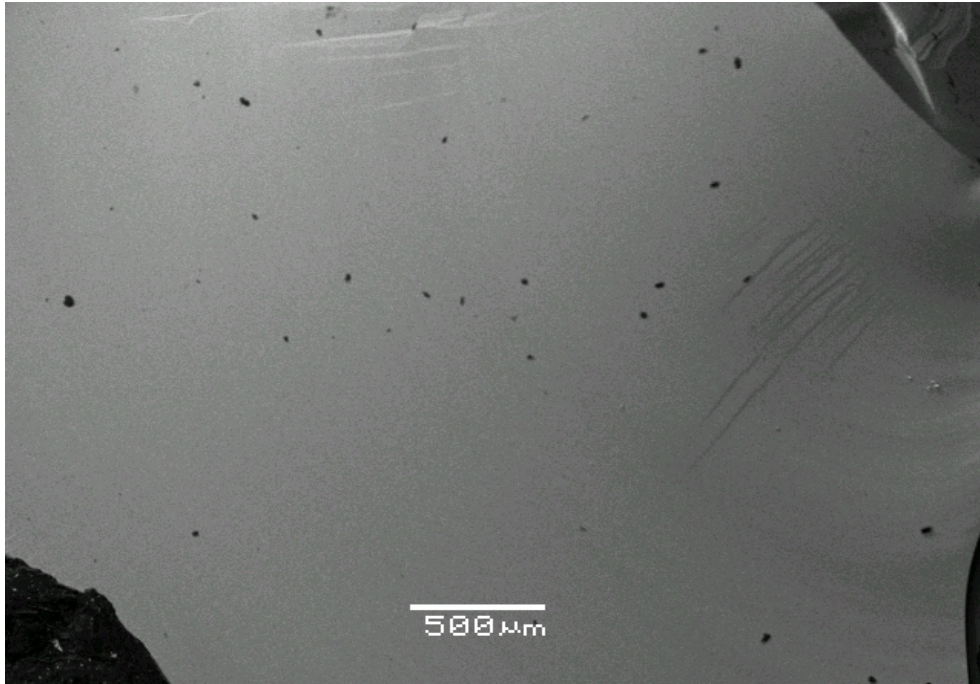
Στην ανάλυση αυτή, χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο JEOL JSM-5600, του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Παρακάτω, παρουσιάζονται μικροφωτογραφίες που αφορούν δείγματα οθονών CRT, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.12. και 4.13.

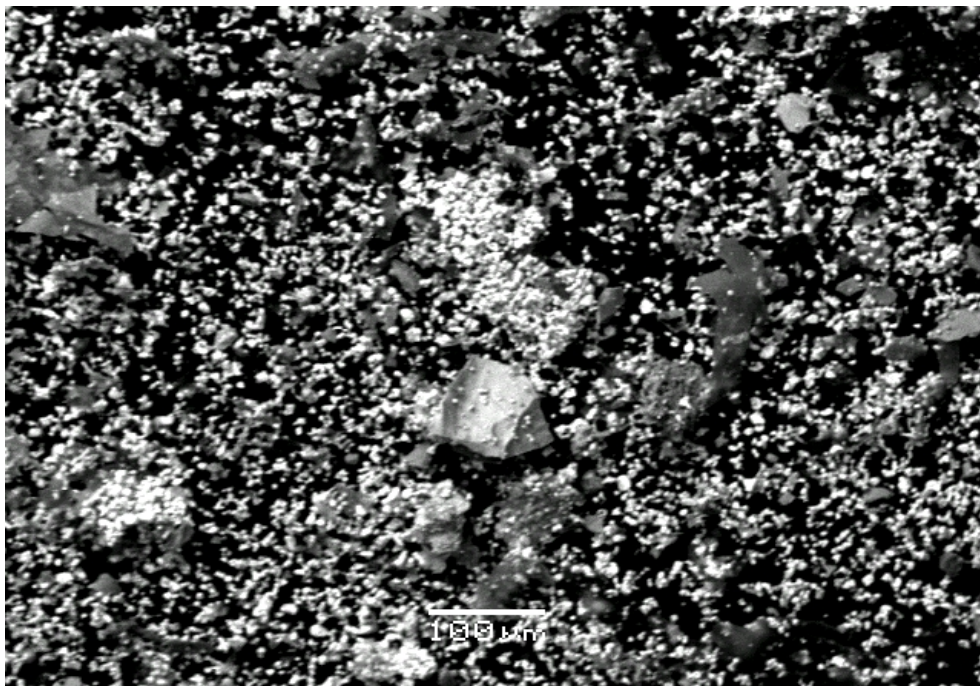
Ακολούθως, στις μικροφωτογραφίες των Σχημάτων 4.14.-4.18. παρουσιάζονται δείγματα που αφορούν τα ανακτώμενα υλικά της εταιρείας.



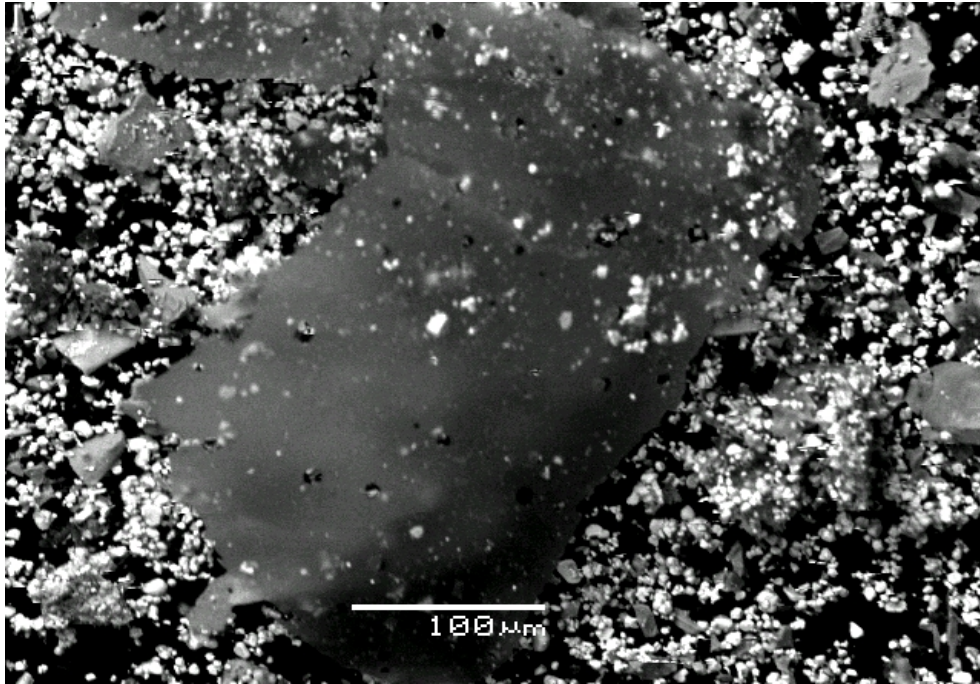
Σχήμα 4.12. Δείγμα 000NH CRT – 1 (γυαλί από μπροστινό μέρος οθόνης)



Σχήμα 4.13. Δείγμα 000NH CRT – 3 (γυαλί από ενδιάμεσο μέρος οθόνης)



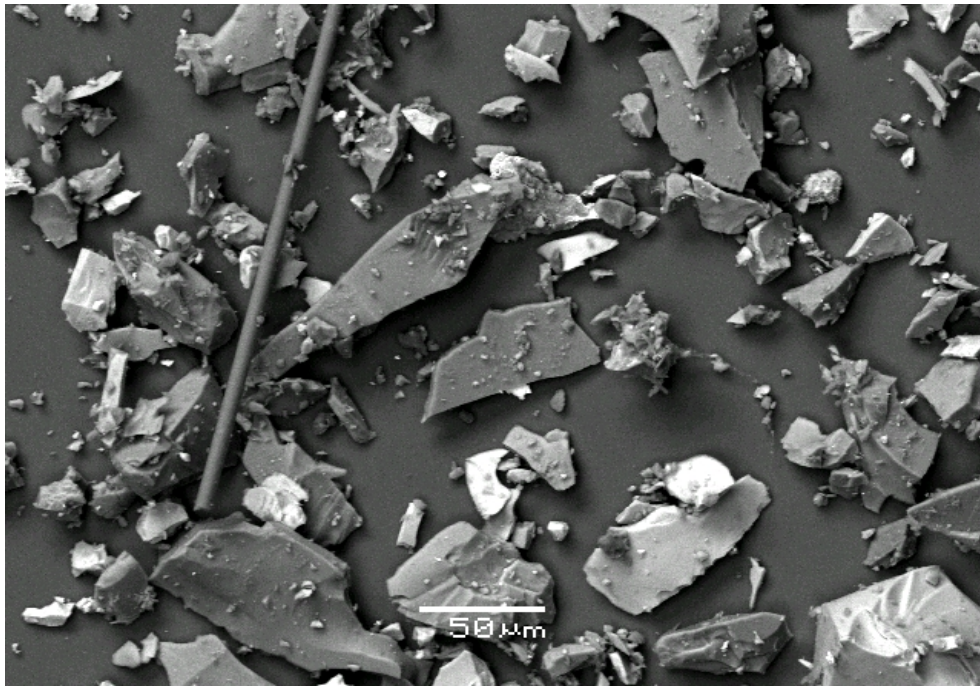
Σχήμα 4.14. Δείγμα PH – 1 (φωσφορικό επίχρισμα αφαιρούμενο χειρονακτικά)



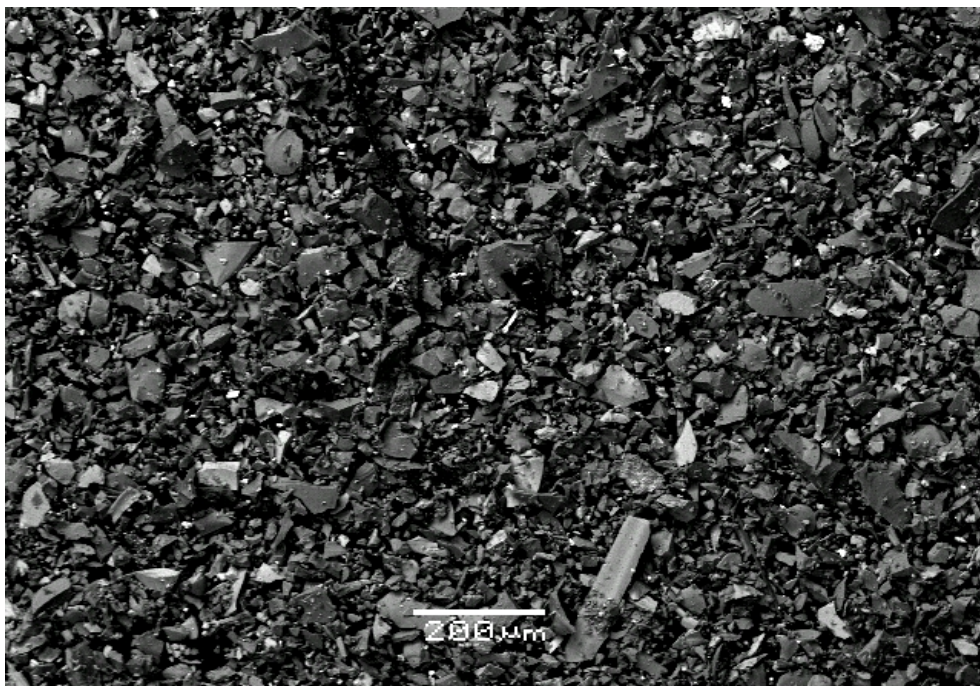
Σχήμα 4.15. Δείγμα PH - 1 (κομμάτια υάλου μεταξύ μεταλλικών κόκκων (Zn))



Σχήμα 4.16. Δείγμα TNK - 2 (ίζημα από δεξαμενή καθίζησης)



Σχήμα 4.17 Δείγμα TNK – 2 (λεπτομέρεια από το ίζημα δεξαμενής καθίζησης που αποτυπώνεται η μεγάλη συγκέντρωση τμημάτων υάλου)



Σχήμα 4.18. Δείγμα DR – 3 (ίζημα από δεξαμενή καθίζησης)

4.4 Χημικές αναλύσεις και μικροαναλύσεις δειγμάτων

Για τις χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων, πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός ικανής και αντιπροσωπευτικής ποσότητας του συνόλου των δειγμάτων και, όπου κρίθηκε απαραίτητο, πραγματοποιήθηκε θραύση των δειγμάτων σε σιαγωνωτό σπαστήρα. Στη συνέχεια, ακολούθησε λειοτρίβηση των δειγμάτων. Στην πλειοψηφία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μηχανική λειοτρίβηση, ενώ στα υπόλοιπα πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη λειοτρίβηση (δείγματα PH-1, TNK-2, DR-3 και RT-4).

4.4.1 Μερική χημική ανάλυση με την μέθοδο ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry)

Για την πραγματοποίηση μέρους των χημικών αναλύσεων, προηγήθηκε επεξεργασία του συνόλου δειγμάτων, στα εργαστήρια του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ.

Στο πλαίσιο της παρούσας επιστημονικής μελέτης, πραγματοποιήθηκαν μερικές χημικές αναλύσεις με τη μέθοδο ICP-MS, στα αναλυτικά εργαστήρια της Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., στον Καναδά, σε 20 επιλεγμένα και αντιπροσωπευτικά δείγματα. Σκοπός είναι ο προσδιορισμός 45 ιχνοστοιχείων, τα οποία περιέχονται στα, υπό μελέτη, δείγματα. Τα δείγματα εστάλησαν υπό την μορφή λεπτής πούδρας.

Η τεχνική φασματομετρίας μάζας με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS) αποτελεί μια σύγχρονη και αποτελεσματική μέθοδο πολυστοιχειακής ανάλυσης, με πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσης (ng/L).

Τα δείγματα των οθονών CRT αναλύθηκαν ως προς τα ιχνοστοιχεία τους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων που περιέχονται στα δείγματα οθονών CRT

Ιχνοστοιχεία (ppm)	Ελάχιστα όρια ανίχνευσης (ppm)	CRT-1	CRT-2	CRT-3
Ba	1.00	>50000	3614	>50000
Be	1.00	2	<1	<1
Co	0.20	17	5.6	19
Cs	0.10	0.6	0.5	3.8
Ga	0.50	4.7	5.2	3.6
Hf	0.10	263	13	276
Nb	0.10	6.4	1.9	9.6
Rb	1.00	74	32	58
Sn	0.50	2	5	6
Sr	0.10	>50000	1419	>50000
Ta	1.00	23	0.2	2.5
Tb	0.20	13	1.2	9.5
U	0.10	73	0.6	9.5
V	8.00	37	42	36
W	0.50	38	60	89
Zr	0.10	10833	594	11623
Y	0.10	26	3.1	36
La	0.10	156	8.1	239
Ce	0.10	2335	96	2286
Pr	0.02	22	1.25	43
Nd	0.30	50	3.4	43
Sm	0.05	3.95	0.45	2.71
Eu	0.02	<0.02	0.13	<0.02
Gd	0.05	4.98	0.67	4.62
Tb	0.01	0.4	0.06	0.45
Dy	0.05	3.07	0.43	3.61
Ho	0.02	0.87	0.07	1.08
Er	0.03	3.3	0.39	4.44
Tm	0.01	0.64	0.06	0.94
Yb	0.05	6	0.63	8.17
Lu	0.10	1.03	0.08	1.53
Mo	0.10	<0.1	0.2	<0.1
Cu	0.10	0.2	0.4	0.5
Pb	0.10	43.5	>10000	1415
Zn	1.00	8	17	96
Ni	0.10	13	0.6	1.1
As	0.50	<0.5	2.6	3.5
Cd	0.10	<0.1	<0.1	0.1
Sb	0.10	11	13	22
Bi	0.10	<0.1	1	0.4
Ag	0.10	<0.1	1	0.4
Au	0.50	1.7	1.8	1.3
Hg	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tl	0.10	<0.1	<0.1	0.1
Se	0.50	<0.5	<0.5	<0.5

Τα δείγματα που προκύπτουν από τα ιζήματα που προέρχονται από την επεξεργασία των οθονών CRT στις εγκαταστάσεις της εταιρείας, αναλύθηκαν ως προς τα ιχνοστοιχεία τους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων που περιέχονται στα ιζήματα από την επεξεργασία οθονών CRT στις εγκαταστάσεις της εταιρείας

Ιχνοστοιχεία (ppm)	Ελ. όρια ανίχνευσης (ppm)	PH-1	TNK-2	DR-3
Ba	1,00	>50000	>50000	>50000
Be	1,00	1	1	4
Co	0,20	11	12	13
Cs	0,10	7,1	11,6	7,2
Ga	0,50	4	5,1	3,7
Hf	0,10	127	91	124
Nb	0,10	5	6	5,2
Rb	1,00	108	149	110
Sn	0,50	17	25	25
Sr	0,10	30824	21159	31513
Ta	1,00	2,1	1,9	2
Th	0,20	5,7	5,5	6,2
U	0,10	3,7	3,1	4
V	8,00	39	42	29
W	0,50	13	0,8	33
Zr	0,10	5247	3890	5361
Y	0,10	147	106	522
La	0,10	93	82	83
Ce	0,10	1232	984,7	1258
Pr	0,02	13	11	12
Nd	0,30	31	32	32
Sm	0,05	2,59	2,43	2,5
Eu	0,02	8,32	5,44	32
Gd	0,05	3,53	2,77	3,27
Tb	0,01	0,24	0,21	0,28
Dy	0,05	1,66	1,42	1,4
Ho	0,02	0,43	0,37	0,43
Er	0,03	1,72	1,43	1,68
Tm	0,01	0,34	0,25	0,36
Yb	0,05	3,37	2,13	2,89
Lu	0,10	0,5	0,39	0,58
Mo	0,10	0,4	0,3	0,4
Cu	0,10	48	122	59
Pb	0,10	7061	7044	>10000
Zn	1,00	1129	1319	2304
Ni	0,10	138	239	144
As	0,50	1,4	1,6	2,4
Cd	0,10	27	41	75
Sb	0,10	11	5,2	24
Bi	0,10	1,1	0,5	1,7
Ag	0,10	1,1	0,4	1,9
Au	0,50	130	480	1813
Hg	0,01	0,01	0,1	0,01
Tl	0,10	<0,1	<0,1	<0,1
Se	0,50	0,8	<0,5	<0,5

4.4.2 Μικροανάλυση διασποράς ενέργειας (EDS – Energy Dispersive X-ray spectroscopy)

Η μικροανάλυση διασποράς ενέργειας επιτρέπει την κατασκευή του διαγράμματος έντασης - ενέργειας και πραγματοποιείται με τον φασματογράφο ανάλυσης ενεργειακής διασποράς ακτίνων - X. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των φασματογράφων EDS είναι η δυνατότητα ταυτόχρονης συλλογής των ακτίνων - X όλου του ενεργειακού φάσματος και, επομένως, της ανίχνευσης και ανάλυσης όλων των στοιχείων ενός υλικού, με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο από 11 (νάτριο).

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ο μικροαναλυτής διασποράς ενέργειας τύπου OXFORD LINK™ ISIS™ 300, του Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος. Το λογισμικό ποσοτικής μικροανάλυσης – διόρθωσης (ZAF) είναι το OXFORD SEMQuant™. Οι συνθήκες μικροανάλυσης περιλαμβάνουν τάση επιτάχυνσης (Accelerating Voltage) 20kV, ρεύμα δέσμης (Beam Current) 0,5nA, χρόνο ανάλυσης (Livetime) 50sec και διάμετρο δέσμης (Beam Diameter)<2μm. Για τη μικροανάλυση, τα δείγματα επιμεταλλώθηκαν με γραφίτη.

Στους Πίνακες 4.8.-4.10., παρουσιάζονται μικροαναλύσεις διασποράς ενέργειας που αφορούν στα δείγματα οθονών CRT. Έπειτα, στον Πίνακα 4.11., παρουσιάζονται μικροαναλύσεις διασποράς ενέργειας, που αφορούν στα δείγματα ιζημάτων, από την επεξεργασία που έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.. Το ελάχιστο όριο ανίχνευσης για κάθε μία από τις ενώσεις που φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες ήταν 0,01%.

Πίνακας 4.8. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος CRT-1

CRT_1						
%	Dark	Dark	Dark	Dark	Dark	Dark
Na ₂ O	9,99	10	10	9,39	10	11
Al ₂ O ₃	3,70	3,52	3,77	3,45	3,64	3,91
SiO ₂	68	68	68	69	69	68
K ₂ O	7,19	7,87	7,44	7,36	7,85	7,20
BaO	11	11	11	11	9,88	11
Total	100	100	100	100	100	100

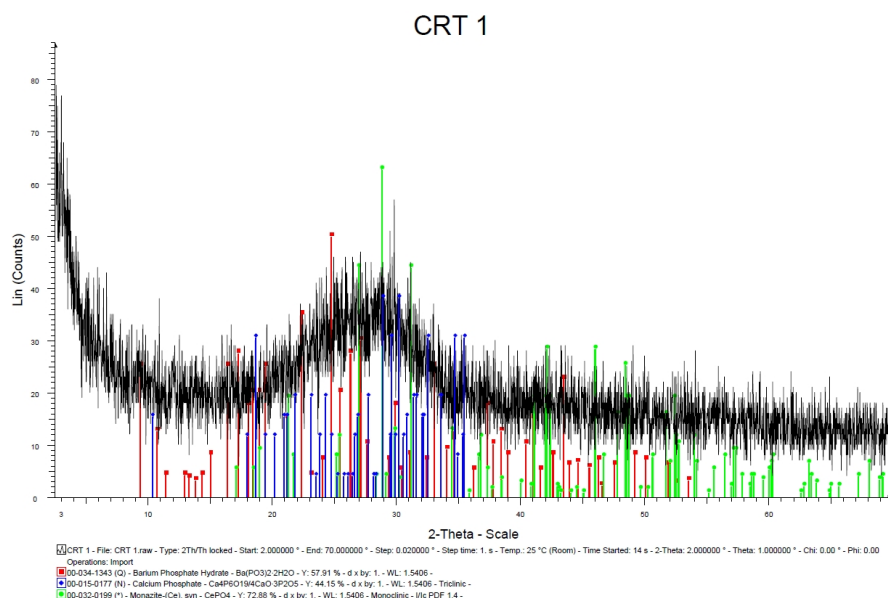
Πίνακας 4.9. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος CRT-2

CRT_2							
%	Transp.	Transp.	Transp.	Trans	Transp.	Transp.	Trans
Na ₂ O	4,80	4,76	4,69	4,91	4,47	6,26	6,79
MgO	0,52	0,64	0,00	0,70	0,00	0,55	0,76
Al ₂ O ₃	3,93	4,07	4,26	3,99	4,39	4,74	5,08
SiO ₂	51	51	51	50	47	53	54
K ₂ O	8,72	8,82	8,65	8,84	8,78	8,64	8,04
CaO	1,07	1,02	0,99	1,02	1,68	0,88	0,94
PbO	30	30	31	30	33	25	24
Total	100	100	100	100	100	100	100

Πίνακας 4.10. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος CRT-3

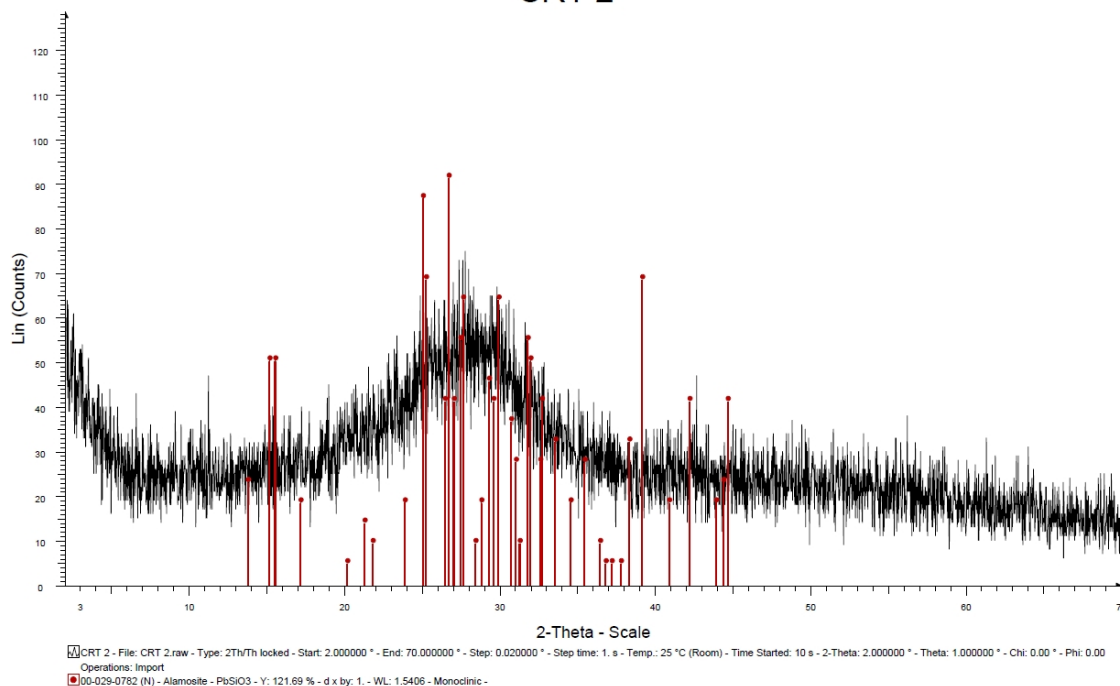
CRT_3					
%	Inter. glass 1	Inter. glass 2	Inter. glass 3	Inter. glass 4	Inter. glass 5
Na ₂ O	7,62	6,38	8,18	8,25	7,61
MgO	1,75	1,66	2,32	1,99	1,68
Al ₂ O ₃	1,72	1,40	1,71	1,67	1,68
SiO ₂	61	58	61	62	61
K ₂ O	8,16	9,25	7,99	7,69	8,45
CaO	2,86	3,47	2,61	2,65	2,88
BaO	17	20	16	16	17
Total	100	100	100	100	100

4.5 Ακτινοδιαγράμματα XRD δειγμάτων οθονών CRT



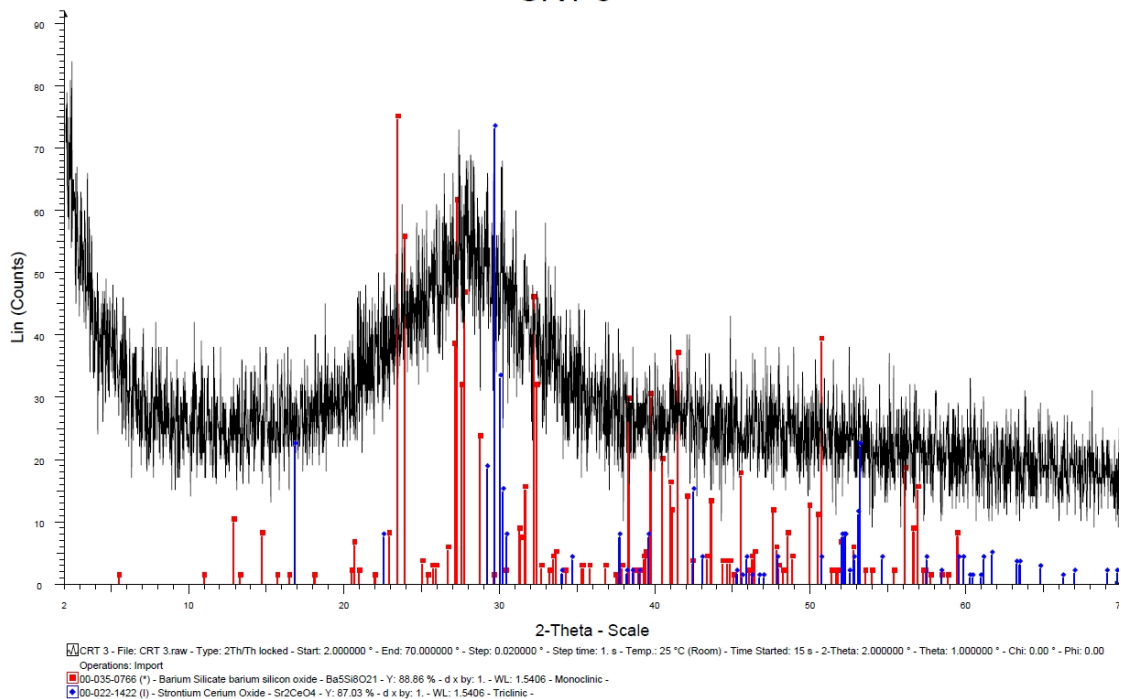
Σχήμα 4.19. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος CRT-1

CRT 2



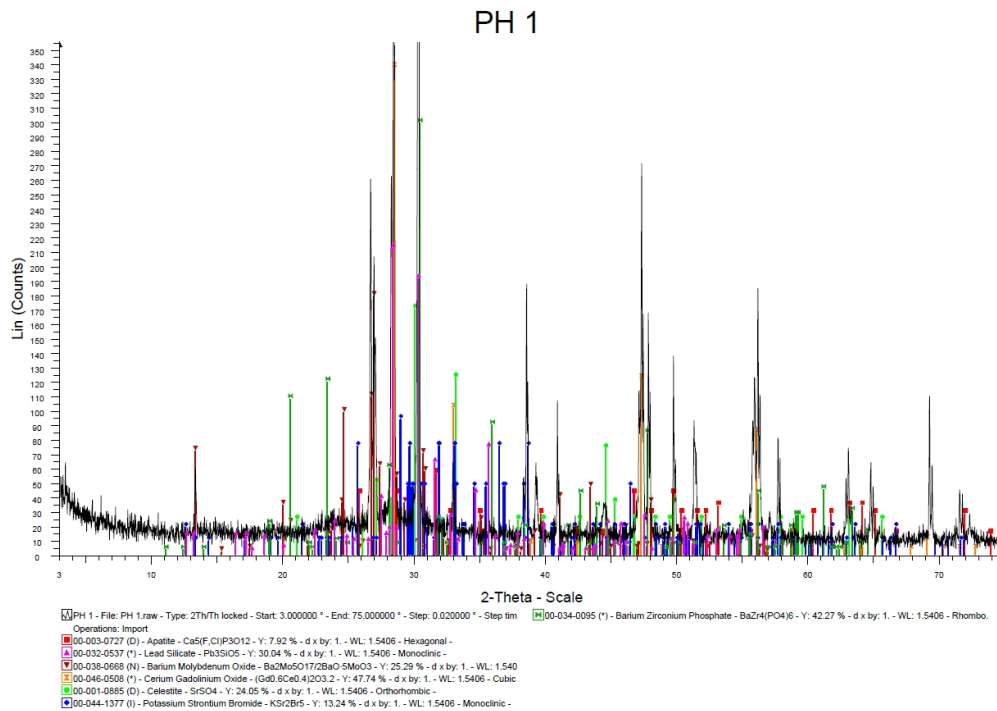
Σχήμα 4.20. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος CRT-2

CRT 3

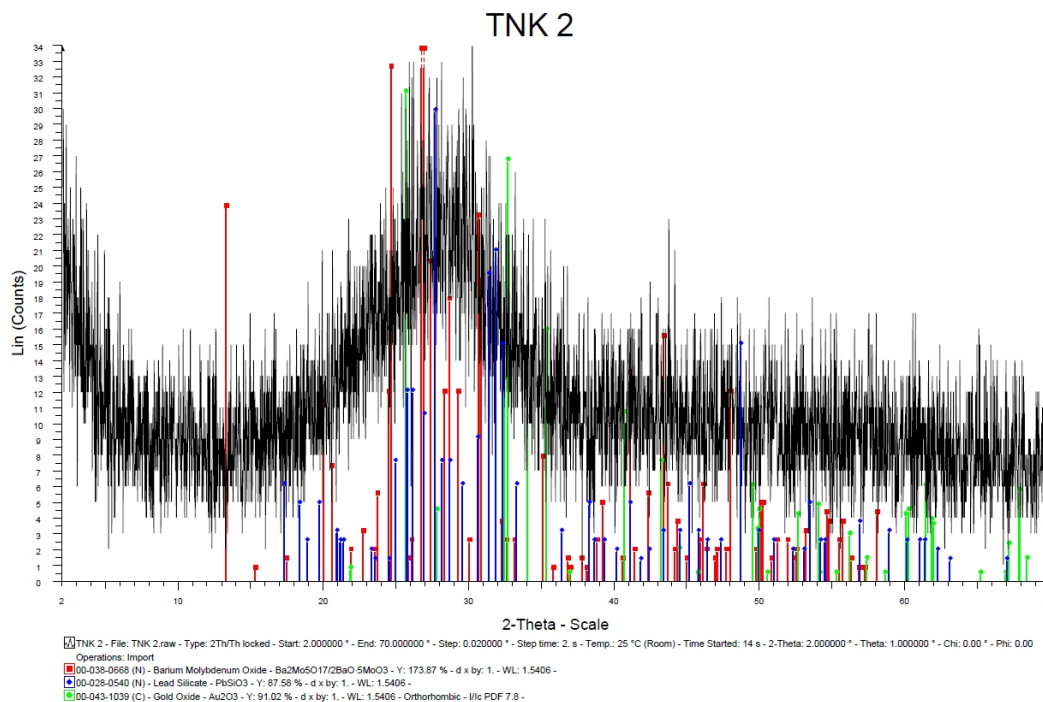


Σχήμα 4.21. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος CRT-3

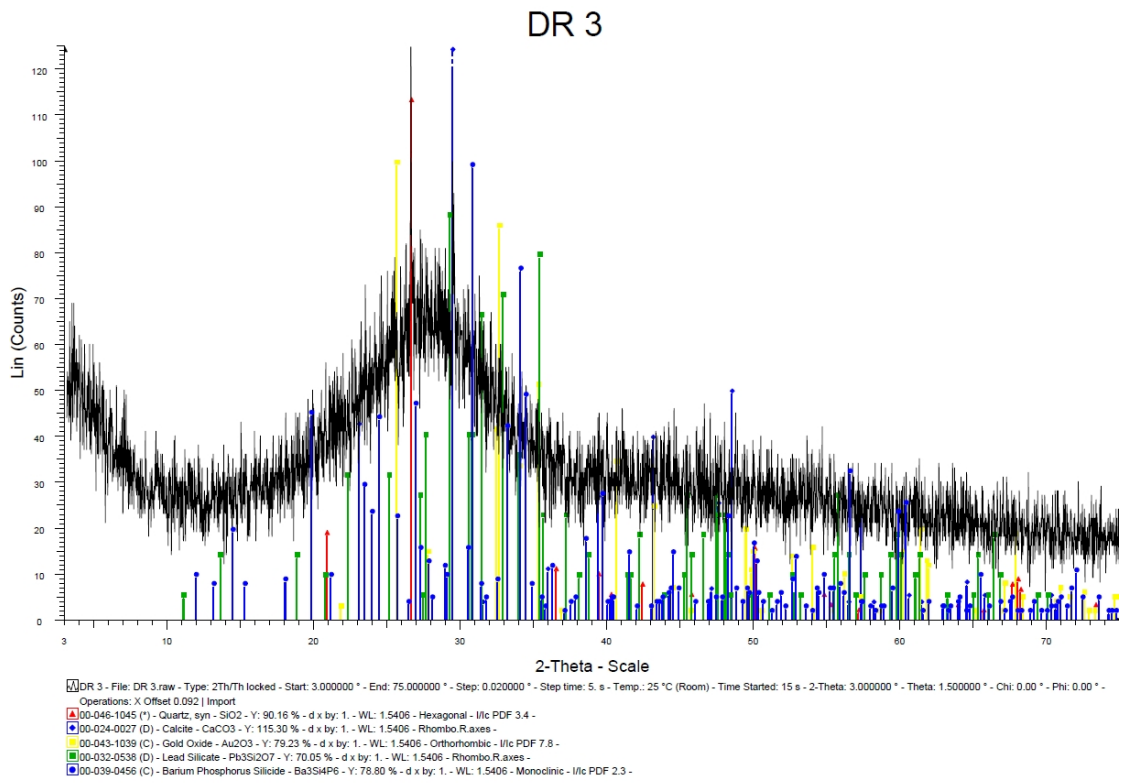
4.6 Ακτινοδιάγραμμα XRD δειγμάτων ιζημάτων διαδικασίας επεξεργασίας οθονών CRT



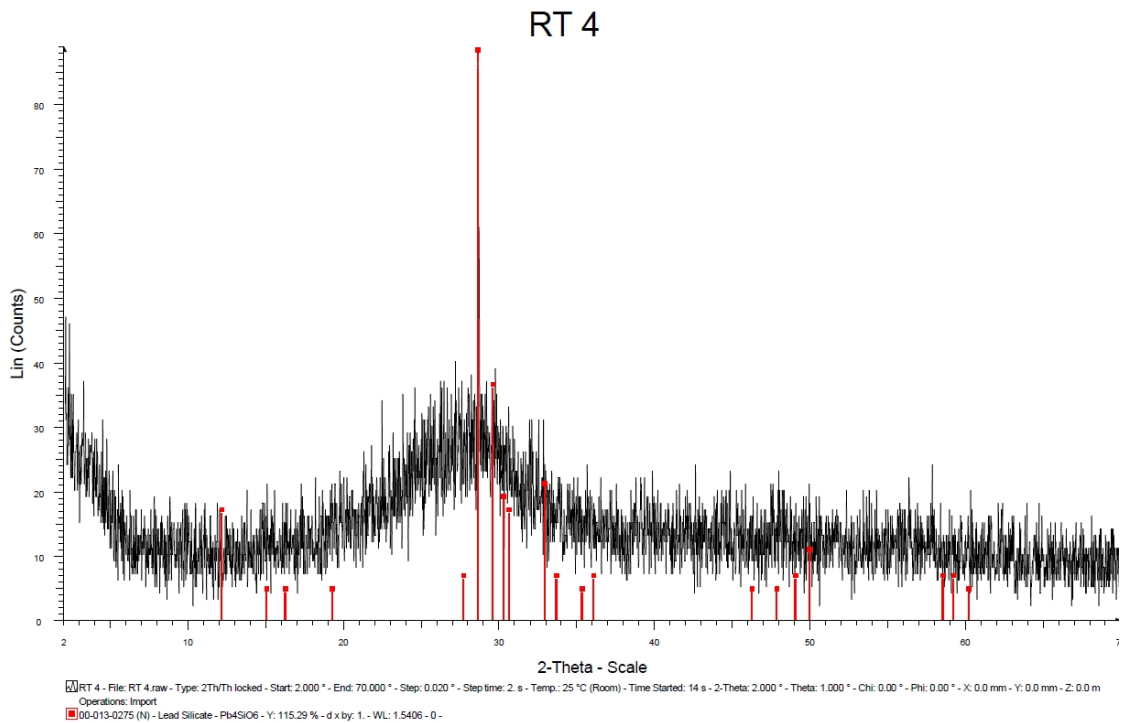
Σχήμα 4.22. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PH-1



Σχήμα 4.23. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος TNK-2



Σχήμα 4.24. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος DR-3



Σχήμα 4.25. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος RT-4

4.7 Συμπεράσματα μελέτης διαδικασίας ανακύκλωσης οθονών CRT

Κατά την ανάλυση των δειγμάτων **CRT-1, CRT-2 και CRT-3**, προέκυψε πως, σε αυτά τα δείγματα, η κύρια φάση είναι η άμορφη ύαλος. Παρ' όλα αυτά, φαίνονται και κάποιες κρυσταλλικές φάσεις του Ba, Ce, Pb, P και Ca. Τέλος, κατά την ανάλυση των δειγμάτων, τα οποία προέκυψαν από την **παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης οθονών CRT (PH-1, TNK-2, DR-3 και RT-4)**, φαίνεται πως και σε αυτά τα δείγματα η κύρια φάση είναι η άμορφη ύαλος. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δείγματα, αυτή η κατηγορία δειγμάτων είναι πλούσια και σε κρυσταλλικές φάσεις, όπως χαλαζίας, οξειδία του μολύβδου, ασβεστίτης, οξειδία του χρυσού, απατίτης, οξειδία του δημητρίου, οξειδία βαρίου-μολυβδαινίου, σελεστίτης κ.λπ.

Όσον αφορά στις **χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων των ΟΘΟΝΩΝ CRT (μικροαναλύσεις διασποράς ενέργειας - EDS)**, το δείγμα CRT-1, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα του μπροστινού μέρους της οθόνης CRT, αποτελείται από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), σε ποσοστό 67-70% και από οξείδιο του βαρίου (BaO), σε ποσοστό άνω του 10%. Το δείγμα CRT-2, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα του πίσω μέρους της οθόνης CRT, αποτελείται από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), με μέσο ποσοστό 50% και από οξείδιο του μολύβδου (PbO), σε ποσοστό άνω του 30%. Τέλος, το δείγμα CRT-3, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα του ενδιάμεσου μέρους της οθόνης CRT, αποτελείται από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), με μέσο ποσοστό 60% και από οξείδιο του βαρίου (BaO), σε ποσοστό άνω του 15%.

Στις **μερικές χημικές αναλύσεις των ιχνοστοιχείων** με τη μέθοδο ICP-MS, των οθονών **CRT**, παρατηρούνται αξιόλογες συγκεντρώσεις σε διάφορα **ιχνοστοιχεία**. Αρχικά, στα δείγματα **CRT-1 και CRT-3**, υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις Βαρίου (Ba) και Στροντίου (Sr), οι οποίες είναι άνω του 5% αλλά και σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Ζιρκονίου (Zr). Οι συγκεντρώσεις ζιρκονίου δεν αντιπροσωπεύονται από κρυσταλλικές φάσεις, αντίθετα οι υπόλοιπες συγκεντρώσεις, όπως φαίνεται στα ακτινοδιαγράμματα XRD, αντιπροσωπεύονται και από κρυσταλλικές φάσεις. Αξίζει, δε, να σημειωθεί πως υπάρχει σημαντικός εμπλουτισμός σε Δημήτριο (Ce), στοιχείο των σπανίων γαιών. Το δείγμα **CRT-2** εμφανίζει, συγκριτικά με τα προηγούμενα δείγματα, μέτριες συγκεντρώσεις Βαρίου, Στροντίου, Ζιρκονίου και Δημητρίου, αλλά αντίθετα παρουσιάζει σημαντικές μολύβδου, άνω του 1%. Στην ανάλυση στερεών φάσεων του δείγματος, φαίνεται πως ένα μέρος του μολύβδου είναι σε κρυσταλλική μορφή.

Εν συνεχεία, οι χημικές αναλύσεις των **ιχνοστοιχείων** των ιζημάτων, τα οποία προέκυψαν από την ανακύκλωση οθονών CRT (δείγμα **PH-1, TNK-2 και DR-3**), δείχνουν σημαντικό εμπλουτισμό σε Βάριο, σε ποσοστό >5%. Επίσης, υπάρχει εμπλουτισμός σε Sr (>3%, >2% και 3% αντίστοιχα), σχετικός εμπλουτισμός σε Ζιρκόνιο και Μόλυβδο, αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και στα δείγματα TNK-2 και DR-3 συγκεντρώσεις χρυσού. Όσον αφορά στις σπάνιες γαίες, αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις έχει μόνο το Ce.

Ο συνδυασμός ανάλυσης εικόνας στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και μικροανάλυσης σύστασης των δειγμάτων, οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα δείγματα οθονών CRT αποτελούνταν από τρεις κατηγορίες υάλου, το γυαλί σκούρου χρώματος, με συγκεντρώσεις BaO περίπου 10%, το διάφανο γυαλί, με συγκεντρώσεις PbO 25 - 30% και το ενδιάμεσου χρώματος, με συγκεντρώσεις BaO περίπου 16%. Όπως αναμενόταν, τόσο το Ba όσο και ο Pb είναι ενσωματωμένα στη δομή της υάλου, οπότε δεν διακρίνονται στις εικόνες του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.
- Τόσο στα ιζήματα από την μονάδα ανακύκλωσης οθονών CRT, όσο και από τη μονάδα ανακύκλωσης PV πάνελ, τα ανακτώμενα υλικά είναι ανάλογα των ρευμάτων της εισόδου. Τα ιζήματα που προκύπτουν από την ανακύκλωση οθονών CRT περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις θραυσμάτων υάλου, αλλά είναι, επίσης, εμπλουτισμένα από τα επιχρίσματα. Το ίζημα δεξαμενής είναι πιο πλούσιο σε ύαλο σε σχέση με το ίζημα από το κανάλι αποστράγγισης.

Συμπερασματικά, τα δείγματα των οθονών CRT παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον όσον αφορά στο Ba (CRT-1, CRT-3), Sr (CRT-1, CRT-3) και Pb (CRT-2). Σημαντικές, δε, είναι και οι συγκεντρώσεις Zr και Ce (CRT-1, CRT-3). Τα ιζήματα PH-Q, TNK-2, DR-3 και RT-4 παρουσιάζουν, επίσης, εξαιρετικό ενδιαφέρον ως προς το Ba, Sr και Pb. Επίσης, σημαντικές είναι οι συγκεντρώσεις Zr, Ce και Zn. Ενδιαφέρον, επίσης, φαίνεται να έχουν και οι συγκεντρώσεις Au.

5^ο Κεφάλαιο

Μελέτη διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

Στο πλαίσιο της επιστημονικής μελέτης περί της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών, αναζητήθηκαν δείγματα φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για την συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων φωτοβολταϊκών στοιχείων, επιλέχθηκαν δύο ελληνικές εταιρείες, οι οποίες δραστηριοποιούνται στον τομέα της παραγωγής φωτοβολταϊκών πλαισίων, η εταιρεία HelioSphera και η εταιρεία Exel Group.

5.1 Τύποι και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών

5.1.1 Φ/B HelioSphera

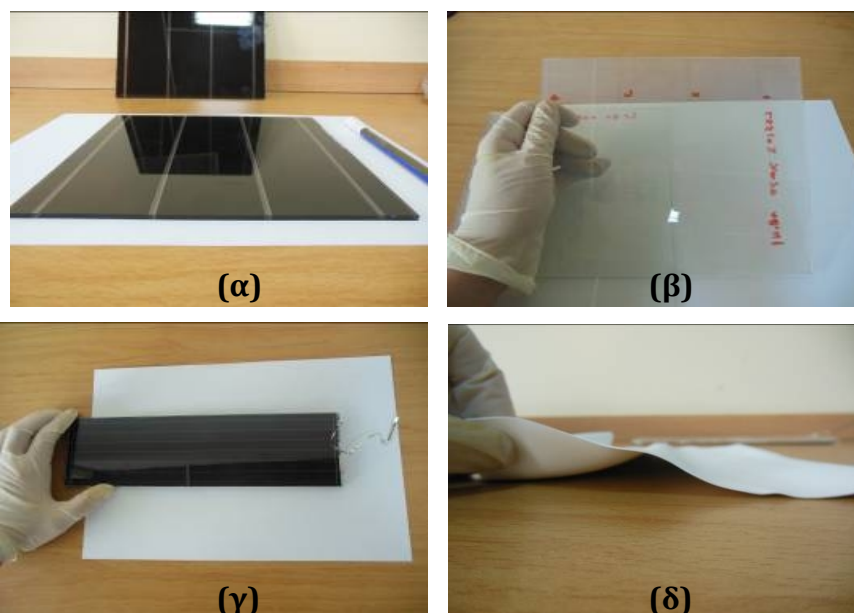
Η εταιρεία HelioSphera ειδικεύεται στην παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων τεχνολογίας λεπτών υμενίων (thin-film micromorph), με ωφέλιμη ισχύ παρόμοια με εκείνη των πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου. Κατά την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάνελ στην εν λόγω εταιρεία, βάσει της σχεδιάσής τους, όπως η υψηλότερη ωφέλιμη ισχύς υπό συνθήκες χαμηλού φωτισμού, η χαμηλότερη ευαισθησία στις αποκλίσεις από τη σωστή αζιμουθιακή γωνία κλίσης και ο χαμηλότερος συντελεστής θερμοκρασίας, καθίστανται κατάλληλα για χρήση, σε σημεία ή περιοχές όπου, παραδοσιακά, η χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων δεν θα ήταν εφικτή.

Σύμφωνα με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές, τα Φ/B της εταιρείας παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση σε μερικώς σκιασμένες επιφάνειες, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται υψηλότερη ωφέλιμη ισχύς, χρησιμοποιώντας μεθόδους χαμηλότερου κόστους, για την παραγωγή των πλαισίων λεπτών υμενίων. Στα κρυσταλλικά ηλιακά στοιχεία, η ενέργεια του φωτός απορροφάται μέσα σε ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα (περίπου 10μm), χρησιμοποιώντας, όμως, υλικό συνολικού πάχους περίπου 180μm.

Το στοιχείο λεπτών υμενίων, σε αντίθεση με την απλή άμορφη έκδοση, διαθέτει διπλή δομή, με ένα στρώμα άμορφου πυριτίου και ένα στρώμα μικροκρυσταλλικού πυριτίου. Τα αρχικά στάδια παραγωγής, η εναπόθεση του TCO στο γυαλί και η δημιουργία του άμορφου στρώματος του πάνω στοιχείου είναι παρόμοια με εκείνα της τεχνολογίας κατασκευής στοιχείων άμορφου πυριτίου. Στη συνέχεια, εναποτίθεται ένα δεύτερο στρώμα μικροκρυσταλλικού πυριτίου, μετά το στρώμα

άμορφου πυριτίου. Η επαφή στην πίσω πλευρά, η στρωματοποίηση και η τοποθέτηση του προστατευτικού γυάλινου καλύμματος γίνονται όπως στη συμβατική διαδικασία παραγωγής.

Στο πλαίσιο της παρούσας επιστημονικής μελέτης, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στο εργοστάσιο της εταιρείας HelioSphera, στην Τρίπολη. Το εργοστάσιο αυτό, το οποίο ξεκίνησε την παραγωγή του τον Σεπτέμβριο του 2009, έχει ως αντικείμενο την παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ τεχνολογίας Micromorph, εφαρμόζοντας υψηλά πρότυπα ποιοτικού ελέγχου.



Σχήμα 5.1. (α) Δείγμα PANEL-HS-17, (β) δείγμα PANEL-HS-5, (γ) δείγμα φωτοβολταϊκού πάνελ, όπου φαίνονται τα καλώδια τροφοδοσίας και (δ) Δείγμα PANEL-HS-24, εσωτερική λευκή μεμβράνη

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία, συνολικά, 24ων δειγμάτων φωτοβολταϊκών πάνελ. Στον Πίνακα 5.1. φαίνεται αναλυτικά το είδος του κάθε δείγματος.

Πίνακας 5.1. Κωδικοί και περιγραφή δειγμάτων της εταιρείας HelioSphera

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
PANEL-HS-1	Γυαλί
PANEL-HS-2	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-3	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-4	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-5	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-6	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-7	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-8	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-9	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-10	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-11	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-12	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-13	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-14	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-15	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-16	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-17	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-18	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-19	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-20	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-21	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-22	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-23	καλώδιο για το ρεύμα
PANEL-HS-24	εσωτερική λευκή μεμβράνη

5.1.2 Φ/B Exel Group

Η εταιρεία Exel Group εξειδικεύεται στην κατασκευή πολυκρυσταλλικών και μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πλαισίων (πολυκρυσταλλικό και μονοκρυσταλλικό πυρίτιο). Τα δείγματα που ελήφθησαν αντιστοιχούν σε σχεδιασμό πλαισίου, με χρήση πολυκρυσταλλικών κυψελών 2 ή 3ων αγωγών (bus-bar). Επίσης, είναι κατασκευασμένα από ειδικό γυαλί (πάχους 3,2mm), σκληρυμένο για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο, υψηλούς συντελεστές διαπερατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, για μεγαλύτερη απόδοση και πιστοποίηση προϊόντος, για αντοχή σε συνθήκες αλατονέφωσης, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61701 από την KIWA.

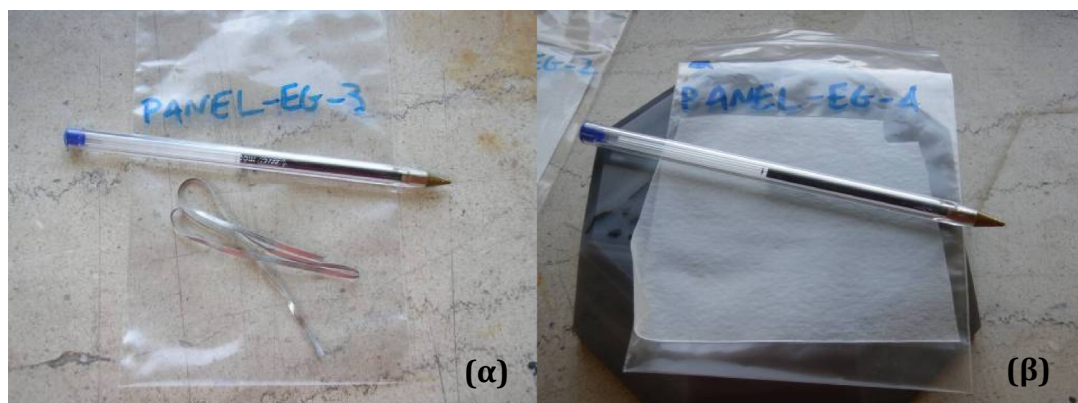
Πιο συγκεκριμένα, από την εταιρεία ελήφθησαν, συνολικά, 4 δείγματα φωτοβολταϊκών. Στον Πίνακα 5.2. φαίνεται αναλυτικά το είδος του κάθε δείγματος.

Πίνακας 5.2. Κωδικοί και περιγραφή δειγμάτων της εταιρείας Exel Group

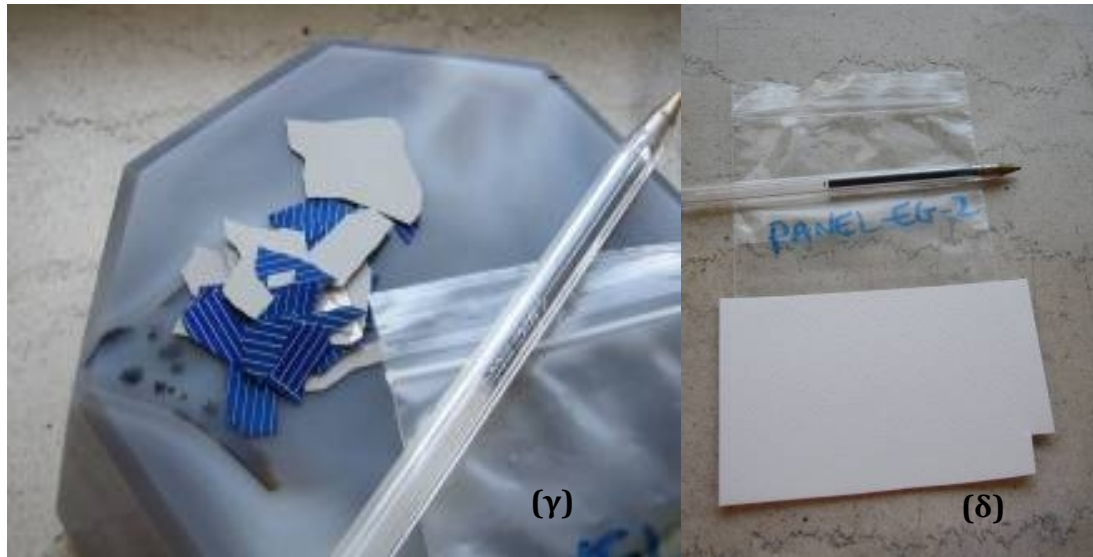
A/A ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
PANEL-EG-1	πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (κεραμικό υλικό)
PANEL-EG-2	πλαστικό EVA
PANEL-EG-3	σύρμα
PANEL-EG-4	πλαστικό από πολυαμίδιο

Το δείγμα PANEL-EG-1 είναι γυαλί απεμπλουτισμένο σε σίδηρο, καθώς το οξείδιο του σιδήρου απορροφά μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Το δείγμα PANEL-EG-2 είναι πλαστικό EVA, το οποίο «πλαστικοποιεί» τα φύλλα του πυριτίου και δρα ως συγκολλητής. το δείγμα PANEL-EG-3 είναι σύρμα, το οποίο χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις μικροκυψέλες και αποτελείται από επικασσιτερωμένο χαλκό. Τέλος, το δείγμα PANEL-EG-4 είναι πλαστικό, το οποίο χρησιμοποιείται για να καλύψει το πίσω μέρος των φωτοβολταϊκών πάνελ και αποτελείται από πολυαμίδιο.

Κατόπιν, ακολουθήθηκαν οι κατάλληλες διαδικασίες για την προετοιμασία των δειγμάτων προς ανάλυση.



Σχήμα 5.2. (α) δείγμα PANEL-EG-3 μεταλλικό σύρμα – αγωγός, (β) δείγμα PANEL-EG-4 πλαστικό από πολυαμίδιο, (γ) δείγμα PANEL-EG-1 (πολυκρυσταλλικό πυρίτιο) και (δ) δείγμα PANEL-EG-2 πλαστικό EVA



Σχήμα 5.2. (Συνέχεια ...)

5.2 Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης

Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρείας "ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ – ΧΥΤΗΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε."

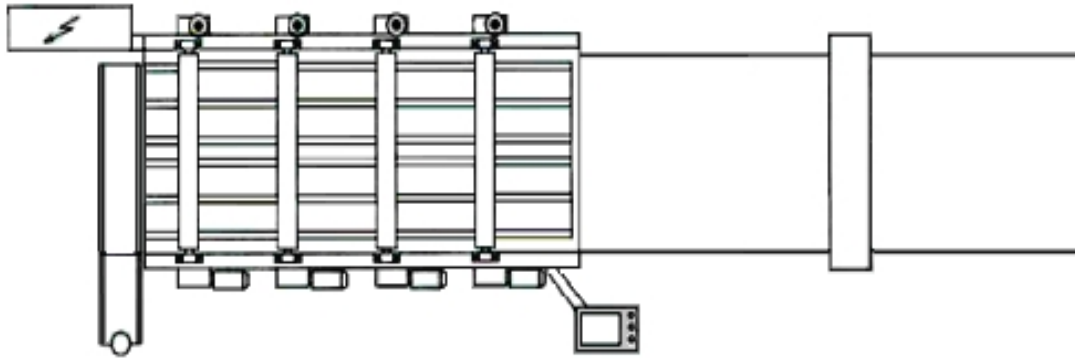
5.2.1 Γραμμή παραγωγής αφαίρεσης υάλου από Φ/Β πλαίσιο

Η γραμμή παραγωγής αφαίρεσης υάλου από Φ/Β πάνελ αποτελείται, κατά βάση, από κατασκευή της Compton, μοντέλο Solar Glass ML (21kW, 400V, 50Hz). Σύμφωνα με στοιχεία της οργανωτικής και παραγωγικής λειτουργίας της επιχείρησης "ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ – ΧΥΤΗΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε.", αποτελείται από:

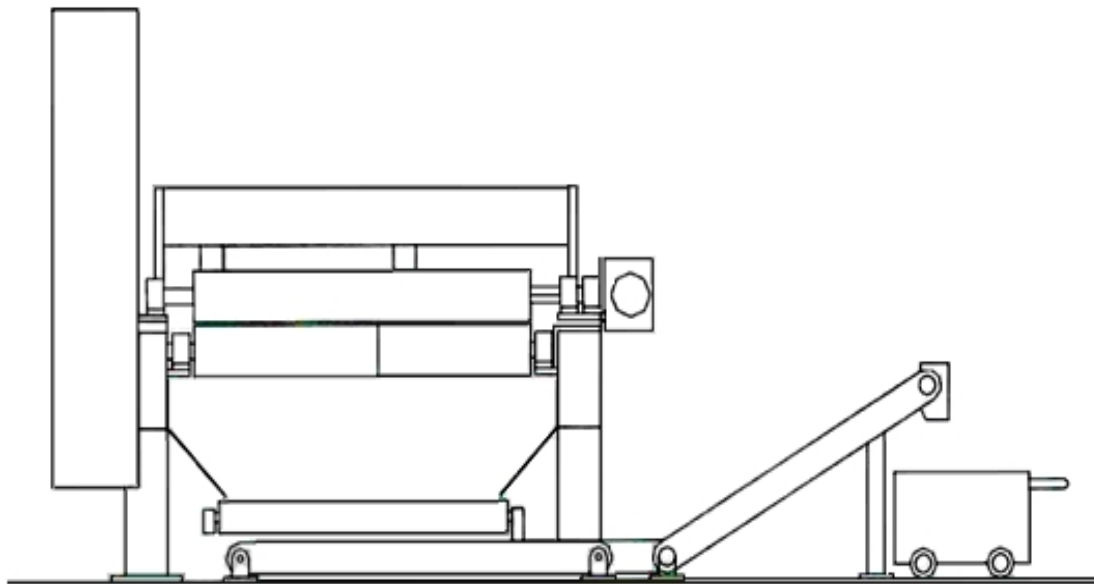
- δύο τραπέζια εξωτερικά, ανάμεσα στα οποία παρεμβάλλεται ένα μηχάνημα κοπής,
- έναν εσωτερικό απομονωμένο χώρο, στον οποίο υπάρχει σειρά από 6 κυλίνδρους, τοποθετημένους ανά τριάδες, αντικριστά,
- σύστημα ταινιόδρομου, που καλύπτει όλο το μήκος του μηχανήματος και είναι τοποθετημένο κάτω από τους κυλίνδρους,
- συστήματα πλαστικών μάντων και ραούλων, σε θέσεις ενδιάμεσα στους κυλίνδρους.
- έναν μάντα μεταφοράς υλικού, κάθετα τοποθετημένο στον ταινιόδρομο, στο στόμιο της εξόδου και

- έναν δεύτερο κλιμακωτό ιμάντα συνδεδεμένο με τον ανωτέρω, που μεταφέρει το γυαλί σε ένα συλλέκτη (big bag).

Τα Σχήματα 5.3α. και 5.3β. παρουσιάζουν τα σχεδιαγράμματα άνοψης και οπίσθιας όψης της χρησιμοποιούμενης γραμμής παραγωγής, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.3α. Σχεδιάγραμμα άνοψης Solar Glass ML



Σχήμα 5.3β. Σχεδιάγραμμα οπίσθιας όψης Solar Glass ML, με απεικόνιση συλλέκτη

Το Σχήμα 5.4. απεικονίζει τα διάφορα τμήματα της εγκατεστημένης γραμμής παραγωγής.



Εξωτερική τράπεζα.



Μηχάνημα κοπής (με δίσκο).



Εσωτερική τράπεζα και είσοδος των τεμαχίων στο μηχάνημα θραύσης του γυαλιού.



Στόμιο εισόδου στο μηχάνημα θραύσης του γυαλιού.



Στόμιο εξόδου των πλαστικών μερών των φωτοβολταϊκών πέλδων.



Ταινιοδρόμος μεταφοράς του γυαλιού σε συλλογέα.



Ταινιοδρόμος μεταφοράς και φόρτωσης του γυαλιού σε συλλογέα (μπικ μπραγκ)



Το πίσω μέρος του συλλογέα



Ο πίνακας ελέγχου και ρυθμίσεων.

Σχήμα 5.4. Πραγματική απεικόνιση των επιμέρους τμημάτων της γραμμής παραγωγής Solar Glass ML

5.2.2 Διαδικασία αποσυναρμολόγησης πλαισίου

Αρχικά, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (πάνελ) τοποθετείται στην εξωτερική τράπεζα, ανεστραμμένο και του αφαιρούνται χειρωνακτικά τα σύρματα που διοχετεύουν το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Στη συνέχεια, το πάνελ τοποθετείται στο στόμιο του μηχανήματος κοπής. Ο μηχανισμός κοπής φέρει ένα γρανάζι, που μετακινεί το πάνελ στο εσωτερικό του μηχανήματος, το οποίο αποτελείται από έναν οριζόντιο άξονα, στη μέση του οποίου είναι τοποθετημένος ένας κοπτικός δίσκος, ο οποίος πραγματοποιεί και την κοπή. Το πάνελ εξέρχεται από την άλλη μεριά του μηχανήματος κοπής, κομμένο στα δύο. Έπειτα, το ένα από τα δύο κομμάτια τοποθετείται στην αρχή του στομίου του κυρίως μηχανήματος και οι κύλινδροι τίθενται σε λειτουργία.

Ένα σύστημα από διαδοχικούς κινούμενους ιμάντες και ράουλα μετακινεί το πάνελ από κύλινδρο σε κύλινδρο, ώστε να θραυστεί και να διαχωριστεί το γυαλί από το πλαστικό κομμάτι του φωτοβολταϊκού και να μεταφερθεί στην έξοδο του μηχανήματος, με το μεγαλύτερο μέρος του γυαλιού να έχει αφαιρεθεί από το πάνελ.

Το γυαλί που θραύεται, μεταφέρεται στην έξοδο με έναν κινούμενο ταινιόδρομο, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε όλο το μήκος του μηχανήματος και κάτω από τους κυλίνδρους, για να συλλέγει το θρυμματισμένο γυαλί. Ο ταινιόδρομος καταλήγει στην έξοδο, όπου εκεί, το γυαλί, σε μορφή σκόνης πλέον, μεταφορτώνεται σε έναν δεύτερο ιμάντα, κάθετο στον πρώτο.

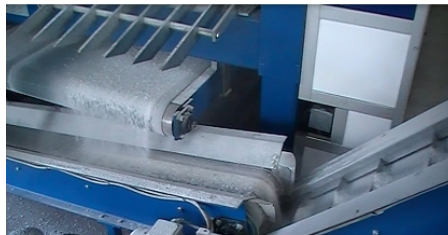
Στο χώρο αποσυναρμολόγησης των πάνελ, υπάρχει φορητός απορροφητήρας για εισρόφηση της σκόνης υάλου, που παράγεται κατά την θραύση του γυαλιού, μέσω του οποίου καταλήγει σε σακκόφιλτρο. Επάνω απ' αυτά, υπάρχει μια εσχάρα, πάνω στην οποία καταλήγει το φωτοβολταϊκό πάνελ, απαλλαγμένο από το γυαλί του και τυλιγμένο σε μορφή ρολού. Συνοπτικά, η διαδικασία αποσυναρμολόγησης εμφανίζεται στο Σχήμα 5.5.



Στη συνέχεια το πάνελ τοποθετείται στο στάδιο του μηχανήματος κοπής



Στη συνέχεια το ένα από τα δύο κομμάτια τοποθετείται στην αρχή του στομίου του κυρίως μηχανήματος και οι κύλινδροι τίθενται σε λειτουργία.



Επάνω από α αυτά υπάρχει μια εσχάρα πάνω στην οποία κατλήγει το φωτοβολταϊκό πάνελ απαλλαγμένο από το γυαλί του συστρεμμένο και τυλιγμένο σε μορφή ρολό.



Πυρίτιο και πλαστικό αδιαχώριστα, όπως εξάγονται από τα ρόουλα.

Σχήμα 5.5. Φάσεις αποσυναρμολόγησης φωτοβολταϊκού πλαισίου

5.2.3 Ζύγιση

Η ζύγιση των πρώτων υλών και των προϊόντων πραγματοποιείται στις δύο διακριβωμένες γεφυροπλάστιγγες (12 και 20 τόνων). Η ζύγιση των πρώτων υλών (κατεστραμμένα φωτοβολταϊκά πάνελ), όσο και των προϊόντων μπορεί να πραγματοποιηθεί επί των οχημάτων μεταφοράς τους, με δυο διαδοχικές ζυγίσεις. Μπορεί, επίσης, να πραγματοποιηθεί με την μεταφορά αυτούσιων των ποσοτήτων σε μπικ μπαγκ, με την βοήθεια περνοφόρων οχημάτων ή ακόμη και των αρπαγών που διαθέτει η εταιρεία, με μια ζύγιση.

5.2.4 Ανακτώμενα προϊόντα

Τα προϊόντα που παράγονται είναι στερεά, σε μεγάλα τεμάχια, ελαφριά και εύκολα στον χειρισμό τους. Το γυαλί που παράγεται είναι υψηλής καθαρότητας και αποτελείται από στρογγυλεμένα σωματίδια σκόνης, ελαφρώς αιχμηρά.

Η ικανότητα διαχείρισης μάζας της μηχανής που έχει εγκατασταθεί ανέρχεται στους 1,2 τόνους Φ/Β πάνελ ανά 8 ώρες, ή περίπου 156kg/ώρα, υπό

τον όρο ότι η λειτουργία της μηχανής πραγματοποιείται από έναν (1) εργαζόμενο.

Μετά την αποσυναρμολόγηση παράγονται:

- Αγωγήμα σύρματα κραμάτων χαλκού
- Θραύσματα υάλου
- Σκόνη υάλου
- Ρολό πάνελ – Πυρίτιο με πλαστικό.

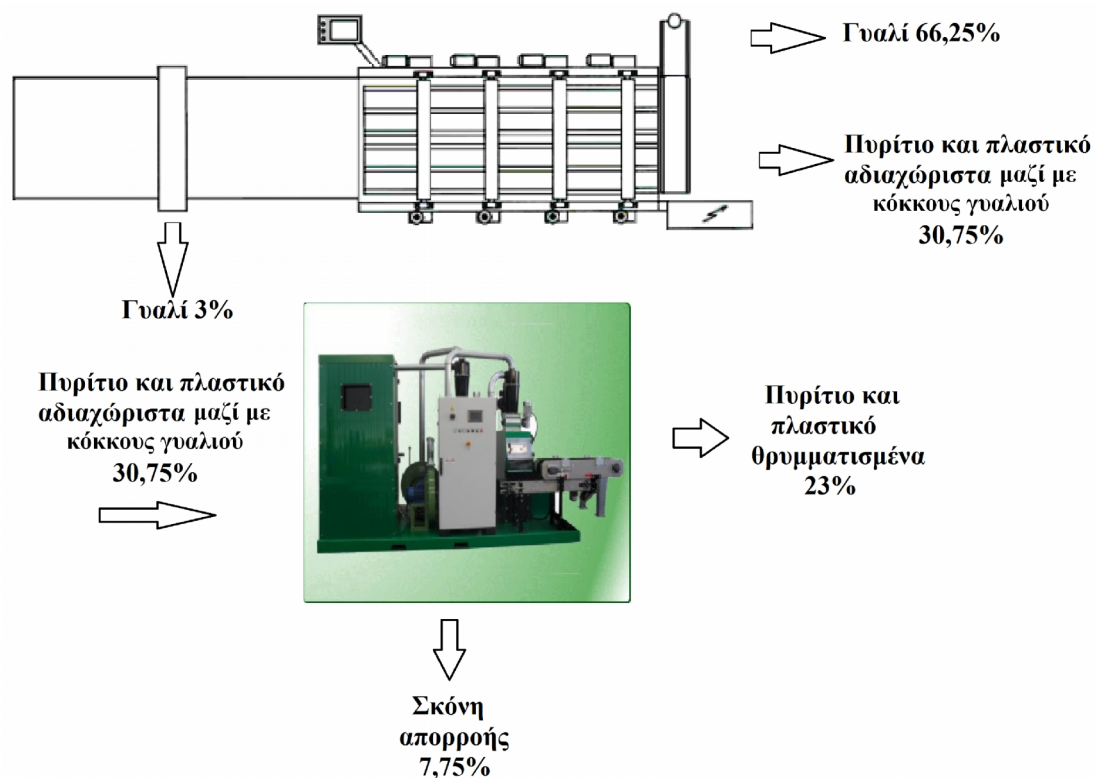
Τα κράματα χαλκού και τα θραύσματα υάλου, τοποθετούνται μαζί με τις υπόλοιπες υάλους, τα μεταλλεύματα και τα λοιπά υλικά και ακολουθούν τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Η σκόνη υάλου τοποθετείται στη μηχανή άλεσης, μαζί με τις πλακέτες.

Τα ρολά πάνελ πωλούνται σε εγκαταστάσεις προς περαιτέρω επεξεργασία και μέρος της ποσότητας κρατείται στην εταιρεία για έρευνα, σχετικά με την διαδικασία ανακύκλωσης του ρολού πάνελ, μέσω άλεσης και περαιτέρω διαχωρισμού.

5.2.5 Άλεση και διαχωρισμός

Ο διαχωρισμός του πυριτίου και των πλαστικών σε ρολά πραγματοποιείται με άλεση, μέσω μιας ακολουθίας από κυλινδρικούς τεμαχιστές και μύλους, προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστος διαχωρισμός του πυριτίου και του πλαστικού από τα υπολείμματα του γυαλιού και να περιέλθουν σε μια μορφή που είναι εύκολα διαχωρίσιμη.

Ο κυλινδρικός – τεμαχιστής κόβει τα ρολά σε μικρότερα κομμάτια και, διαδοχικά, περνούν μέσα από ένα περιστροφικό θραυστήρα και ένα σφυρόμυλο, που ακολουθείται από ένα δονούμενο κόσκινο. Τα εναπομείναντα σωματίδια γυαλιού αφαιρούνται από τα φωτοβολταϊκά ρολά και μεταφέρονται στο συλλέκτη σκόνης. Το πυρίτιο και το πλαστικό που συλλέγονται, στην έξοδο της ακολουθίας των μύλων και τεμαχιστών, είναι σε μικρά κομμάτια. Το Σχήμα 5.6. αποτυπώνει το διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας.



Σχήμα 5.6. Διάγραμμα εισροών-εκροών της διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών συσκευών με ποσοστά εκπεφρασμένα σε % κατά βάρος

Τα δείγματα, προς ανάλυση και χαρακτηρισμό, που συλλέχθηκαν από τη συγκεκριμένη γραμμή είναι:

Πίνακας 5.3. Δείγματα προερχόμενα από τη γραμμή παραγωγής ανακύκλωσης Φ/Β συστημάτων και περιγραφή τους

A/A ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
REC-1	Τρίμμα υάλου - Δείγμα από μηχάνημα διαχωρισμού των Φ/Β
REC-2	Τρίμμα απορροής - Δείγμα από μηχάνημα διαχωρισμού των
REC-3	Τρίμμα συλλογής - Δείγμα από μηχάνημα διαχωρισμού των

Συνοψίζοντας, διαμορφώνεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός Πίνακας 5.4., με τα συνολικά 41 δείγματα, τα οποία ελήφθησαν για τις ανάγκες της παρούσας επιστημονικής έρευνας.

Πίνακας 5.4. Συγκεντρωτικός πίνακας δειγμάτων

A/A	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΕΙΔΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
PANEL-HS-1	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί
PANEL-HS-2	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-3	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-4	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-5	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-6	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-7	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-8	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-9	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-10	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί μαύρο
PANEL-HS-11	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-12	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-13	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-14	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-15	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-16	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-17	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-18	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-19	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-20	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-21	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-22	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	γυαλί άσπρο
PANEL-HS-23	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	καλώδιο για το ρεύμα
PANEL-HS-24	HelioSphera	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	εσωτερική λευκή μεμβράνη
PANEL-EG-1	Exel Group	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (κεραμικό υλικό)
PANEL-EG-2	Exel Group	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	πλαστικό EVA
PANEL-EG-3	Exel Group	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	πλαστικό από πολυαμίδιο
PANEL-EG-4	Exel Group	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	σύρμα

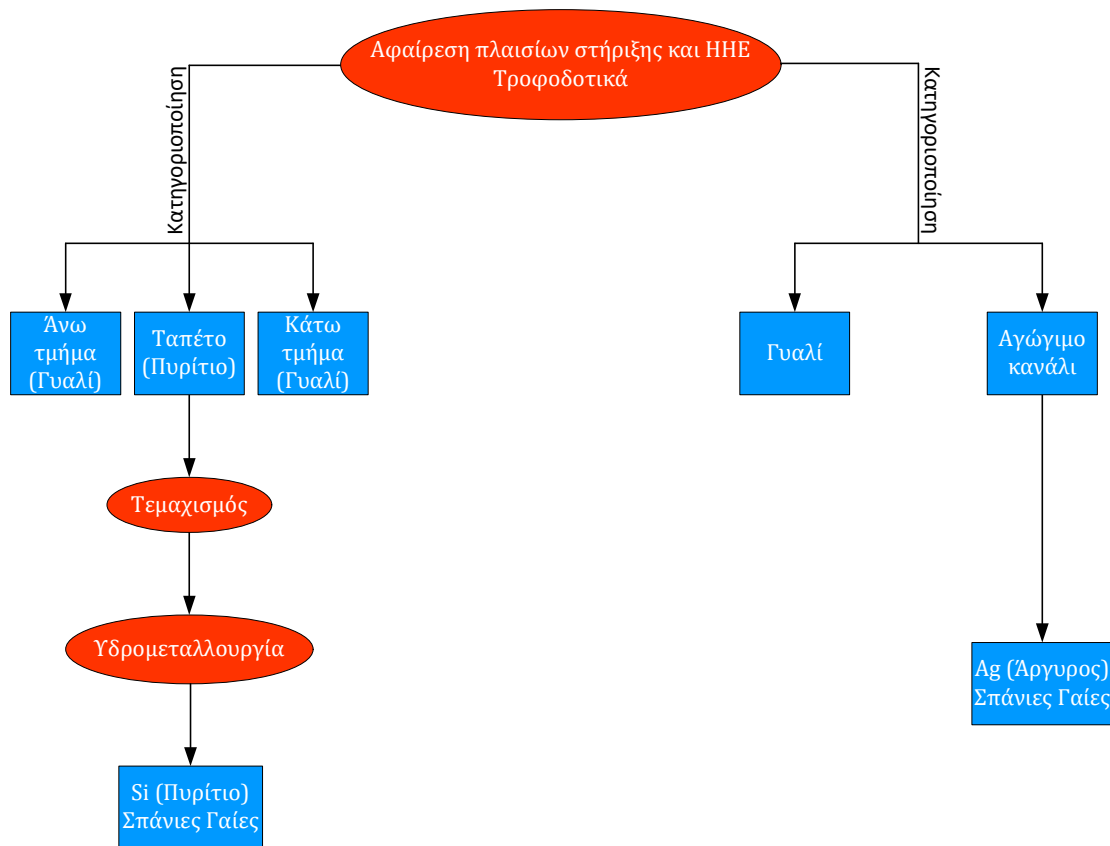
Πίνακας 5.4. (Συνέχεια...)

A/A	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΕΙΔΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
REC-1	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	Τρίμμα υάλου - Δείγμα από μηχανήμα διαχωρισμού των Φ/Β
REC-2	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	Τρίμμα απορροής - Δείγμα από μηχανήμα διαχωρισμού των Φ/Β
REC-3	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	Τρίμμα συλλογής - Δείγμα από μηχανήμα διαχωρισμού των Φ/Β

Στο Σχήμα 5.7. παρουσιάζεται η παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης των Φ/Β πλασίων. Το σημαντικότερο προϊόν που προκύπτει από την διαδικασία της ανακύκλωσής τους είναι το γυαλί υψηλής ποιότητας (χαμηλής, προς το παρόν, αξίας). Σημαντικό, επίσης, μπορεί να θεωρηθεί και το περιεχόμενο σε πυρίτιο και σπάνιες γαίες που όπως φαίνεται μπορούν να οδηγηθούν σε υδρομεταλλουργική ανάκτηση.

Τα δείγματα για την πραγματοποίηση της έρευνας προκύπτουν από τα υποπροϊόντα και τις αστοχίες της παραγωγής, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ακόμα ικανές ποσότητες προς απόσυρση για ανακύκλωση.

Τα παραπάνω καθιστούν την παραγωγική διαδικασία μη βιώσιμη, αφού, αφ' ενός, δεν έχει αρχίσει ακόμα η επιδότηση της ανακύκλωσής τους, αλλά και τα προϊόντα δεν έχουν αγοραστική διέξοδο.



Σχήμα 5.7. Παραγωγική διαδικασία ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών πλαισίων

5.3 Ηλεκτρονική μικροσκοπία και ανάλυση στερεών φάσεων

5.3.1 Ποιοτική ανάλυση στερεών φάσεων των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Η περίθλαση ακτίνων-X επιτρέπει τον προσδιορισμό της δομής και της σύστασης του δείγματος, το οποίο μπορεί να περιέχει περισσότερες από μία κρυσταλλικές ενώσεις. Μελετώνται στερεά, οιασδήποτε χημικής φύσης, όπως απλές και σύνθετες χημικές ενώσεις, κράματα μετάλλων και ορυκτά, οργανικά μόρια και άλλα.

Η ανάλυση στερεών φάσεων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με περιθλασίμετρο ακτίνων - X (XRD, Siemens 5005). Η αποτίμηση των ακτινοδιαγραμμάτων που προκύπτουν γίνεται με τη χρήση του προγράμματος Evn 10.0, που ανήκει στο πακέτο *diffac^{plus}* της Siemens, σε περιβάλλον Windows.

Ο κατάλογος των συντομογραφιών, που χρησιμοποιούνται στα αποτελέσματα των αναλύσεων, παρατίθεται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5. Κατάλογος συντομογραφιών

GL/PH	Glass Amorphous Phase
Si	Silicon (Si)
Cls	Celestine (SrSO ₄)
Mg-Phs	Magnesium Hydrogen Phosphate (Mg(H ₂ PO ₄) ₂)
SiLeadOxChl	Silver Lead Oxide Chloride (AgPb ₄ O ₄ Cl)
SiBorSlf	Silver Boron Sulfide (Ag ₅ BS ₄)
Major minerals	MJ
Medium minerals content	MD
Trace or minor minerals	TR

Από τη δειγματοληψία των φωτοβολταϊκών συστημάτων, επελέγησαν 18 αντιπροσωπευτικά δείγματα, τα οποία είναι τα εξής: PANEL-HS-1, PANEL-HS-2, PANEL-HS-3, PANEL-HS-4, PANEL-HS-5, PANEL-HS-6, PANEL-HS-7, PANEL-HS-8, PANEL-HS-9, PANEL-HS-10, PANEL-HS-11, PANEL-HS-12, PANEL-HS-13, PANEL-HS-14, PANEL-HS-16, PANEL-HS-17 και PANEL-EG-1. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στερεών φάσεων των 18 δειγμάτων φωτοβολταϊκών πάνελ παρατίθενται στον Πίνακα 5.6.

Όπως φαίνεται από την αποτίμηση των ακτινοδιαγραμμάτων XRD, η κύρια φάση, στα 17 δείγματα της εταιρείας HelioSphera, είναι η άμορφη ύαλος, σε αντίθεση με το δείγμα PANEL-EG-1, όπου η κύρια φάση είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο.

Τα ακτινοδιαγράμματα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X βρίσκονται στην Παράγραφο 5.5.

Πίνακας 5.6. Αποτελέσματα αναλύσεων στερεών φάσεων των δειγμάτων Φ/Β πάνελ

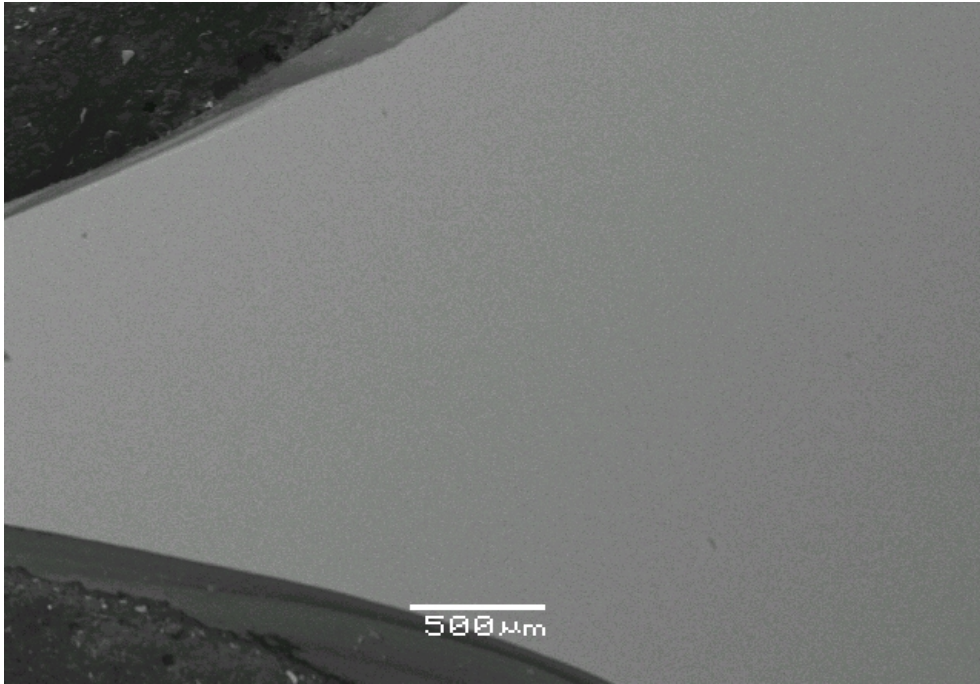
Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ		ΣΥΣΤΑΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ				
PANEL-HS-1	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-2	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-3	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-4	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-5	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-6	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-7	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-8	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-9	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-10	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-11	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-12	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-13	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-14	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-15	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-16	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-HS-17	GL/PH ^{MJ}	-	-	-	-	
PANEL-EG-1	Si ^{MJ}	Cl ^{sTR}	Mg-Phs ^{TR}	SiLeadOxC	SiBorSif ^{TR}	

5.3.2 Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM - Scanning Electron Microscopy)

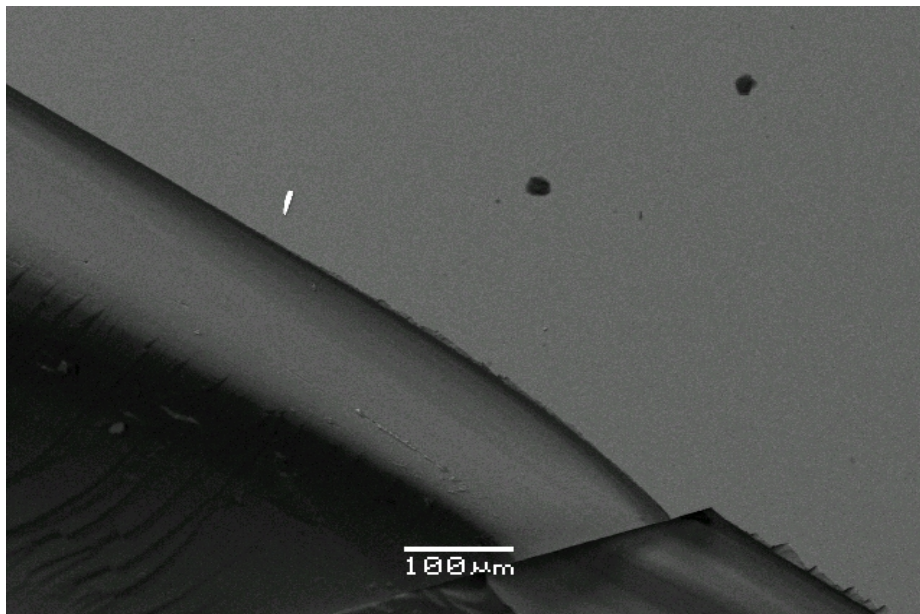
Στην ανάλυση αυτή, χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο JEOL JSM-5600, του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Παρακάτω παρουσιάζονται μικροφωτογραφίες, που αφορούν δείγματα από τα εξεταζόμενα φωτοβολταϊκά των εταιρειών HelioSphera και Exel Group, στα Σχήματα 5.8.-5.13.

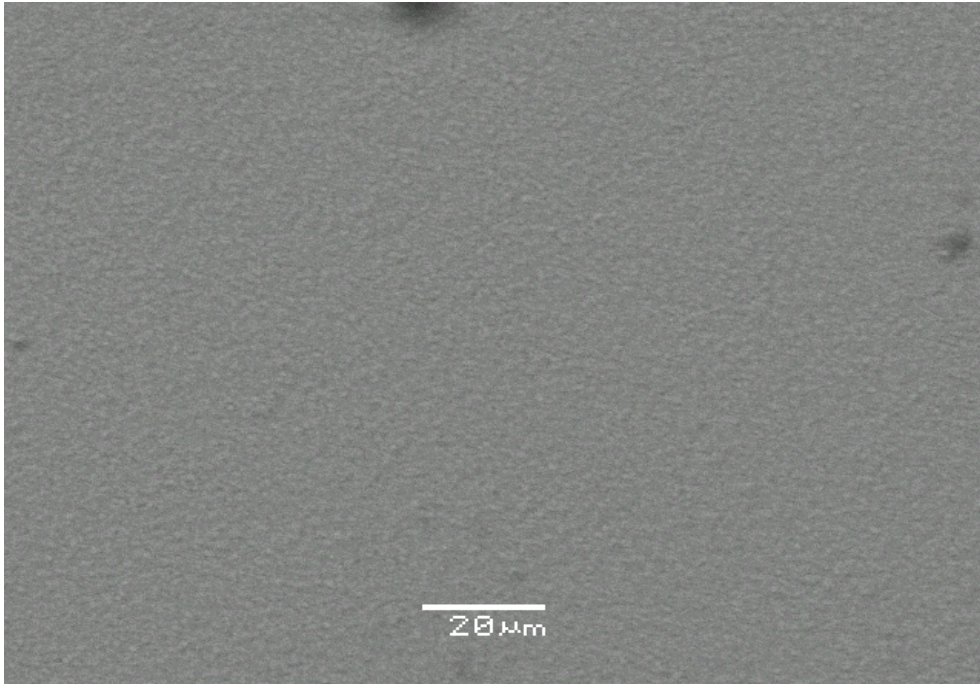
Ακολούθως, στις μικροφωτογραφίες των Σχημάτων 5.14.-5.59., παρουσιάζονται δείγματα, που αφορούν στα ανακτώμενα υλικά της εταιρείας ANAKYKΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε..



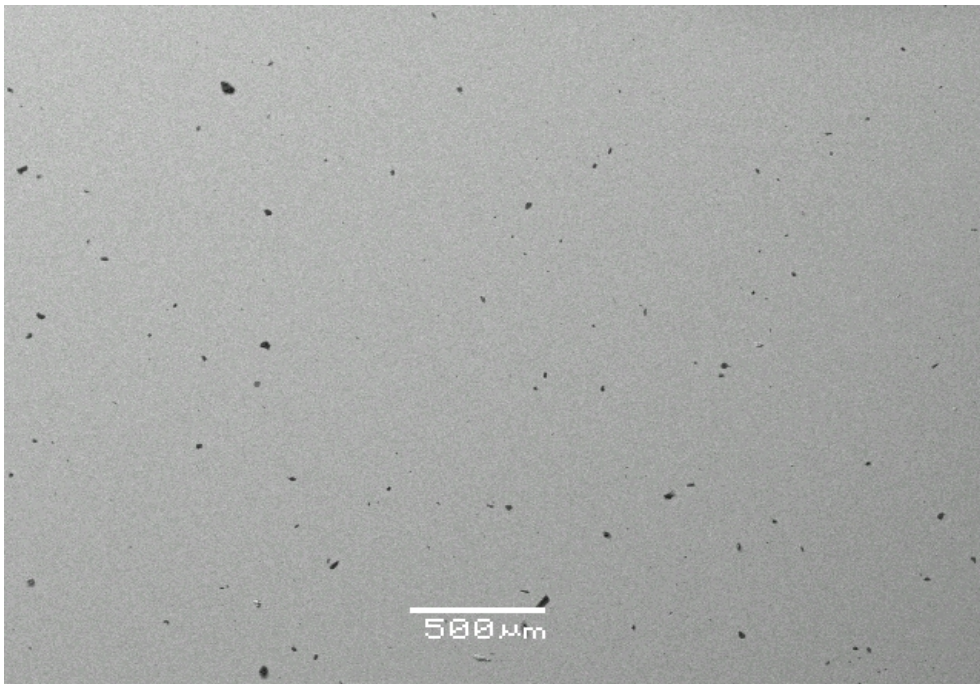
Σχήμα 5.8. Δείγμα PANEL-HS-1 (γυαλί)



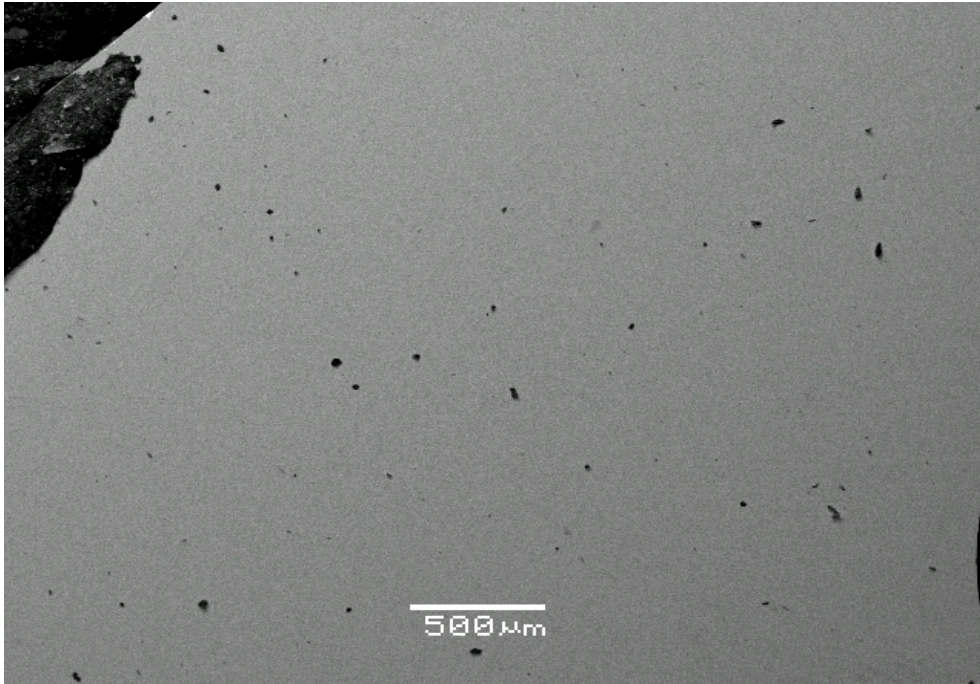
Σχήμα 5.9. Δείγμα PANEL-HS-2 (γυαλί με μαύρη επίστρωση)



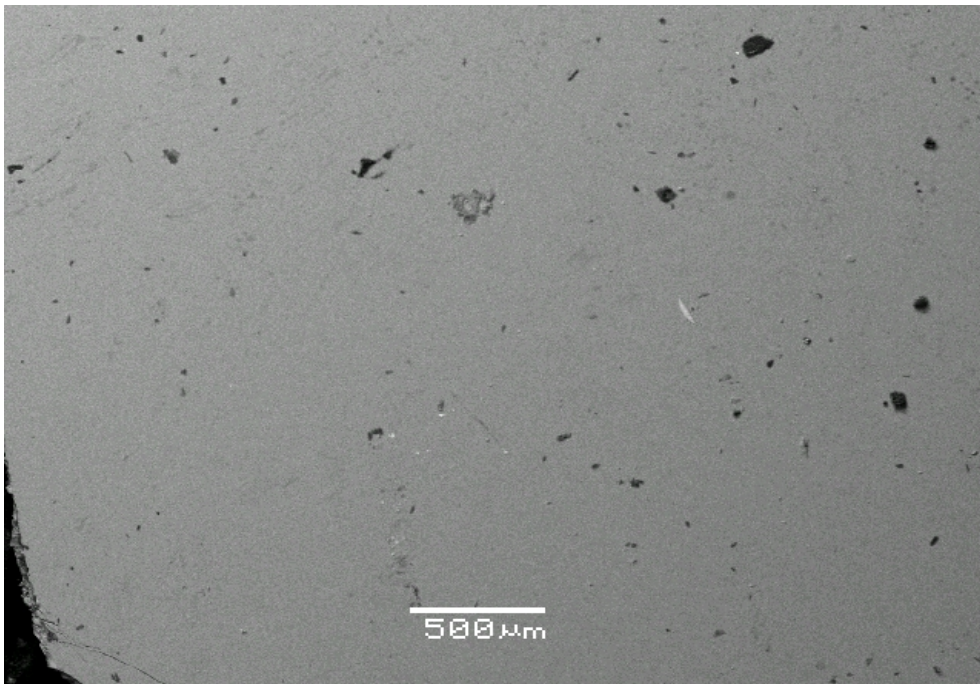
Σχήμα 5.10. Δείγμα PANEL-HS-2 (επιφάνεια επίστρωσης)



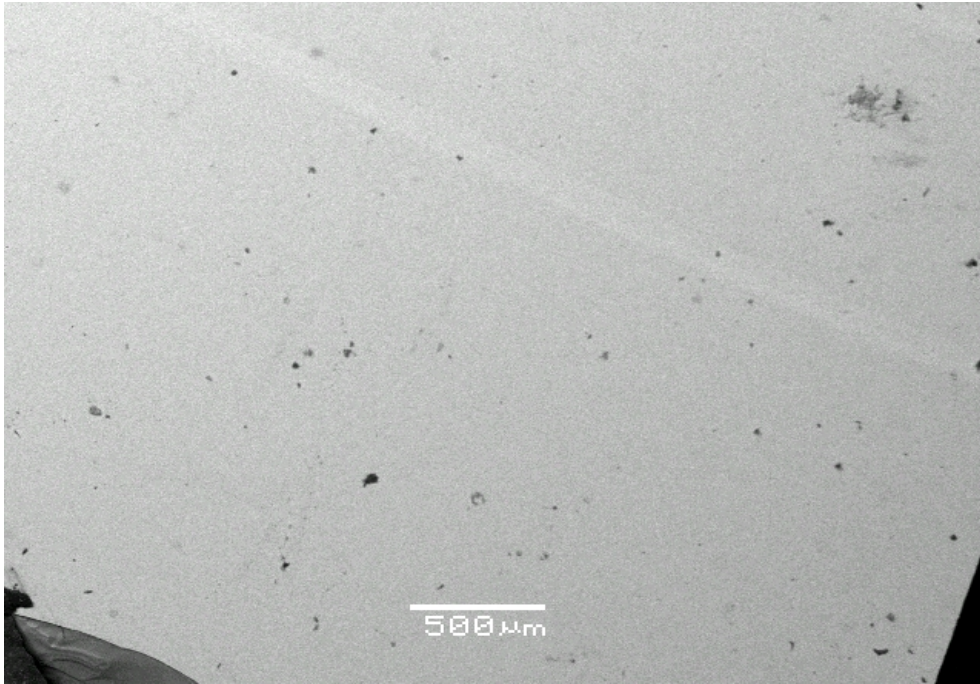
Σχήμα 5.11. Δείγμα PANEL-HS-3 (γυαλί)



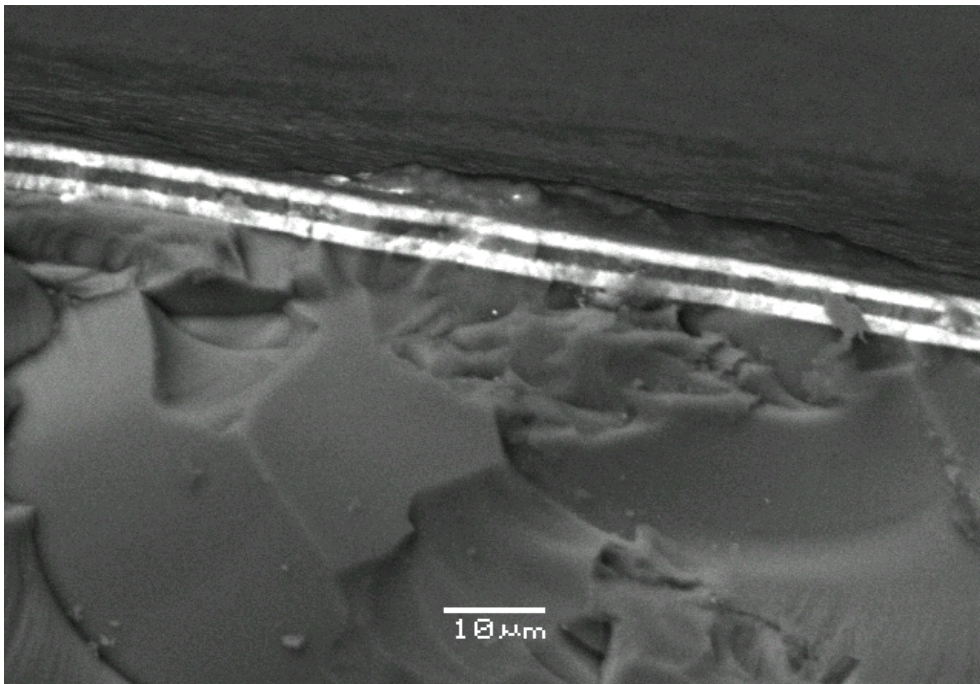
Σχήμα 5.12. Δείγμα PANEL-HS-3 (επιφάνεια επίστρωσης)



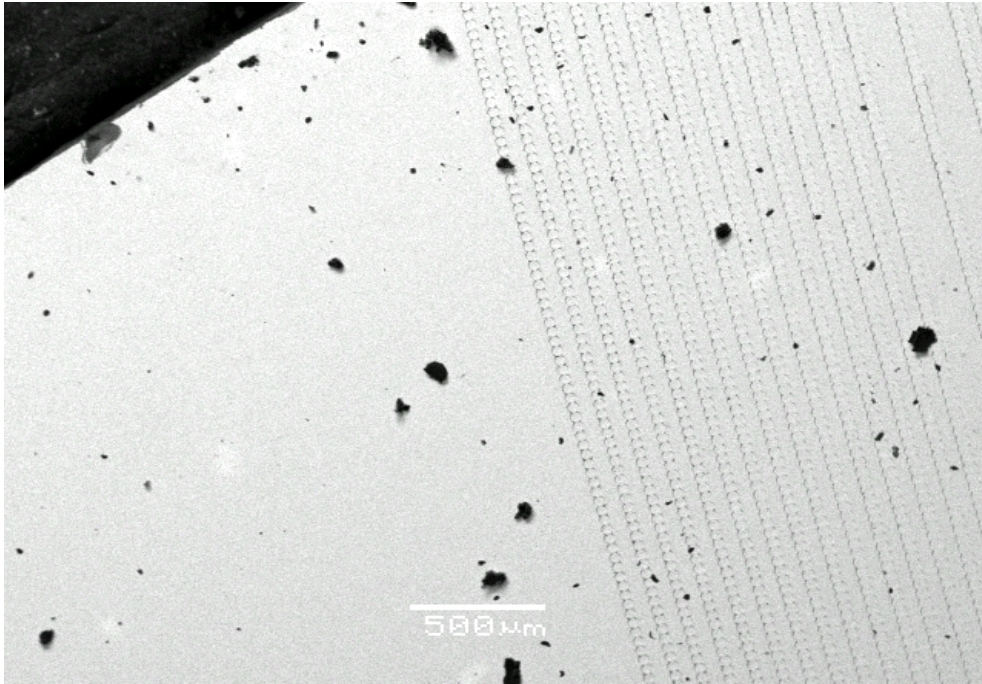
Σχήμα 5.13. Δείγμα PANEL-HS-4 (γυαλί)



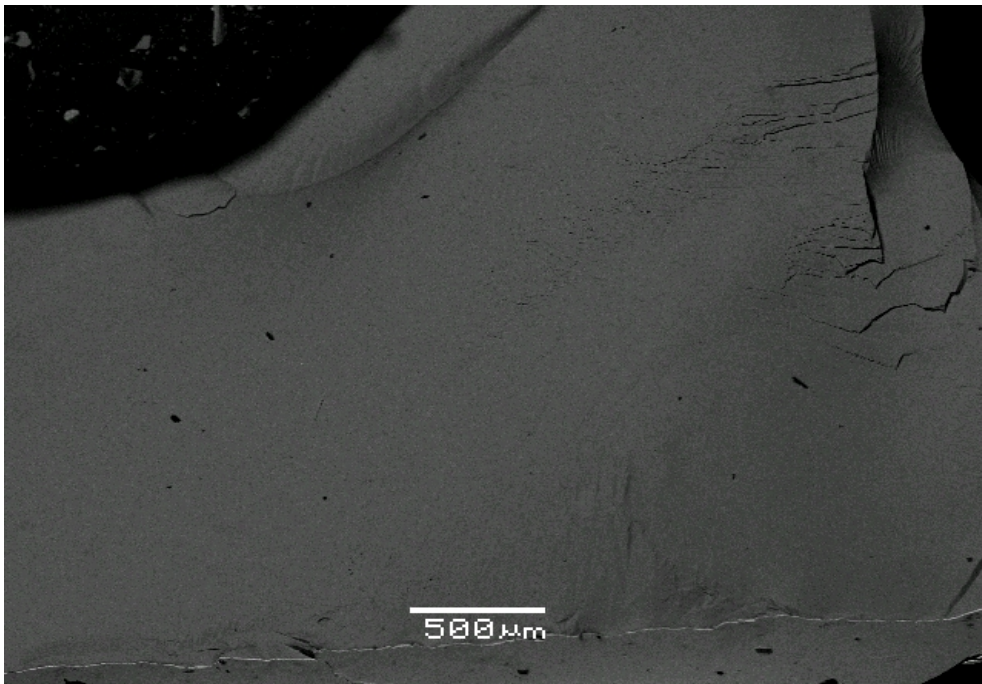
Σχήμα 5.14. Δείγμα PANEL-HS-4 (επιφάνεια επίστρωσης)



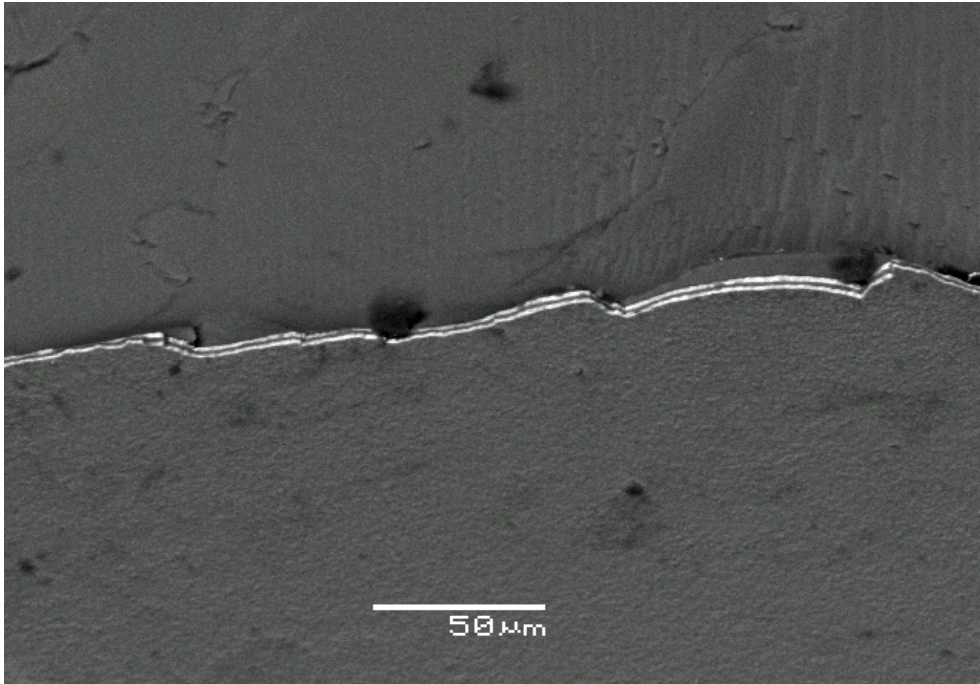
Σχήμα 5.15. Δείγμα PANEL-HS-5 (γυαλί και επίστρωση σε εγκάρσια τομή)



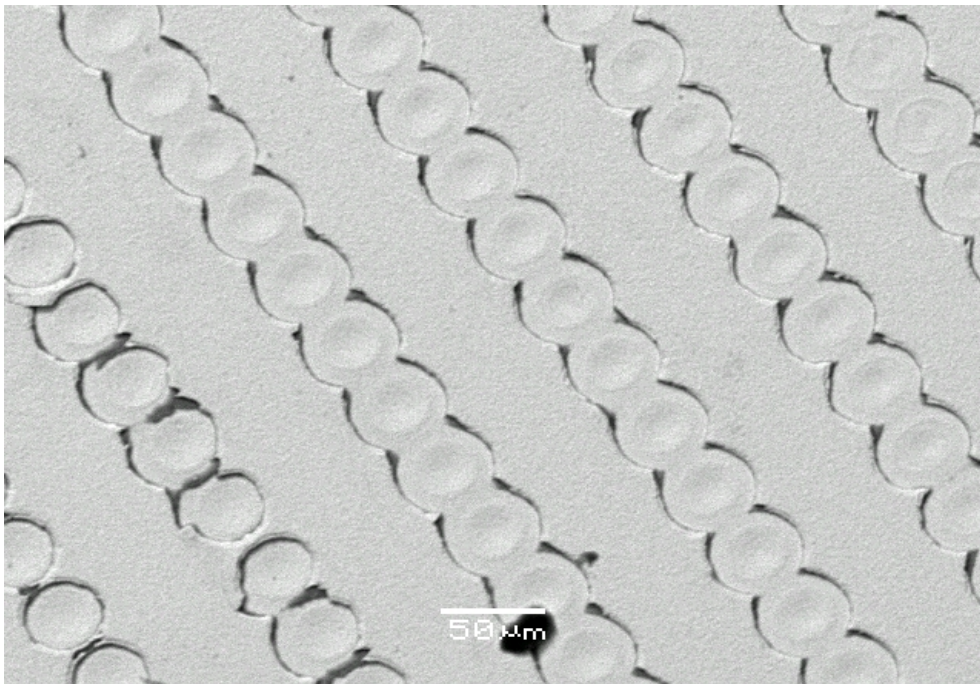
Σχήμα 5.16. Δείγμα PANEL-HS-5 (επιφάνεια επίστρωσης)



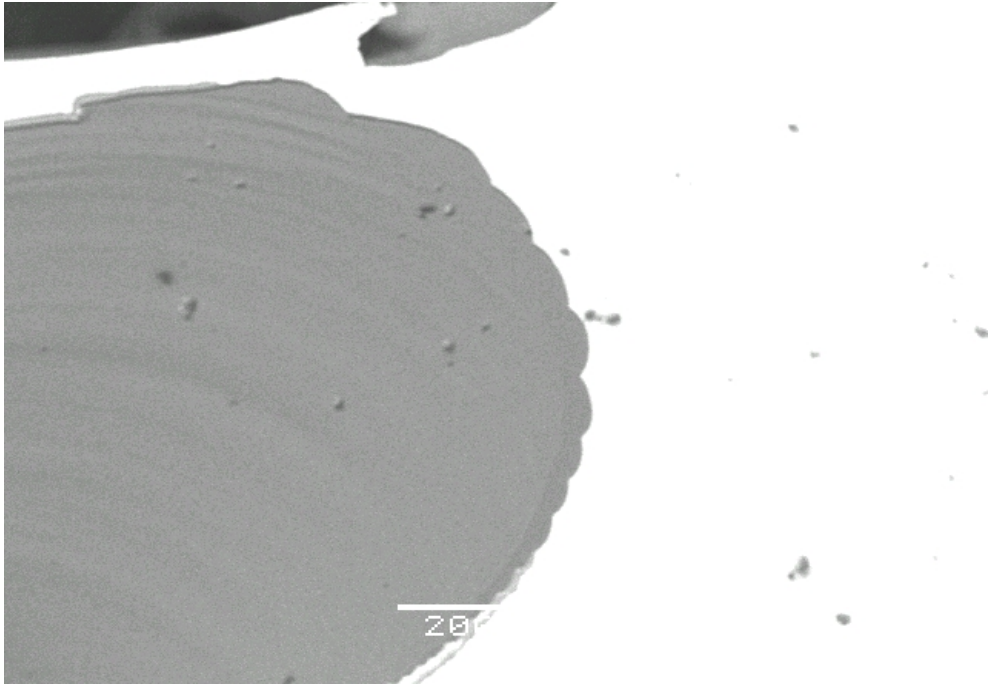
Σχήμα 5.17. Δείγμα PANEL-HS-6 (επιφάνεια γυαλιού)



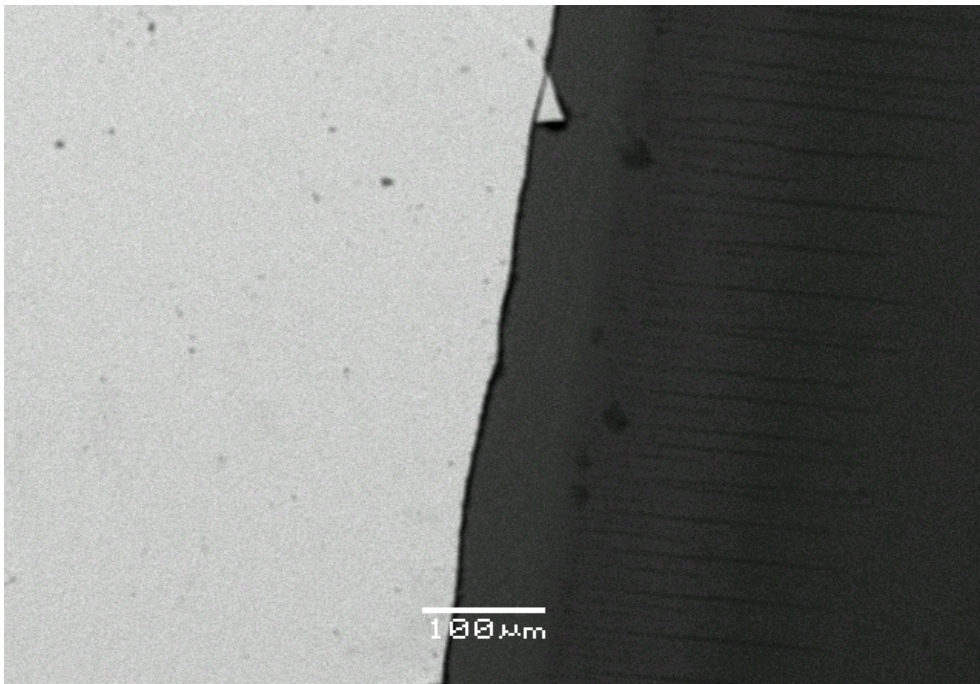
Σχήμα 5.18. Δείγμα PANEL-HS-6 (λεπτομέρεια του στρώματος επίστρωσης στην επιφάνεια του γυαλιού)



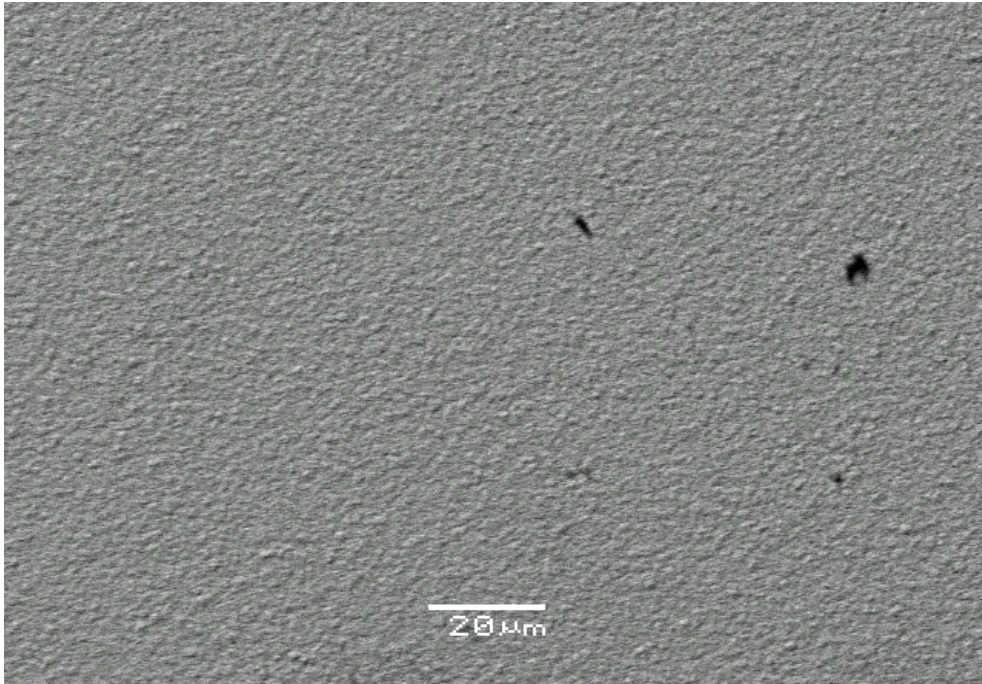
Σχήμα 5.19. Δείγμα PANEL-HS-6 (επιφάνεια επίστρωσης)



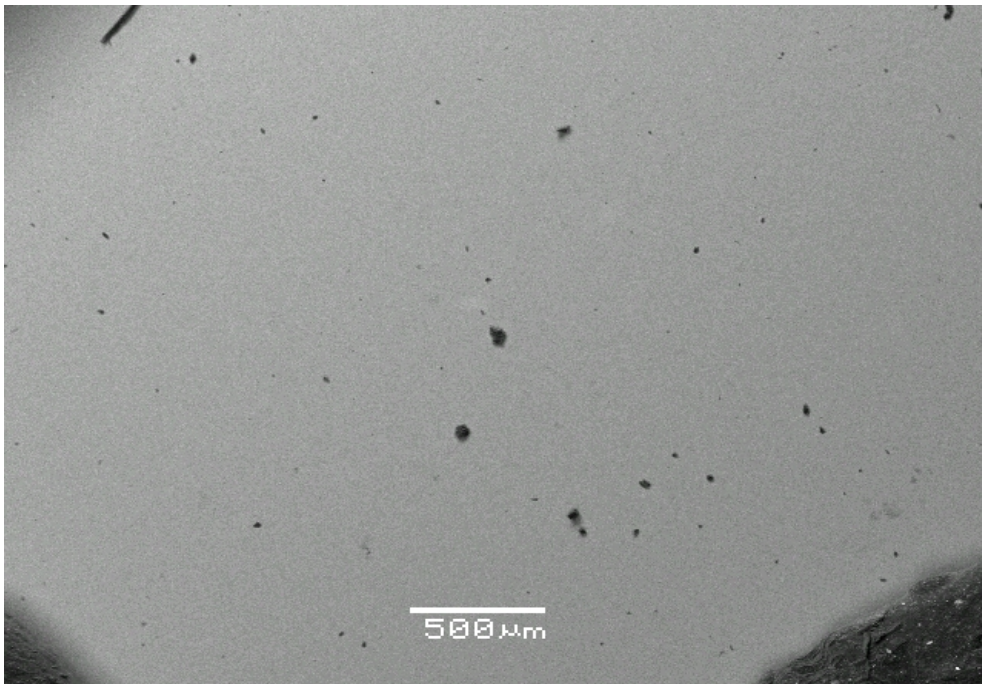
Σχήμα 5.20. Δείγμα PANEL-HS-7 (επίστρωση γυαλιού με ZnO)



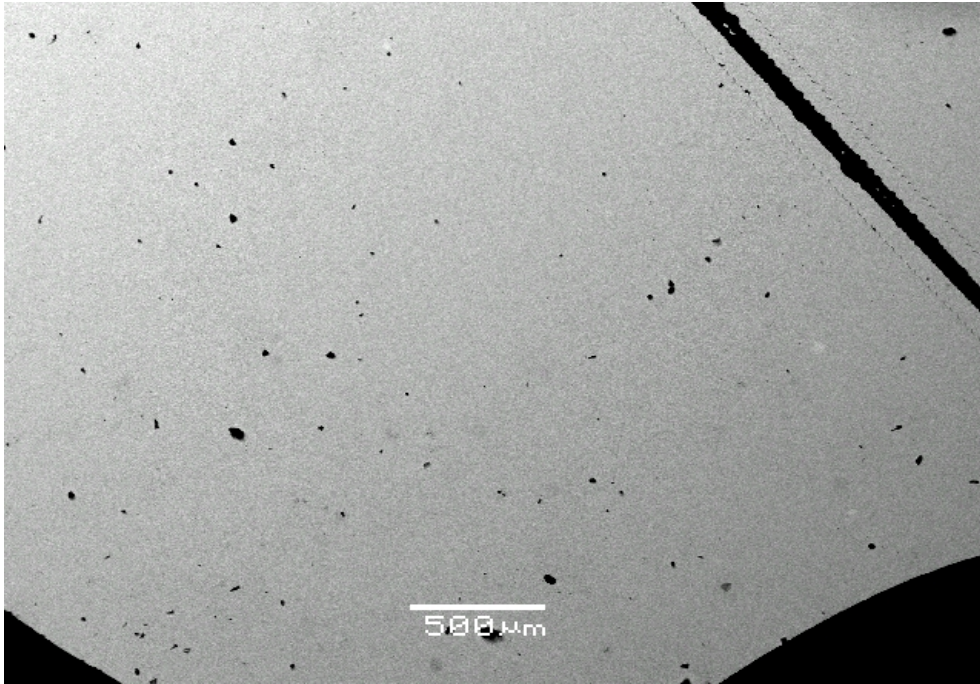
Σχήμα 5.21. Δείγμα PANEL-HS-7 (επίστρωση ZnO [ανοιχτόχρωμη επιφάνεια] στο γυαλί [σκουρόχρωμη επιφάνεια])



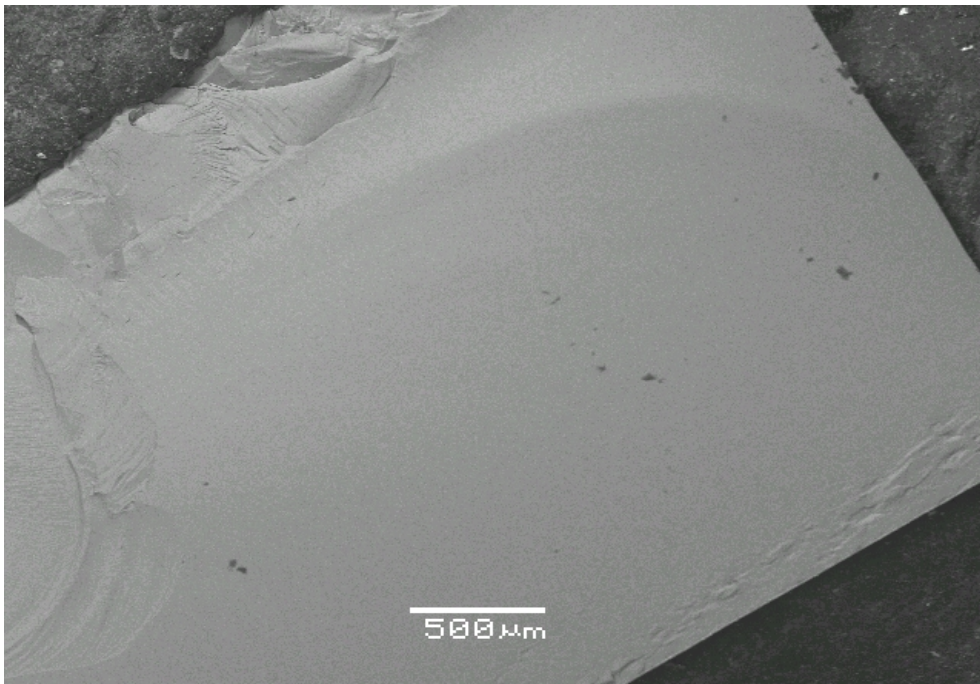
Σχήμα 5.22. Δείγμα PANEL-HS-8 (επιφάνεια επίστρωσης)



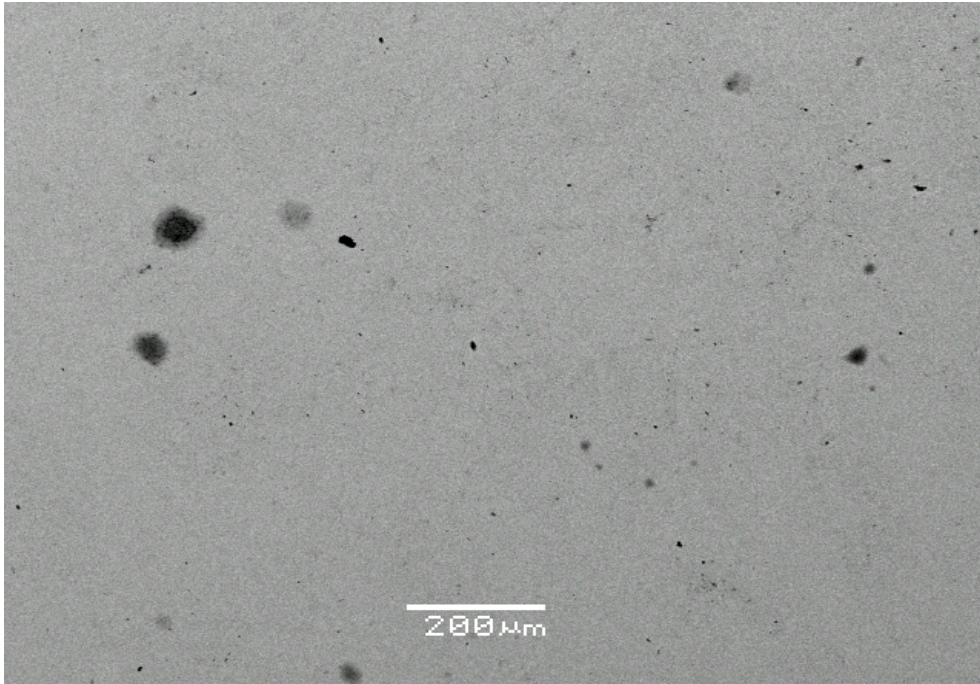
Σχήμα 5.23. Δείγμα PANEL-HS-10 (επιφάνεια γυαλιού)



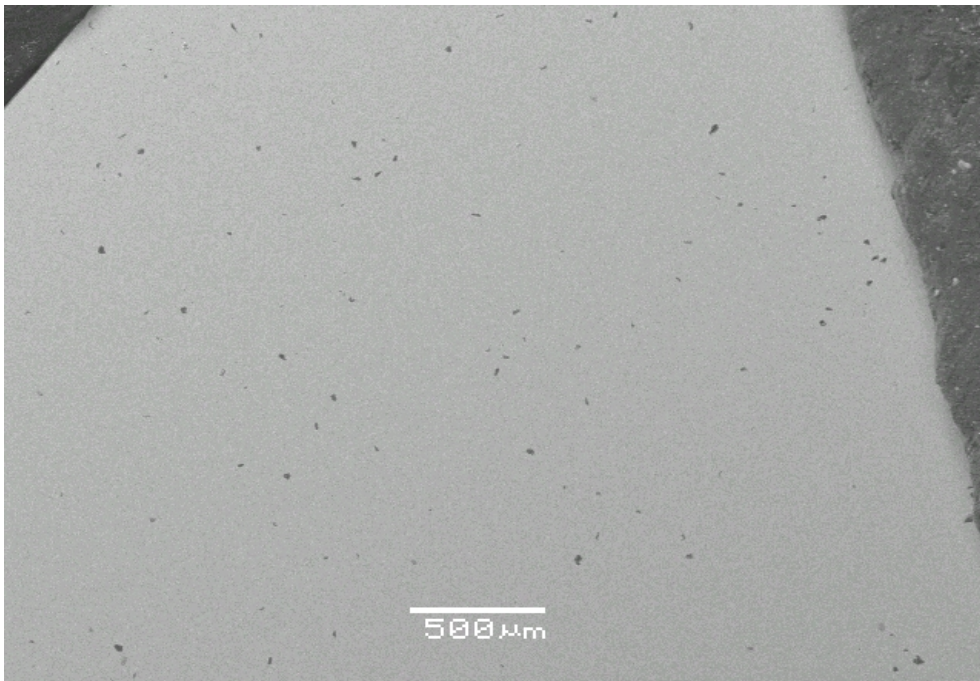
Σχήμα 5.24. Δείγμα PANEL-HS-10 (επιφάνεια επίστρωσης)



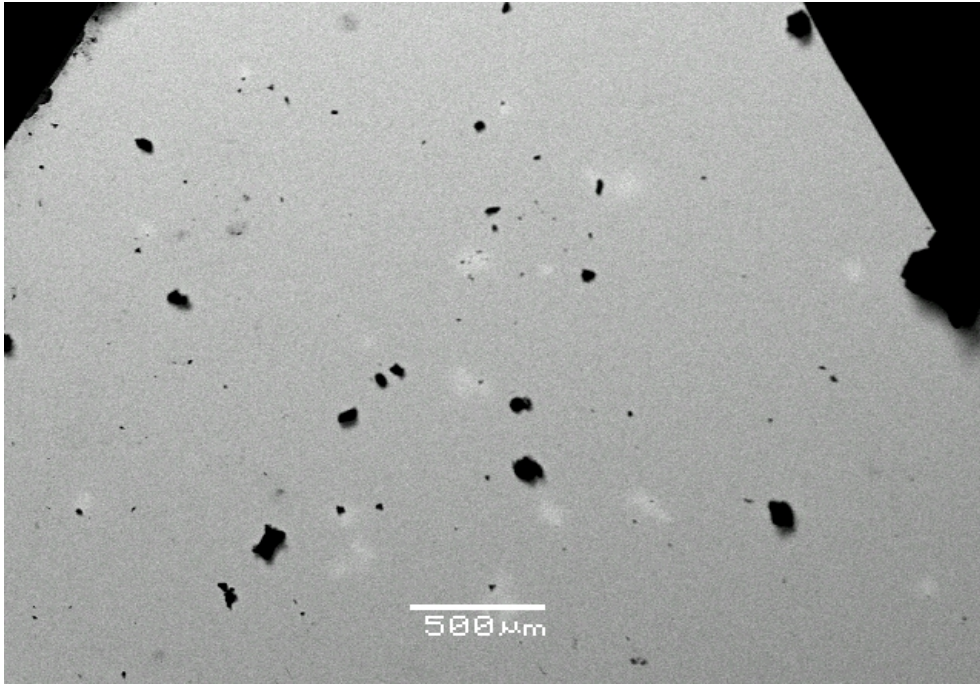
Σχήμα 5.25. Δείγμα PANEL-HS-11 (επιφάνεια γυαλιού)



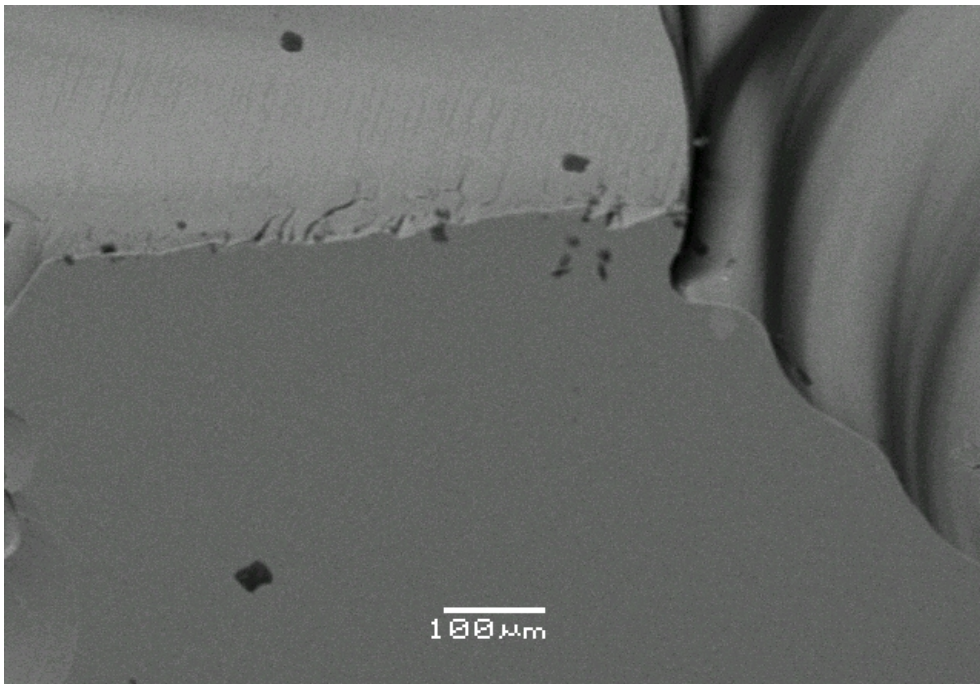
Σχήμα 5.26. Δείγμα PANEL-HS-11 (επιφάνεια επίστρωσης)



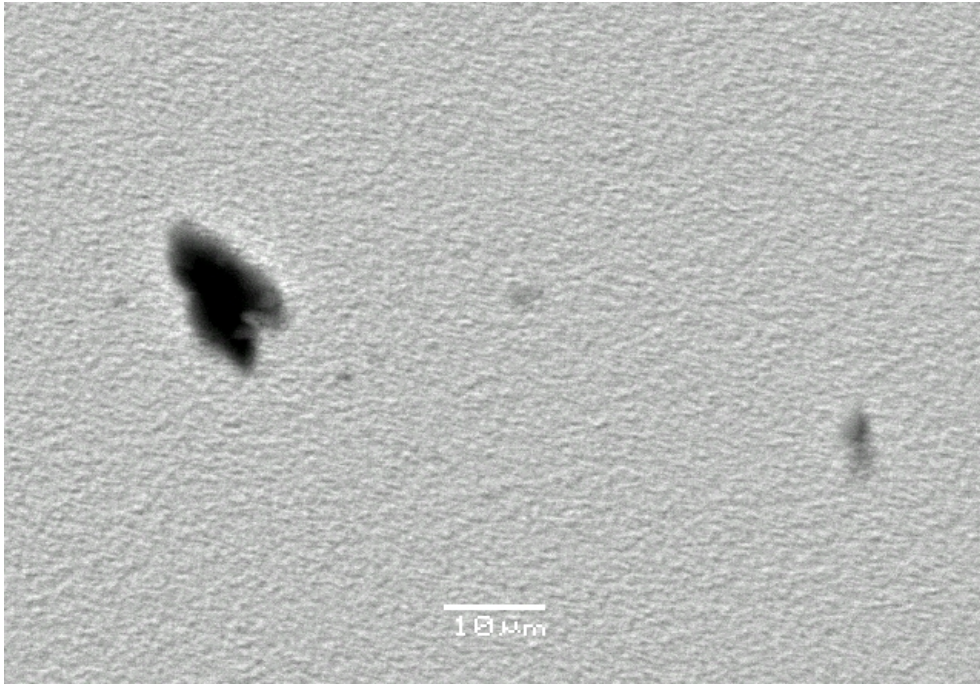
Σχήμα 5.27. Δείγμα PANEL-HS-13 (επιφάνεια γυαλιού)



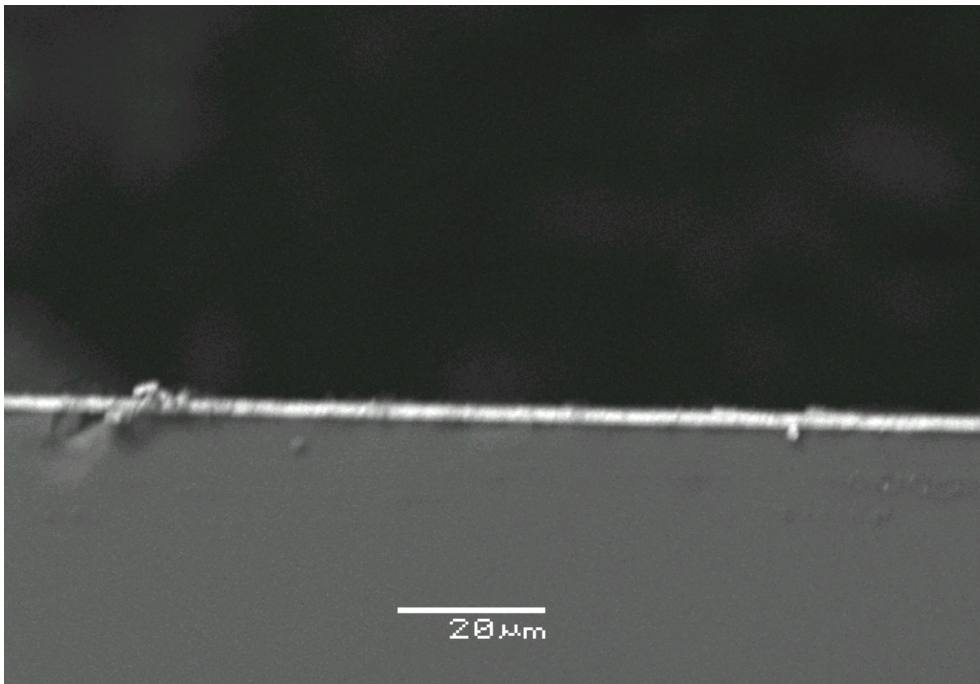
Σχήμα 5.28. Δείγμα PANEL-HS-13 (επιφάνεια επίστρωσης)



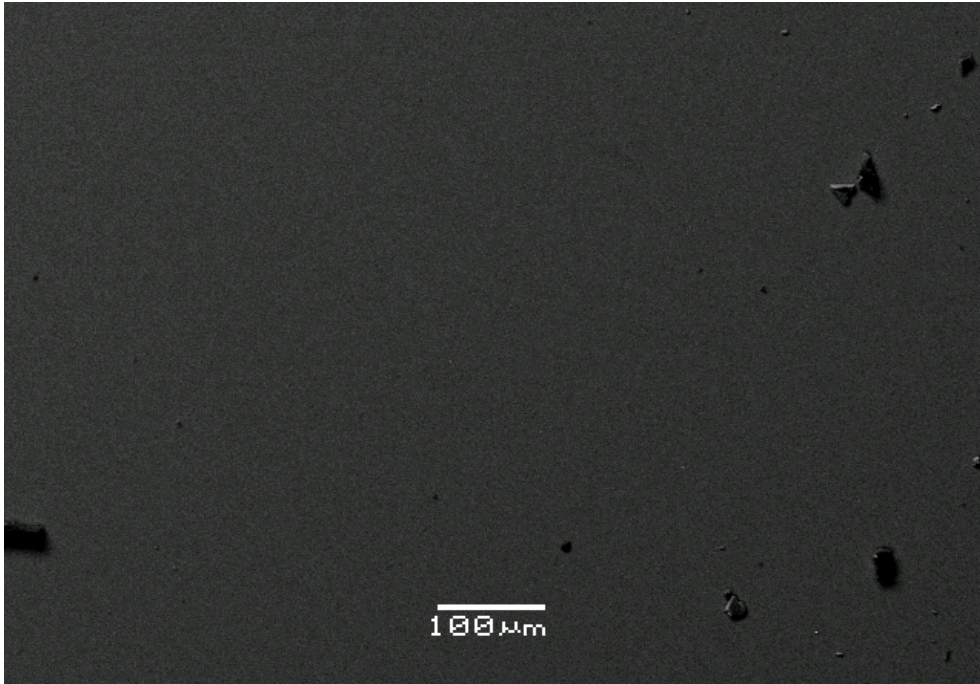
Σχήμα 5.29. Δείγμα PANEL-HS-14 (σπασμένη επιφάνεια γυαλιού)



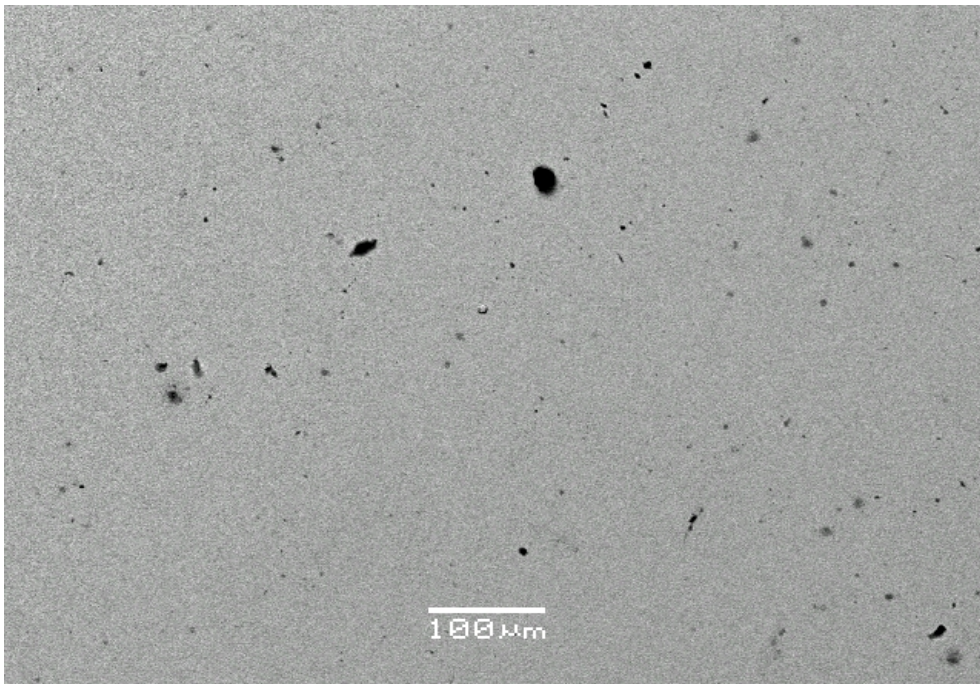
Σχήμα 5.30. Δείγμα PANEL-HS-14 (επιφάνεια επίστρωσης)



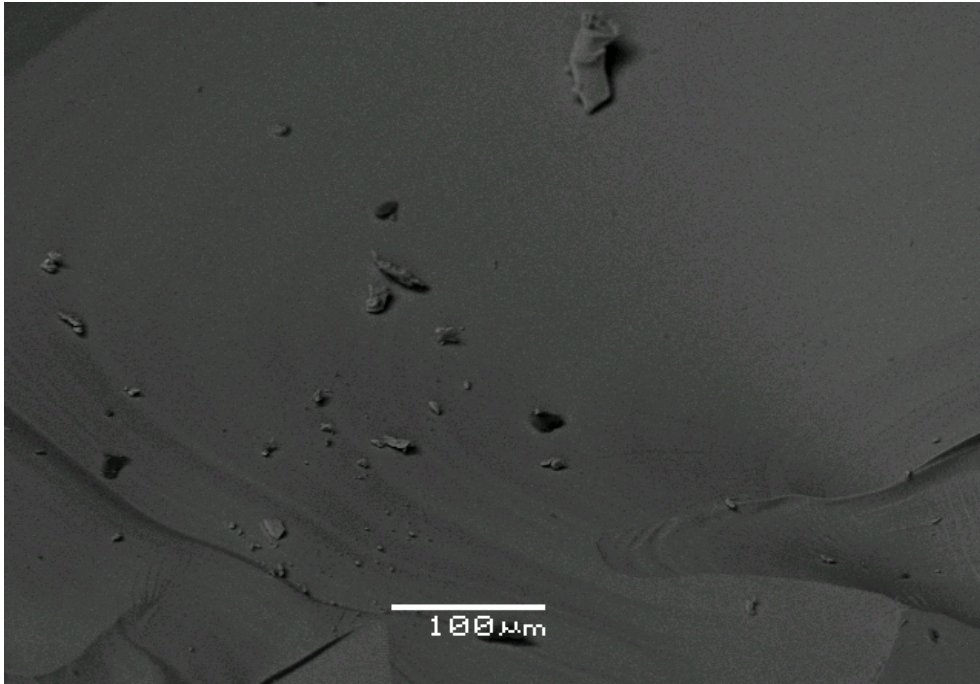
Σχήμα 5.31. Δείγμα PANEL-HS-15 (εγκάρσια τομή γυαλιού με επίστρωση ZnO)



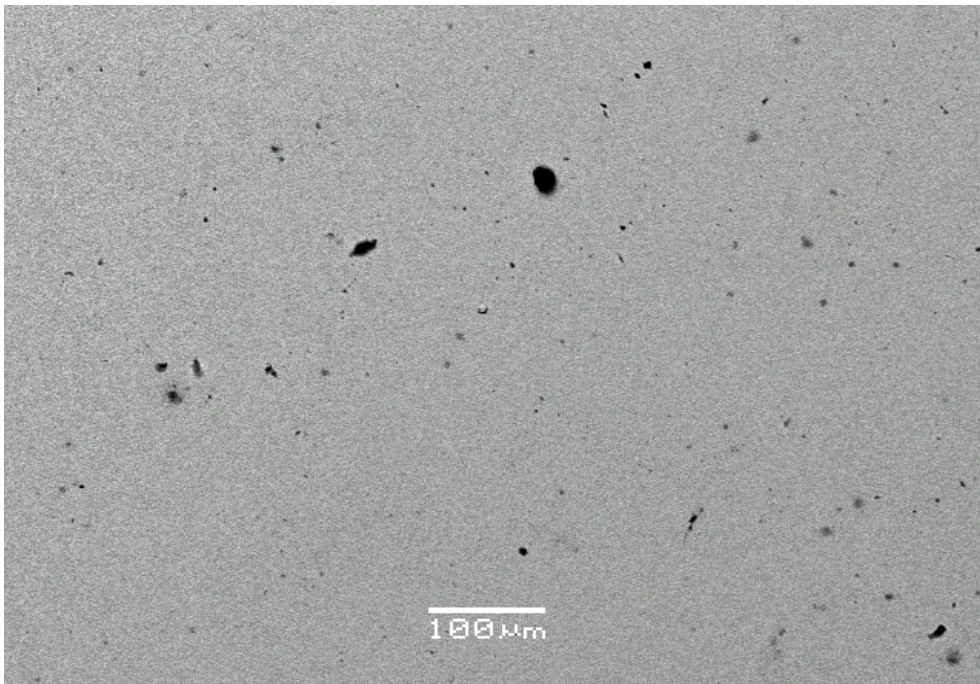
Σχήμα 5.32. Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια γυαλιού)



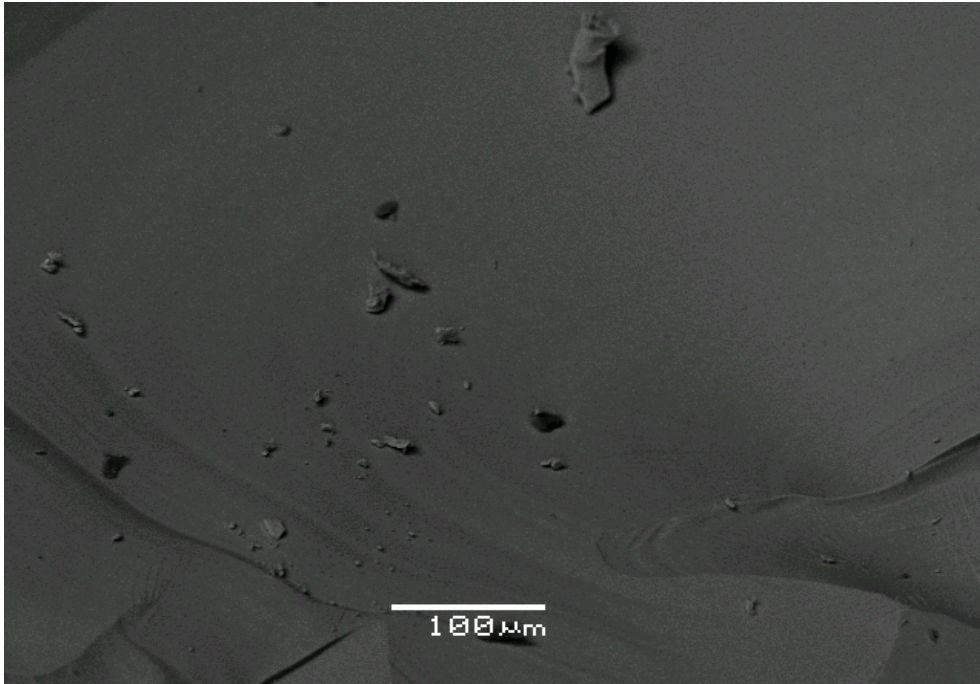
Σχήμα 5.33. Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια επίστρωσης)



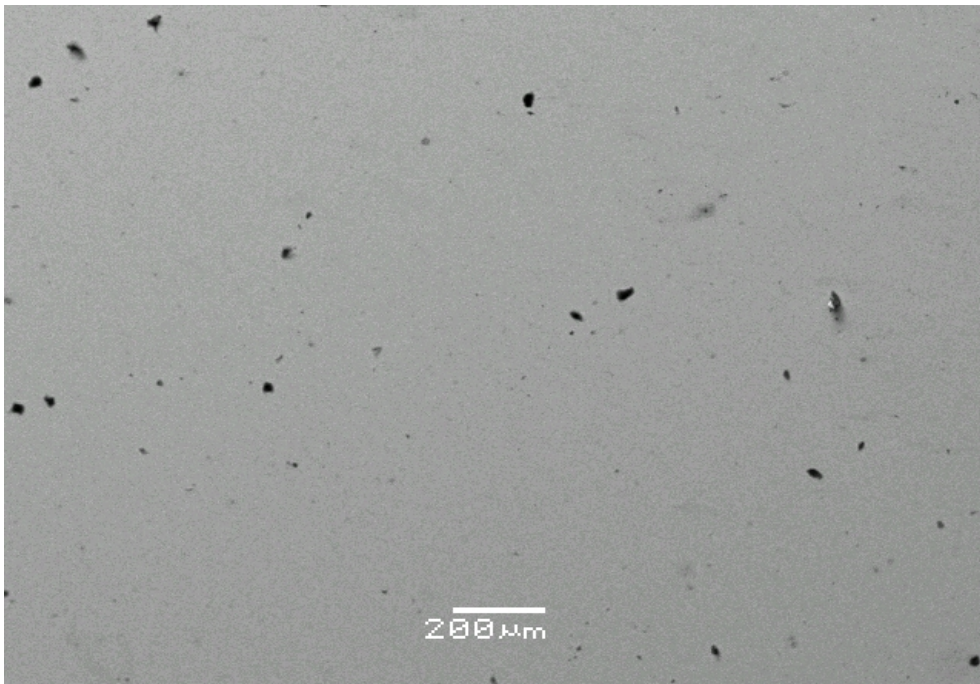
Σχήμα 5.34. Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια γυαλιού)



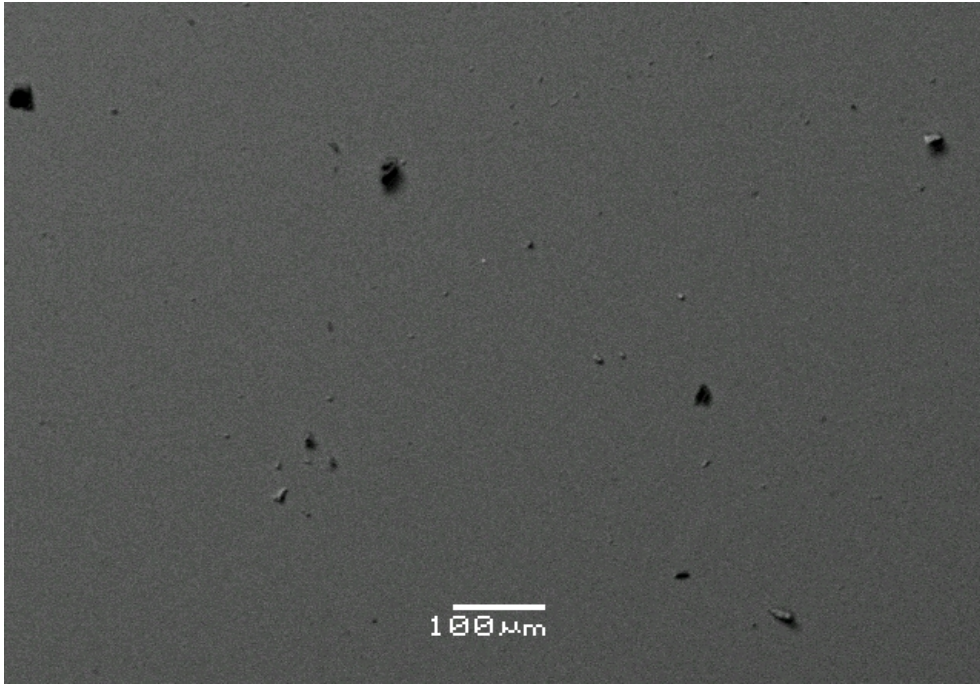
Σχήμα 5.35. Δείγμα PANEL-HS-16 (επιφάνεια επίστρωσης)



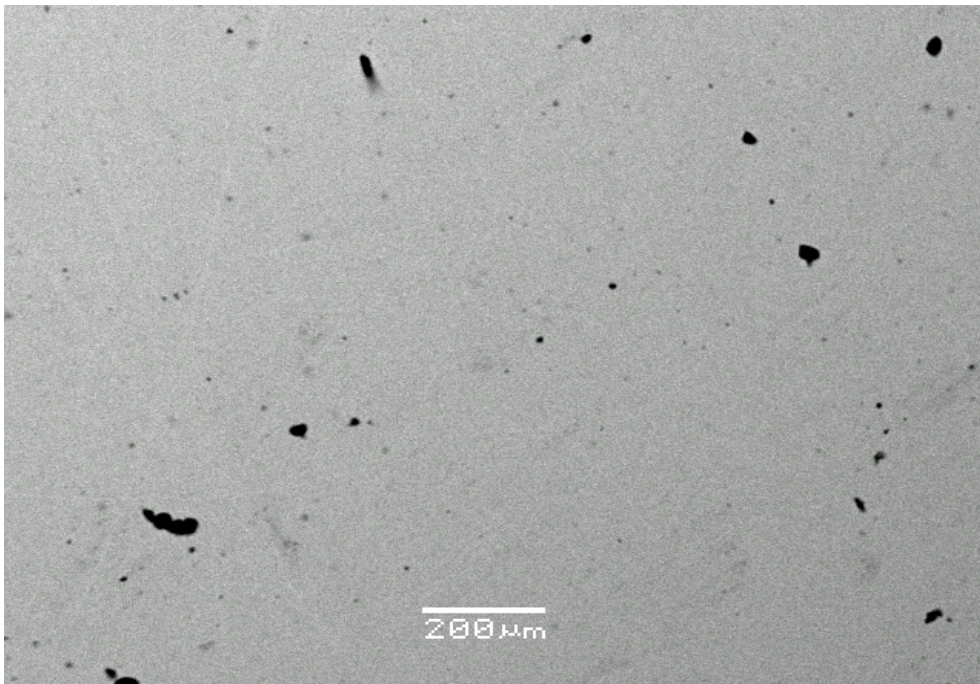
Σχήμα 5.36. Δείγμα PANEL-HS-17 (επιφάνεια γυαλιού)



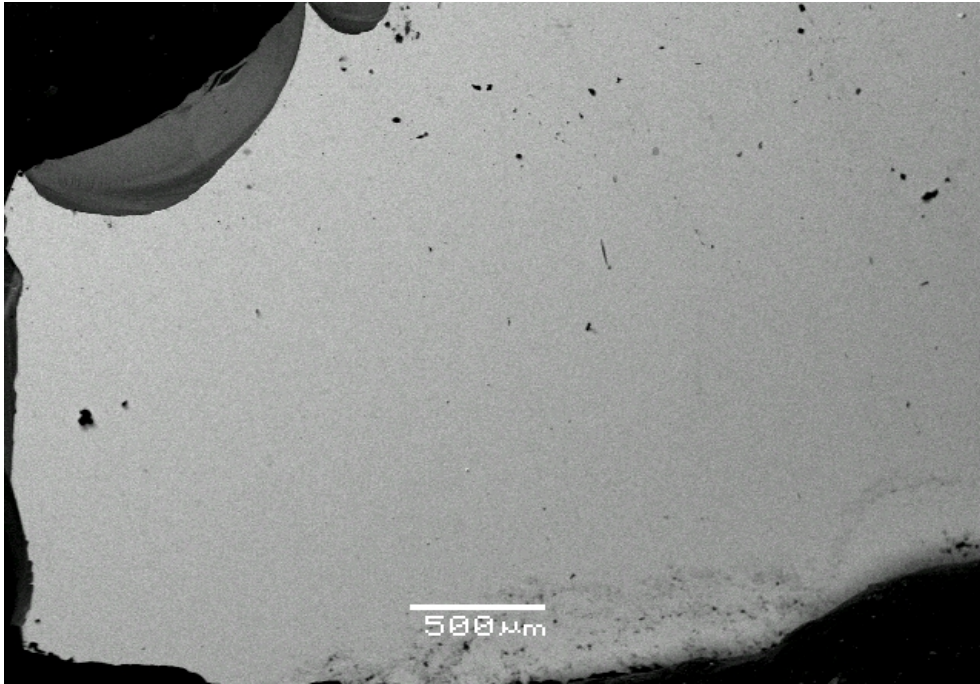
Σχήμα 5.37. Δείγμα PANEL-HS-17 (επιφάνεια επίστρωσης)



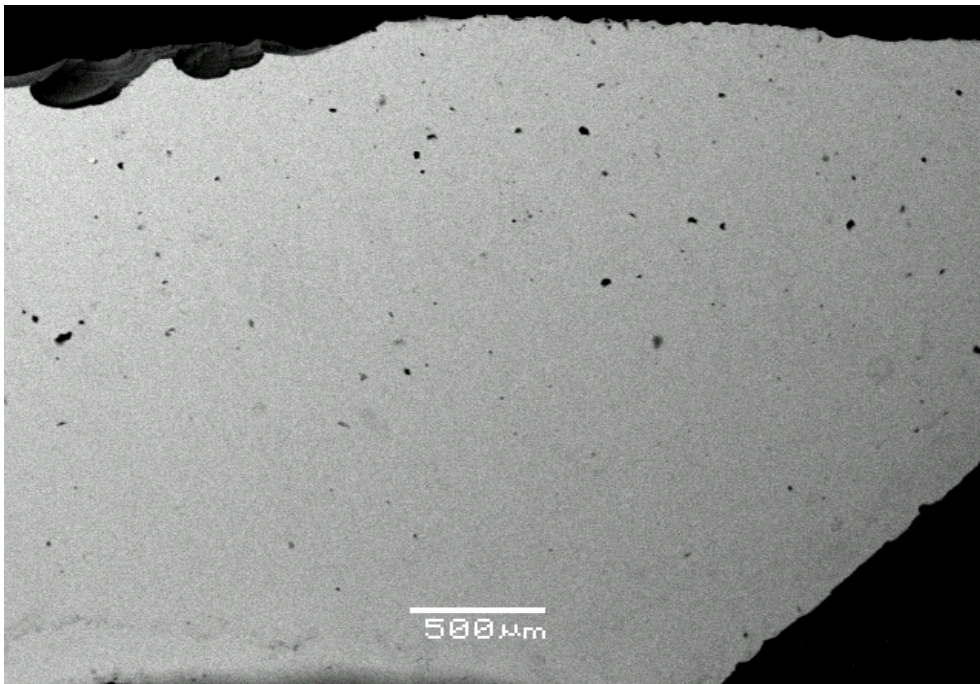
Σχήμα 5.38. Δείγμα PANEL-HS-18 (επιφάνεια γυαλιού)



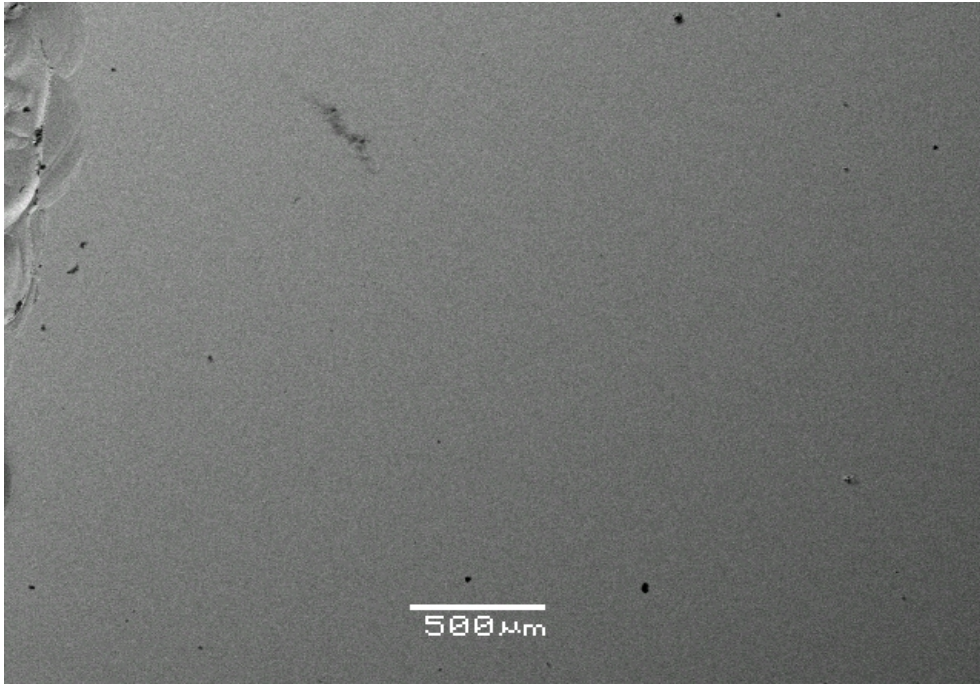
Σχήμα 5.39. Δείγμα PANEL-HS-18 (επιφάνεια επίστρωσης)



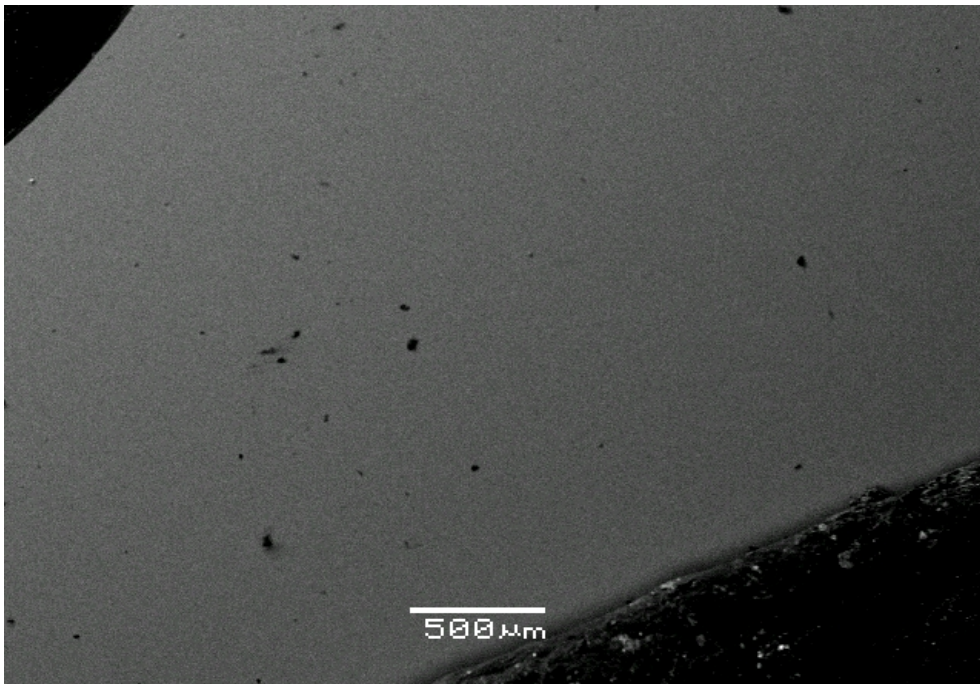
Σχήμα 5.40. Δείγμα PANEL-HS19 (επιφάνεια επίστρωσης)



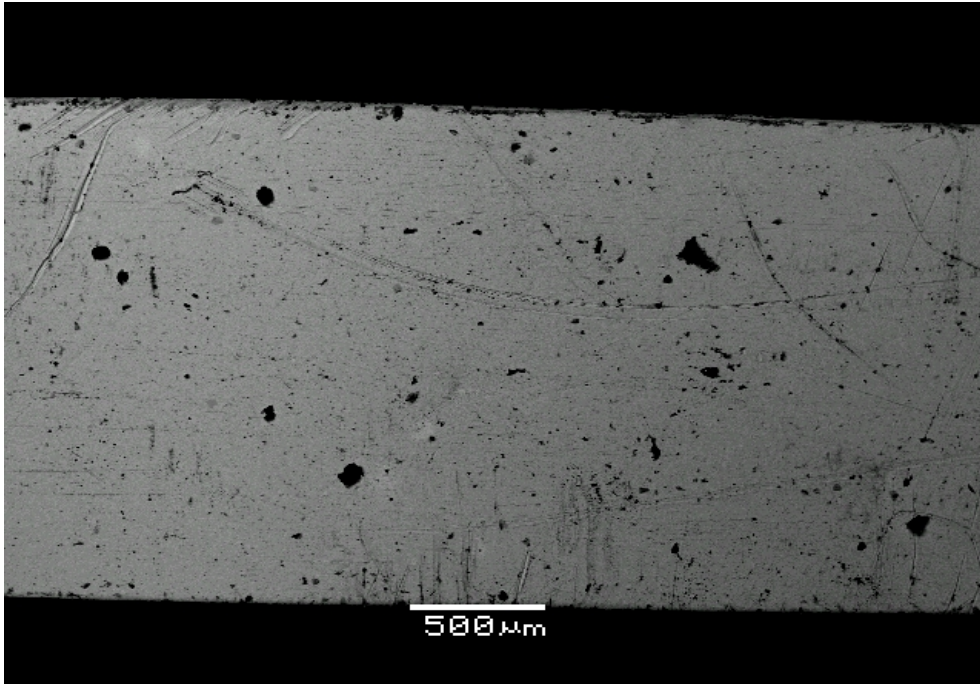
Σχήμα 5.41. Δείγμα PANEL-HS-20 (επιφάνεια επίστρωσης)



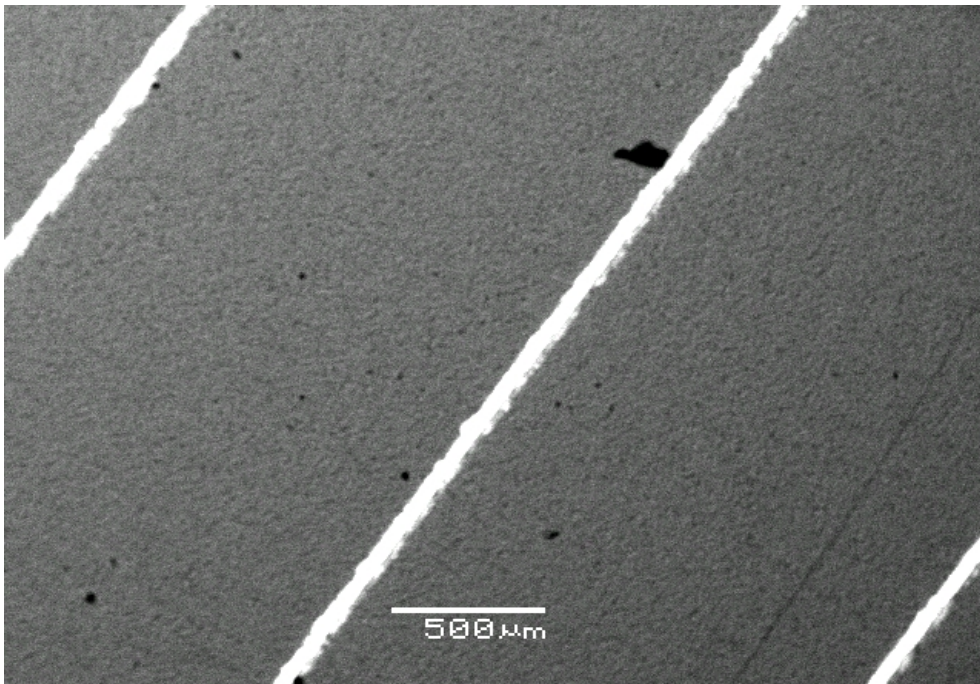
Σχήμα 5.42. Δείγμα PANEL-HS-21 (επιφάνεια γυαλιού)



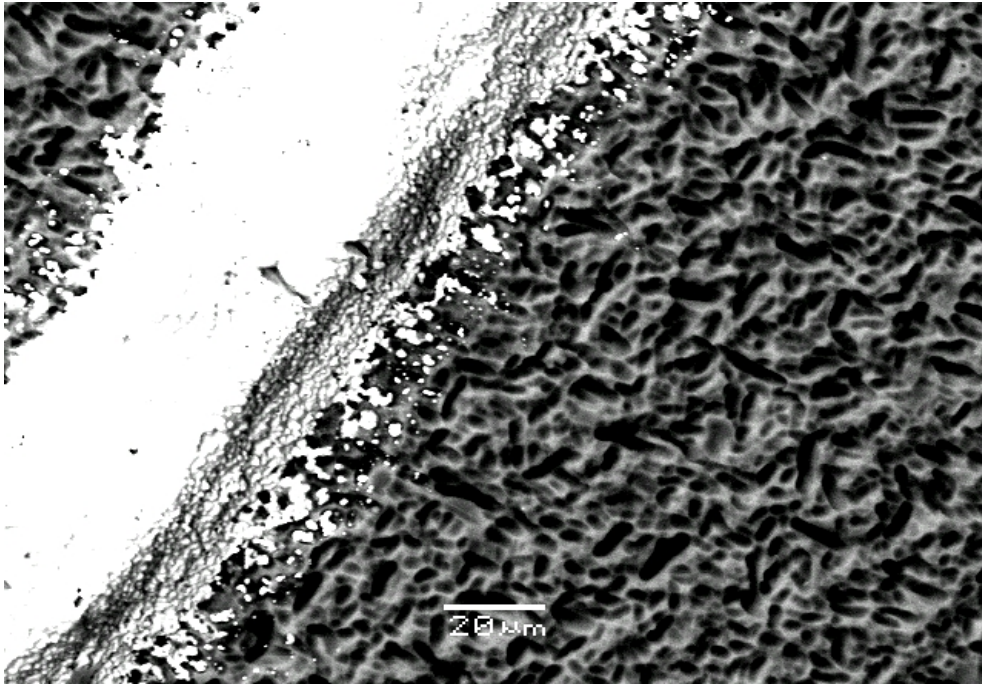
Σχήμα 5.43. Δείγμα PANEL-HS-22 (επιφάνεια επίστρωσης)



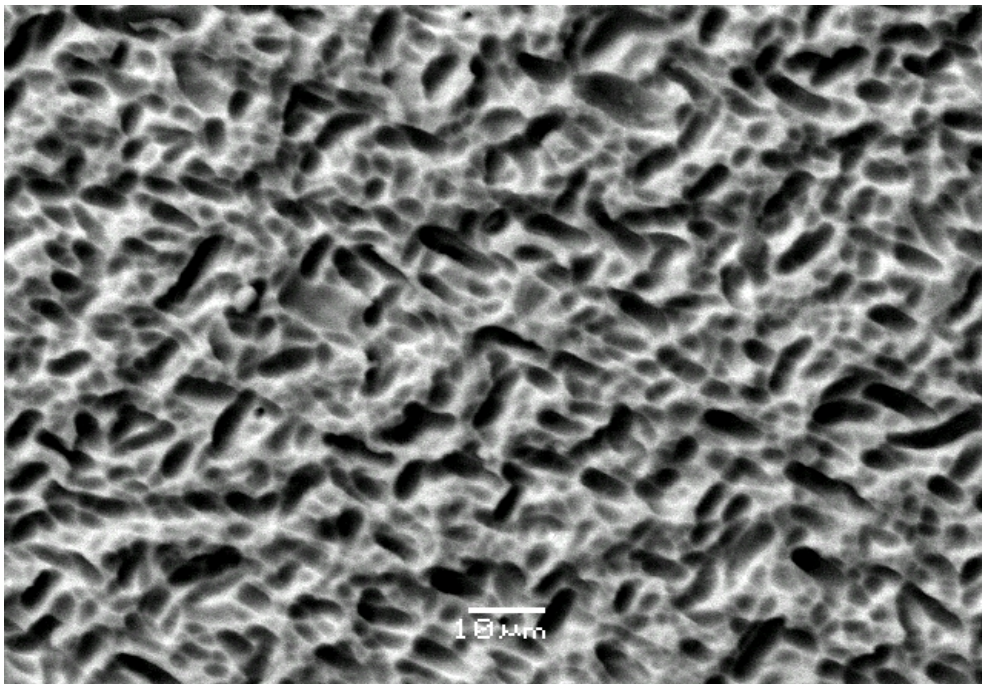
Σχήμα 5.44. Δείγμα PANEL-HS-23 (μεταλλικό καλώδιο ρεύματος)



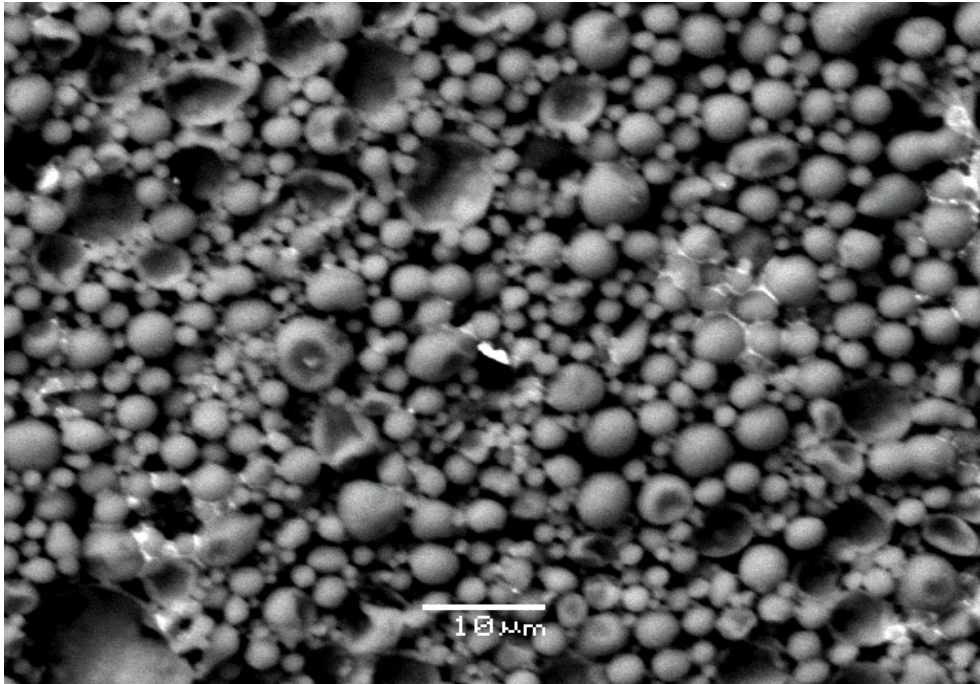
Σχήμα 5.45. Δείγμα PANEL-EG-1 (πολυκρυσταλλικό πάνελ, μπλε επιφάνεια με λευκές λωρίδες)



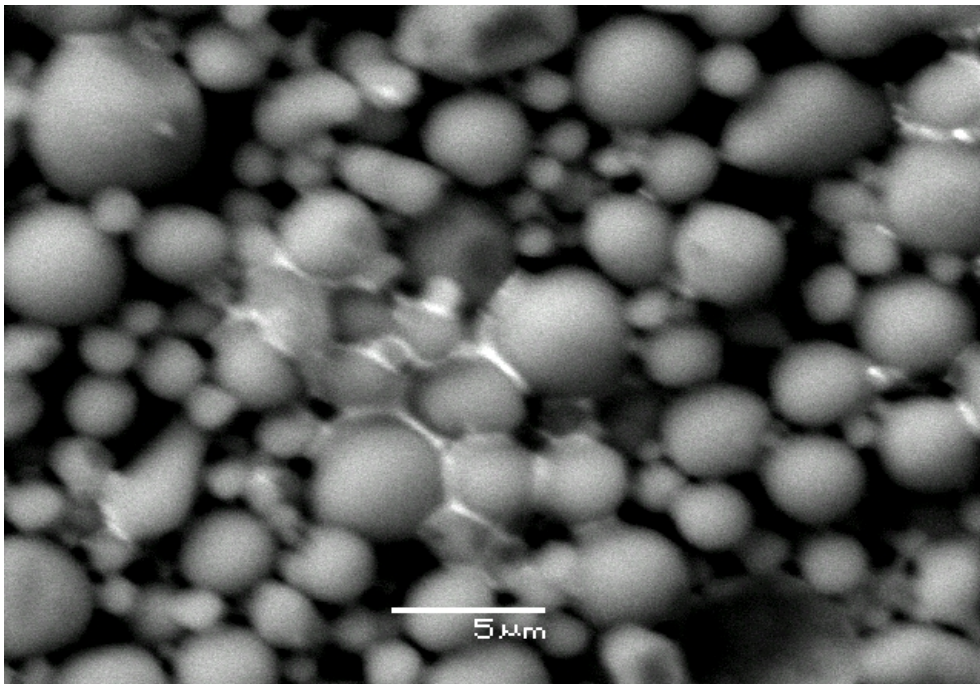
Σχήμα 5.46. Δείγμα PANEL-EG-1 (λεπτομέρεια μπλε επιφάνειας)



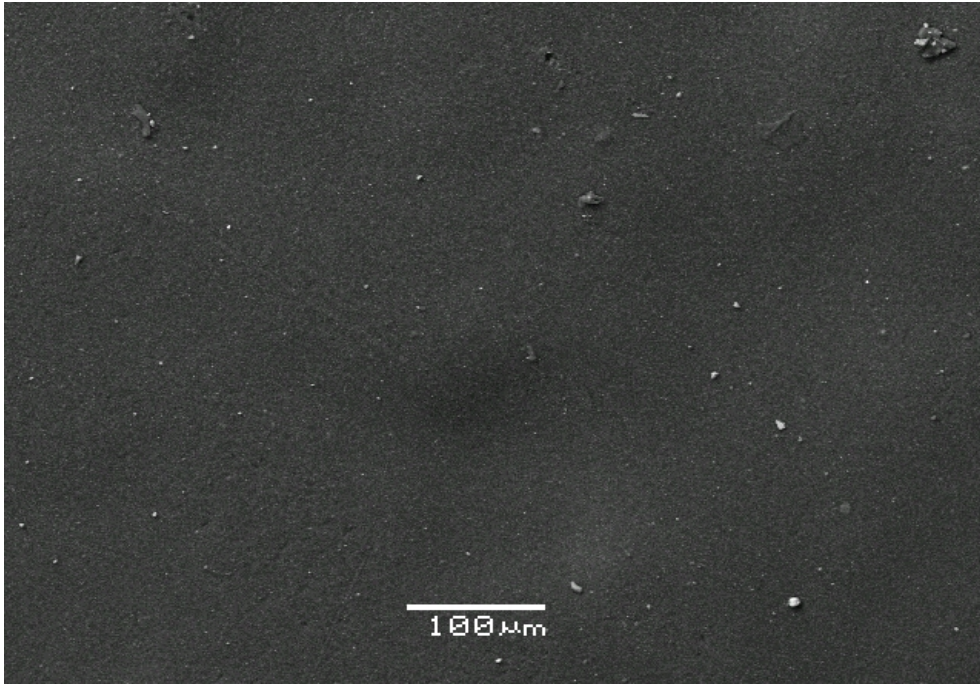
Σχήμα 5.47. Δείγμα PANEL-EG-1 (δομή πολυκρυσταλλικού πυριτίου)



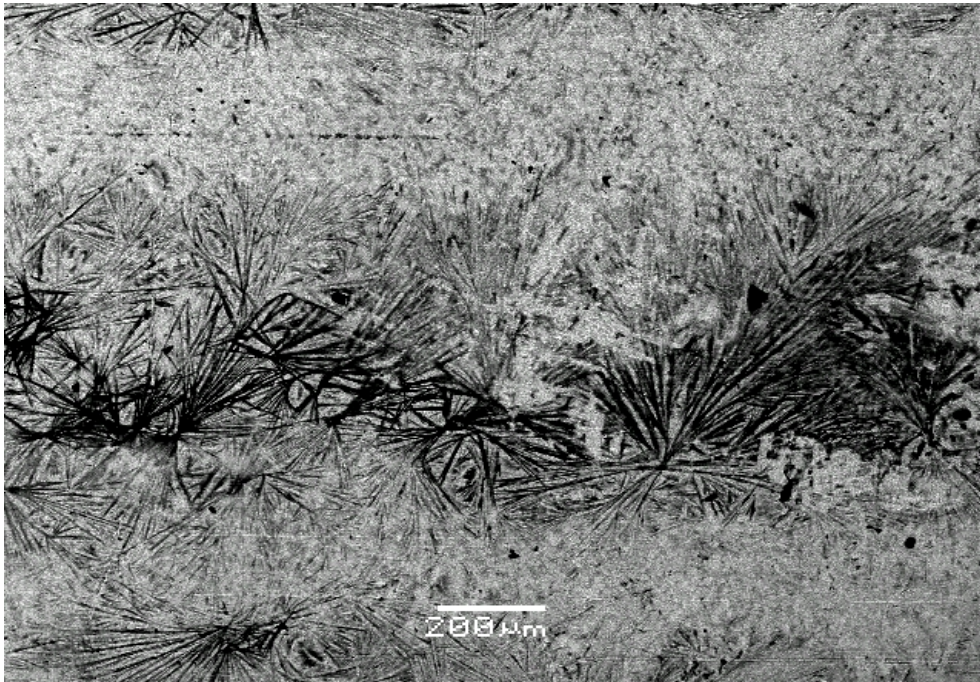
Σχήμα 5.48. Δείγμα PANEL-EG-1 (γκρι επιφάνεια, σφαιρίδια αλουμίνας)



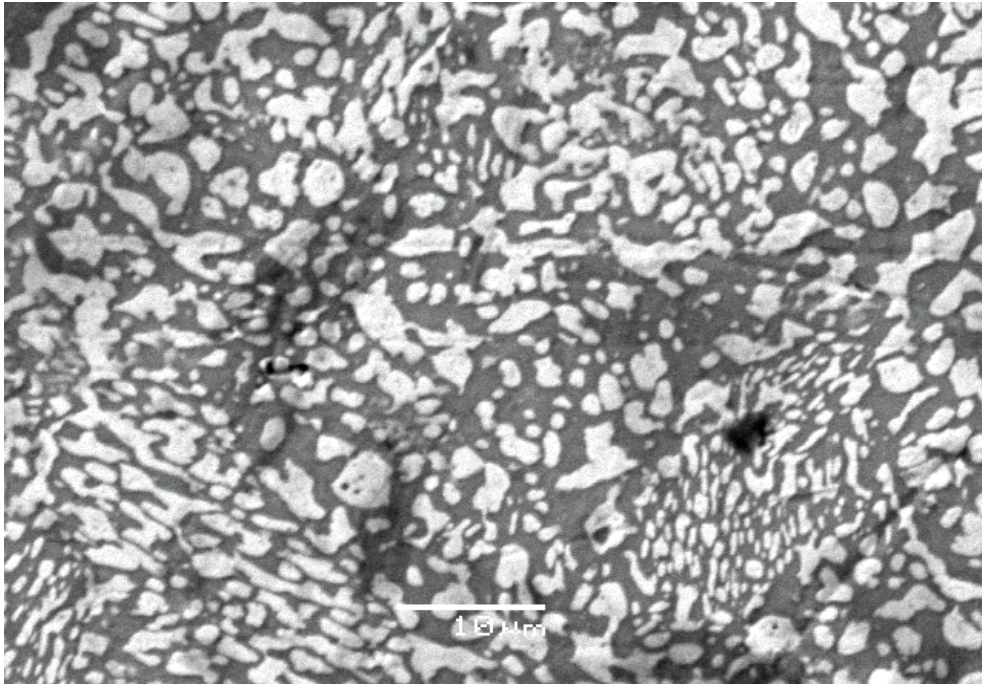
Σχήμα 5.49. Δείγμα PANEL-EG-1 (λεπτομέρεια γκρι επιφάνειας, σφαιρίδια αλουμίνας)



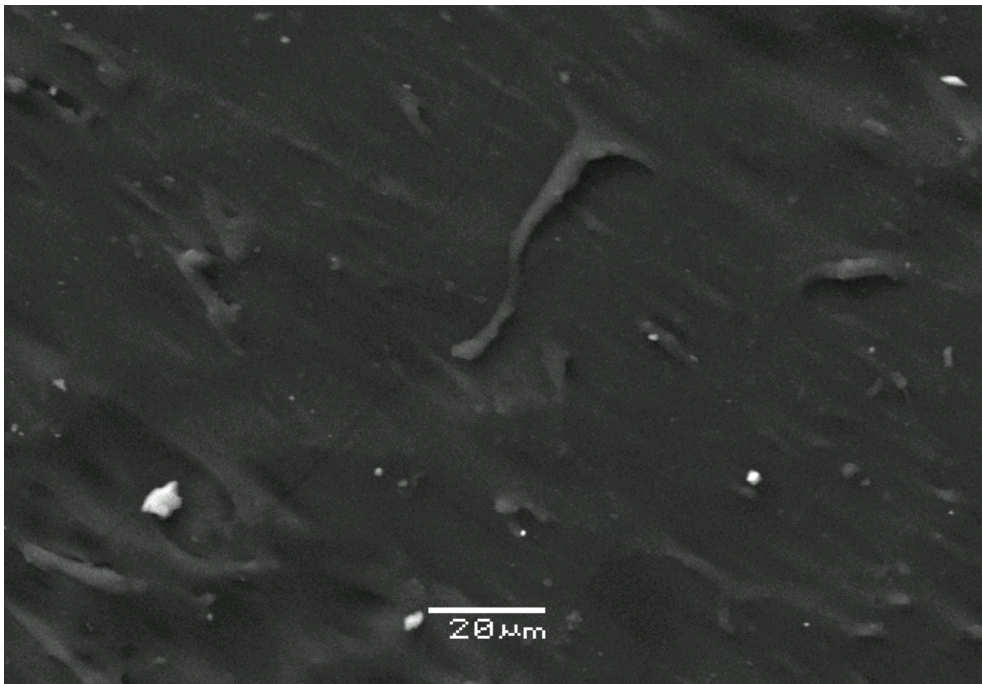
Σχήμα 5.50. Δείγμα PANEL-EG-2 (πλαστική μεμβράνη EVA)



Σχήμα 5.51. Δείγμα PANEL-EG-3 (μεταλλικό καλώδιο με χαρακτηριστική δομή)



Σχήμα 5.52. Δείγμα PANEL-EG-3 (μικροδομή μεταλλικού καλωδίου)



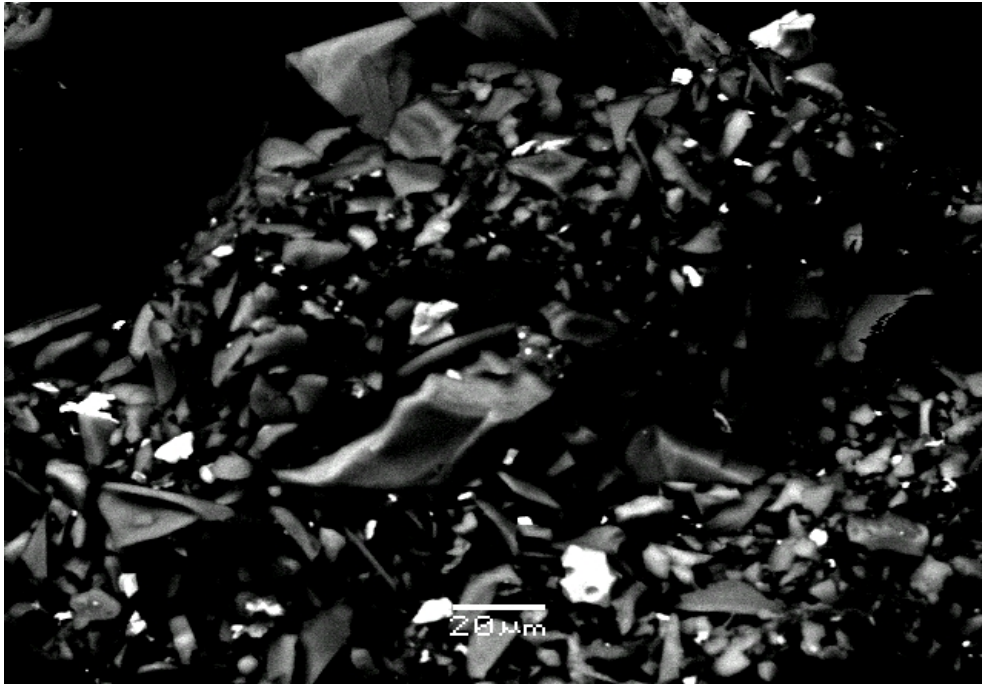
Σχήμα 5.53. Δείγμα PANEL-EG-4 (πλαστικό από πολυαμίδιο)



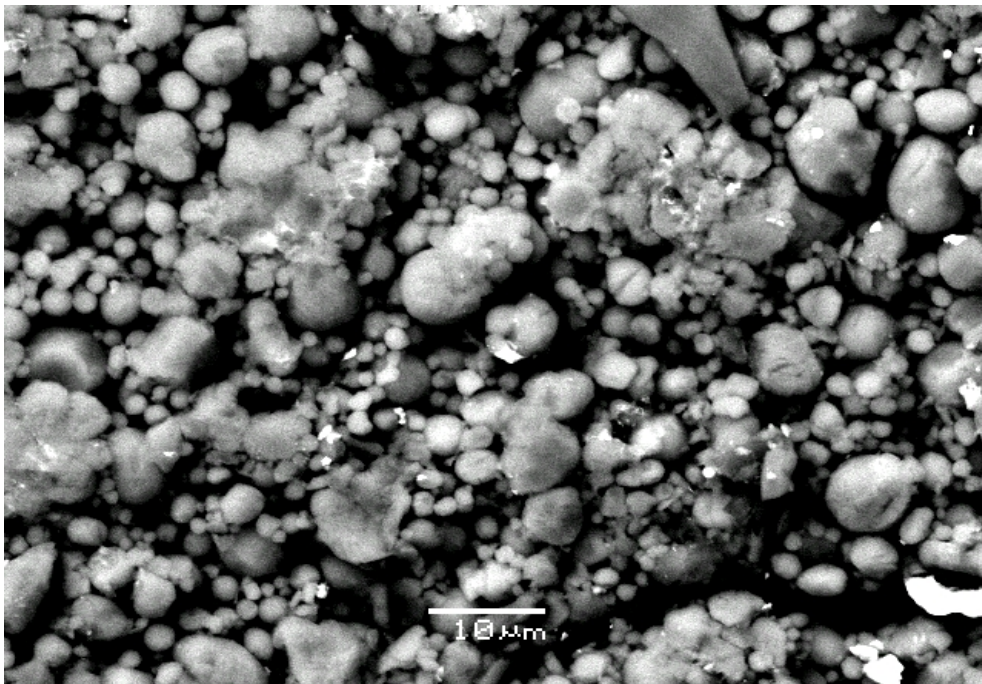
Σχήμα 5.54. Δείγμα REC-1 (κόκκοι υάλου με ψήγματα μεταλλικών στοιχείων)



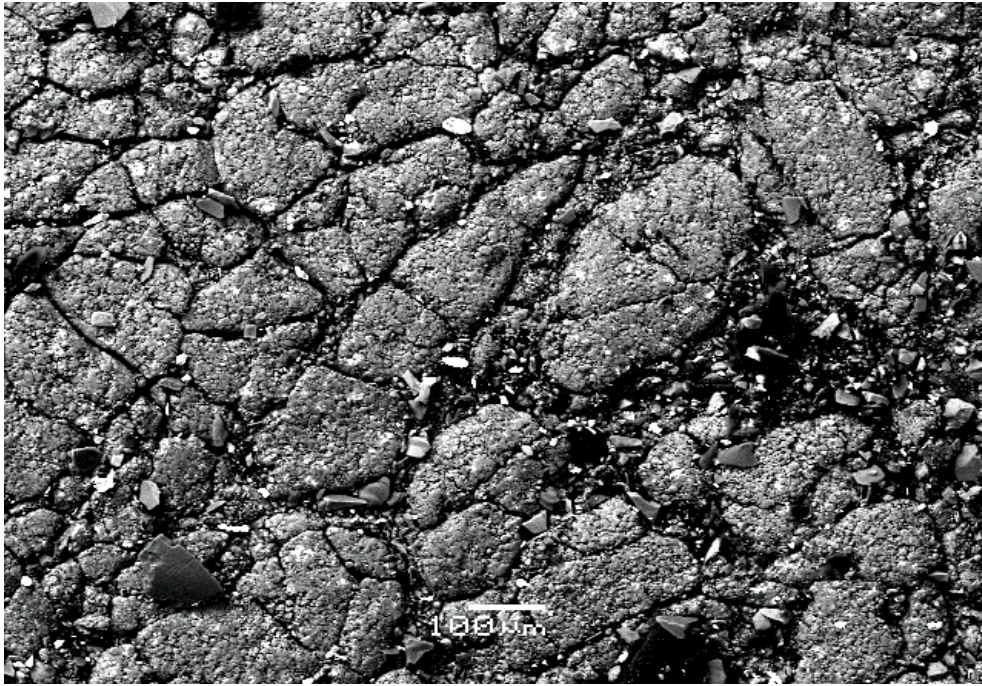
Σχήμα 5.55. Δείγμα REC-1 (λεπτομέρεια μεταλλικού ψήγματος (Fe))



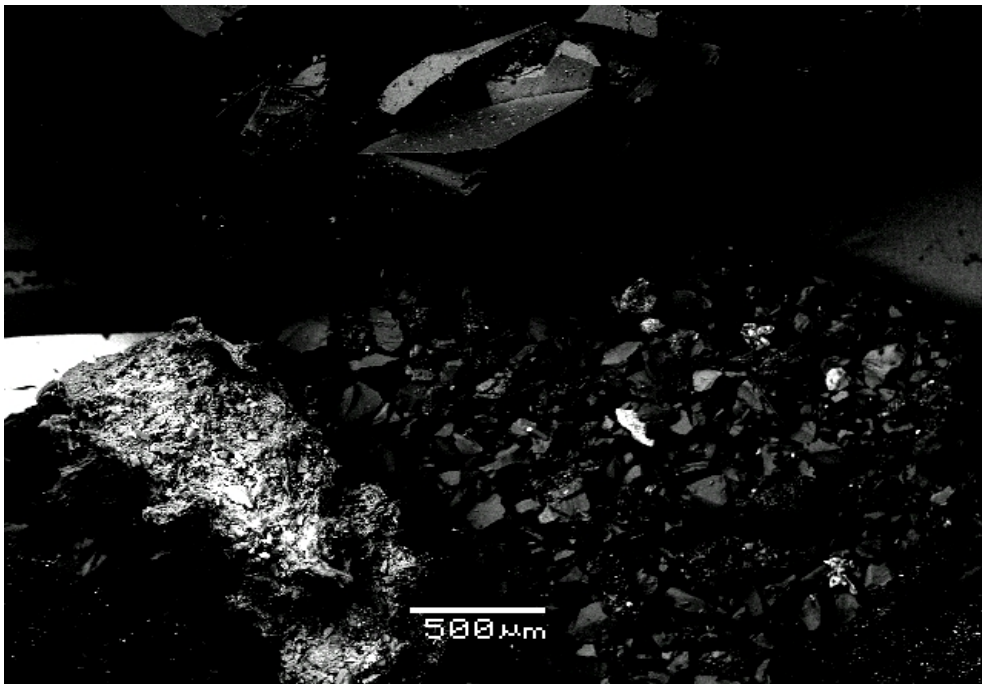
Σχήμα 5.56. Δείγμα REC-2 (θραύσματα υάλου, μεταλλικών στοιχείων και πολυμερών)



Σχήμα 5.57. Δείγμα REC-2 (λεπτομέρεια θραύσματος από κεραμική επιφάνεια πάνελ)



Σχήμα 5.58. Δείγμα REC-3 (ανάλυση 100μm)



Σχήμα 5.59. Δείγμα REC-3 (ανάλυση 500μm)

5.4 Χημικές αναλύσεις και μικροαναλύσεις δειγμάτων

Για τις χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων, πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός ικανής και αντιπροσωπευτικής ποσότητας του συνόλου των δειγμάτων και, όπου κρίθηκε απαραίτητο, πραγματοποιήθηκε θραύση των δειγμάτων σε σιαγωγωτό σπαστήρα. Στη συνέχεια, ακολούθησε λειοτρίβηση των δειγμάτων. Στην πλειοψηφία των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε μηχανική λειοτρίβηση, ενώ στα υπόλοιπα, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη λειοτρίβηση.

5.4.1 Μερική χημική ανάλυση με τη μέθοδο ICP-MS

Στο πλαίσιο της παρούσας επιστημονικής μελέτης, πραγματοποιήθηκαν μερικές χημικές αναλύσεις, με τη μέθοδο ICP-MS, στα αναλυτικά εργαστήρια της Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd., στον Καναδά, σε 20 επιλεγμένα και αντιπροσωπευτικά δείγματα. Σκοπός είναι ο προσδιορισμός 45 ιχνοστοιχείων, τα οποία περιέχονται στα υπό μελέτη δείγματα. Τα δείγματα εστάλησαν υπό την μορφή λεπτής πούδρας.

Η τεχνική φασματομετρίας μάζας με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS), όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί μια σύγχρονη και αποτελεσματική μέθοδο πολυστοιχειακής ανάλυσης, με πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσης (ng/L).

Για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων στα δείγματα, τα οποία προέρχονται από φωτοβολταϊκά συστήματα, έγινε προσεκτική και αντιπροσωπευτική επιλογή. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων, τα οποία επελέγησαν και αναλύθηκαν, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.17.

5.4.2 Μικροανάλυση διασποράς ενέργειας (EDS - Energy Dispersive X-ray spectroscopy)

Η μέθοδος της μικροανάλυσης διασποράς ενέργειας ανήκει στις αναλυτικές μεθόδους για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης ενός υλικού και αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.4.2.

Στους Πίνακες 5.7.-5.50., παρουσιάζονται μικροαναλύσεις διασποράς ενέργειας, που αφορούν δείγματα από τα εξεταζόμενα φωτοβολταϊκά των εταιρειών HelioSphera και Exel Group. Έπειτα, στον Πίνακα 5.51., παρουσιάζονται μικροαναλύσεις διασποράς ενέργειας, που αφορούν στα ανακτώμενα υλικά της εταιρείας ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Β.Ε.Ε.. Σημειώνεται ότι στους Πίνακες 5.8.-5.51. τα ελάχιστα όρια ανίχνευσης είναι 0,01%.

Πίνακας 5.7. Χημική ανάλυση ιχνοστοιχείων των δειγμάτων φωτοβολταϊκών πάνελ

Analyte / MDL	PANEL-HS-1	PANEL-HS-2	PANEL-HS-3	PANEL-HS-4	PANEL-HS-5	PANEL-HS-6	PANEL-HS-7	PANEL-HS-8	PANEL-HS-9	PANEL-HS-10	PANEL-HS-11	PANEL-HS-13	PANEL-HS-15	PANEL-EG-1
Ba / 1,00	28	15	13	12	8	10	19	13	11	14	12	10	13	24
Be / 1,00	2	1	1	<1	<1	<1	2	<1	2	<1	1	<1	<1	1
Co / 0,20	9,6	8,5	5,5	13	4,2	5,7	4,6	9,5	4,2	4,3	10	4,7	4,6	22
Cs / 0,10	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ga / 0,50	3,4	3	2,9	3,2	3,1	2,6	2,7	3,7	3,9	3,1	3,9	3	2,8	9,9
Hf / 0,10	0,9	0,4	0,6	0,8	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,6	0,2
Nb / 0,10	3,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4
Rb / 0,10	2	2	2	2	1,9	1,8	1,9	1,3	1,3	1,2	1,3	1,8	1,7	0,8
Sn / 1,00	28	17	18	20	17	17	17	54	47	54	44	20	18	2
Sr / 0,50	43	36	33	34	35	34	35	31	31	32	34	34	34	65
Ta / 0,10	0,2	0,2	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,2
Th / 0,20	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,3	<0,2
U / 0,10	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,7	0,5	0,6	0,7	0,2	0,2	0,2
V / 8,00	29	25	28	28	37	23	27	27	28	32	28	22	25	34
W / 0,50	142	125	94	185	68	84	61	119	55	50	145	68	61	139
Zr / 0,10	29	21	21	21	20	21	18	10,6	10	10	7,9	18	21	3,6
Y / 0,10	1,3	0,7	0,5	0,6	0,4	0,6	0,6	1,6	1,2	1,3	1	0,8	0,4	0,2
La / 0,10	1,4	1	1	0,9	1,1	1	1	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,9	0,4
Ce / 0,10	2,3	1,8	1,6	1,9	1,7	1,7	2	0,7	0,8	1	0,8	1,9	1,8	0,3
Pr / 0,02	0,26	0,17	0,17	0,17	0,15	0,17	0,17	0,12	0,11	0,11	0,1	0,17	0,14	<0,02
Nd / 0,30	1,6	0,6	0,7	<0,3	1	<0,3	0,5	0,7	0,9	0,3	<0,3	0,8	0,5	<0,3
Sm / 0,05	0,2	0,11	0,15	0,17	0,13	0,16	0,17	0,1	0,18	0,16	0,12	0,17	0,07	0,08
Eu / 0,02	0,07	0,04	0,05	0,05	0,04	0,07	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03
Gd / 0,05	0,24	0,16	0,24	0,34	0,26	0,24	0,27	0,22	0,35	0,33	0,31	0,32	0,28	0,21
Tb / 0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
Dy / 0,05	0,15	0,11	0,09	0,07	0,09	0,18	0,13	0,16	0,24	0,25	0,23	0,09	0,15	<0,05

όπου MDL, τα ελάχιστα όρια ανίχνευσης, μετρούμενα σε ppm

Πίνακας 5.7. (Συνέχεια...)

Analyte / MDL	PANEL-HS-1	PANEL-HS-2	PANEL-HS-3	PANEL-HS-4	PANEL-HS-5	PANEL-HS-6	PANEL-HS-7	PANEL-HS-8	PANEL-HS-9	PANEL-HS-10	PANEL-HS-11	PANEL-HS-13	PANEL-HS-15	PANEL-EG-1
Ho / 0,02	0,03	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	<0,02	0,02	<0,02
Er / 0,03	0,13	0,09	0,08	0,04	0,1	0,07	0,08	0,09	0,14	0,11	0,29	0,04	0,04	0,03
Tm / 0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	<0,01
Yb / 0,05	0,1	0,09	0,09	<0,05	<0,05	0,11	0,06	0,14	0,16	0,16	0,13	0,06	<0,05	<0,05
Lu / 0,01	0,03	<0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	<0,01	0,02	0,02	<0,01
Mo / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
Cu / 0,10	<0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,2	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,7
Pb / 0,10	1	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	311,8
Zn / 1,00	1	1095	1044	1039	1975	1980	1971	2070	2178	2113	1077	1090	1054	222
Ni / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,1
As / 0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cd / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ag / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au / 0,50	0,7	4,4	2,1	3,5	0,9	1,5	1,4	1,1	0,7	1	2,7	<0,5	1	164,7
Hg / 0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tl / 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	178,8
Se / 0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

όπου MDL, τα ελάχιστα όρια ανίχνευσης, μετρούμενα σε ppm

Πίνακας 5.8. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-1 (γυαλί)

PANEL HS 1				
%	Glass 1_1	Glass 1_2	Glass 1_3	Glass 1_4
Na₂O	12	12	12	12
MgO	3,33	3,27	3,11	3,19
Al₂O₃	0,95	0,92	1,06	0,74
SiO₂	70	71	70	70
CaO	8,83	8,41	8,49	8,46
SnO₂	4,20	4,16	4,85	4,98
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 5.9. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-2 (γυαλί)

PANEL HS 2					
%	Glass 2_1	Glass 2_2	Glass 2_3	Glass 2_4	Glass 2_5
Na₂O	11	11	11	11	12
MgO	4,39	4,28	4,65	4,47	4,18
Al₂O₃	0,49	0,46	0,00	0,00	0,00
SiO₂	75	74	75	77	74
CaO	8,10	8,20	7,65	7,97	7,89
SnO₂	1,44	1,63	1,72	0,00	1,62
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 5.10. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-2 (επίστρωση)

PANEL HS 2					
%	Coating 2_1	Coating 2_2	Coating 2_3	Coating 2_4	Coating
SiO₂	92	93	93	94	91
ZnO	7,57	7,13	7,03	6,42	8,63
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 5.11. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-3 (γυαλί)

PANEL HS 3					
%	Glass 3_1	Glass 3_2	Glass 3_3	Glass 3_4	Glass 3_5
Na₂O	11	12	12	11	12
MgO	4,25	4,27	4,26	4,12	4,52
Al₂O₃	0,58	0,31	0,00	0,00	0,00
SiO₂	74,49	74,64	74,86	75,77	73,96
CaO	7,32	7,20	7,36	7,32	7,63
SnO₂	1,87	1,55	1,29	1,57	1,97
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.12 Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-3 (επίστρωση)

PANEL HS 3					
%	Coating 1	Coating 2	Coating 3	Coating 4	Coating 5
Si	81	81	81	81	81
Zn	5,47	5,24	5,13	4,82	5,02
O	14	14	14	15	15
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.13. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-4 (γυαλί)

PANEL HS 4					
%	Glass 4_1	Glass 4_2	Glass 4_3	Glass 4_4	Glass 4_5
Na₂O	8,29	6,92	8,73	17,67	10,42
Al₂O₃	0,76	0,52	0,64	0,69	0,79
SiO₂	80	81	79	72	78
CaO	9,22	9,27	9,34	9,18	8,78
SnO₂	2,03	1,99	1,84	0,66	1,86
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.14. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-4 (επίστρωση)

PANEL HS 4					
%	Coating 4_1	Coating 4_2	Coating 4_3	Coating 4_4	Coating 4_5
Si	83	85	84	85	85
Zn	5,84	4,92	5,48	5,03	5,12
O	11	9,83	10	10	9,64
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.15. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-7 (επίστρωση)

PANEL HS 7					
%	Coating 7_1	Coating 7_2	Coating 7_3	Coating 7_4	Coating 7_5
ZnO	—	—	—	—	—
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.16. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-8 (γυαλί)

PANEL HS 8					
%	Glass 8_1	Glass 8_2	Glass 8_3	Glass 8_4	Glass 8_5
Na₂O	10	10	11	8,78	10
Al₂O₃	1,37	1,34	1,24	1,38	1,24
SiO₂	75	75	75	76	75
CaO	9,44	9,47	9,10	9,47	9,60
SnO₂	4,31	4,38	3,72	4,48	4,10
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.17. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-8 (επίστρωση)

PANEL HS 8					
%	Coating 8_1	Coating 8_2	Coating 8_3	Coating 8_4	Coating 8_5
ZnO	89	89	90	89	90
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.18. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-9 (γυαλί)

PANEL HS 9					
%	Glass 9_1	Glass 9_2	Glass 9_3	Glass 9_4	Glass 9_5
Na₂O	11	11	11	11	12
MgO	2,69	2,73	2,93	2,85	2,81
Al₂O₃	1,36	1,25	1,58	1,35	1,15
SiO₂	72	72	72	71	71
CaO	8,82	8,56	8,83	9,09	8,94
SnO₂	4,26	4,62	4,27	4,76	4,14
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.19. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-9 (επίστρωση)

PANEL HS 9					
%	Coating 9_1	Coating 9_2	Coating 9_3	Coating 9_4	Coating 9_5
SiO₂	0	0,42	0	0,53	0,34
K₂O	0	0	0	0,21	0
ZnO	91	89	90	92	90
Total	91	89	90	93	90

Πίνακας 5.20. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-10 (γυαλί)

PANEL HS 10					
%	Glass 10_1	Glass 10_2	Glass 10_3	Glass 10_4	Glass 10_5
Na₂O	11	11	11	11	11
MgO	2,94	3,10	2,75	3,02	2,73
Al₂O₃	1,25	1,25	1,32	1,22	1,47
SiO₂	71	71	72	71	72
CaO	8,48	8,95	8,51	8,55	8,36
SnO₂	4,95	4,53	4,51	5,19	4,50
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.21. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-10 (επίστρωση)

PANEL HS 10					
%	Coating 10_1	Coating 10_2	Coating 10_3	Coating 10_4	Coating 10_5
ZnO	88	90	89	88	90

Πίνακας 5.22. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-11 (γυαλί)

PANEL HS 11					
%	Glass 11_1	Glass 11_2	Glass 11_3	Glass 11_4	Glass 11_5
Na₂O	12	12	13	13	13
MgO	3,15	2,73	3,23	2,99	3,06
Al₂O₃	1,21	1,47	1,43	1,40	1,44
SiO₂	75	75	74	75	74
CaO	9,39	8,53	8,62	8,22	7,99
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.23. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-11 (επίστρωση)

PANEL HS 11					
%	Coating 11_1	Coating 11_2	Coating 11_3	Coating 11_4	Coating 11_5
ZnO	73	74	77	79	74

Πίνακας 5.24. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-12 (γυαλί)

PANEL HS 12					
%	Glass 12_1	Glass 12_2	Glass 12_3	Glass 12_4	Glass 12_5
Na₂O	11	11	11	11	11
MgO	3,03	2,95	2,81	3,00	2,90
Al₂O₃	1,14	1,10	1,25	1,24	1,27
SiO₂	73	73	73	73	73
CaO	8,33	8,43	8,27	8,14	8,29
SnO₂	3,82	3,32	3,38	3,78	3,38
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.25. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-12 (επίστρωση)

PANEL HS 12					
%	Coating 12_1	Coating 12_2	Coating 12_3	Coating 12_4	Coating 12_5
SiO₂	0	0	0,47	0,52	0
ZnO	92	91	91	92	91
Total	92	91	92	92	91

Πίνακας 5.26. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-13 (γυαλί)

PANEL HS 13					
%	Glass 13_1	Glass 13_2	Glass 13_3	Glass 13_4	Glass 13_5
Na₂O	11	11	13	12	11
MgO	2,79	3,00	2,91	2,73	2,91
Al₂O₃	1,31	1,38	1,37	1,21	1,20
SiO₂	71	7	72	72	73
CaO	8,08	8,32	8,16	8,28	8,57
SnO₂	4,88	4,02	3,39	4,02	3,67
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.27. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-13 (επίστρωση)

PANEL HS 13					
%	Coating 13_1	Coating 13_2	Coating 13_3	Coating 13_4	Coating 13_5
SiO₂	0,21	0	0	0	0
ZnO	87	89	87	88	86
Total	87	89	87	88	86

Πίνακας 5.28. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-14 (γυαλί)

PANEL HS 14					
%	Glass 14_1	Glass 14_2	Glass 14_3	Glass 14_4	Glass 14_5
Na₂O	9,50	10,00	9,64	9,27	8,57
MgO	3,61	3,60	3,92	4,18	3,92
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
SiO₂	75	75	75	76	75
CaO	9,62	8,90	9,04	8,78	9,42
SnO₂	2,61	2,57	2,31	1,72	2,24
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.29. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-14 (επίστρωση)

PANEL HS 14					
%	Coating 14_1	Coating 14_2	Coating 14_3	Coating 14_4	Coating 14_5
ZnO	39	38	36	36	33

Πίνακας 5.30. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-15 (γυαλί)

PANEL HS 15					
%	Glass 15_1	Glass 15_2	Glass 15_3	Glass 15_4	Glass 15_5
Na₂O	12	12	12	11	12
MgO	4,22	3,84	4,03	3,86	4,18
Al₂O₃	0,31	0,00	0,45	0,00	0,00
SiO₂	75	75	74	76	75
CaO	8,99	9,29	9,13	8,94	8,72
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.31. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-15 (επίστρωση)

PANEL HS 15					
%	Coating 15_1	Coating 15_2	Coating 15_3	Coating 15_4	Coating 15_5
ZnO	85	84	88	86	88

Πίνακας 5.32. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-16 (γυαλί)

PANEL HS 16					
%	Glass 16_1	Glass 16_2	Glass 16_3	Glass 16_4	Glass 16_5
Na₂O	12	12	12	12	12
MgO	4,170503	4,320924	4,281696	4,073643	4,188105
Al₂O₃	0,552384	0,649685	0,718825	0	0,53509
SiO₂	73	74	73	75	73
CaO	7,880685	7,476539	7,990416	7,903926	8,036633
SnO₂	2,062235	1,58812	2,146057	0	1,944845
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.33. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-16 (επίστρωση)

PANEL HS 16					
%	Coating 16_1	Coating 16_2	Coating 16_3	Coating 16_4	Coating 16_5
SiO₂	0,48	0,46	0	0	0
CaO	0	0,34	0	0	0
ZnO	96	92	105	98	97
Total	96	92	104	98	97

Πίνακας 5.34. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-17 (γυαλί)

PANEL HS 17					
%	Glass 17_1	Glass 17_2	Glass 17_3	Glass 17_4	Glass 17_5
Na₂O	15	14	16	16	15
MgO	3,75	2,86	3,45	3,71	4,05
Al₂O₃	1,72	1,68	1,44	1,56	1,39
SiO₂	72	72	72	72	72
CaO	7,27	7,98	6,98	6,79	7,34
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.35. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-17 (επίστρωση)

PANEL HS 17					
%	Coating 17_1	Coating 17_2	Coating 17_3	Coating 17_4	Coating 17_5
ZnO	78	77	78	80	76

Πίνακας 5.36. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-18 (γυαλί)

PANEL HS 18					
%	Glass 18_1	Glass 18_2	Glass 18_3	Glass 18_4	Glass 18_5
Na₂O	11	12	11	11	11
MgO	2,96	2,88	2,80	2,67	3,14
Al₂O₃	1,16	1,40	1,40	1,30	1,19
SiO₂	72	71	72	72	71
CaO	8,46	8,26	8,49	8,32	8,44
SnO₂	3,78	3,93	4,20	4,38	4,51
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.37. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-18 (επίστρωση)

PANEL HS 18					
%	Coating 18_1	Coating 18_2	Coating 18_3	Coating 18_4	Coating 18_5
ZnO	86	88	91	94	88

Πίνακας 5.38. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-19 (γυαλί)

PANEL HS 19			
%	Glass 19_1	Glass 19_2	Glass 19_3
Na₂O	13	12	13
MgO	4,44	4,24	4,20
Al₂O₃	0,53	0,59	0,73
SiO₂	73	75	74
CaO	7,89	8,40	8,11
ZnO	1,37	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 5.39. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-19 (επίστρωση)

PANEL HS 19			
%	Coating 19-1	Coating 19-2	Coating 19-3
ZnO	68	72	81

Πίνακας 5.40. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-20 (γυαλί)

PANEL HS 20			
%	Glass 20_1	Glass 20_2	Glass 20_3
Na₂O	14	14	14
MgO	4,56	4,45	4,56
Al₂O₃	0,55	0,62	0,37
SiO₂	72	73	73
CaO	8,24	7,88	8,16
Total	100	100	100

Πίνακας 5.41. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-20 (επίστρωση)

PANEL HS 20			
%	Coating 20_1	Coating 20_2	Coating 20_3
SiO₂	0,34	0,62	0,51
ZnO	88	92	87
Total	88	92	88

Πίνακας 5.42. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-21 (γυαλί)

PANEL HS 21						
%	Glass 21_1	Glass 21_2	Glass 21_3	Glass 21_4	Glass 21_5	Glass 21_6
Na₂O	13	13	13	13	13	13
MgO	3,11	2,90	3,19	3,39	2,77	2,90
Al₂O₃	1,29	1,21	1,08	1,53	1,14	1,14
SiO₂	70	71	71	70	71	71
CaO	8,54	8,46	8,47	8,40	8,31	8,08
SnO₂	4,31	4,06	3,68	3,93	3,77	4,41
Total	100	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.43. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-21 (επίστρωση)

PANEL HS 21					
%	Coating	Coating	Coating	Coating	Coating
Zn	92	90	89	94	102

Πίνακας 5.44. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-22 (γυαλί)

PANEL HS 22					
%	Glass 22_1	Glass 22_2	Glass 22_3	Glass 22_4	Glass 22_5
Na₂O	12	12	12	12	12
MgO	2,91	2,99	3,02	3,03	2,76
Al₂O₃	1,33	1,17	1,26	1,20	1,35
SiO₂	71	71	71	71	70
CaO	8,63	8,71	9,03	8,90	8,93
SnO₂	3,83	3,57	3,67	4,23	4,20
PbO	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.45. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-22 (επίστρωση)

PANEL HS 22					
%	Coating 22_1	Coating 22_2	Coating 22_3	Coating 22_4	Coating 22_5
SiO₂	0	0	0	1,08	0,29
ZnO	88	91	86	92	95
Total	88	91	86	93	96

Πίνακας 5.46. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-HS-23 (καλώδιο)

PANEL HS 23					
%	Wire_1	Wire_2	Wire_3	Wire_4	Wire_5
Ag L	3,58	4,25	4,56	6,36	3,94
Sn L	96	96	95	94	96
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.47. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο-μεταλλικό μέρος)

PANEL EG 1					
%	Metallic	Metallic	Metallic	Metallic	Metallic
Na	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,18	0,19	0,00	0,00	0,00
Al	0,15	0,24	0,00	0,00	0,00
Si	0,55	7,92	3,25	2,26	2,09
Ag	91	76	86	89	89
O	7,71	15	10	8,88	9,11
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.48. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο-μπλε επιφάνεια)

PANEL EG 1					
%	Blue Sur_1	Blue Sur_2	Blue Sur_3	Blue Sur_4	Blue Sur_5
Si K	100	100	100	100	100
Total	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.49. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο-γκρι επιφάνεια)

PANEL EG 1				
%	Gray Surface_1	Gray Surface_2	Gray Surface_3	Gray Surface_4
Na	0,13	0	0	0,23
Al	82	82	83	80
Si	18	19	17	19
Ag	0,24	0,18*	0,25	0,31
Total	100	100	100	100

Πίνακας 5.50. Μικροαναλύσεις EDS δείγματος PANEL-EG-1 (καλώδιο)

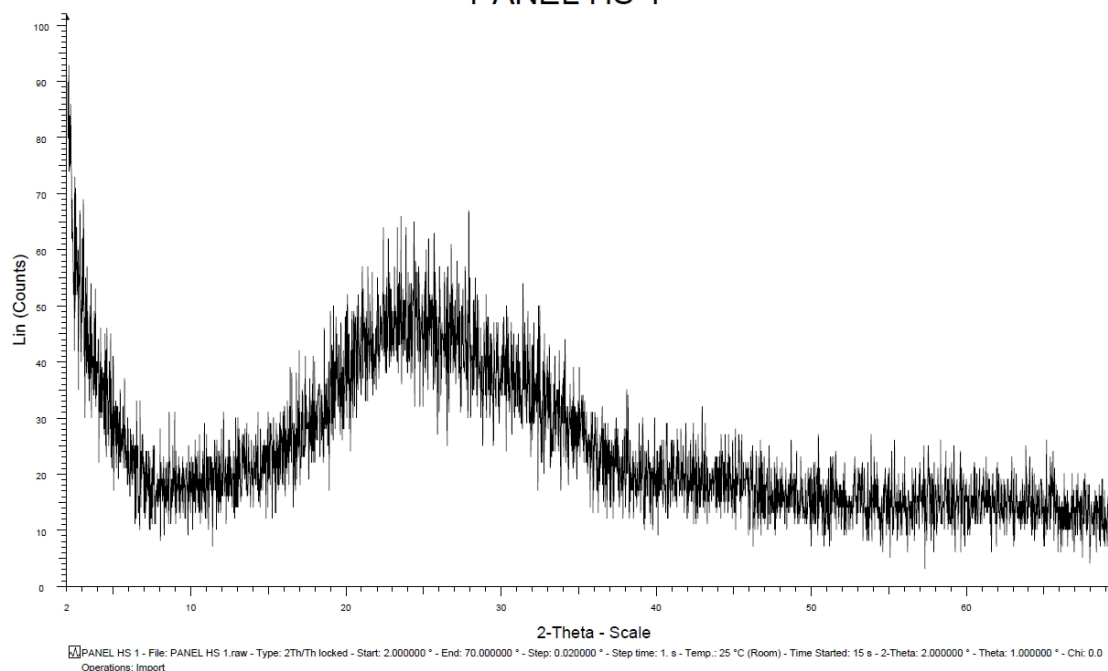
PANEL EG 1 - wire				
%	White surface	Gray surface	Wide area 1	Wide area 2
Sn	19	98	72	72
Pb	81	2,34	28	28
Total	100	100	100	100

Πίνακας 5.51. Μικροαναλύσεις EDS δειγμάτων REC-1 / REC-2 / REC-3

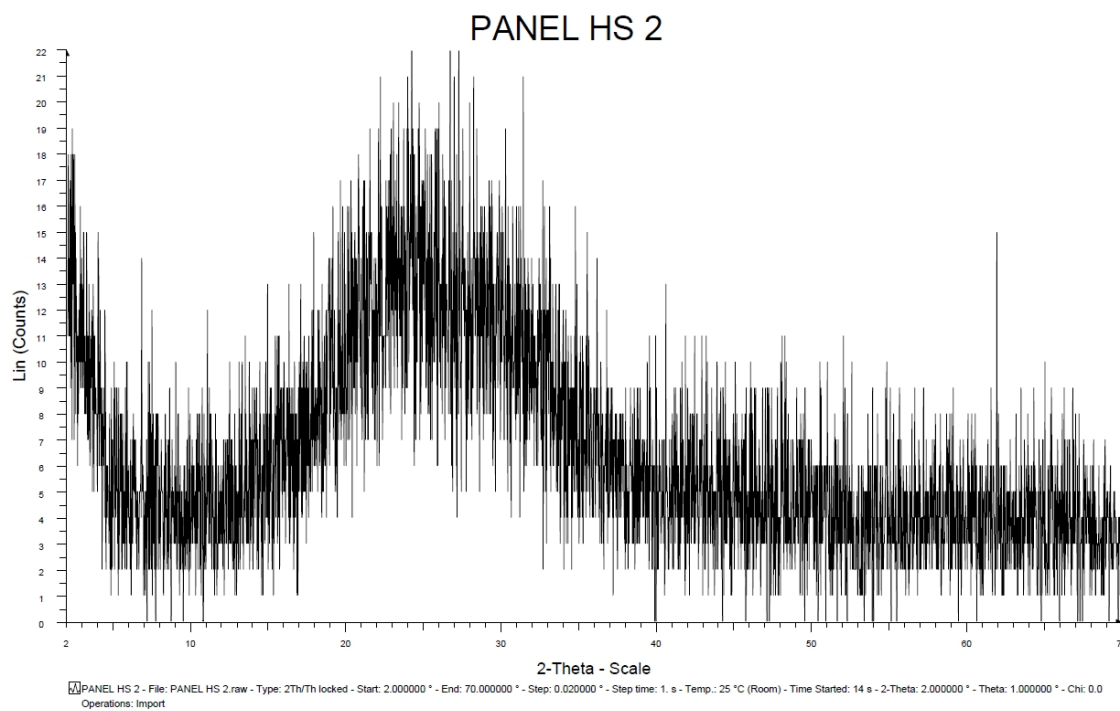
Ψήγματα μετάλλων στα δείγματα ανάκτησης				Ψήγματα μετάλλων στα δείγματα ανάκτησης				
Δείγμα	REC-1	REC-2-1	REC-2-2	Δείγμα	REC-3-1	REC-3-2	REC-3-3	REC-3-4
Na ₂ O	3,01	—	—	Al	79	25	15	71
SiO ₂	2,28	5,84	4,20	Si	14	2,17	5,93	25
SnO ₂	—	—	89	Cu	—	—	80	—
MnO	220	—	—	Mn	—	11	—	—
Fe ₂ O ₃	73	74	—	Fe	—	49	0,40	—
Cr ₂ O ₃	—	19	—	Zn	3,08	14,61	—	2,40
MoO ₃	—	—	7,20	Bi	4,020	—	—	2,05
Total	100	99	100	Total	100	102	101	100

5.5 Ακτινοδιαγράμματα XRD διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών

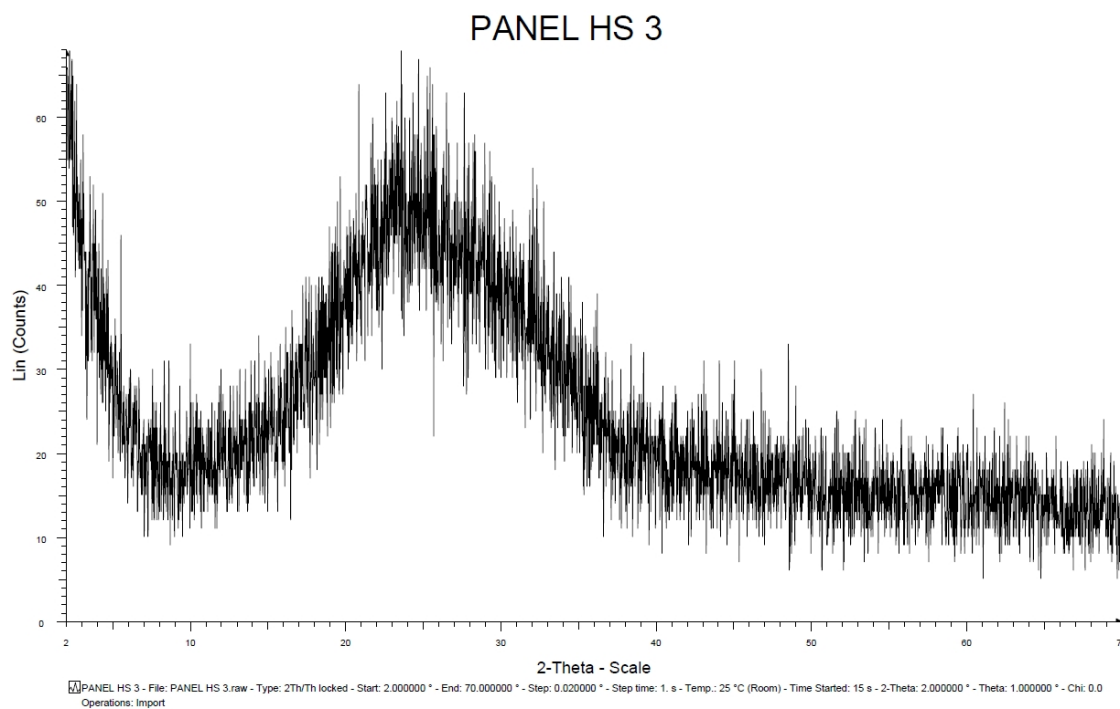
PANEL HS 1



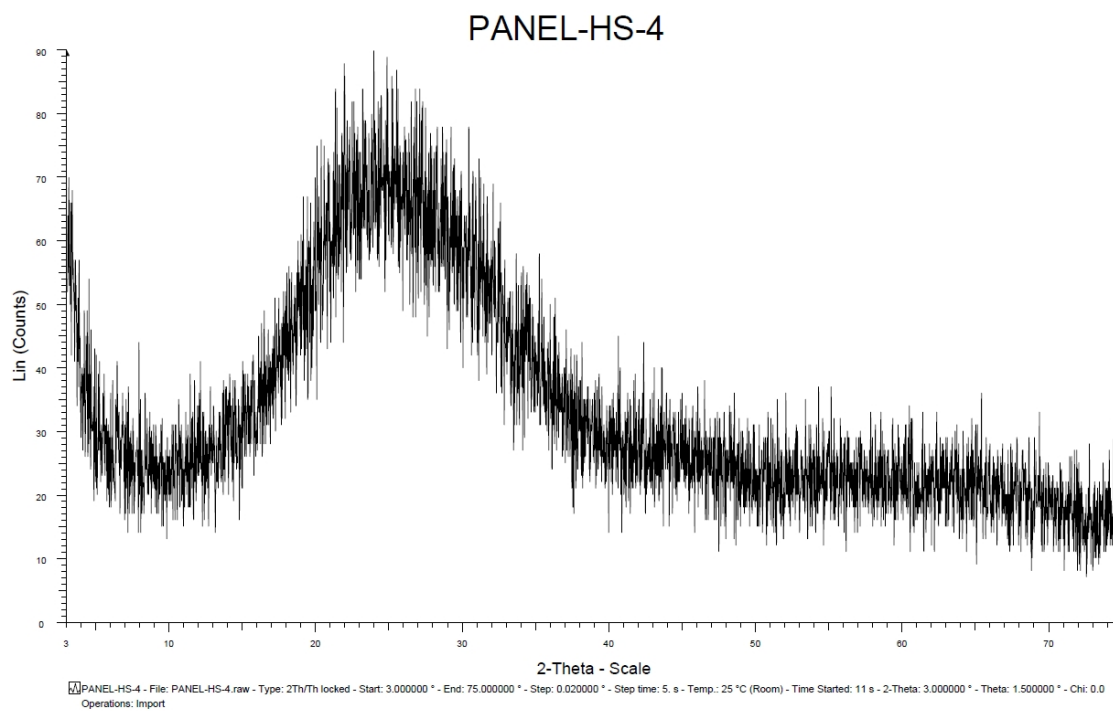
Σχήμα 5.60. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-1



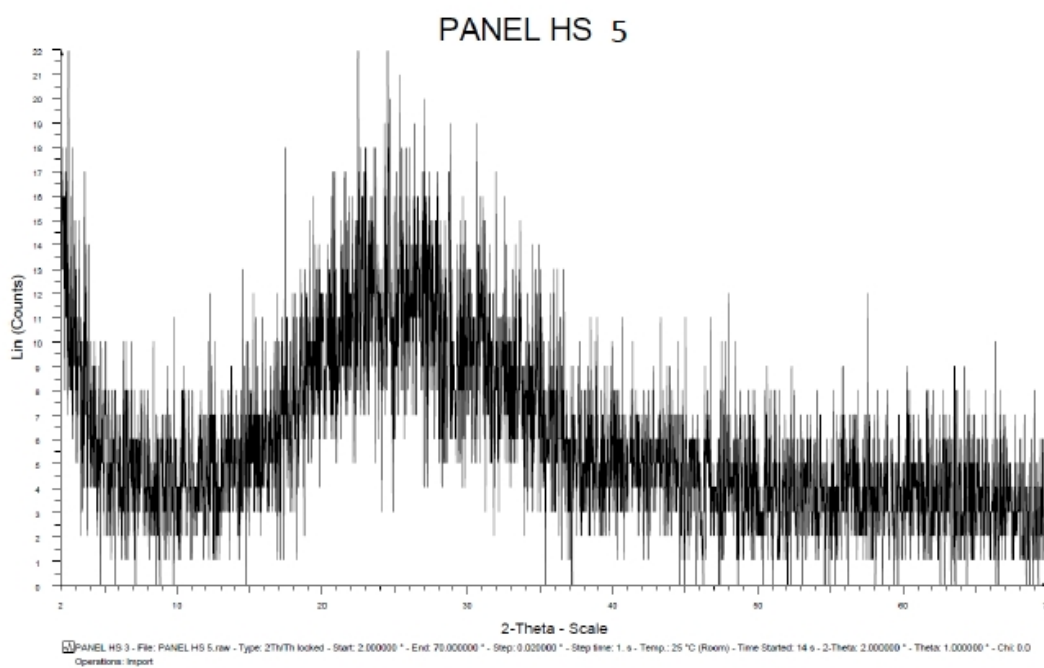
Σχήμα 5.61. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-2



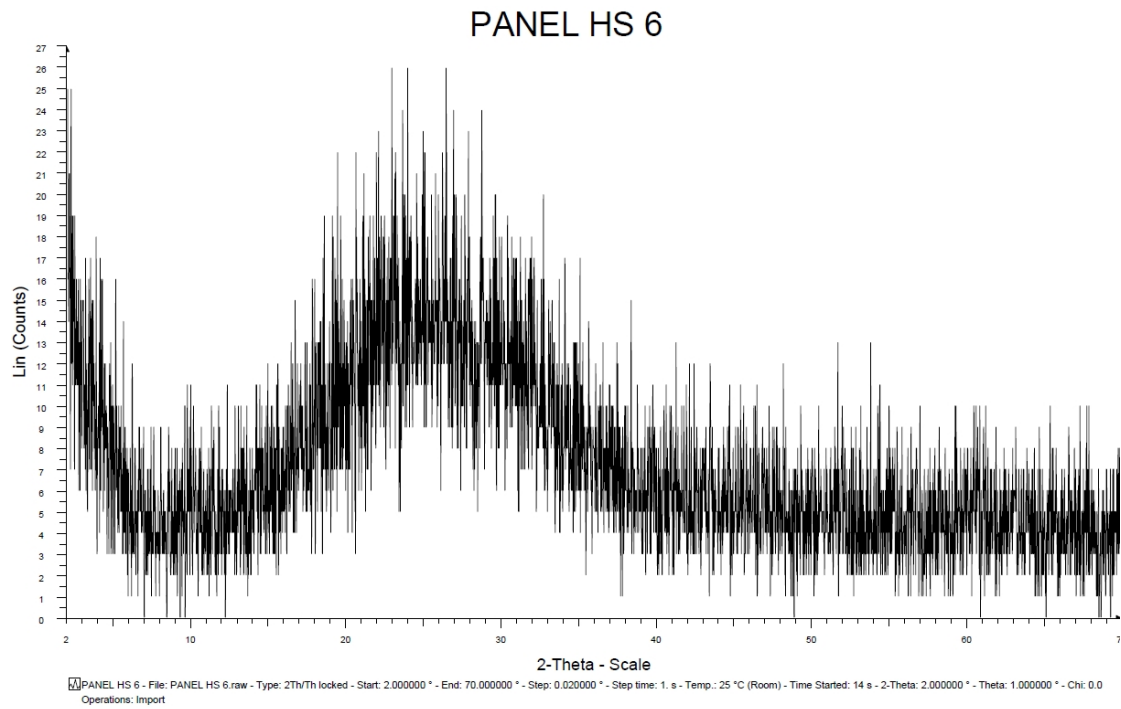
Σχήμα 5.62. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-3



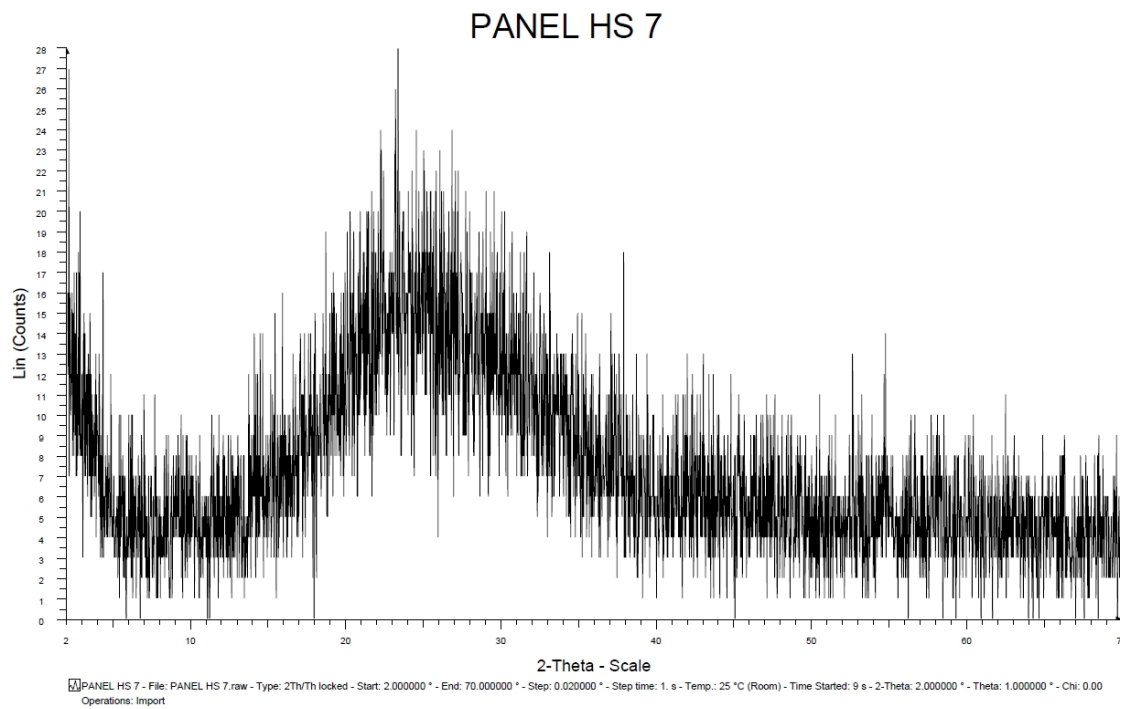
Σχήμα 5.63. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-4



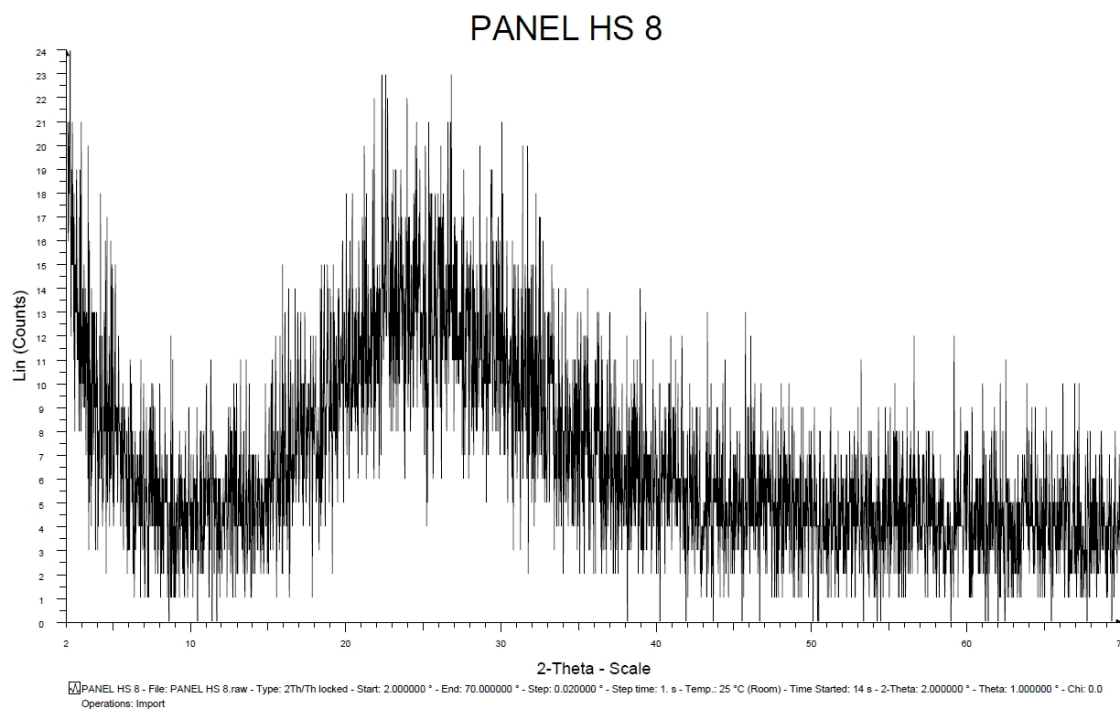
Σχήμα 5.64. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-5



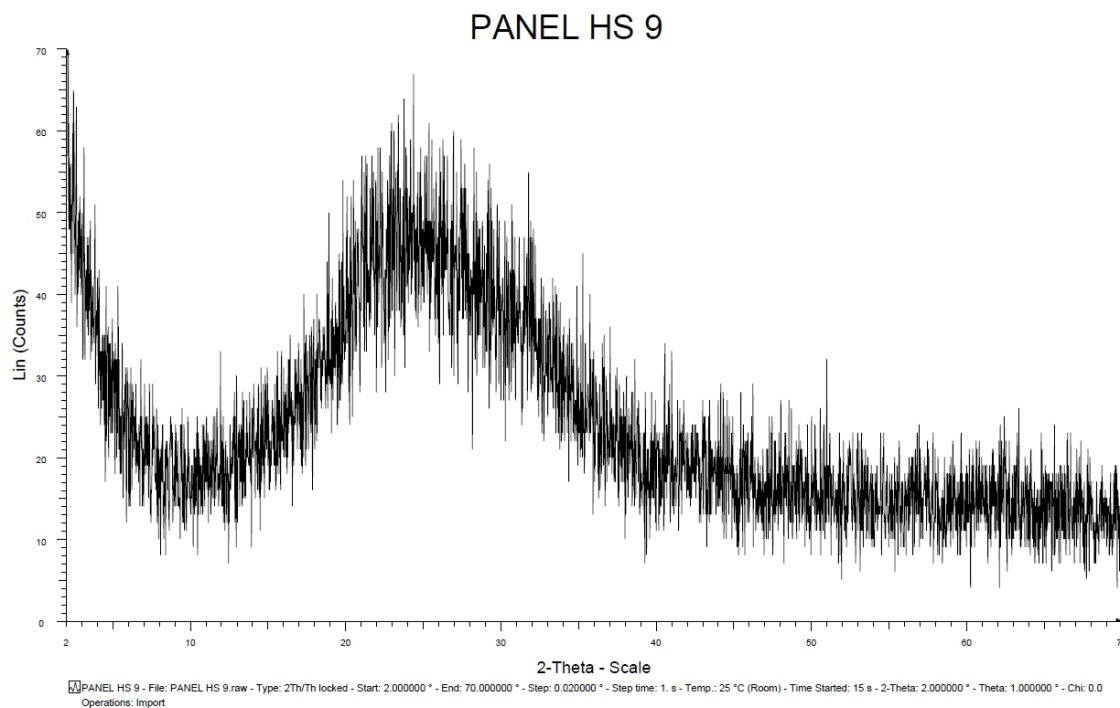
Σχήμα 5.65. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-6



Σχήμα 5.66. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-7

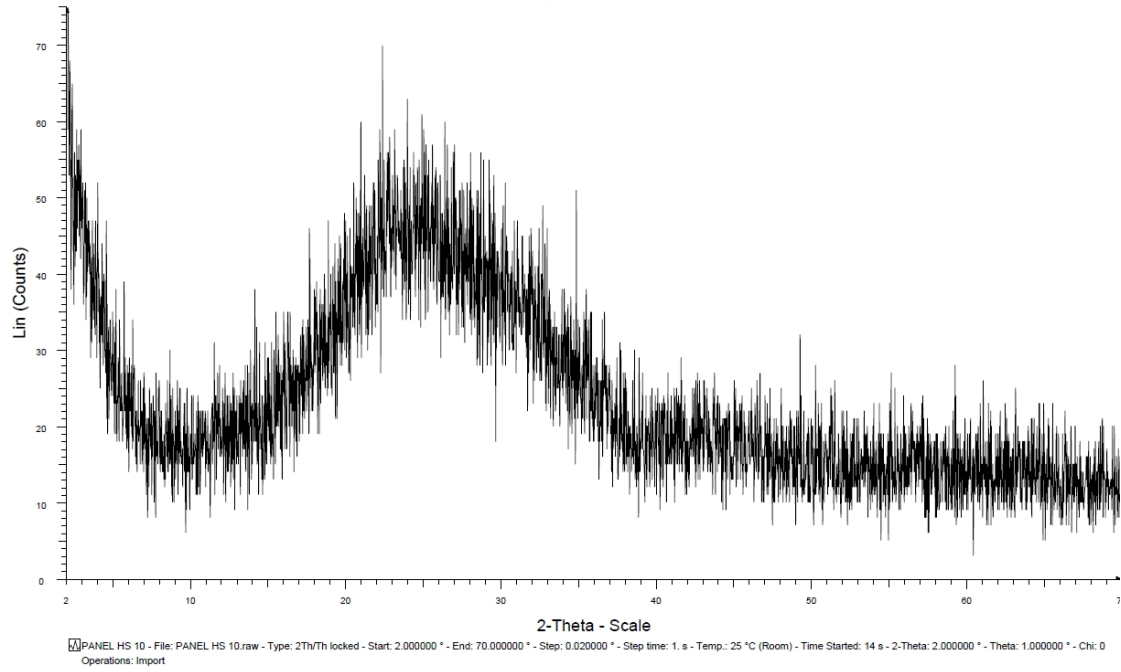


Σχήμα 5.67. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-8



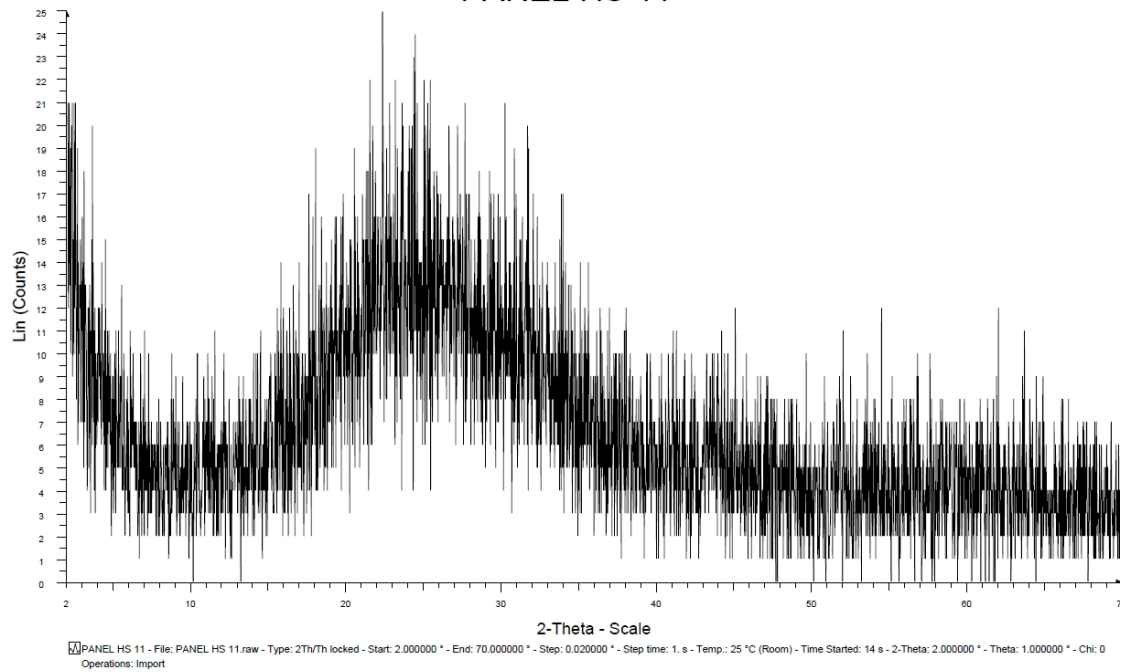
Σχήμα 5.68. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-9

PANEL HS 10



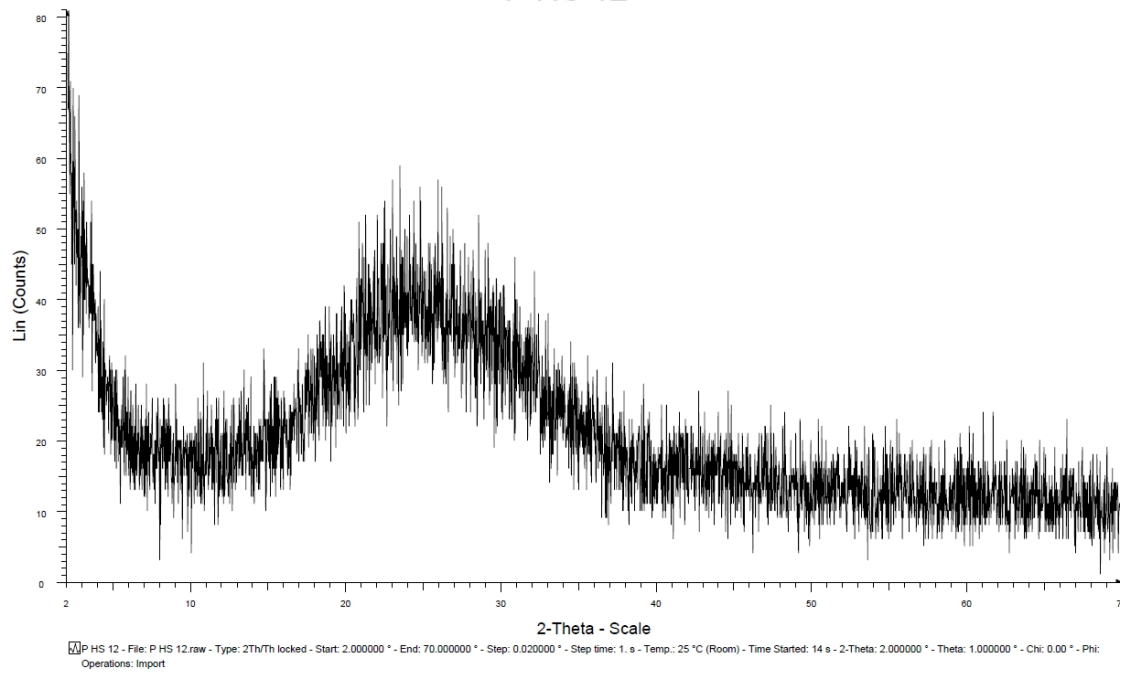
Σχήμα 5.69. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-10

PANEL HS 11



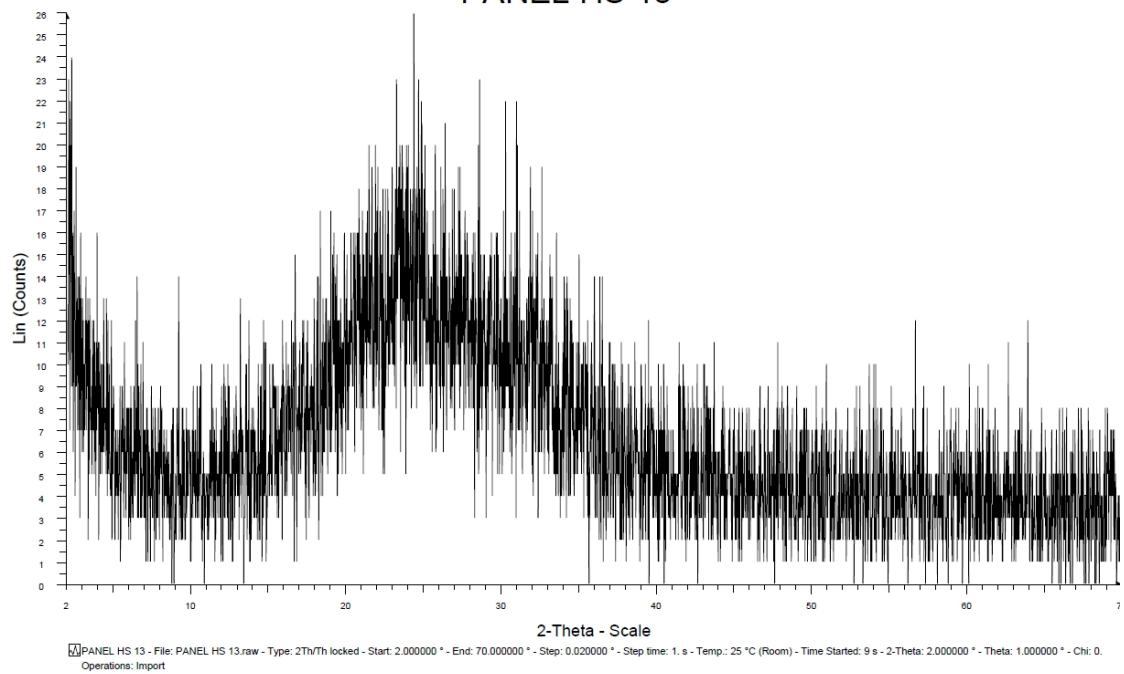
Σχήμα 5.70. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-11

P HS 12



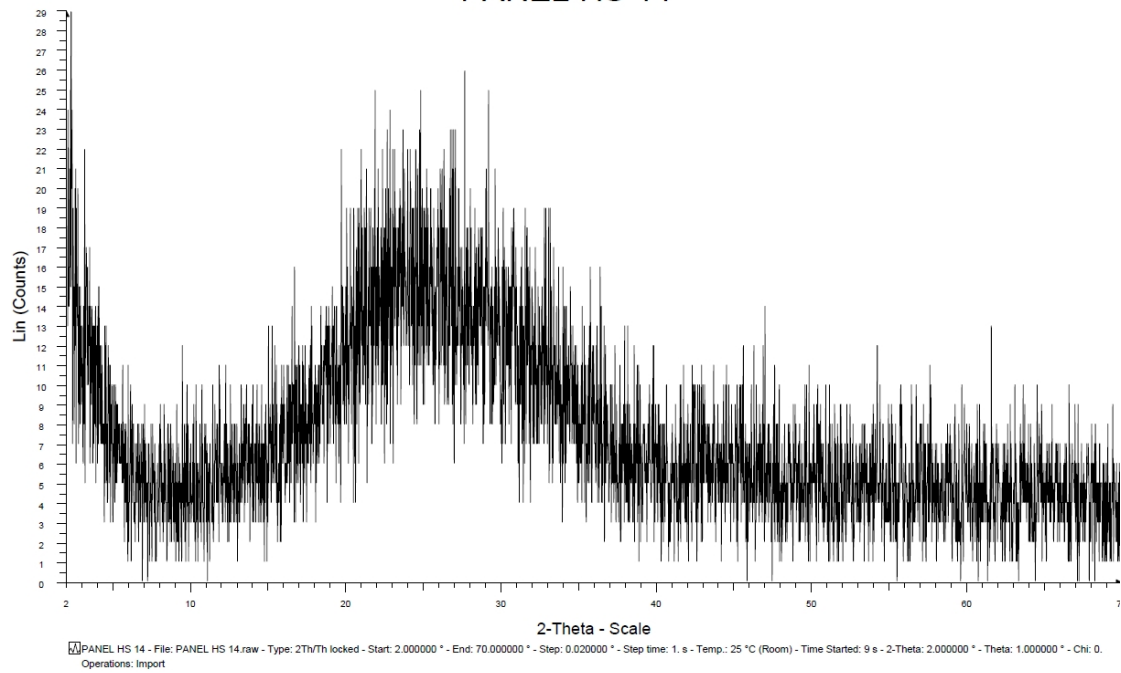
Σχήμα 5.71. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-12

PANEL HS 13



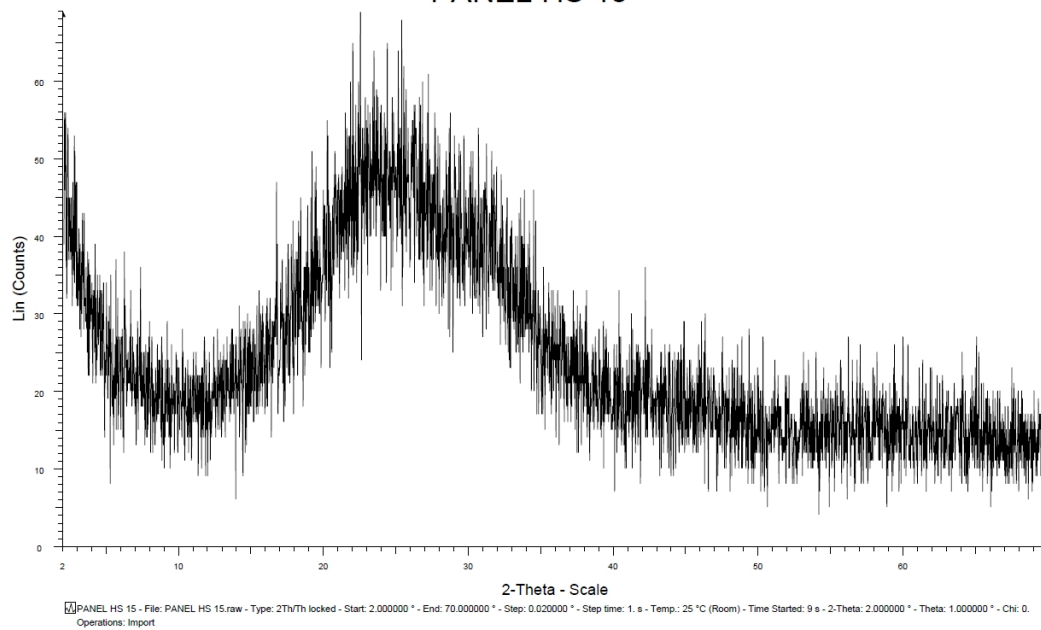
Σχήμα 5.72. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-13

PANEL HS 14

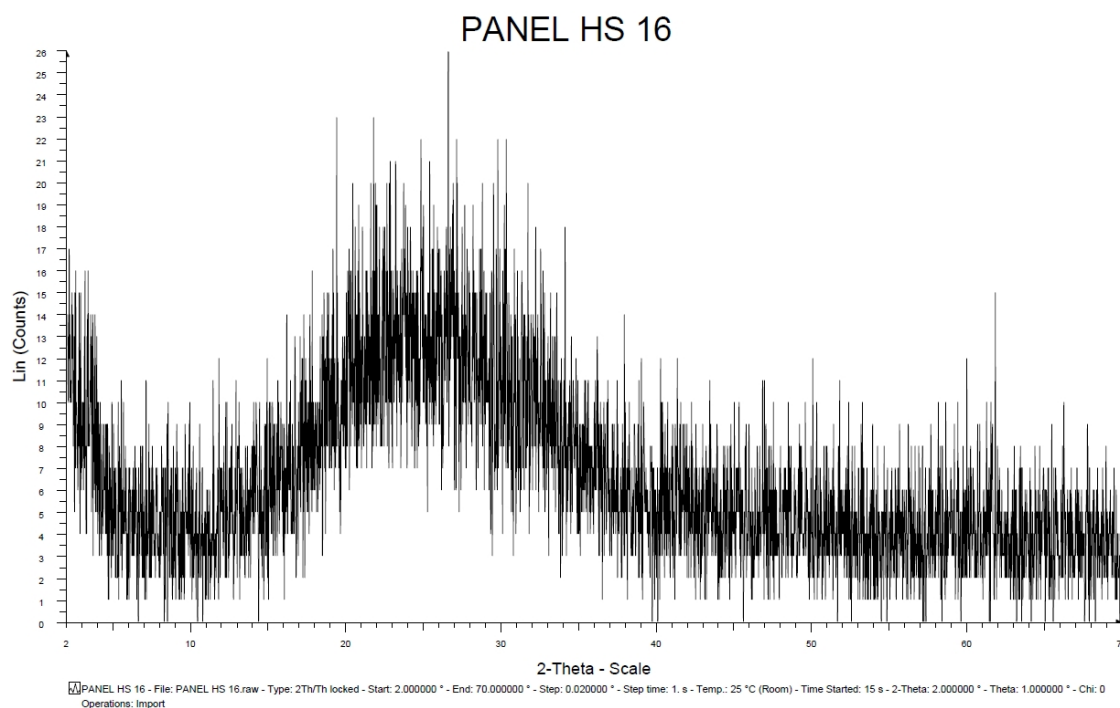


Σχήμα 5.73. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-14

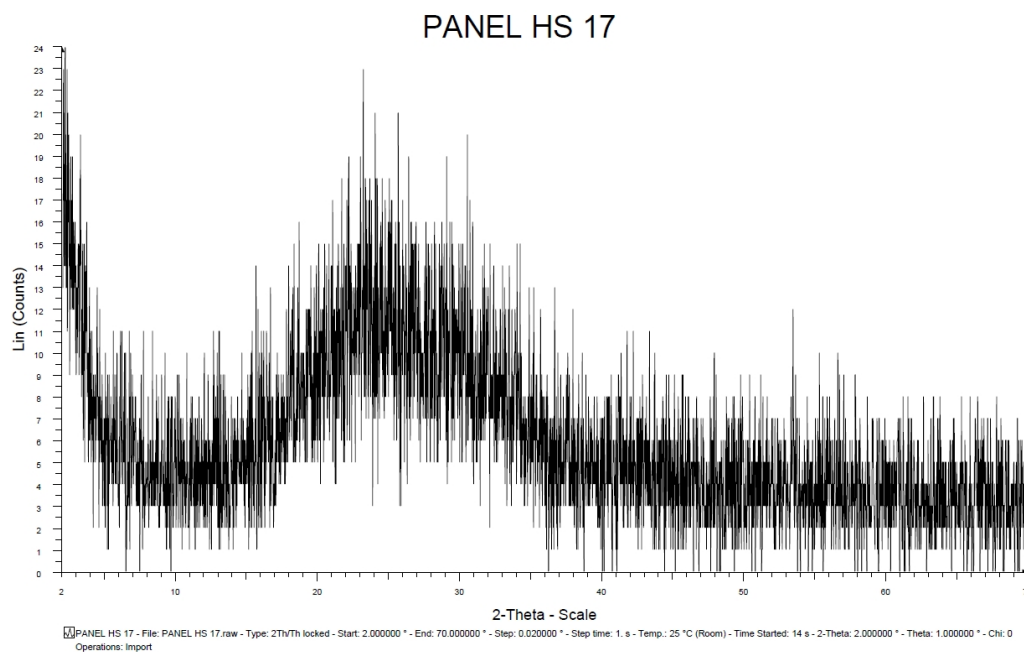
PANEL HS 15



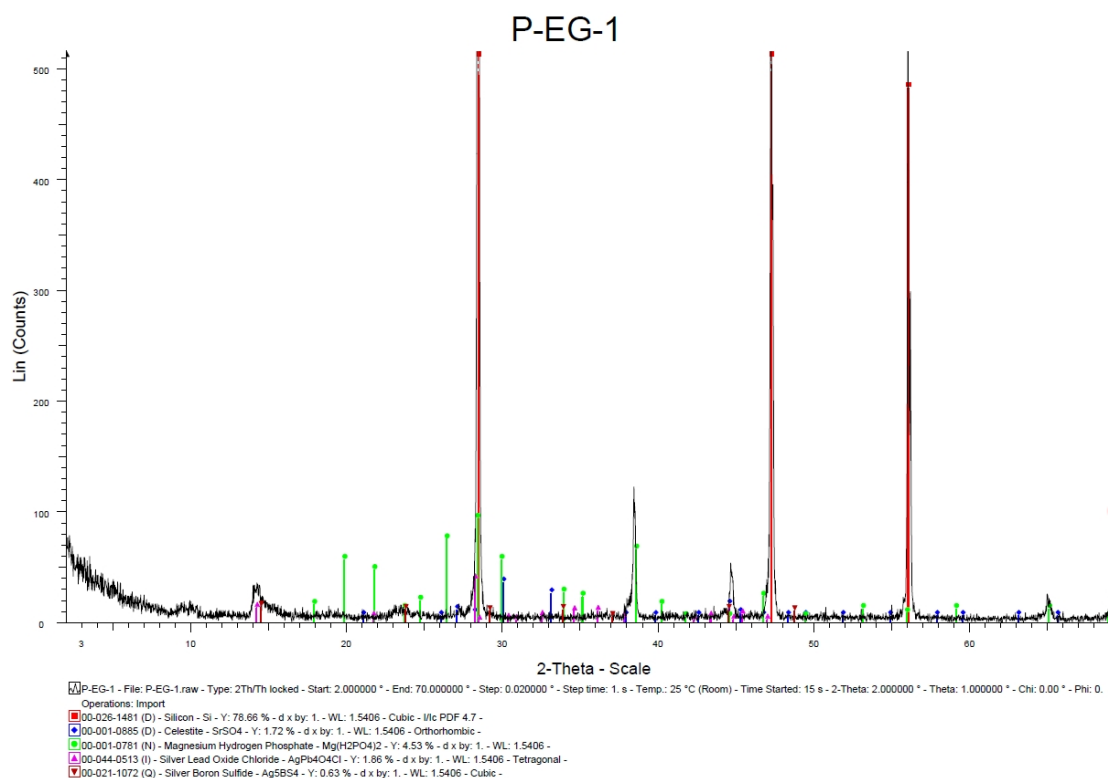
Σχήμα 5.74. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-15



Σχήμα 5.75. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-16



Σχήμα 5.76. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL HS-17



Σχήμα 5.77. Ακτινοδιάγραμμα XRD δείγματος PANEL-EG-1

5.6 Συμπεράσματα μελέτης διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών

Για την ορθή συζήτηση των αποτελεσμάτων της πειραματικής και αναλυτικής διαδικασίας των δειγμάτων, τα οποία ελήφθησαν για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, θα πρέπει να σημειωθούν τα παρακάτω. Τα δείγματα της εταιρείας HelioSphera είναι γυαλί, με μια λεπτή επίστρωση, το οποίο έχει προέλθει από το αρχικό στάδιο επεξεργασίας και παραγωγής των Φ/Β πάνελ. Επίσης, τα δείγματα της HelioSphera περιέχουν γυαλιά, τα οποία αστόχησαν κατά τη γραμμή παραγωγής της εταιρείας αυτής. Εν συνεχεία, το δείγμα PANEL-EG-1 της εταιρείας Exel Group είναι φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου, χωρίς την παρουσία γυαλιού.

Από την **ποιοτική ανάλυση στερεών φάσεων** των δειγμάτων (περιθλασιμετρία ακτίνων X), φαίνεται πως τα δείγματα των Φ/Β της **HelioSphera** αποτελούνται, αποκλειστικά, από άμορφη ύαλο (δείγμα PANEL-HS-1, PANEL-HS-2, PANEL-HS-3, PANEL-HS-4, PANEL-HS-5, PANEL-HS-6,

PANEL-HS-7, PANEL-HS-8, PANEL-HS-9, PANEL-HS-10, PANEL-HS-11, PANEL-HS-12, PANEL-HS-13, PANEL-HS-14, PANEL-HS-15, PANEL-HS-16 και PANEL-HS-17). Σε αντίθεση, το δείγμα **PANEL-EG-1** της εταιρείας **Exel Group** αποτελείται κυρίως από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.

Όσον αφορά στις χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων (μικροαναλύσεις διασποράς ενέργειας - EDS), τα δείγματα της **HelioSphera** (δείγμα PANEL-HS-1, PANEL-HS-2, PANEL-HS-3, PANEL-HS-4, PANEL-HS-5, PANEL-HS-6, PANEL-HS-7, PANEL-HS-8, PANEL-HS-9, PANEL-HS-10, PANEL-HS-11, PANEL-HS-12, PANEL-HS-13, PANEL-HS-14, PANEL-HS-15, PANEL-HS-16 και PANEL-HS-17) αποτελούνται, σε ποσοστό άνω του 70%, από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), ενώ η επίστρωση των Φ/Β πάνελ αποτελείται από οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), με ποσοστό περίπου 85-95%. Το δείγμα PANEL-EG-1 της εταιρείας **Exel Group** αποτελείται από πυρίτιο με επιστρώσεις αργιλίου, αργύρου και κασσίτερου.

Οι μερικές χημικές αναλύσεις των ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο ICP-MS, έδειξαν πως, για τα δείγματα της **HelioSphera** (δείγμα PANEL-HS-1, PANEL-HS-2, PANEL-HS-3, PANEL-HS-4, PANEL-HS-5, PANEL-HS-6, PANEL-HS-7, PANEL-HS-8, PANEL-HS-9, PANEL-HS-10, PANEL-HS-11, PANEL-HS-12, PANEL-HS-13, PANEL-HS-14, PANEL-HS-15, PANEL-HS-16 και PANEL-HS-17), δεν υπάρχει κάποια αξιοσημείωτη συγκέντρωση σε κάποιο ιχνοστοιχείο, εκτός από τις συγκεντρώσεις Ζιρκονίου (Zr) και Βολφραμίου (W). Αντίστοιχες συγκεντρώσεις Ζιρκονίου (Zr) και Βολφραμίου (W) παρατηρούνται και στο δείγμα PANEL-EG-1 της εταιρείας **Exel Group**. Βέβαια, στο εν λόγω δείγμα παρατηρείται και μια χαμηλή συγκέντρωση μολύβδου (Pb), της τάξης των 311,8ppm. Επίσης, υψηλή συγκέντρωση παρουσιάζει ο άργυρος (>100ppm). Τα στοιχεία αυτά αντιπροσωπεύονται, εν μέρει, από κρυσταλλικές φάσεις.

Ο συνδυασμός ανάλυσης εικόνας στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και μικροανάλυσης σύστασης των δειγμάτων οδήγησε στις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Τα δείγματα της εταιρείας **HelioSphera** αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από ύαλο και, κατά περιπτώσεις, φέρουν μεταλλική επίστρωση από Zn. Το πάχος της επίστρωσης είναι μεγέθους περίπου 2μm.

- Τα δείγματα PV της εταιρείας **Exel Group** αποτελούνται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, η δομή του οποίου αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.77. Το πάχος του πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι πολύ μικρό (<1mm). Διακόπτεται από μεταλλικές λωρίδες σύστασης Ag. Η πίσω επιφάνεια είναι καλυμμένη με αλουμίνα, σε μορφή σφαιριδίων.

Συμπερασματικά, τα δείγματα Φ/Β, από την εταιρεία HelioSphera, δεν παρουσιάζουν κάποιο άλλο ενδιαφέρον, πέρα από την ανακύκλωση γυαλιού. Το δείγμα PANEL-EG-1 της εταιρείας Exel Group παρουσιάζει μέτριες συγκεντρώσεις Bi και Ag. Βέβαια, αποτελείται κυρίως από Si.

6^ο Κεφάλαιο

Μελέτη διαδικασίας παραγωγής χρυσού από απόβλητα ηλεκτρονικών υπολογιστών

6.1 Διαδικασία εκχύλισης χρυσού

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην παράγραφο 2.8.1. Για την υλοποίηση, χρησιμοποιήθηκε μια ικανοποιητική ποσότητα ΑΗΗΕ επιτραπέζιων υπολογιστών, που ανήλθε στους 1,85t. Όλοι οι επιτραπέζιοι προσωπικοί υπολογιστές που χρησιμοποιήθηκαν, κατασκευάστηκαν κατά την τελευταία δεκαετία. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν περίπου σε 165 προσωπικούς υπολογιστές και κατέλαβαν επτά IBC κάδους, διαστάσεων 1×1×1,20m. Τα ΑΗΗΕ περιελάμβαναν ανέπαφους υπολογιστές, που σημαίνει ότι περιείχαν όλα τα απαραίτητα συστήματα για τη λειτουργία τους, τη μητρική πλακέτα, ένα σκληρό δίσκο, κάρτες γραφικών και ήχου, DVD player, κάρτες δικτύου και μόντεμ, μια συσκευή ανάγνωσης μαλακών δισκετών και τα τσιπ μνήμης RAM.

Η διαδικασία περιελάμβανε τέσσερα διαφορετικά μέρη, την χειρωνακτική αποσυναρμολόγηση του υπολογιστή, την ανάκτηση και απομόνωση αναλώσιμων ηλεκτρονικών υπολογιστών πλούσιων σε χρυσό, την υδρομεταλλουργική ανάκτηση πλούσιων σε χρυσό ιζημάτων και την διύλιση – καθαρισμό του ιζήματος χρυσού.

Οι μονάδες βάρους εκφράζονται σε τόνους, κιλά και γραμμάρια. Τα χρονικά διαστήματα αναφέρονται σε 8ωρη βάρδια μίας εργάσιμης ημέρας. Οι ώρες, που ο εργαζόμενος απασχολείται στην εργασία, αναφέρονται ως ώρες εργασίας (WHS), για την εκτίμηση του κόστους. Ωστόσο, αναφέρονται και τα κανονικά 24ωρα, ως ημερολογιακές ημέρες (CLD) ή απλά ημέρες, προκειμένου να περιγραφεί η όλη διαδικασία από χημική άποψη (π.χ., χρόνος καθίζησης). Η διαδικασία αρχίζει με την χειρωνακτική αποσυναρμολόγηση υπολογιστών και την ταξινόμηση των εξαρτημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών σε έντεκα μεγάλες κατηγορίες και, πιο συγκεκριμένα, τα χαλύβδινα μέρη, τα πλαστικά μέρη, τα τροφοδοτικά, τα αλουμίνια αποθέρμανσης ή ψήκτρες. Συνήθως, τοποθετούνται κατά σειρά οι κεντρικές μονάδες επεξεργασίας, οι σύμπυκνοι δίσκοι (CDs), οι ψηφιακοί βιντεοδίσκοι (DVDs) και οι δισκέτες, οι σκληροί

δίσκοι, οι περιφερειακές πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, τα καλώδια, οι μπαταρίες, οι μητρικές και οι επεξεργαστές.

Το ποσοστό συμμετοχής, % κ.β., κάθε κατηγορίας, φαίνεται στον Πίνακα 6.1. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους 1,85t αποσυναρμολογημένου υλικού ΑΗΗΕ, με μια τυπική απόκλιση 5%.

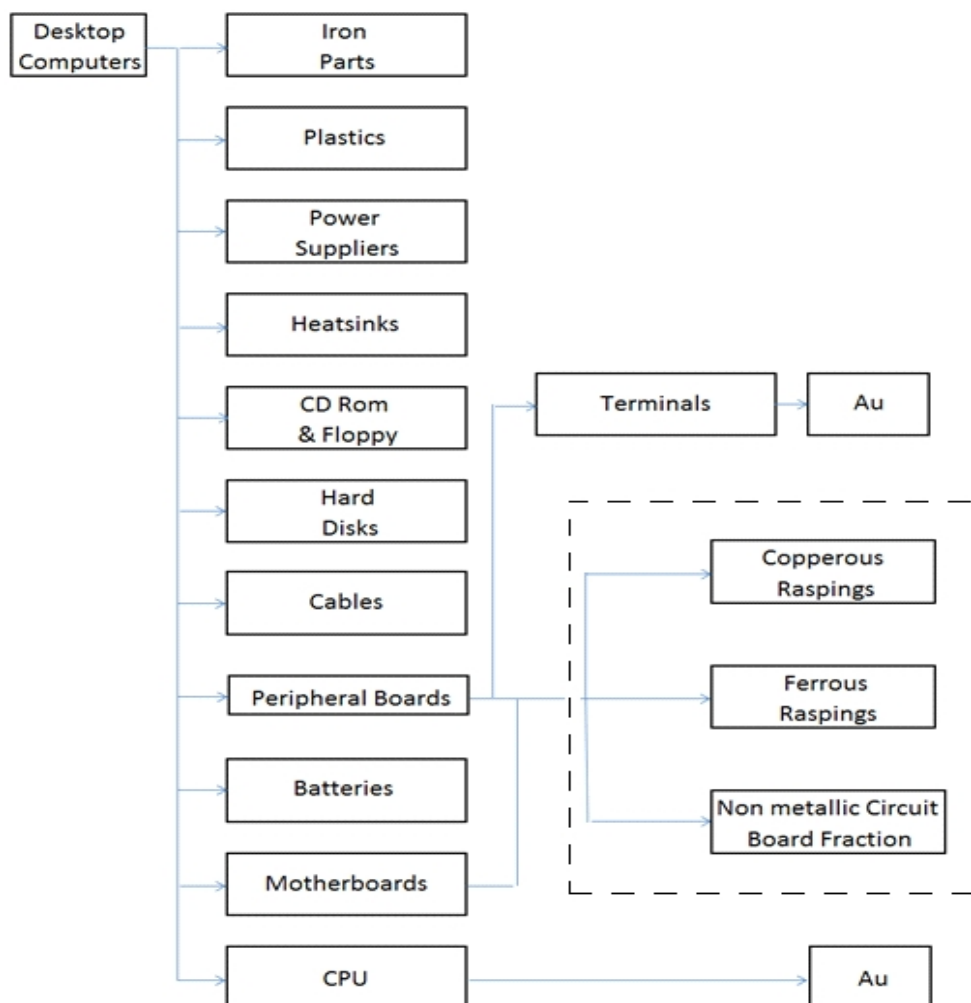
Κατά το αρχικό στάδιο της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, οι τεμαχισμένες πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, αλέστηκαν και τα μεταλλικά τμήματα διαχωρίστηκαν από τα μη μεταλλικά, μέσω μιας δονούμενης τράπεζας σε συνδυασμό με ένα μαγνητικό διαχωριστή, σε δύο κλάσματα, το κλάσμα σιδηρούχων και το κλάσμα χαλκούχων. Το μεταλλικό προϊόν αυτού του σταδίου έχει παραλειφθεί από την περαιτέρω υδρομεταλλουργική επεξεργασία για την εξαγωγή χρυσού, δεδομένης της παντελούς απουσίας του, σύμφωνα με τις μετρήσεις XRF.

Πίνακας 6.1. % κ.β συμμετοχή των τμημάτων που αποσυναρμολογούνται από έναν επιτραπέζιο υπολογιστή

Τμήματα Η/Υ	%κ.β.
Σιδηρούχα τμήματα (Πύργοι Η/Υ)	55,60-58,40
Πλαστικά τμήματα (Καλύμματα)	3,40-3,60
Τροφοδοτικά	13,00-13,70
Ψήκτρες	0,90-1,00
CD Rom & Floppy	12,20-12,80
Σκληροί δίσκοι	5,20-5,40
Ακροδέκτες	0,30-0,40
Υπόλοιπες περιφερειακές πλακέτες (μετά την απομάκρυνση των ακροδεκτών)	2,30-2,45
Καλωδίωση	2,20-2,35
Μπαταρίες	0,01-0,02
Μητρικές	6,10-6,50
Κεντρικοί επεξεργαστές	0,20-0,30

Στο δεύτερο βήμα της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, πραγματοποιήθηκε επιλογή των συγκεκριμένων τμημάτων των PC, που είναι εμπλουτισμένα σε χρυσό. Αυτά τα εξαρτήματα, που περιλαμβάνουν ουσιαστικά τις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας και μερικά από τα τερματικά, ειδικά εκείνα που ενώνουν τις περιφερειακές κάρτες τυπωμένων κυκλωμάτων με τη μητρική

πλακέτα, ονομάζονται αλλιώς «τερματικά δακτύλου» ή «δάκτυλοι». Ένα διάγραμμα της περιγραφείσας διαδικασίας αποσυναρμολόγησης φαίνεται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1. Διαδικασία αποσυναρμολόγησης επιτραπέζιων προσωπικών υπολογιστών

6.2 Αξιολόγηση τμημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών για περιεχόμενο χρυσού

Ο σκοπός της ταξινόμησης των τμημάτων τυπωμένων κυκλωμάτων, βάσει της περιεκτικότητας σε χρυσό, είναι η αξιολόγηση, η κατάταξη και ο διαχωρισμός των τμημάτων του υπολογιστή, που έχουν μια εμπλουτισμένη ελάχιστη συγκέντρωση σε χρυσό, από τα υπόλοιπα τμήματά του. Ένας επιπλέον στόχος ήταν να αποκτηθούν γνώσεις στην οπτική επιθεώρηση των τυπωμένων κυκλωμάτων, καθώς ένα μεγάλο μέρος της εργασίας αυτής γίνεται με το χέρι.

Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από μετρήσεις φθορισμού ακτίνων X, με ένα φορητό φασματομέτρο X-Ray Fluorescence (XRF), (BRUKER S1 Turbo SD LE). Το όργανο αυτό είναι σε θέση να πραγματοποιήσει μετρήσεις σε δείγματα από πολύ περιορισμένες ποσότητες μάζας, της κλίμακας των εκατοντάδων mg. Επιπλέον, δεν είναι αναγκαία η ομοιογένεια των δειγμάτων, δεδομένου ότι μπορεί να παρέχει μετρήσεις, αποκλειστικά, των μεταλλικών μερών του δείγματος, αμελώντας τα μη μεταλλικά τμήματα που μπορεί να περιέχονται (πλαστικά και άλλα υλικά βιολογικής προέλευσης).

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον τρεις φορές σε κάθε τμήμα του υπολογιστή που εξετάστηκε, προκειμένου να αξιολογηθεί το ακριβές περιεχόμενο σε πολύτιμο μέταλλο, με έναν ασφαλή και στατιστικώς αντιπροσωπευτικό τρόπο. Τα τμήματα που υποβλήθηκαν σε μετρήσεις XRF ήταν κυρίως από περιφερειακές κάρτες, όπως οι κάρτες μνήμης, VGA κάρτες, κάρτες ήχου, μόντεμ, κάρτες δικτύου κ.λπ. Από αυτά, μόνον οι «δάκτυλοι» υποδοχείς (τερματικά) βρέθηκε ότι περιέχουν σημαντικές ποσότητες χρυσού, που κυμαίνονται από 0,95% έως ακόμη και 3,4% κ.β., όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2. Οι γραμμές χρυσού που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι $K\alpha_1=68.806\text{eV}$ και $K\beta_1=77.982\text{eV}$.

Ως εκ τούτου, προτάθηκε τα τερματικά να αποκόπτονται από τα υπόλοιπα μέρη του υπολογιστή, κατά τη διάρκεια της προ-επεξεργασίας, στο χειρωνακτικό στάδιο αποσυναρμολόγησης του υπολογιστή, πριν την κύρια επεξεργασία των τυπωμένων κυκλωμάτων.

Ένα άλλο μέρος του υπολογιστή που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής κατά τη διάρκεια της διάλυσης είναι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3., μέσω των αποτελεσμάτων των μετρήσεων XRF για γραμμές χρυσού $K\alpha_1=68.806\text{eV}$ και $K\beta_1=77.982\text{eV}$, οι CPU βρέθηκε ότι περιέχουν σημαντικές ποσότητες χρυσού. Ως εκ τούτου, προτάθηκε και τελικά εφαρμόστηκε, η απομάκρυνσή των CPUs κατά το πρώτο στάδιο της διάλυσης.

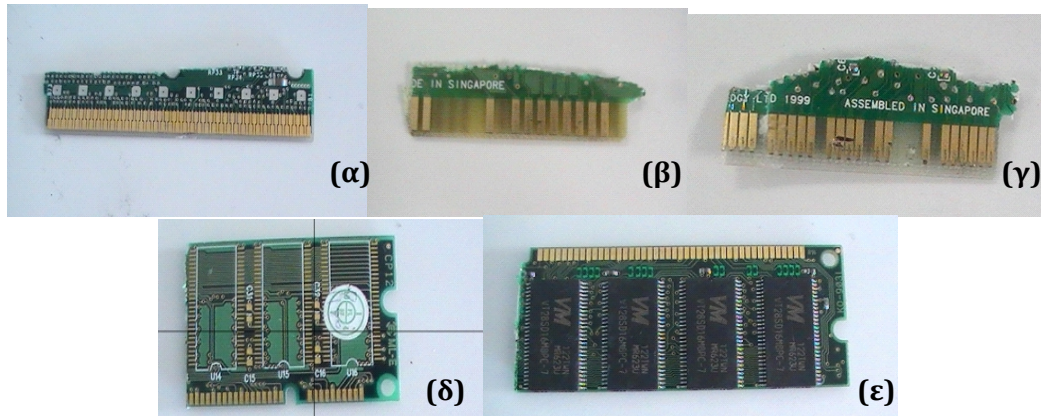
Οι τύποι CPUs που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε CPUs που ενσωματώνονται σε κεραμικά πλακίδια και σε CPUs που ενσωματώνονται σε πλαστικά πλακίδια. Ο τύπος CPU που επιστρώνεται επί πλαστικού πλακιδίου είναι κατασκευασμένος από επιχρυσωμένες ακίδες επάνω

σε υλικό, παρόμοιο με εκείνο της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος. Η κύρια διαφορά μεταξύ των τύπων πλαστικού και κεραμικού πλακιδίου είναι ότι ο δεύτερος περιέχει υψηλότερα ποσοστά χρυσού, τα οποία μπορεί να φτάσουν μέχρι και 20% κ.β.. Έτσι, η ανάκτηση χρυσού από CPUs που ενσωματώνονται σε κεραμικά πλακίδια είναι πολύ πιο αποδοτική. Συνεπώς, σε περίπτωση χειρισμού εκτεταμένων ποσοτήτων ΑΗΗΕ, θα πρέπει να υπάρχει μια διαδικασία διαχωρισμού μεταξύ των δύο τύπων CPUs.

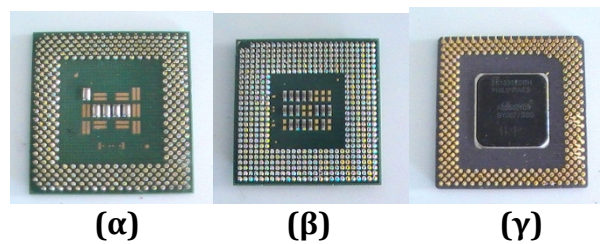
Σε αυτή τη μελέτη, οι κεραμικού και πλαστικού τύπου επεξεργαστές είναι μοιρασμένοι περίπου 50%-50% και δεν αντιμετωπίζονται χωριστά. Στα Σχήματα 6.2. και 6.3., παρουσιάζονται τα δείγματα από τις περιφερειακές κάρτες και τους CPUs που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, αντίστοιχα.

Πίνακας 6.2. Ταυτοποίηση περιεχομένου χρυσού τερματικών υποδοχέων τύπου δακτύλου με XRF

% κ.β.	Sp_1	Sp_2	Sp_3	Sp_4	Sp_5
Ti	0,00	0,08	0,00	4,52	2,61
V	0,00	0,00	0,00	1,09	0,79
Mn	0,00	0,00	0,00	0,15	0,13
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,19	0,16	0,17	0,23	0,20
Co	0,09	0,03	0,07	0,00	0,08
Ni	24	21	28	10	16
Cu	74	74	69	82	78
Zn	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Se	0,03	0,00	0,12	0,00	0,00
Zr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ru	0,01	0,06	0,07	0,00	0,01
Pd	0,04	0,00	0,31	0,17	0,10
Nb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ag	0,26	0,45	0,42	0,46	0,36
Cd	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00
Sn	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Re	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Au	1,63	3,38	2,25	0,94	1,42



Σχήμα 6.2. (α) Δείγμα Sp_1, (β) Δείγμα Sp_2, (γ) Δείγμα Sp_3, (δ) Δείγμα Sp_4, (ε) Δείγμα Sp_5

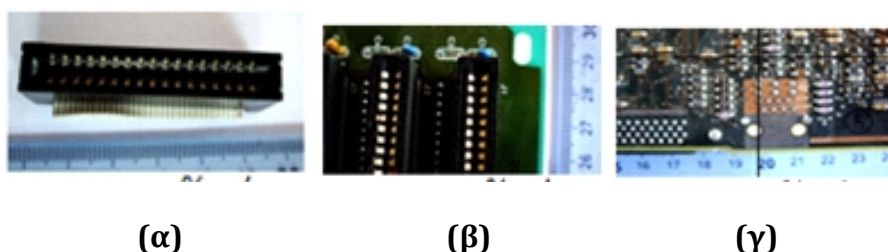


Σχήμα 6.3. (α) Δείγμα CPU_1, (β) Δείγμα CPU_2, (γ) Δείγμα CPU_3

Πίνακας 6.3. Ταυτοποίηση περιεχομένου χρυσού στα δείγματα CPUs

% κ.β.	CPU_1	CPU_2	CPU_3
Ti	5,97	4,81	1,17
V	1,68	1,40	0,00
Mn	0,15	0,09	0,00
Cr	0,00	0,00	5,91
Fe	3,12	4,78	4,88
Co	0,70	1,14	4,06
Ni	10	11	19
Cu	57,50	50,6	3,27
Zn	0,00	0,00	0,00
Se	0,00	0,00	0,00
Zr	0,02	0,00	0,04
Ru	0,00	0,00	0,00
Pd	0,14	0,21	0,08
Nb	0,00	0,00	0,23
Mo	0,00	0,00	14,1
Sn	15	20	0,00
Sb	0,63	1,01	0,00
Ag	0,37	0,36	22,2
Cd	0,00	0,00	0,00
Sn	0,00	0,00	0,00
Re	0,00	0,00	2,14
Au	4,69	4,59	22,9

Στο Σχήμα 6.4., παρουσιάζονται δείγματα άλλων τμημάτων τυπωμένων κυκλωμάτων από μητρικές κάρτες και κάρτες περιφερειακών, που υποβλήθηκαν σε μετρήσεις XRF με την ίδια μεθοδολογία. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.4., δεν δείχνουν καμία περιεκτικότητα σε χρυσό. Τα πιο κοινά στοιχεία από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα μέρη αυτά είναι χαλκός και ψευδάργυρος που περιλαμβάνει κράματα ορείχαλκου και κίτρινου ορείχαλκου. Κατά συνέπεια, ολόκληρες οι πλακέτες (και αυτό ισχύει και για περιφερειακές κάρτες, καθώς και μητρικές), μετά την αφαίρεση των CPU και των δακτύλων-τερματικών, απομακρύνθηκαν, για να χρησιμοποιηθούν σε περαιτέρω στάδια της διαδικασίας, με σκοπό την ανάκτηση άλλων μετάλλων όπως χαλκού, αλουμινίου και σιδήρου.



Σχήμα 6.4. (α) Δείγμα Mb_1, (β) Δείγμα Mb_2, (γ) Δείγμα Mb_3

Πίνακας 6.4. Μετρήσεις σε άλλα τμήματα τυπωμένων κυκλωμάτων προερχόμενων από μητρικές κάρτες και κάρτες περιφερειακών

%κ.β.	Mb_1	Mb_2	Mb_3
Ti	0,00	0,00	50,00
V	0,00	0,00	10,10
Mn	0,00	0,00	0,87
Cr	0,00	0,00	0,00
Fe	0,19	0,19	0,00
Co	0,15	0,11	0,00
Ni	4,40	0,73	7,31
Cu	62,00	63,00	0,00
Zn	32,00	35,00	0,23
Se	0,00	0,00	0,00
Zr	0,00	0,00	0,42
Ru	0,00	0,00	0,00
Pd	0,00	0,00	0,80
Nb	0,20	0,22	1,42
Mo	0,00	0,00	0,00
Sn	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 6.4. (Συνέχεια...)

%κ.β.	Mb_1	Mb_2	Mb_3
Ag	0,21	0,20	15,10
Cd	0,00	0,00	0,00
Sn	0,00	0,00	4,37
Re	0,00	0,00	0,00
Au	0,00	0,00	4,59
W	1,01	0,76	0,00
Pb	0,00	0,03	6,07

Η περαιτέρω επεξεργασία των καθαρών από χρυσό εμπλουτισμένων εξαρτημάτων που έχουν αφαιρεθεί περιλαμβάνει μια σειρά από θρυμματιστές και μύλους, που οδηγούν στην κονιοροποίηση των τυπωμένων κυκλωμάτων.

Στις εγκαταστάσεις της εταιρείας, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από διαχωριστές δινορευμάτων, διαχωριστές τυμπάνου, μαγνητικούς διαχωριστές, κόσκινα, δονητές και διαχωριστές κυκλώνα αέρα, προκειμένου να απομονωθεί το μεταλλικό από τη μη μεταλλικό μέρος των τυπωμένων κυκλωμάτων. Το σιδηρούχο και το μη σιδηρούχο κλάσμα του τυπωμένου κυκλώματος υπεβλήθη σε περαιτέρω διαχωρισμό, με μαγνητικούς διαχωριστές.

Τα μη σιδηρούχα μέρη, συνήθως, συνίστανται από κράματα χαλκού-νικελίου, όπως CDA745-Ni-Ag ή κράματα ορειχάλκου, όπως C87800-Si Brz. Ωστόσο, παρατηρώντας οπτικά τα μη σιδηρούχα μεταλλικά κλάσματα, προέκυψε ότι είναι πολύ ανομοιογενή και επομένως, πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ταυτοποίηση XRF, προκειμένου να προσδιοριστεί το είδος του κράματος. Οι επιπλέον μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν, επίσης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι δεν έχουν διαφύγει ποσότητες χρυσού κατά την αρχική χειρονακτική διαδικασία επιλογής.

Επομένως, το μίγμα των ρινισμάτων ταξινομείται σε κατηγορίες, με βάση το χρώμα και το σχήμα των σωματιδίων και οι μετρήσεις XRF πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος κάθε ενός από τα κύρια κλάσματα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.6. Αυτά είναι:

- επιμήκη ρινίσματα κίτρινου χρώματος που κατά πάσαν πιθανότητα προέρχονται από motherboard,

- ημισφαιρικά ρινίσματα λευκής, ασημί και χάλκινης απόχρωσης,
- σφαιρικά ρινίσματα κίτρινου χρώματος,
- σφαιρικά ρινίσματα με χάλκινη απόχρωση και
- σφαιρικά ρινίσματα λευκού και ασημί χρώματος.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει, ως επί το πλείστον, ένα κράμα χαλκού και ψευδαργύρου, με ίχνη νικελίου και αργύρου. Χαρακτηρίστηκε ως CDA857-Yellow Brass. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από σωματίδια χαλκού με ασημένια επικάλυψη. Η περιεκτικότητα σε άργυρο είναι περίπου 8,2% κ.β., ενώ σε Cu και Zn είναι 69% και 14% κ.β., αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, είναι ορείχαλκος επικαλυμμένος με άργυρο. Η τρίτη κατηγορία περιέχει Zn και Cu σε περιεκτικότητες 34% και 57% κ.β., αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, είναι ένα κράμα ορείχαλκου. Η τέταρτη κατηγορία ήταν σχεδόν καθαρός χαλκός περιεκτικότητας 98% κ.β. και η πέμπτη κατηγορία ήταν ένα κράμα νικελίου, 15,42% κ.β. χαλκού και 36% κ.β. ψευδαργύρου. Έτσι χαρακτηρίστηκε ως κράμα νικελίου - χαλκού - ψευδαργύρου. Ο χρυσός απουσιάζει από όλα τα προαναφερόμενα κλάσματα. Ως εκ τούτου, αποφασίστηκε να παραλειφθούν τα ρινίσματα από την τελική διαδικασία υδρομεταλλουργικής ανάκτησης του χρυσού.

Στο Σχήμα 6.5., παρουσιάζονται δείγματα μη σιδηρούχων ρινισμάτων των τυπωμένων κυκλωμάτων.



Σχήμα 6.5. (α) Δείγμα NF_1, (β) Δείγμα NF_2, (γ) Δείγμα NF_3, (δ) Δείγμα NF_4, (ε) Δείγμα NF_5

Πίνακας 6.5. Μετρήσεις σε μη σιδηρούχα ρινίσματα τυπωμένων κυκλωμάτων

%κ.β.	NF_1%	NF_2	NF_3	NF_4	NF_5
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
Cr	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Fe	0,20	0,38	0,49	0,42	0,24
Co	0,12	0,00	0,11	0,09	0,13
Ni	5,77	5,17	2,50	0,07	15,90
Cu	62,00	69,00	58,00	98,00	32,00
Zn	31,00	15,00	34,00	0,21	47,00
As	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Se	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pd	0,18	0,00	0,00	0,00	0,12
Nb	0,05	0,07	0,19	0,00	0,07
Mo	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ag	0,21	8,26	0,25	0,24	0,34
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sn	0,07	1,50	0,67	0,11	1,48
Ta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
Re	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Au	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W	0,79	0,00	1,08	0,00	0,00
Pb	0,18	0,18	2,55	0,35	2,06

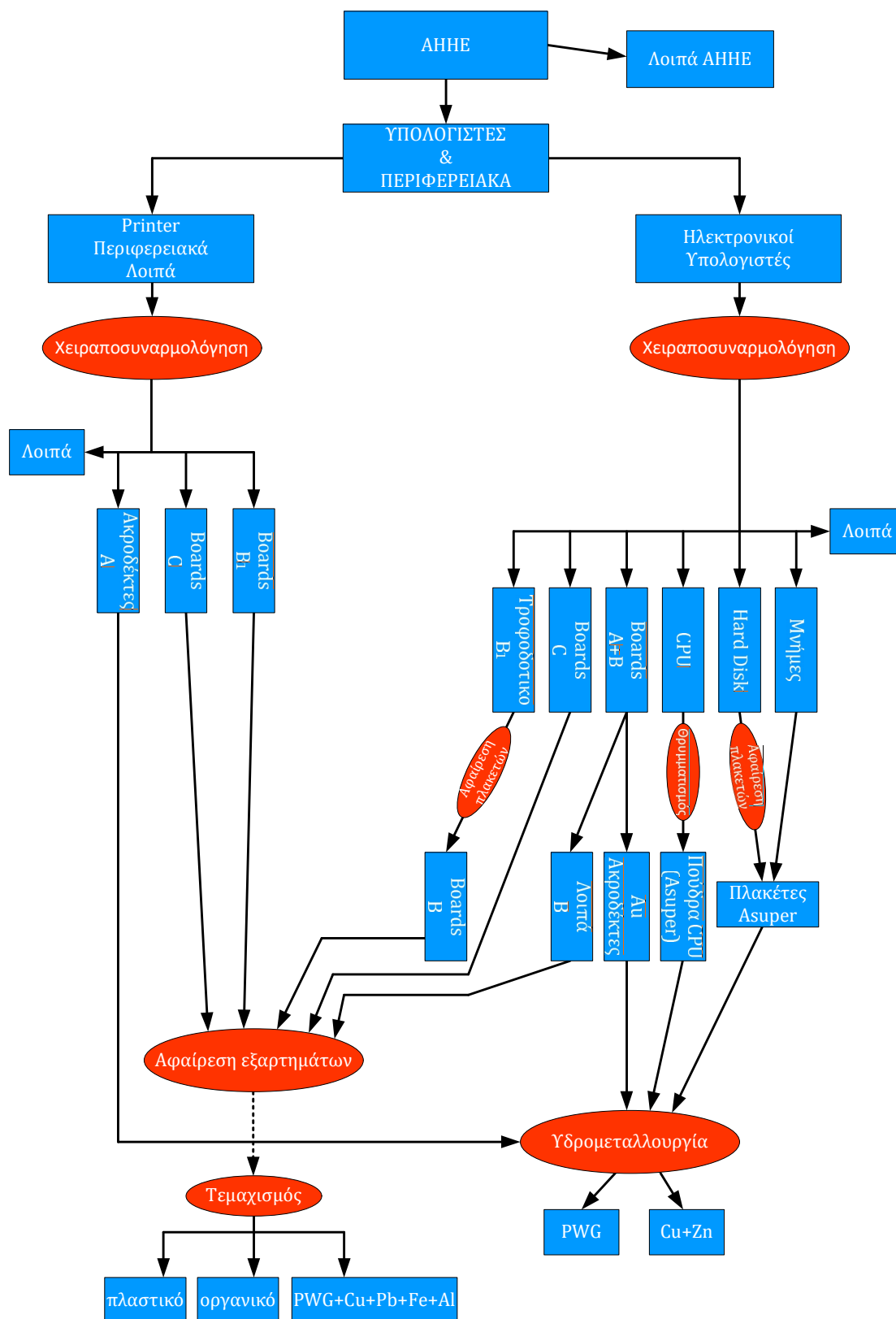
6.3 Οικονομικά στοιχεία παραγωγής

Η παραγωγική διαδικασία ανάκτησης χρυσού από την ανακύκλωση των PCBs παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.6.

Η κατηγοριοποίηση των πλακετών, βάσει του βαθμού συγκέντρωσης των πολυτίμων μετάλλων και δευτερευόντως του χαλκού, είναι:

- A Super,
- A,
- A+B,
- B,

- B₁ και
- C



Σχήμα 6.6. Παραγωγική διαδικασία ανάκτησης Au από ανακύκλωση των PCBs

Για την ανάκτηση χρυσού, έγινε επεξεργασία σε 1,85t ανεπεξέργαστων ΑΗΗΕ επιτραπέζιων υπολογιστών, από τα οποία ελήφθη ποσότητα 76,5kg τυπωμένων κυκλωμάτων που περιελάμβαναν 35Kg CPUs και 41,5kg ακροδεκτών.

Ο υπολογισμός του λειτουργικού κόστους παραγωγής χρυσού 259,7844g μέσης τιμής καθαρότητας 22k, που ανακτήθηκε από την προαναφερθείσα ποσότητα αποβλήτων επιτραπέζιων υπολογιστών, αναλύεται ως ακολούθως:

Κάθε μία διαδικασία χώνευσης απαιτεί την απασχόληση ενός εργαζομένου για 24 ώρες ή αλλιώς για 3 οκτάωρα. Υπολογίζοντας ότι το ημερομίσθιο ενός εργαζόμενου στο οκτάωρο ανέρχεται στα 60€, το συνολικό κόστος της απασχόλησης του εργαζομένου γι' αυτή τη διαδικασία είναι **180€**.

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για κάθε χώνευση είναι 17lt και το κόστος τους ανέρχεται σε **20€**.

Η διαδικασία εξουδετέρωσης των χημικών που χρησιμοποιούνται στην κάθε χώνευση κοστίζει **20€**.

Τα επιπλέον έξοδα της επιχείρησης, όπως η ενέργεια που δαπανάται, οι αποσβέσεις κ.λπ., που συνυπολογίζονται σε κάθε μία χώνευση είναι **40€**.

Αθροίζοντας τα παραπάνω ποσά, διαπιστώνεται πως τα **συνολικά έξοδα** που απαιτούνται για μία διαδικασία χώνευσης είναι **260€**.

Η κάθε μία διαδικασία χώνευσης απέδωσε **26g χρυσού**. Η τιμή του χρυσού, το χρονικό διάστημα της ανάκτησής του, ανήρχετο στα 35€/g, οπότε η τιμή του γραμμαρίου χρυσού καθαρότητας 22k είναι $\frac{22k}{24k} \times 35 \frac{\text{€}}{\text{g}} = 32,08 \frac{\text{€}}{\text{g}}$.

Υπολογίζοντας της τιμή του γραμμαρίου του χρυσού, τα έσοδα από την ανάκτησή του μετά από κάθε χώνευση ανήλθαν στα **834,08€**.

Το **καθαρό κέρδος της επιχείρησης** σε κάθε χώνευση είναι **574,08€**.

Το **συνολικό καθαρό κέρδος της επιχείρησης** στο σύνολο των **76,5kg** αποβλήτων τυπωμένων κυκλωμάτων είναι $\frac{259,7844g}{26g} \times 574,08\text{€} = 5.736,04\text{€}$.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.7., η επεξεργασία αποβλήτων επιτραπέζιων υπολογιστών αποδίδει επιπλέον έσοδα στην επιχείρηση, από τα υπόλοιπα υλικά που περιέχονται σ' αυτούς, όπως φαίνεται στη συνέχεια:

- Έσοδα από παράγωγα υλικά (καλώδια, ψύκτρες κ.λπ.): **308,77€/t**
- Έσοδα από τροφοδοτικά (καλώδια, πυκνωτές κ.λπ.): **94,01€/t**
- Έσοδα από σκληρούς δίσκους (δίσκοι, πηνία κ.λπ.): **73,47€/t**

Αθροίζοντας τα παραπάνω ποσά, διαπιστώνεται πως **τα συνολικά έσοδα της επιχείρησης** από απόβλητα τυπωμένων κυκλωμάτων είναι **476,25€/t**.

Τα **συνολικά έσοδα της επιχείρησης** από τους 1,85t αποβλήτων επιτραπέζιων υπολογιστών είναι $476,25 \frac{\text{€}}{\text{t}} \times 1,85\text{t} = 881,06\text{€}$.

Για τη διαλογή των παραπάνω υλικών απαιτείται η απασχόληση ενός εργαζομένου 5 ημέρες. Υπολογίζοντας ότι το ημερομίσθιο ενός εργαζόμενου στο οκτάωρο ανέρχεται στα 40€, το συνολικό κόστος της απασχόλησης του εργαζομένου γι' αυτή τη διαδικασία είναι **200€**.

Τα επιπλέον έξοδα της επιχείρησης, όπως η ενέργεια που δαπανάται, οι αποσβέσεις κ.λπ., που συνυπολογίστηκαν για την παραπάνω διαδικασία είναι **131€**.

Αθροίζοντας τα παραπάνω ποσά, διαπιστώνεται πως **τα συνολικά έξοδα της επιχείρησης** για την παραπάνω διαδικασία είναι **331€**.

Το **συνολικό καθαρό κέρδος της επιχείρησης** από τη διαλογή των υλικών από τους 1,85t αποβλήτων είναι **500,06€**.

Συνοψίζοντας, το **συνολικό καθαρό κέρδος της επιχείρησης** από όλη τη διαδικασία ανακύκλωσης των 1,85t αποβλήτων επιτραπέζιων υπολογιστών είναι $5.736,08\text{€} + 500,06\text{€} = 6.236,14\text{€}$.

Σημειώνεται ότι, μετά από την ανάκτηση του χρυσού, εάν θέλαμε να συνεχίσουμε τη επεξεργασία, θα λαμβάναμε χαλκό ο οποίος είναι το 38% της ποσότητας των αρχικών 76,5kg τυπωμένων κυκλωμάτων, δηλαδή $76,5\text{kg} \times 38\% = 29,07\text{kg}$ χαλκού. Με τιμή του χαλκού 5€/kg το επιπλέον έσοδο

που θα μπορούσε να έχει η επιχείρηση θα ήταν $5 \frac{\text{€}}{\text{kg}} \times 29,07\text{kg} = 145,35\text{€}$,

μειωμένο κατά 30% λόγω του κόστους της διαδικασίας. Άρα, τελικά, η επιχείρηση θα μπορούσε να έχει επιπρόσθετο καθαρό κέρδος $145,35\text{€} \times 70\% = 101,75\text{€}$. Στην ίδια διαδικασία υδρομεταλλουργίας μπορεί να οδηγηθούν το επίχρισμα των CRTs για ανάκτηση του υτρίου αλλά και το επίχρισμα των φωσφορούχων λαμπτήρων όπως και τα αγώγιμα κανάλια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Παραμένει όμως το κρίσιμο ζήτημα των ποσοτήτων για τη μικρομεσαία επιχείρηση ανακύκλωσης της περιφερειακής Ελλάδας.

Παράγωγα Υλικά / τόνο					
A/A	Είδος	%	Τιμή / τμ	Εσοδα	
1	Καλώδια εσωτερικά	1,47%	14,7	1.000,0	14,7
2	Καλώδια εξωτερικά	0,37%	3,7	1.000,0	3,7
3	Σίδηρα	44,45%	444,5	215,0	95,6
4	Τροφοδορικά	12,96%	129,6		0,0
5	Floppies - drivers	13,70%	137,0	350,0	48,0
6	Hard Discs	8,52%	85,2		0,0
7	Πλαστικά	5,20%	52,0	0,0	0,0
8	Πλακέτες (Μητρικές)	5,77%	57,7	1.500,0	86,6
9	Μνήμες	0,72%	7,2	1.500,0	10,7
10	CPU	0,17%	1,7	3.500,0	6,1
11	Πλακέτες (Κάρτες ήχου / γραφικών)	1,13%	11,3	1.500,0	16,9
12	Ψύκτρες (Άλουμ + πλαστικ)	4,81%	48,1	500,0	24,0
13	Ανεμιστήρακια (μοτεράκια)	0,73%	7,3	350,0	2,6
				Σύνολο	308,77

Από Τροφοδοτικά					
Είδος	%	Kg / τμ H-Y	Τιμή / τμ	Εσοδα	
ΣΙΔΕΡΟ	35,45%	45,95	215,0	9,88	
ΚΑΛΩΔΙΑ	13,33%	17,27	1.000,0	17,27	
ΜΟΤΕΡ - ΠΗΝΙΑ	14,41%	18,67	350,0	6,54	
ΠΛΑΚΕΤΕΣ	25,78%	33,41	1.500,0	50,12	
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	7,50%	9,72	1.050,0	10,20	
ΠΥΚΝΩΤΕΣ	2,60%	3,36		0,00	
ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΠΟΛΛΕΙΜ	0,95%	1,23		0,00	
				Σύνολο	94,01

Ανάλυση Σκληρών Δίσκων					
Είδος	%	Kg / τμ H-Y	Τιμή / τμ	Εσοδα	
ΣΙΔΕΡΟ	3,45%	2,94	215,0	0,63	
ΔΙΣΚΟΙ (ΑΛΟΥΜ)	5,81%	4,95	1050,0	5,20	
ΜΟΤΕΡ - ΠΗΝΙΑ	12,52%	10,66	350,0	3,73	
ΠΛΑΚΕΤΕΣ	6,79%	5,78	1500,0	8,67	
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	59,75%	50,90	1050,0	53,45	
ΜΑΓΝΗΤΕΣ (ΣΙΔ)	9,74%	8,29	215,0	1,78	
ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΠΟΛΛΕΙΜ	1,95%	1,66		0,00	
				Σύνολο	73,47

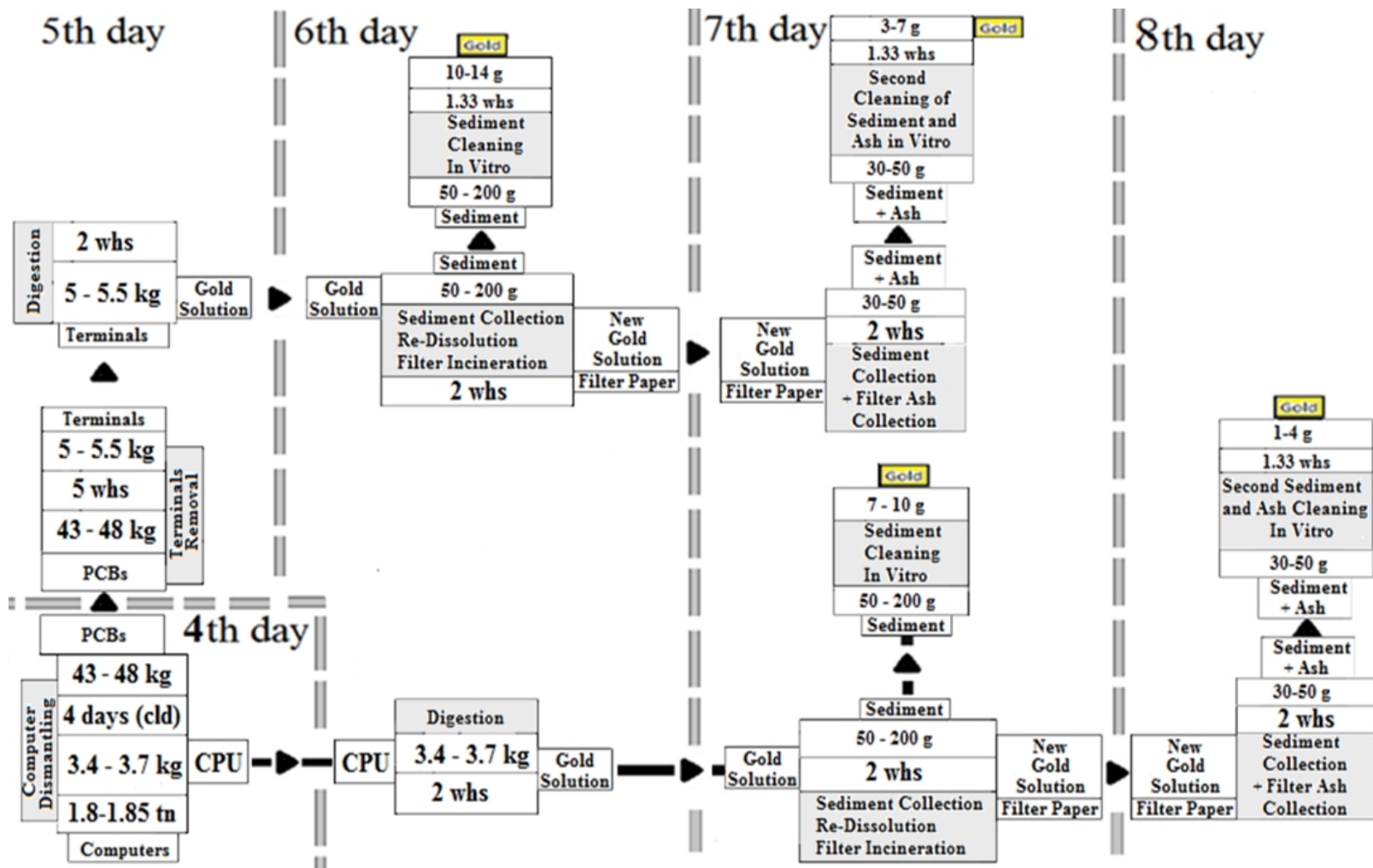
Συνολικά Έσοδα / τμ H-Y		
Πώληση Υλικών	476,25 €	Τιμολογήσεις Συστήματος
Ταξινόμηση (ΑΗΗΕ)	10,00 €	
Συλλογή (ΑΗΗΕ)	90,00 €	
Διαχείριση (ΑΗΗΕ)	130,00 €	
Σύνολο	706,25 €	

Σχήμα 6.7. Επιπρόσθετα έσοδα από την επεξεργασία αποβλήτων επιτραπέζιων υπολογιστών

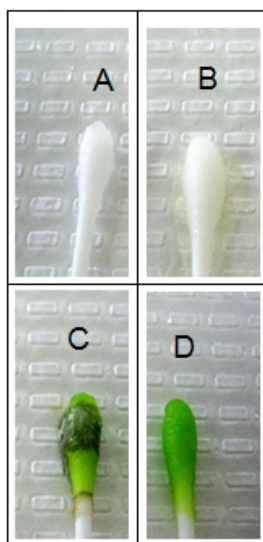
Ο Πίνακας 6.6. παρουσιάζει μετρήσεις XRF σε ιζήματα χρυσού 22k τα οποία καθιζάνουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας με τυπική απόκλιση 2%.

Πίνακας 6.6. Τυπικές μετρήσεις XRF σε ιζήματα χρυσού 22k με 2% τυπική απόκλιση

% κ.β.	Δείγμα 1	Δείγμα 2
Ti	0,82	0,94
V	0,16	0,26
Fe	0,17	0,16
Cu	2,71	2,66
Mo	0,05	—
Ag	2,61	2,62
Sn	1,78	1,84
Au	91,00	91,00
Pb	0,10	0,16
Bi	0,79	0,72



Σχήμα 6.8. Σχηματικό διάγραμμα από όλα τα στάδια της ανάκτησης χρυσού από ΑΗΗΕ επιτραπέζιων ηλεκτρονικών υπολογιστών



Σχήμα 6.9. Δοκιμή χλωριούχου κασσιτέρου για τον εντοπισμό ιζημάτων του χρυσού. (α) βαμβάκι βυθισμένο σε κορεσμένο διάλυμα χλωριούχου κασσιτέρου. (β) βαμβάκι βυθισμένο σε διάλυμα HCl 33% κ.β. και διαδοχικά σε κορεσμένο διάλυμα χλωριούχου κασσιτέρου, (γ) βαμβάκι βυθισμένο σε διάλυμα τετραχλωροχρυσικού οξέος και διαδοχικά σε χλωριούχο κασσίτερο, (δ) βαμβάκι βυθισμένο σε διάλυμα τετραχλωροχρυσικού οξέος

Από την παραπάνω ανάλυση, προκύπτει ότι η ανάκτηση χρυσού, από τη διαδικασία της ανακύκλωσης των PCBs, είναι βιώσιμη.

6.4 Δοκιμές παραγωγής χρυσού στην εταιρεία Ανακύκλωση Αιγαίου - Χυτήρια Α.Β.Ε.Ε.

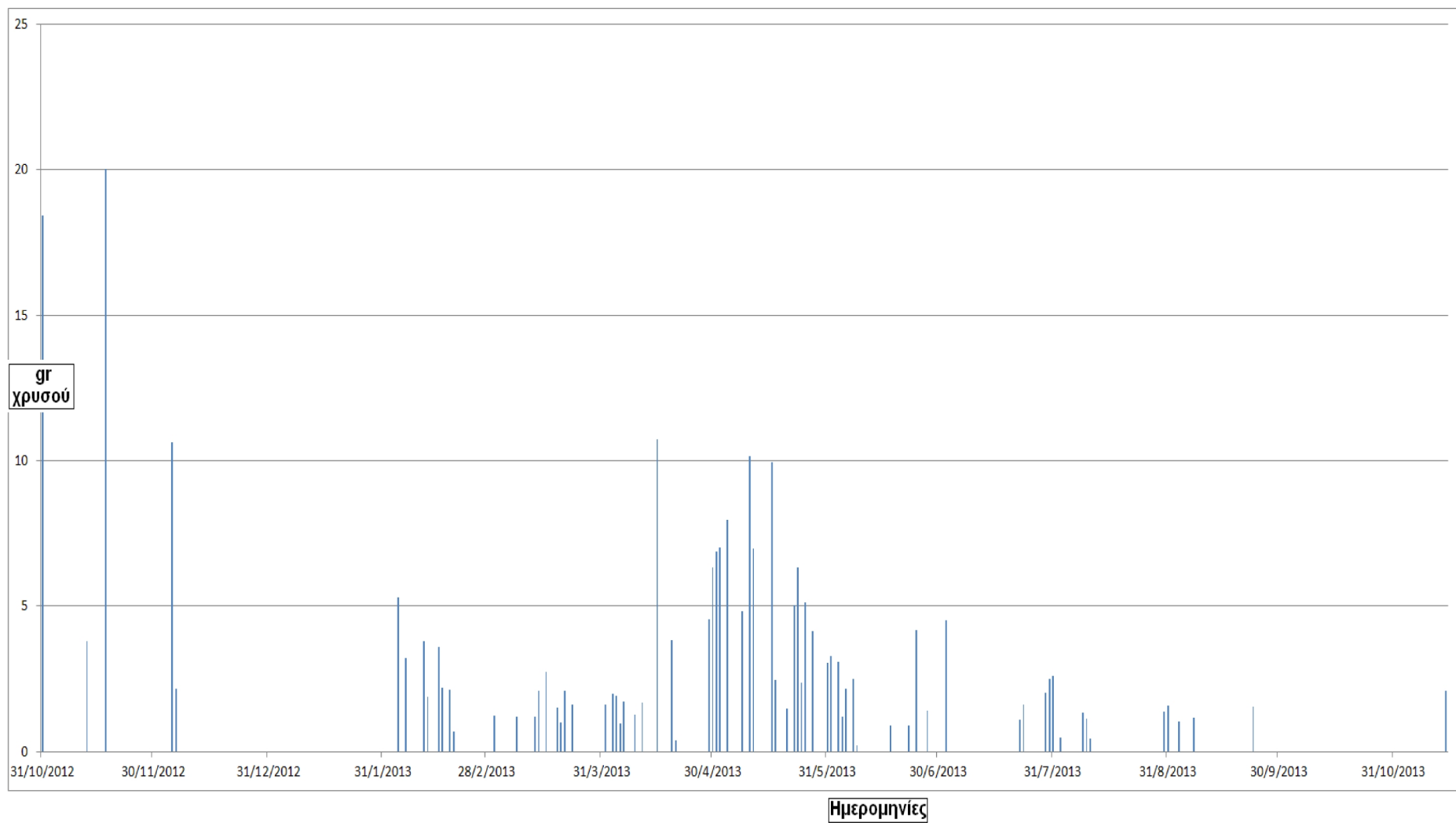
Ακολουθώντας την παραπάνω περιγραφείσα διαδικασία, κατά το χρονικό διάστημα από το Νοέμβριο του 2012 μέχρι τον Οκτώβριο του 2013, παρήχθησαν συνολικά 259g ιζημάτων εμπλουτισμένων σε χρυσό. Η συνήθης ποιότητα χρυσού που παραγόταν ήταν 22k. Υπήρξαν και αρκετές ποσότητες που υπερέβησαν την παραπάνω ποιότητα και έφτασαν μέχρι και τα 24k. Υπήρξαν όμως και αρκετές ποσότητες που έπεσαν πολύ κάτω από τα 22k και έφτασαν μέχρι και τα 10 ή 12 καράτια. Η συνολική παραγωγή χρυσού παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.7., όπου με C συμβολίζεται ο χρυσός που παρήχθη από CPU, με F ο χρυσός από δακτυλιοειδείς υποδοχείς και με M ο χρυσός που παρήχθη από αναμειγμένο περιεχόμενο δακτυλιοειδών υποδοχέων και επεξεργαστών.

Συνολικά περίπου 76,5 κιλά, εμπλουτισμένου σε χρυσό υλικού (δακτυλοειδείς επαφές και επεξεργαστές, παλαιοί κεραμικοί και νέου τύπου), υπέστησαν υδρομεταλλουργική χώνευση.

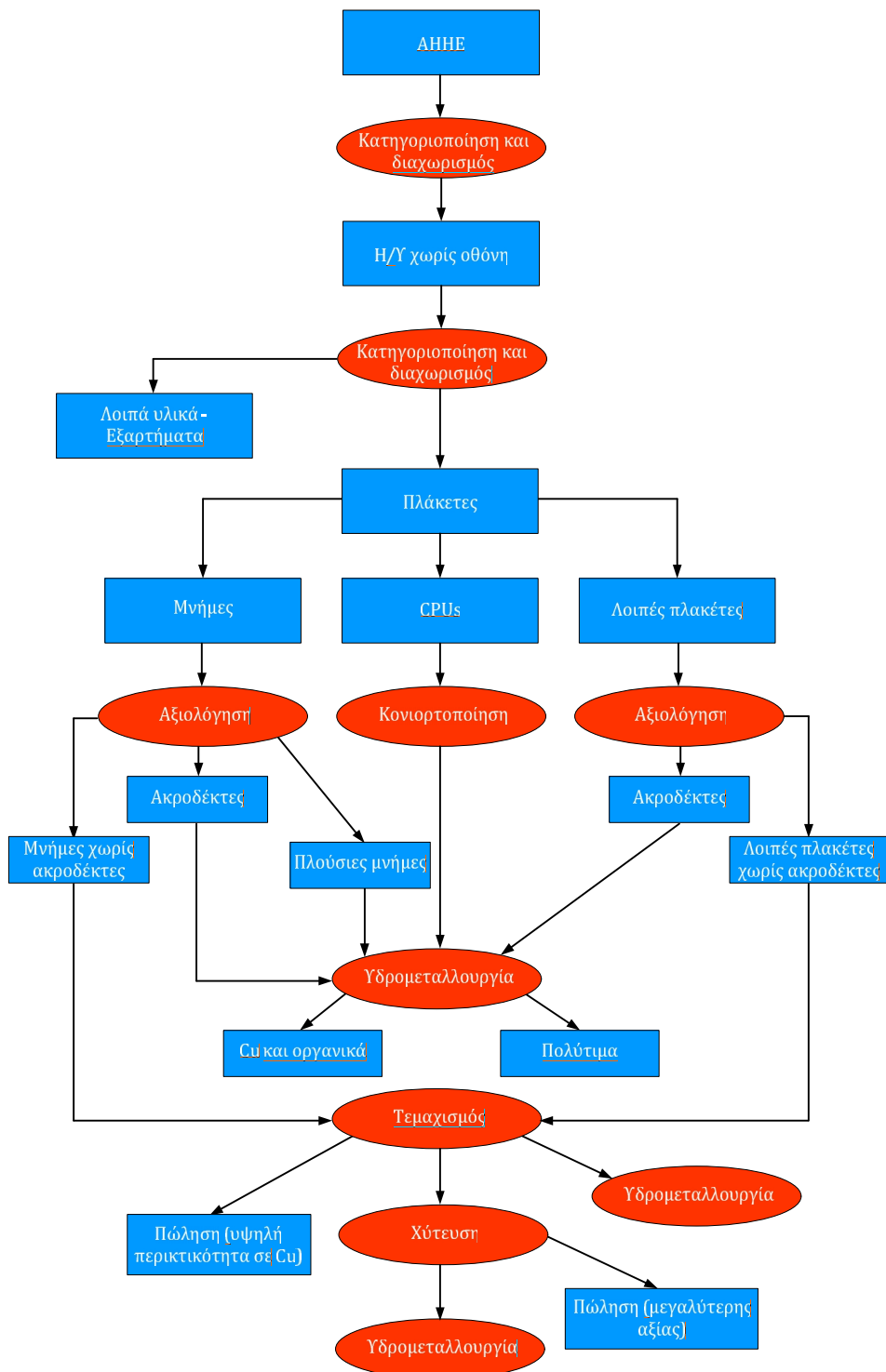
Το κύριο ζήτημα που ανέκυψε είναι ο συνεχής ανεφοδιασμός με απόβλητα ηλεκτρονικών υπολογιστών στην εταιρεία. Δεν υπήρχαν επαρκείς ποσότητες αποβλήτων ηλεκτρονικών υπολογιστών για να εξασφαλίσουν τη συνεχή παραγωγή, οπότε η παραγωγή πραγματοποιήθηκε αποσπασματικά. Κυρίως, χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα αποθέματα από CPU (γύρω στα 35 κιλά), καθώς και αποθέματα από υπολογιστές που ήταν προσωρινά αποθηκευμένοι στην εταιρεία.

Στο Σχήμα 6.10., φαίνεται η συνολική παραγωγή χρυσού, κατανεμημένη χρονικά, στην χρονική περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές. Με F σημειώνονται οι ποσότητες χρυσού που παρήχθησαν από δακτυλοειδείς επαφές, με C οι ποσότητες που προήλθαν από CPU και με M οι ποσότητες που παρήχθησαν από μεικτού περιεχομένου (δακτυλοειδείς επαφές και CPU ανάμεικτα).

Στο Σχήμα 6.11., παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής δειγματοληψίας PCBs.



Σχήμα 6.10. Παραγωγή χρυσού κατά το διάστημα 31/10/2012 έως και 01/11/2013



Σχήμα 6.11. Διάγραμμα ροής δειγματοληψίας PCBs

6.5 Έσοδα από την παραγωγή χρυσού

Τα έσοδα, σε χρηματική μορφή, από την παραγωγή χρυσού δεν έχουν αποκομισθεί μέχρι σήμερα. Από ένα πρόχειρο υπολογισμό, σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές του χρυσού και αν υποθεθεί παραγωγή χρυσού, κατά μέσο όρο,

20k, τότε, τα συνολικά ακαθάριστα έσοδα από την παραγωγή χρυσού ανέρχονται σε 8.378,85 δολάρια ΗΠΑ. Σημειώνεται ότι η τιμή του χρυσού έχει πέσει, σε σχέση με την τιμή που είχε το Νοέμβριο του 2012, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.12.



Σχήμα 6.12. Μεταβολή τιμών χρυσού από τον Απρίλιο του 2012 μέχρι τον Ιανουάριο του σε \$/ounce

Πίνακας 6.7. Συνολική παραγωγή ιζηματικού χρυσού από το Νοέμβριο του 2012 μέχρι τον Οκτώβριο του 2013

Origin	Carats	Date	Mass (gr)	Origin	Carats	Date	Mass (gr)
F	24	31/10/2012	18,4213	F	19	8/5/2013	4,8132
F	22	12/11/2012	3,8	F	21	10/5/2013	10,1717
C	22	17/11/2012	20,0345	F	10	11/5/2013	6,9659
C	24	5/12/2012	10,6238	F	19	16/5/2013	9,9636
F	18	6/12/2012	2,1659	C	12	17/5/2013	2,47
F	22	4/2/2013	5,3004	C	0	20/5/2013	1,47
F	18	6/2/2013	3,2097	C	22	22/5/2013	5,0251
F	21	11/2/2013	3,815	C	23	23/5/2013	6,3251
F	22	12/2/2013	1,8785	C	16	24/5/2013	2,3777
F	22	15/2/2013	3,5815	M	21,6	25/5/2013	5,127
F	22	16/2/2013	2,1958	M	21	27/5/2013	4,128
F	22	18/2/2013	2,1435	M	19	31/5/2013	3,0642
F	22	19/2/2013	0,678	M	19	1/6/2013	3,2946
F	18	2/3/2013	1,25	M	18	3/6/2013	3,0747
C	17	8/3/2013	1,2	M	17	4/6/2013	1,203
C	0	13/3/2013	1,19	M	19	5/6/2013	2,1543
C	9	14/3/2013	2,1	M	18	7/6/2013	2,5139
C	22	16/3/2013	2,75	M	12	8/6/2013	0,2232
C	12	19/3/2013	1,5	M	10	17/6/2013	0,8915
C	19	20/3/2013	1	M	16	22/6/2013	0,8836
C	22	21/3/2013	2,09	M	14	24/6/2013	4,1731
C	0	23/3/2013	1,6	M	16	27/6/2013	1,4052
C	0	1/4/2013	1,6	M	14	2/7/2013	4,5331
C	22	3/4/2013	2,0081	M	19	22/7/2013	1,1144
C	22	4/4/2013	1,9112	M	19	23/7/2013	1,6288
C	21	5/4/2013	0,9537	M	22	29/7/2013	2,0354
C	22	6/4/2013	1,7204	M	22	30/7/2013	2,5065
C	22	9/4/2013	1,2828	M	22	31/7/2013	2,6088
C	22	11/4/2013	1,6846	M	14	2/8/2013	0,4965
C	24	15/4/2013	10,75	M	19	8/8/2013	1,3573
C	21	19/4/2013	3,8331	M	19	9/8/2013	1,123
C	0	20/4/2013	0,4	M	0	10/8/2013	0,4642
C	18	29/4/2013	4,5703	M	22	30/8/2013	1,366
C	23	30/4/2013	6,3448	M	22	31/8/2013	1,5756
F	23	1/5/2013	6,8654	M	22	3/9/2013	1,0496
F	22	2/5/2013	7,0018	M	22	7/9/2013	1,1821
F	23	4/5/2013	7,9594	M	22	23/9/2013	1,5329
				M	16	14/11/2013	2,0781
			Sum (gr)				259,7844

όπου:

C: CPUs

F: Δακτυλοειδείς υποδοχείς

M: Δακτυλοειδείς υποδοχείς και CPUs

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι, κατά τον Νοέμβριο του 2012, είχε γύρω στα 1700\$/ounce, ενώ σήμερα, έχει φτάσει στα 1350 \$/ounce .

Κατά την τελευταία πενταετία, οι τιμές χρυσού έχουν, γενικά, ανεβεί κατακόρυφα, με αποτέλεσμα κάποια παλαιά μεταλλεία χρυσού, που ήταν ανενεργά ανά τον κόσμο, να ξεκινήσουν την επαναλειτουργία τους. Από 400\$/ounce, το 2005, έφτασε, την περίοδο 2011 έως 2013, στα 1700\$/ounce, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.13.

Κατά την περίοδο της παραγωγής χρυσού στη εταιρεία Ανακύκλωση Αιγαίου-Χυτήρια Α.Β.Ε.Ε., οι τιμές χρυσού έπεσαν, από 1700 δολάρια η ουγκιά, στα 1300 δολάρια η ουγκιά. Αν υποθεθεί, λοιπόν, ότι κατά την διάρκεια της παραγωγής πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα και πωλήσεις χρυσού, τότε η δυνητική αξία της όλης ποσότητας που παρήχθη θα μπορούσε να φτάσει τα 11.218,81 δολάρια ΗΠΑ.



Σχήμα 6.13. Μεταβολή τιμών χρυσού από το 2004 μέχρι το 2014 σε \$/ounce

6.6 Διαχείριση αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα, που προκύπτουν από την υδρομεταλλουργική διαδικασία, ανέρχονται περίπου σε 15 με 17 λίτρα ανά χώνευση. Τα απόβλητα είναι πολύ όξινα λόγω του υδροχλωρίου που χρησιμοποιήθηκε και δεν εξουδετερώθηκε και περιέχουν πολλά και επικίνδυνα βαρέα μέταλλα. Μια

ενδεικτική συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων παρουσιάζεται συνοπτικά στον Πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8. Ενδεικτικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα απόβλητα της χώνευσης

Μέταλλο	gr/l
Fe	11,00
Co	1,14
Ni	8,40
Cu	76,00
Zn	4,10
Mo	0,07
Al	1,59
Sn	12,00
Pb	6,28

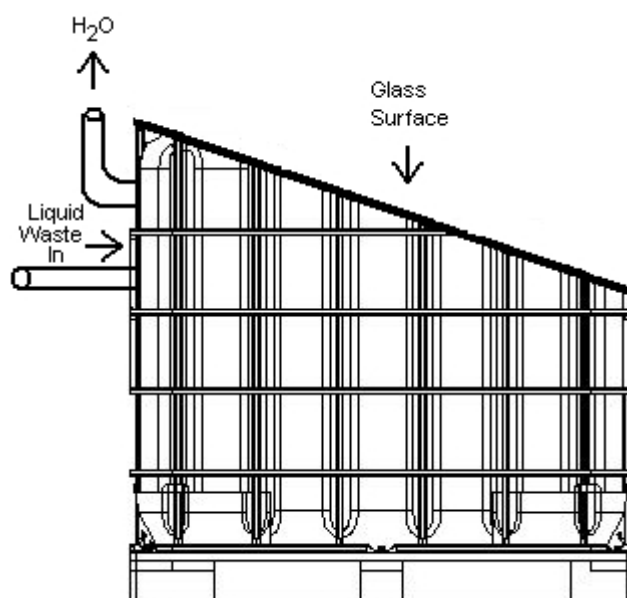
Παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση ιόντων χαλκού και μολύβδου, αλλά και νικελίου και ψευδαργύρου. Δεδομένου του μεγάλου όγκου των αποβλήτων που παράγονται και της επικινδυνότητάς τους, αυτά δεν είναι δυνατόν να απορρίπτονται στο περιβάλλον ως έχουν. Προτείνεται, λοιπόν, η αποξήρανσή τους, με ένα απλό αυτοσχέδιο αντιδραστήρα αεροξήρανσης και στη συνέχεια η πύρωση του ιζήματος, για την αποκομιδή των επιπλέον ποσοτήτων χαλκού και μολύβδου, που έχουν κάποια ιδιαίτερη εμπορευματική αξία.

Τέτοιοι ηλιακοί ξηραντήρες υπάρχουν έτοιμοι στο εμπόριο, αλλά μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν και από αυτοσχέδια υλικά.



Σχήμα 6.14. Διάφοροι τύποι ηλιακών ξηραντήρων του εμπορίου

Επίσης, προτείνεται και η κατασκευή ενός αυτοσχέδιου ηλιακού ξηραντήρα από υπάρχοντα υλικά. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποια ανοικτή παλλετοδεξαμενή που θα αφαιρεθεί το καπάκι της και θα κοπεί κατά κεκλιμένο τρόπο, όπως στους ξηραντήρες του Σχήματος 6.15. Ένας υαλοπίνακας θα σκεπάζει την παλλετοδεξαμενή και στα πλάγια της θα υπάρχουν 2-3 οπές, συνδεδεμένες με σωλήνες, που θα οδηγούν τους υδρατμούς έξω από το δοχείο.



Σχήμα 6.15. Σχηματική αναπαράσταση ενός πιθανού αυτοσχέδιου αντιδραστήρα ξήρανσης

Η ποσότητα στερεού ιζήματος που παράγεται από 17 περίπου λίτρα υγρού αποβλήτου αναμένεται να είναι γύρω στο ένα κιλό.

6.7 Συμπεράσματα διαδικασίας ανάκτησης χρυσού

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε μια βελτιστοποιημένη διαδικασία, για την ανάκτηση χρυσού από απόβλητα υπολογιστών. Το υλικό που πρόκειται να υποστεί χώνευση εντός των αντιδραστήρων, προέρχεται από επιτραπέζιους υπολογιστές.

Μετρήσεις XRF, σε μέρη του υπολογιστή, έδειξαν ότι ο χρυσός περιέχεται στα τερματικά δακτύλων των τυπωμένων κυκλωμάτων και στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας. Τα τμήματα αυτά πρέπει να διαχωρίζονται με το χέρι, όταν πραγματοποιείται η αποσυναρμολόγηση των υπολογιστών.

Το κόστος κεφαλαίου για την εγκατάσταση που χρησιμοποιείται είναι χαμηλό, καθώς τα τμήματα που περιλαμβάνουν την εγκατάσταση μπορεί να κατασκευαστούν από πλαστικούς σωλήνες και υδραυλικά εξαρτήματα.

Η αξιοποίηση του προσωπικού καταλαμβάνει το κύριο κόστος της, υπό εξέταση, διαδικασίας. Συνολικά, απαιτούνται 58,163 εργατοώρες, για να την εξαγωγή μέχρι και 26g χρυσού, από 1,85t ΑΗΗΕ επιτραπέζιων υπολογιστών.

Η ποιότητα του χρυσού, που μπορεί να παραχθεί, είναι 22k.

Η όλη διαδικασία διαρκεί έως και 8 ημερολογιακές ημέρες, υπό την προϋπόθεση ότι μόνο ένας εργαζόμενος εμπλέκεται στη διαδικασία.

Η διαδικασία δοκιμαστικής παραγωγής στην εταιρία Ανακύκλωση Αιγαίου-Χυτήρια Α.Β.Ε.Ε. απέφερε συνολικά 8.378,85 δολάρια ΗΠΑ ή 6.785,04 ευρώ. Θα μπορούσε, δυνητικά, να αποφέρει 11.218,81 δολάρια ΗΠΑ ή 8.180,61 ευρώ, εάν πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα πωλήσεις του υλικού.

7^ο Κεφάλαιο

Συμπεράσματα και προτάσεις

Τα Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού είναι ένα από τα πιο ταχέως αναπτυσσόμενα παγκόσμια προβλήματα, αφού, εάν δεν τηρηθούν τα πρωτόκολλα απόθεσης τους, οι τοξικές ουσίες που περιέχουν μπορεί να μολύνουν το περιβάλλον και να απειλήσουν την παγκόσμια υγεία. Η ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών έχει επιτείνει το πρόβλημα, οδηγώντας εκατομμύρια αναλογικών συσκευών σε ανεξέλεγκτη απόθεση και επομένως αυξάνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία. Την τελευταία εικοσαετία, η ανάπτυξη νέων σχεδίων, οι "έξυπνες" λειτουργίες και εφαρμογές οδήγησαν στη ραγδαία απόθεση πολλών συσκευών. Η διάρκεια ζωής των συσκευών έχει μειωθεί δραστικά εξαιτίας των τεχνολογικών καινοτομιών, του ελκυστικού, προς τον χρήστη, σχεδιασμού, της διαφήμισης και των προβλημάτων συμβατότητάς τους. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, απαιτούνται στοχευμένες κινήσεις, ώστε να περιοριστεί η έκταση του προβλήματος.

Τα δείγματα των οθονών CRT παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον, όσον αφορά στο Ba, Sr και Pb. Επίσης, σημαντικές είναι και οι συγκεντρώσεις Zr και Ce. Ενδιαφέρον, επίσης, φαίνεται να έχουν και οι συγκεντρώσεις Au.

Τα δείγματα Φ/B από την εταιρεία HelioSphera συνεισφέρουν μόνον στην ανακύκλωση γυαλιού. Από την άλλη πλευρά, δείγματα της εταιρείας Exel Group παρουσιάζουν μέτριες συγκεντρώσεις Bi και Ag, αλλά η κύρια σύστασή τους βασίζεται στο Si.

Ως προς την ανάκτηση χρυσού, αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε μια βελτιστοποιημένη διαδικασία για την ανάκτηση χρυσού από απόβλητα υπολογιστών. Το υλικό που πρόκειται να υποστεί χώνευση εντός των αντιδραστήρων προέρχεται από επιτραπέζιους υπολογιστές. Οι μετρήσεις XRF, σε μέρη του υπολογιστή, έδειξαν ότι ο χρυσός εντοπίζεται κυρίως στις επαφές των τυπωμένων κυκλωμάτων και στις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας. Το κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας ανάκτησης χρυσού είναι χαμηλό, καθώς, τα τμήματα που περιλαμβάνει μπορούν να κατασκευαστούν από πλαστικούς σωλήνες και υδραυλικά εξαρτήματα. Η ποιότητα του χρυσού που μπορεί να παραχθεί είναι 22 καρατίων και η διαδικασία, θεωρώντας τη συμμετοχή μόνο ενός εργαζομένου, διαρκεί έως και 8 ημερολογιακές ημέρες. Η διαδικασία δοκιμαστικής παραγωγής στην εταιρία Ανακύκλωση Αιγαίου-Χυτήρια

A.B.E.E. απέφερε συνολικά 8.378,85 δολάρια ΗΠΑ ή 6.785,04 ευρώ. Θα μπορούσε, δυνητικά, να αποφέρει 11.218,81 δολάρια ΗΠΑ ή 8.180,61 ευρώ, εάν πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα πωλήσεις του υλικού.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται προτάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην βελτίωση της διαδικασίας ανακύκλωσης ΑΗΗΕ.

7.1 Βελτιστοποίηση οικολογικού σχεδιασμού

Οι απαιτήσεις του αιεφόρου σχεδιασμού θα πρέπει να υποχρεώνουν τους κατασκευαστές να πραγματοποιούν μια περιβαλλοντική διαχείριση του οικολογικού προφίλ των προϊόντων, σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Τα στάδια του κύκλου ζωής των προϊόντων θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- απόκτηση εφοδιαστικής αλυσίδας,
- κατασκευή,
- συσκευασία, μεταφορά και διανομή,
- εγκατάσταση και συντήρηση,
- χρήση και
- τέλος του κύκλου ζωής.

Σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής, οι κατασκευαστές οφείλουν να εκτιμούν την κατανάλωση υλικών και ενέργειας, τις εκπομπές στον αέρα, το νερό και τα στερεά, την μόλυνση μέσω θορύβου, δονήσεων, ακτινοβολίας, ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αποβλήτων υλικών και τις πιθανότητες για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση. Κατόπιν, η διαδικασία εκτίμησης θα δίνει την δυνατότητα στους κατασκευαστές να προσδιορίζουν τις δυναμικές σχεδιαστικές βελτιώσεις που αφορούν:

- στο βάρος και στον όγκο του προϊόντος,
- στο ανακυκλώσιμο υλικό και την ενσωμάτωση χρησιμοποιημένων υλικών,
- στην κατανάλωση ενέργειας σε όλο τον κύκλο ζωής,
- στη χρήση επικίνδυνων ουσιών,
- στην αποφυγή τεχνικών λύσεων οι οποίες θα είναι ζημιογόνες για την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση και

- στη διευκόλυνση της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης.

Τα εφαρμοζόμενα μέτρα ή οι εθελοντικές συμφωνίες πρέπει, επίσης, να εστιάζουν σε συγκεκριμένα περιβαλλοντικά ζητήματα προς βελτίωση, για παράδειγμα, στην μείωση της κατανάλωσης ενός πόρου, καθ' όλη την διάρκεια ζωής του προϊόντος. Με σκοπό την αναγνώριση των δυνατοτήτων βελτίωσης και του καθορισμού ενός επιπέδου βελτίωσης, θα απαιτηθεί μια τεχνική και οικονομική ανάλυση των αντιπροσωπευτικών προϊόντων στην αγορά. Τα επίπεδα βελτίωσης θα μπορούσαν, επίσης, να καθοριστούν, χρησιμοποιώντας διαθέσιμα στοιχεία, προερχόμενα από προϊόντα που φέρουν οικολογική σήμανση.

Επίσης, οι κατασκευαστές θα υποχρεούνται να πραγματοποιούν έναν "υπολογισμό συμμόρφωσης", με σκοπό να επιδείξουν την συμμόρφωσή τους με το σχετικό "εφαρμοζόμενο" μέτρο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός "σχεδίου εσωτερικού ελέγχου" ή μέσω συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το σήμα "CE" όπως και τα σύμβολα οικολογικής σήμανσης μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν ως δήλωση συμμόρφωσης στη νομοθεσία. Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε νέο προϊόν, που καλύπτεται από ένα μέτρο εφαρμογής, πρέπει να συνοδεύεται από έναν υπολογισμό συμμόρφωσης, πριν τη διάθεση του στην αγορά. Οι εισαγωγείς προϊόντων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι οποίοι θα επηρεάζονται από ένα εφαρμοζόμενο μέτρο, θα καθίστανται υπεύθυνοι για την διασφάλιση της συμμόρφωσης του προϊόντος με τις απαιτήσεις του οικολογικού σχεδιασμού. Συνολικά, η Οδηγία EuP είναι συμπληρωματική των Οδηγιών WEEE και RoHS, διότι προσπαθεί να βοηθήσει στην περαιτέρω μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης ενός προϊόντος και, μ' αυτόν τον τρόπο, θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα των Οδηγιών αυτών.

Με τις Οδηγίες WEEE, RoHS και EuP, που σκοπό έχουν την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επίπτωσης του εξοπλισμού καθ' όλη την διάρκεια της ζωής και στο τέλος της ζωής του, δεν είναι δύσκολο να δει κανείς ότι αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, εάν δοθεί μεγάλη προσοχή στο στάδιο του σχεδιασμού.

Στην πράξη, εκτιμάται ότι το 80% του συνόλου των προϊόντων που σχετίζονται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις προσδιορίζονται στην φάση της σχεδίασης, οπότε η έγκαιρη ολοκλήρωση των περιβαλλοντικών μελετών στον κύκλο της σχεδιαστικής ανάπτυξης των προϊόντων είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της επίδρασής τους. Υιοθετώντας μια προσέγγιση ενός "σχεδιασμού για το περιβάλλον ή καθαρότερου

σχεδιασμού", κατά την ανάπτυξη νέων προϊόντων, είναι δυνατή η προετοιμασία νομοθεσίας προς μια τέτοια κατεύθυνση με σκοπό την ελαχιστοποίηση της επίπτωσης των προϊόντων, αφού αυτά θα είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιηθούν, να ανακαινισθούν ή να ανακυκλωθούν. Αυτός ο τύπος προσέγγισης σχεδιασμού στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της επίδρασης ενός προϊόντος, στο περιβάλλον και στην υγεία, σε όλη την διάρκεια της ζωής του, ενώ εξακολουθεί να συναντά ή να υπερβαίνει τις απαιτήσεις του καταναλωτή. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την αναγνώριση του πώς ένα προϊόν επηρεάζει το περιβάλλον από την χρήση των πρώτων υλών και την κατασκευή του έως το τέλος της ζωής του και την ανακύκλωσή του. Αυτή είναι και η αιτία που η Οδηγία EuP απαιτεί από τους κατασκευαστές να ποσοτικοποιήσουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι ενδεικτικοί παράγοντες μιας προσέγγισης βασιζόμενης στον οικολογικό σχεδιασμό είναι οι ακόλουθοι:

- σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση,
- χρήση λιγότερων μερών,
- χρήση λιγότερων πλαστικών,
- χρήση ανακυκλωμένων υλικών,
- χρήση έξυπνων και πιο οικολογικών υλικών,
- απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών,
- αυξημένη λειτουργικότητα,
- αυξημένη ενεργειακή απόδοση και
- χρήση λιγότερων υλικών-πόρων.

Διεθνείς οργανισμοί, όπως ο ISO, περιλαμβάνουν, επίσης, στις απαιτήσεις απόδοσης της έγκρισης τους, τον οικολογικό σχεδιασμό ή την ανάπτυξη οικολογικών προϊόντων. Ο οικολογικός σχεδιασμός δεν είναι απλώς μια απάντηση στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Έχει καταστεί όλο και πιο σημαντικός για τους κατασκευαστές ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, ανά την υφήλιο. Για παράδειγμα, τον Απρίλιο του 2001, η Ιαπωνική κυβέρνηση υιοθέτησε μια "πράσινη" πολιτική και ακόμη και χωρίς αυτή τη νομική πίεση, οι Ιαπωνικές εταιρείες στράφηκαν, ολοένα και πιο πολύ, στην εφαρμογή οικολογικού σχεδιασμού. Ήταν, επίσης, οι πρώτες

εταιρείες, παγκοσμίως, που κατευθύνθηκαν στην αντικατάσταση του μολύβδου στην αλυσίδα συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών συσκευών.

Επιπροσθέτως της βοήθειας για την βελτίωση της συνολικής περιβαλλοντικής απόδοσης μιας εταιρείας, ο "καθαρός" σχεδιασμός μπορεί επίσης να προσφέρει οικονομικά οφέλη. Βελτιώνοντας το σχέδιο ενός νέου προϊόντος προς αυτήν την κατεύθυνση, είναι συχνά πολύ πιθανό να μειωθεί το κόστος, μέσω της χρήσης λιγότερων πόρων και ενέργειας. Άλλα οφέλη του οικολογικού σχεδιασμού είναι η βελτίωση της λειτουργίας και της ποιότητας, η διαρκής εναρμόνιση με τη νομοθεσία, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η ευκολότερη αποσυναρμολόγηση στο τέλος του κύκλου ζωής και το πιθανό αυξημένο μερίδιο στην αγορά.

Είναι προφανές, πως δίνοντας έμφαση στα σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα κατά το στάδιο του σχεδιασμού, θα είναι δυνατή η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων, η ενίσχυση των επιπέδων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης και σε πολλές περιπτώσεις η μείωση του κόστους και η εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας.

7.2 Βελτιστοποίηση μεθόδων ανακύκλωσης

Η μελέτη της μηχανικής ανακύκλωσης του απορριπτόμενου ηλεκτρονικού εξοπλισμού οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η σύγκριση του απορριπτόμενου εξοπλισμού που προέρχεται από τηλεοράσεις, προσωπικούς υπολογιστές και πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, δείχνει ότι η περιεκτικότητα σε μη σιδηρούχα και πολύτιμα μέταλλα είναι μικρότερη στα απόβλητα τηλεοράσεων, απ' ό,τι σε αυτά που προέρχονται από προσωπικούς υπολογιστές και πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων. Από την πλευρά της βιομηχανίας ανακύκλωσης, αναμένεται πως η ανακύκλωση αποβλήτων τηλεοράσεων δεν θα είναι οικονομικά βιώσιμη, χρησιμοποιώντας την συμβατική χειροκίνητη αποσυναρμολόγηση.
- Οι εικόνες των πλαστικών δείχνουν ότι οι οπτικές διαδικασίες ταξινόμησης μπορεί να παρέχουν μια καλή επιλογή για τον διαχωρισμό των μαύρων πλαστικών, διότι σχεδόν όλα τα πλαστικά στα απόβλητα τηλεοράσεων είναι μαύρα ή μαύρα σε συνδυασμό με κάποιο άλλο χρώμα. Επιπλέον, τα σωματίδια μη σιδηρούχων μετάλλων σε δείγματα αποβλήτων τηλεοράσεων παρουσιάζουν ποικιλομορφία και είναι πολύ διαφορετικά, σε σχέση με αυτά των προσωπικών

υπολογιστών και των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι διαδικασίες διαχωρισμού θα επηρεάζονται αισθητά από την μορφή των σωματιδίων, με σκοπό την ανάκτηση μη σιδηρούχων μετάλλων.

- Χρησιμοποιώντας μια αποτελεσματική τεχνική βαρυτικού διαχωρισμού, μπορούν να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά ανάκτησης χαλκού. Για κλάσμα πυκνότητας $+1,4\text{g/cm}^3$ σε έναν έλεγχο βύθισης-επίπλευσης, η ανάκτηση του χαλκού αγγίζει το 88,4%, με καθαρότητα του 42,4%. Επιπροσθέτως, περίπου το 18% του χαλκού κατανέμεται σε ένα κλάσμα πυκνότητας $-2,0$ έως $+1,23\text{g/cm}^3$, με καθαρότητα μόνο 7%. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι ο χαλκός, στις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, δεν μπορεί να διαχωριστεί από τα πλαστικά και κεραμικά υλικά. Η ταυτοποίηση των πλαστικών δείχνει ότι το κύριο πλαστικό στα απόβλητα τηλεοράσεων είναι εύκολα ταυτοποιήσιμο και εντοπίζεται πολύ συχνά σε ένα κλάσμα πυκνότητας $-1,23\text{g/cm}^3$. Ο βαρυτικός διαχωρισμός των πλαστικών μπορεί να παρουσιάσει κάποιες προκλήσεις κατά τον διαχωρισμό πλαστικών από τηλεοράσεις, εξαιτίας των μεταβολών της πυκνότητας.
- Ο επιτραπέζιος διαχωρισμός DGS είναι μια αποτελεσματική και αποδοτική τεχνική διαχωρισμού για τα απόβλητα ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα του διαχωρισμού δείχνουν ότι περίπου το 70% έως 90% των μη σιδηρούχων μετάλλων ανακτώνται από το αρχικό προϊόν, με μια καθαρότητα της τάξης του 40% έως 60%. Αποδεικνύεται ότι μπορούν να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα επιτραπέζιου διαχωρισμού DGS, βελτιστοποιώντας παραμέτρους του διαχωρισμού, όπως το μέγεθος των σωματιδίων, το σχήμα και ο ρυθμός τροφοδοσίας. Ο διαχωρισμός με δινορεύματα και η διαδικασία οπτικής ταξινόμησης είναι κάποιες άλλες εναλλακτικές μέθοδοι για την ανάκτηση των μη σιδηρούχων μετάλλων, από τον απορριπτόμενο ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- Η μελέτη του παραδοσιακού διαχωρισμού περιστρεφόμενου τυμπάνου με δινορεύματα δείχνει ότι μεγάλα σωματίδια μη σιδηρούχων μετάλλων μπορούν να διαχωριστούν αποτελεσματικά, χρησιμοποιώντας το διαχωριστή δινορευμάτων Bakker, όταν το μαγνητικό τύμπανο περιστρέφεται ορθά. Τα λεπτά σωματίδια μη σιδηρούχων μετάλλων μπορούν να διαχωριστούν μόνο όταν ο διαχωριστής δινορευμάτων περιστρέφεται ανάστροφα. Μια σύγκριση του

διαχωριστή δινορευμάτων με το μαγνητικό διαχωριστή για την ανάκτηση αλουμινίου δείχνει ότι ο υγρός διαχωρισμός με δινορεύματα είναι πιο αποτελεσματικός για την ανάκτηση λεπτών μη σιδηρούχων σωματιδίων.

7.3 Διάχυση της υπάρχουσας γνώσης στον Η.Η.Ε. με χρήση της αντίστροφης μηχανικής

Η αντίστροφη μηχανική είναι η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση των τεχνολογικών αρχών μιας συσκευής, αντικειμένου ή συστήματος, μέσω της ανάλυσης της δομής και της λειτουργία τους. Συνήθως σχετίζεται με μια συσκευή ή εξάρτημα, ένα πρόγραμμα υπολογιστών, ή μια βιολογική-χημική ουσία με σκοπό την λεπτομερή ανάλυσή της. Τα δεδομένα που προκύπτουν απ' αυτήν την ανάλυση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την συντήρηση ή ακόμα και για την δημιουργία μιας νέας συσκευής ή προγράμματος, με ίδια ή ακόμα και με καλύτερα χαρακτηριστικά. Ουσιαστικά, η αντίστροφη μηχανική εφαρμόζεται για εμπορικούς αλλά και στρατιωτικούς σκοπούς και έχει ως στόχο, με ελάχιστη δυνατή προσπάθεια, τη λήψη, από τα τελικά προϊόντα, της απαιτούμενης γνώσης, για τις διαδικασίες με τις οποίες αυτά υλοποιήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συμπλήρωση ή ακόμα και αντικατάσταση των ανακριβών, ελλιπών ή μη διαθέσιμων τεχνικών δεδομένων.

Στο τομέα της παραγωγής, διαχείρισης και ανακύκλωσης του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού μπορούμε να πούμε ότι πρέπει να ακολουθηθούν τα τέσσερα βασικά στάδια της αντίστροφης μηχανικής, όπως αυτά αναφέρθηκαν από την Kathryn A. Ingle. Συγκεκριμένα:

- Το **πρώτο στάδιο** περιλαμβάνει την αξιολόγηση ενός προϊόντος με πλήρη οπτικό έλεγχο, προσδιορισμό των διαστάσεων, ανάλυση και ταυτοποίηση των υλικών. Για την υλοποίηση του σταδίου αυτού, απαιτείται η αποσυναρμολόγηση του προϊόντος, με στόχο την άντληση όλων των απαιτούμενων πληροφοριών, σχετικά με τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας του. Για κάθε προϊόν, πρέπει να γίνεται αναγνώριση των ελαττωμάτων του και οι παρατηρήσεις να καταγράφονται σε μία τεχνική έκθεση. Η ολοκλήρωση του σταδίου αυτού καθορίζεται από το εάν τα διαθέσιμα στοιχεία είναι επαρκή και δεν επιδέχεται καμία περαιτέρω διεργασία, ενώ εάν το έργο δεν είναι οικονομικό, τότε τερματίζεται. Έμφαση δίνεται τόσο στο μηχανικό μέρος, όσο και στα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά συστήματα των προϊόντων. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν πυκνωτές, αντιστάσεις, καλώδια, ημιαγώγιμα

στοιχεία και ενώσεις τα οποία είναι εύκολα αναγνωρίσιμα, ωστόσο περιλαμβάνουν και ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία δεν έχουν στοιχεία αναγνώρισης. Καθοριστικό ρόλο παίζουν οι διαστάσεις τους και η διασύνδεσή τους με άλλα συστήματα ή και μεταξύ τους.

- Το **δεύτερο στάδιο** περιλαμβάνει την παραγωγή τεχνικών δεδομένων για τα ελλιπή στοιχεία του προηγούμενου σταδίου, με σκοπό την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πακέτου πληροφοριών για το προϊόν. Έτσι θα δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων με όλα τα τεχνικά δεδομένα, μηχανολογικά σχέδια, προδιαγραφές, πρότυπα, δοκιμές καθώς και έγγραφα διασφάλισης ποιότητας, η οποία θα επιτρέψει την κατασκευή, παραγωγή και διανομή ενός αξιόπιστου τελικού προϊόντος.
- Το **τρίτο στάδιο** περιλαμβάνει την επαλήθευση του σχεδιασμού, με αντικείμενο την σχεδίαση και την εξέταση ενός προτύπου, χρησιμοποιώντας δεδομένα και στοιχεία, τα οποία δημιουργήθηκαν στα δύο προηγούμενα στάδια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός προτύπου, μειώνοντας έτσι το κόστος αλλά αυξάνοντας τον κίνδυνο λάθους, ιδίως όταν παλιό και καινούργιο προϊόν έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Σε κάθε άλλη περίπτωση όπου παρατηρείται απόκλιση μεταξύ παλαιού και νέου προϊόντος, η δημιουργία ενός προτύπου κρίνεται απαραίτητη και η δοκιμή του είναι υποχρεωτική. Η διεξαχθείσα δοκιμή ονομάζεται εργαστηριακή ή δοκιμή πάγκου. Η διεξαγωγή της δοκιμής προβλέπει, αρχικά, έλεγχο εκτός του συστήματος στο οποίο ανήκει το, υπό εξέταση, προϊόν. Στη συνέχεια, θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος του πρότυπου για αποτυχία ή αλλοίωση των χαρακτηριστικών του και να προστεθούν τα κριτήρια επιθεώρησης, ώστε το προϊόν να είναι ολοκληρωμένο.
- Το **τέταρτο στάδιο** αποσκοπεί στην εφαρμογή της σχεδίασης. Ο στόχος του σταδίου αυτού είναι η κατασκευή ενός τελικού προϊόντος, το οποίο θα ικανοποιεί όλες τις προϋποθέσεις προμήθειας υλικών, θα διαθέτει επαρκή τεχνικά δεδομένα, αλλά και θα εκθέτει όλα τα μηχανικά και οικονομικά στοιχεία, τα οποία θα συνοψίζουν τις δραστηριότητες των προηγούμενων σταδίων. Εάν το τελικό προϊόν αποτελεί μέρος ενός επίσης επιχορηγούμενου προγράμματος, το προϊόν θα πρέπει να παρουσιαστεί στους χορηγούς. Μετά την παρουσίαση του, το τελικό προϊόν θα αποτελέσει μέρος της εργασίας των σταδίων, για το σύστημα για το οποίο προορίζεται.

Τα τελικά προϊόντα θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από:

- *λειτουργικότητα*, ώστε να μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα ή να συνδέονται και να λειτουργούν με άλλα προϊόντα ή συστήματα, χωρίς περιορισμούς στην πρόσβαση και φραγμούς στην υλοποίηση,
- *έγγραφη τεκμηρίωση*, αφού συχνά τα έγγραφα που αφορούν μια συσκευή έχουν χαθεί (ή ποτέ δεν γράφθηκαν) και το πρόσωπο που τη δημιούργησε δεν είναι πλέον εν ζωή,
- *εκσυγχρονισμένες κυκλωματικές διατάξεις*, αφού πολλά από αυτά αρχικά σχεδιάστηκαν για απαρχαιωμένα συστήματα που δεν μπορούν, πλέον, να χρησιμοποιηθούν, οπότε είναι αναγκαία η ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών, μέσω της αντίστροφης μηχανικής,
- *ανάλυση κόστους*, όπου λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία του τελικού προϊόντος, τα συστατικά μέρη από τα οποία αποτελείται και η πιθανή παραβίαση δικαιωμάτων και ευρεσιτεχνίας του αρχικού προϊόντος,
- *ασφάλεια λογισμικού*, ώστε να μην είναι εφικτή η εξωγενής κακόβουλη παρέμβαση,
- *ψηφιακή αναπροσαρμογή*, ώστε να ταιριάζουν με τα παλαιά προϊόντα,
- *αφαίρεση πνευματικής ιδιοκτησίας*, ώστε να είναι δυνατή η αντιγραφή και να παρακάμπτονται οποιοιδήποτε περιορισμοί πρόσβασης και
- *απόκτηση εμπειρίας*, δίνοντας την δυνατότητα της εύκολης αποσυναρμολόγησης σε όποιον ενδιαφέρεται να κατανοήσει το μηχανισμό λειτουργίας και να αναλύσει τα υλικά κατασκευής, όπως επίσης και να μάθει από τα λάθη του παρελθόντος, ώστε να είναι δυνατή η αποφυγή τους.

7.4 Μεθοδολογία επιμήκυνσης διάρκειας ζωής ΗΗΕ

Η ολοκλήρωση όλων των θεμάτων περιβαλλοντικής προστασίας, εντός της διαδικασίας διαχείρισης του κύκλου ζωής του προϊόντος, είναι ένας πολύ σημαντικός στόχος. Η επίτευξη του στόχου βασίζεται στην σκόπιμη επιλογή των υλικών, κατά την οποία θα ληφθεί υπόψη η χρήση του προϊόντος και θα οδηγήσει, ιδανικά, σε σχεδόν μηδενική απόρριψη.

Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης των τεχνολογικών καινοτομιών που αφορούν στα καταναλωτικά προϊόντα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, ο κύκλος ζωής τους γίνεται όλο και πιο μικρός. Αφού τα καταναλωτικά προϊόντα έχουν ένα σχετικά μικρό διάστημα ζωής, θα πρέπει οι κατασκευαστές να στραφούν μακριά από την χρήση ακριβών και βραχύβιας ζωής υλικών σε πιο οικονομικά και μεγαλύτερης διάρκειας ζωής υλικά. Αυτή η τάση πρέπει να ενισχυθεί όσο το δυνατό περισσότερο, σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση ή ανακαίνιση των προϊόντων από τους καταναλωτές. Ένα πρόβλημα για την εφαρμογή μιας τέτοιας προσπάθειας επιμήκυνσης της διάρκειας ζωής των προϊόντων έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τυποποιημένα υλικά για την παραγωγή των προϊόντων.

Από την άλλη πλευρά, πρέπει να σημειωθεί ότι, ήδη, αρκετές παλιές βιομηχανικές συσκευές επιστρέφουν πίσω στους κατασκευαστές. Αυτές οι συσκευές έχουν διάρκεια ζωής 10, 20 ή ακόμη και 30 χρόνια. Γι' αυτό το λόγο είναι τεχνολογικά λογικό να επιζητούνται υλικά με μεγάλη διάρκεια ζωής. Επειδή οι ποσότητες και η τιμή των υλικών που χρησιμοποιούνται στα βιομηχανικά προϊόντα είναι υψηλότερες απ' ό,τι στα καταναλωτικά, η ανακαίνιση και ανακύκλωση χρησιμοποιημένων συσκευών είναι περισσότερο κερδοφόρα.

Για να βρεθεί ο σωστός δρόμος για τις εταιρείες και την γκάμα των προϊόντων, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη η εμπορική στρατηγική και οι στρατηγικές σχεδιασμού και παραγωγής του προϊόντος, σύμφωνα με την ISO/TR 14062 (2003). Στα πλαίσια της στρατηγικής σχεδιασμού του προϊόντος, οι μεγάλοι κατασκευαστές προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τα προϊόντα τους σε όλη την διάρκεια της ζωής τους και για όσο διάστημα οι εταιρείες έχουν την δυνατότητα επίδρασης σε αυτά. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό διότι η κατασκευή ενός προϊόντος συμβάλλει μόνο σε ένα μικρό κομμάτι στην περιβαλλοντική επίδραση, σε σχέση με την διάρκεια ζωής του προϊόντος. Η πλειοψηφία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από το προϊόν δημιουργούνται στην φάση της παραγωγής. Όμως είναι πιθανό να επηρεάσουν και οι φάσεις σχεδιασμού και ανάπτυξης του προϊόντος.

Η παραγωγή του προϊόντος παίζει περισσότερο έναν υποστηρικτικό ρόλο στην στρατηγική διαχείρισης των ΑΗΗΕ. Όμως, είναι μια πολύ σημαντική φάση στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς δεν αφορά μόνο την βιομηχανική

περιβαλλοντική προστασία αλλά και την βιομηχανική περιβαλλοντική προστασία του προϊόντος, χρησιμοποιώντας τις Οδηγίες RoHS και WEEE.

Η φάση χρήσης στην διάρκεια ζωής ενός προϊόντος χαρακτηρίζεται, επίσης, από θέματα της Οδηγίας WEEE, όπως η χρήση περισευούμενων τμημάτων του προϊόντος, κάτι που είναι σχετικό με την περιοχή της ανακαίνισης, της ανάκτησης ή της ανακύκλωσης. Ένα σημαντικό θέμα, στην φάση της χρησιμοποίησης, είναι ότι, συχνά, τα περισευούμενα τμήματα του ηλεκτρικού εξοπλισμού εκπίπτουν της Οδηγίας WEEE. Σε επίπεδο φιλικότητας προς τον χρήστη και για την ωφέλιμη διατήρηση των πηγών για τον κατασκευαστή, τα προϊόντα θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένα, ώστε να απαιτούνται λίγες επισκευές.

Οι στόχοι της ανάκτησης που καθορίζονται στην Οδηγία WEEE πρέπει να επιτυγχάνονται στο τέλος του κύκλου ζωής του προϊόντος. Φυσιολογικά, αυτή η απαίτηση είναι πιο έντονη για καταναλωτικά προϊόντα, τα οποία συλλέγονται από τους δρόμους, όπως και για προϊόντα, τα οποία δεν εκπίπτουν της Οδηγίας WEEE. Σ' αυτή τη φάση, όλες οι σχετικές ρυθμίσεις των προδιαγραφών, όπως και ο σχεδιασμός παραγωγής, κατασκευής και χρήσης γίνονται ξεκάθαροι, ως προς την διαχείριση του χρησιμοποιημένου ή απορριπτόμενου ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

7.5. Επανατοποθέτηση διαχείρισης ΑΗΗΕ

Σε μεγάλο βαθμό, μέχρι σήμερα, το θέμα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, αντιμετωπίζεται ως ένα θέμα κυρίως τεχνικό, αλλά και οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό, για την επίλυση του οποίου απαιτείται να ωριμάσουν οι κοινωνικές προϋποθέσεις, που θα επιτρέψουν την λύση του. Επομένως, με βάση αυτή την προσέγγιση, με διάφορες εργασίες και παρεμβάσεις χωρίς συνολικό σχεδιασμό, διαμορφώνονται κάποιες επιμέρους λύσεις σε συγκεκριμένα κάθε φορά θέματα, ελέγχονται, αν είναι οικονομικά βιώσιμες και περιβαλλοντικά ασφαλείς και, τέλος, ξεκινά η διαδικασία εξασφάλισης της κοινωνικής συναίνεσης. Μερική δράση – λύση σε επί μέρους προβλήματα, αποτελούν και οι πολύ καλές, κατά τα άλλα, δράσεις στην ανακύκλωση.

Η διαδικασία αυτή παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα διότι:

- αγνοείται ότι η διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι αναπόσπαστο στοιχείο της καθημερινής ζωής των πολιτών, η αλλαγή της οποίας κάθε άλλο παρά εύκολη

είναι. Έτσι, αντιμετωπίζει την κοινωνική συναίνεση ως προϋπόθεση υλοποίησης των έργων και όχι την κοινωνία – χρήστη ως ουσιαστικό συνδιαμορφωτή των λύσεων.

- αγνοείται το γεγονός ότι σε κανένα πεδίο της διαχείρισης στερεών αποβλήτων οι τεχνικές λύσεις, επομένως και οι οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις τους, δεν είναι μονοσήμαντες.
- χάνεται ο ολοκληρωμένος χαρακτήρας που, εκ των πραγμάτων, πρέπει να έχουν οι προσεγγίσεις σε θέματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
- οι επιλογές δεν αποτελούν προϊόν μιας συνεχούς διαδικασίας αναζήτησης της κοινωνίας, για βελτίωση των όρων ζωής με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον, σε ικανοποίηση των κοινωνικών και οικονομικών αναγκών της. Αλλά, στις περισσότερες των περιπτώσεων, αποτελεί σχεδιασμό τρίτων (που εξυπηρετεί τρίτους).

Λόγω των προηγούμενων, υπονομεύεται η βιωσιμότητα ακόμα και των σωστών επιμέρους λύσεων. Τα παραπάνω, έχουν σαν αποτέλεσμα την σημαντική καθυστέρηση της Ελλάδας στη διαχείριση αποβλήτων, την απουσία συνοχής μεταξύ των επιμέρους δράσεων, τη μετατροπή των στόχων που, κατά καιρούς, μπαίνουν σε ευχολόγια, την υποτίμηση της ανάγκης δημιουργίας ουσιαστικών πολιτικών και όχι απλά έργων και τελικά, την αναπαραγωγή των χρόνιων προβλημάτων, παρά τα εκατομμύρια ευρώ που ξοδεύονται. Πέραν αυτών, όμως, είναι αλήθεια ότι υπάρχουν σημαντικά αποτελέσματα σε επιμέρους θέματα όπως η ανακύκλωση.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, κρίνεται απαραίτητη η επανατοποθέτηση της διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Μία λύση είναι η υιοθέτηση μιας δικτυακής προσέγγισης.

Η δικτυακή προσέγγιση αποτελεί κομβικό σημείο μιας νέας αντίληψης. Σύμφωνα με αυτήν, όλοι οι εμπλεκόμενοι στα θέματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων αποτελούν τους κόμβους ενός δικτύου. Το δίκτυο συμπεριφέρεται με τρόπο που αντιστοιχεί στη στιγμιαία, προσωρινή κάθε φορά, συνισταμένη των κινήσεων των επιμέρους κόμβων, καθένας εκ των οποίων έχει το δικό του ειδικό βάρος. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι ο κάθε κόμβος συνδέεται με πολλούς άλλους κόμβους, με νήματα – σχέσεις που έχουν περιορισμένη ελαστικότητα και αντοχή. Επομένως, κάθε προσπάθεια να στραφεί το δίκτυο σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, εκ των πραγμάτων, περνάει μέσα από την

ενεργοποίηση των νημάτων / σχέσεων μεταξύ των κόμβων και τη συντονισμένη κίνηση, προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αν τα νήματα / σχέσεις είναι περισσότερα από όσα το δίκτυο αντέχει, τότε έχουμε ένα εξαιρετικά δυσκίνητο σύστημα, αγκυλωμένο από την γραφειοκρατία. Αν είναι λιγότερα, τότε έχουμε ένα σύστημα που δεν μπορεί να κινήσει όλους τους κόμβους προς μια κατεύθυνση. Και στις δύο περιπτώσεις, το αποτέλεσμα είναι η αδυναμία συνολικής κίνησης προς συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Η υιοθέτηση μιας τέτοιας προσέγγισης συνεπάγεται ότι η επιλογή, μεταξύ της αντίληψης που θέλει τα δίκτυα να υπηρετούν την ιεραρχία (όπως πρακτικά συμβαίνει μέχρι σήμερα) ή της αντίληψης που θέλει τις ιεραρχίες να αναδεικνύονται μέσα από τα δίκτυα, είναι υποκειμενική. Ωστόσο, η πραγματικότητα είναι ότι στον κόσμο μας, οι ιεραρχίες και τα δίκτυα συνυπάρχουν και συνεξελίσσονται. (Το σημαντικότερο πρόβλημα στη διαχείριση στερεών αποβλήτων είναι ο εννοιολογικός τρόπος προσέγγισης αυτής.)

7.6 Ρόλος των εταιρειών ανακύκλωσης

Για την επιτυχή υλοποίηση ενός προγράμματος διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι εταιρείες, οι οποίες συμμετέχουν σε αυτό. Έτσι, σε κάθε συμμετέχουσα εταιρεία, θα πρέπει να ακολουθηθεί ένα γενικό πλαίσιο, το οποίο προβλέπει την:

- πλήρη συμμόρφωση με όλες τις περιβαλλοντικές διατάξεις και τους κανονισμούς, που άπτονται των δραστηριοτήτων της,
- πρόληψη της ρύπανσης που σχετίζεται με τις δραστηριότητές της,
- συνεχή βελτίωση του Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ), που έχει εγκαταστήσει και εφαρμόζει η εταιρεία και την αξιοποίηση των ευρημάτων, από την πρώτη τριετία εφαρμογής, του περιβαλλοντικού συστήματος,
- υιοθέτηση οικονομικά βιώσιμων και δοκιμασμένων λύσεων που οδηγούν στη βελτίωση των περιβαλλοντικών της επιδόσεων,
- μείωση, κατά το μέτρο που αυτό καθίσταται δυνατό, των αερίων εκπομπών και των υγρών και στερεών αποβλήτων,

- εφαρμογή μεθόδων ανακύκλωσης των αποβλήτων της, όπου αυτό είναι πρακτικά δυνατό,
- συνεχή εκπαίδευση και ενημέρωση του προσωπικού της, για θέματα που σχετίζονται με τη περιβαλλοντική διαχείριση της εταιρείας,
- παροχή πληροφοριών, τόσο στους πελάτες της, όσο και στους λοιπούς εξωτερικούς φορείς, σχετικά με τις περιβαλλοντικές της επιδόσεις και
- συνεχή προσπάθεια ευαισθητοποίησης των εργαζομένων, της τοπικής αλλά και της ευρύτερης κοινωνίας σχετικά με τη προστασία του περιβάλλοντος και τη συνδρομή της εταιρείας προς τη κατεύθυνση αυτή.

Βιβλιογραφία

"ATSDR, Lead: Agency for Toxic Substances and Disease Registry Fact Sheet", United States Department of Health and Human Services, 2005, pp. 2.

"Call for Global Action on E-waste", UNEP-United Nations Environment Programme, 2006.

"Electronic Waste: Strengthening the Role of the Federal Government in Encouraging Recycling and Reuse", United States Government Accountability Office/ Report GAO – 06 - 47, 2005, pp. 57.

"European Union, Directive 2002/96/EC of the European Parliament and the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)", Official J. Eur. Union, **46**, 2003, pp. 24-39.

"Executive Summary. Global View Sustainability Services Ltd. in association with Fraunhofer IZM & Collingwood Environmental Planning", Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK, 2011

"FLAME RETARDANTS IN PRINTED CIRCUIT BOARDS. REVIEW DRAFT-Revised", National Service Center for Environmental Publications U.S. Environmental Protection Agency, 2008.

"Industry Council for Electronics Equipment Recycling, Material Recovery from Waste Cathode Ray Tubes (CRTs)", Report published by Waste and Resources Action Programme, UK, 2004, pp. 70.

"N. 4042/2012 - Penal Protection of the environment - Compliance with Directive 2008/99/EC - Framework for waste generation and management - Compliance with Directive 2008/98/EC - Regulating issues of the Ministry of Environment, Energy and Climate Change" (in Greek), 2012. <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=7Z1up05Xrto%3d&tabid=777&language=el-GR>

"OECD Environmental Outlook to 2030", OECD-Organisation for Economic Cooperation and Development, 2008. [Online]: <http://213.253.134.43/oecd/pdfs/browseit/9708011E.PDF>

"Waste Legislation", (in Greek), YPEKA – Ministry of Environment, Energy and Climate Change, 2012. [Online]: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=437&language=el-GR>

[Online]: http://www.unep.org/pdf/pressreleases/E-waste_publication_screen_finalversion-sml.pdf

[Online]: www.eoan.gr/el/content/13

[Online]: www.minenv.gr/anakyklosi/v.menu/ahhe/hhe.html

[Online]: <http://solarenergy.gr>

Abad E., Adrados M. Caixach A., J. and Rivera J., "Dioxin abatement strategies and mass balance at a municipal waste management plant", *Environ. Sci. Technol.*, **36**, (1), 2002, pp. 92–99.

AEIConsulting, USA.

Akcil A., "WEEE: Booming for sustainable recycling", *Waste Manag.*, **57**, 2016, pp. 1–3.

Akcil A., Erust C., Gahan C. S., Ozgun M., Sahin M. and Tuncuk A., "Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixivants – A review", *Waste Manag.*, **45**, 2015, pp. 258–271.

Alzate A., López M. E. and Serna C., "Recovery of gold from waste electrical and electronic equipment (WEEE) using ammonium persulfate", *Waste Manag.*, **57**, 2016, pp. 113–120.

Alsheyab M. A. T., "Potential recovery of precious metals from waste laptops in Jordan", *Rare Met.*, **34**, (7), 2015, pp. 517–521.

Andersson P., Rappe C., Maaksant O., Unsworth J. F. and Marklund S., "Low temperature catalytic destruction of PCDD/F in flue gas from waste incineration", *Organohalog. Compd.*, **36**, 1998; pp. 109–112.

Angello V. N., "The Silica Industry in the Republic of South Africa", Republic of South Africa- Department of Minerals and Energy, 2004.

ArtechRecyclingtechnikGmbH

Arya C., Clarke J. L., Kay E. A. and O'Regan P. D., "TR 55: design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials: a review", in *Proc. Int. Conf. on Structural Engineering, Mechanics and Computation*, 2002, pp. 889–900.

Bakas I. C. R. I., Herczeg M. C. R. I., Vea E. B. C. R. I., Fråne A. I., Youhanan L. I. and Baxter J. Ø., "Critical Metals in Discarded Electronics: Mapping Recycling Potentials From Selected Waste Electronics in the Nordic Region", Nordic Council of Ministers, 2016.

Bakas I., Fischer C., Haselsteiner S., McKinnon D., Milios L., et al., "Present and potential future recycling of critical metals in WEEE ", Copenhagen Resource Institute, 2014.

Baird J., Curry R. and Cruz P., "An overview of waste crime, its characteristics, and the vulnerability of the EU waste sector", *Waste Management Resources*, **32**, 2014, pp. 97–105.

Baldé C., Wang F., Kuehr R. and Huisman J., "The global e-waste monitor–2014", United Nations University, IAS–SCYCLE, Bonn, Germany, 2015.

- Basel Action Network, *The Digital Dump: Exporting Re-use and Abuse to Africa*, Seattle, 2007
- Basel Convention [Online]: <http://www.basel.int> (Accessed August 2011)
- Bertram M., Graedel T. E., Rechberger H. and Spatari S., "The contemporary European copper cycle: waste management subsystem", *Ecol. Econ.*, **42**, 2002, pp. 43-57.
- Betts K., "Producing usable materials from e-waste", *Environ Sci Technol.*, **42**, 2008, pp. 6782–6783.
- Bhadury P. S., Singh S., Sharma M. and Palit M., "Flash pyrolysis of polytetrafluoroethylene (teflon) in a quartz assembly", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **78**, (2), 2007, pp. 288–290.
- Birke V., Mattik J. and Runne D., "Mechanochemical reductive dehalogenation of hazardous polyhalogenated contaminants", *J. Mater. Sci.*, **39**, (16-17), 2004, 5111–5116.
- Bloodworth A., "Resources: track flows to manage technology-metal supply", *Nature*, **505**, 2014, pp. 19-20.
- Bradna P. and Zima J., "Compositional analysis of epoxy matrices and carbon-fibre composites by pyrolysis- gas chromatography/ mass spectrometry", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **24**, (1), 1992, pp. 75-85.
- Brigden K. and Labunska I., "Mixed halogenated dioxins and furans: a technical background document", Greenpeace Research Laboratories Technical Note 03/2009, 2009.
- BSI, BS 8887-2:2009 – Terms and definitions, BS 8887-1:2006 – General concepts, process and requirements. produced by British Standards institute technical product specification committee (TDW/004/0-/05 Design for MADE BSI), 2009.
- Buchert M., Schüler D. and Bleher D., "Critical Metals for Future Sustainable Technologies and Their Recycling Potential", United Nations Environment Programme & United Nations University, 2009.
- Buekens A. and Huang H., "Comparative evaluation of techniques for controlling the formation and emission of chlorinated dioxins/furans in municipal waste incineration", *J. Hazard. Mater.*, **62**, 1998, pp. 1–33.
- Cailleteau C., Angeli F., Devreux F., Gin S., Jestin J., Jollivet P. and Spalla O., "Insight into silicate–glass corrosion mechanisms", *Nat. Mater.*, **7**, 2008, pp. 978–983.
- Casey W. H., "Dynamics and durability", *Nat. Mater.*, **7**, 2008, pp. 930–932.

- Cayumil R., Khanna R., Rajarao R., Mukherjee P. S. and Sahajwalla V., "Concentration of precious metals during their recovery from electronic waste", *Waste Manag.*, **57**, 2016, pp. 121-130.
- Chen S., Yang Y., Liu C., et al., "Column bioleaching copper and its kinetics of waste printed circuit boards (WPCBs) by *Acidithiobacillus ferrooxidans*". *Chemosphere*, **141**, 2015, pp.162–168.
- Cheung W. H., Lee V. K. C. and McKay G., "Minimizing Dioxin Emissions from Integrated MSW Thermal Treatment", *Environ. Sci. Technol.*, **41**, (6), 2007, pp. 2001–2007.
- Chick A. and Micklethwaite P., "Obstacles to UK architects and designers specifying recycled products and materials, Design History Society Conference", The University of Wales, Aberystwyth, 3–5 September 2002.
- Chiodo J. D. and Boks C., "Assessment of EoL strategies with active disassembly using smart materials", *The Journal of Sustainable Product Design*, **2**, 2002, pp. 69–82.
- Choi W., Hong S. J., Chang Y. S. and Cho Y., "Photocatalytic degradation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins on TiO₂ film under UV or solar light irradiation", *Environ. Sci. Technol.*, **34**, (22), 2000, pp. 4810–4815.
- Christiansen K. M. and Munck-Kampmann, "Waste-Annual Topic Update 1999", EEA-European Environmental Agency, Topic Report 2/2000, 2000.
- Cimpan C., Maul A., Jansen M., et al., "Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: a review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling", *Journal of Environmental Management*. **156**, 2015, pp. 181–199.
- Clausen E., Lahaniatis E. S., Bahadir M. and Bieniek D., "Bestimmung von bromiertenDibenzofuranen, die bei der Thermolyse von PolymerenmitDecabromdiphenyletheralsFlammschutzmittelgebildetwerden", *Anal. Chem.*, **327**, (3-4), 1987, pp. 297–300.
- COM 2005/618/EC. "Commission decision of 18 August 2005 amending directive 2002/95/EC for the purpose of establishing the maximum concentration values for certain hazardous substances in electrical and electronic equipment". *Official Journal of the European Union*, L 214, 2005.
- Cucchiella F., D'Adamo I., Lenny Koh S. C. and Rosa P., "Recycling of WEEEs: an economic assessment of present and future e-waste streams", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **51**, 2015, pp. 263–272.

Cui J. and Zhang L., "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review", *J. Hazardous Mater.*, **158**, 2008, pp. 228-256.

Cudahy J. J. and Helsel R. W., "Removal of products of incomplete combustion with carbon", *Waste Management*, **20**, (5-6), 2000, 339-345.

Cyganowska P., Garberaa K., Leśniewicz A., Wolskaa J., Pohlb P. and Jermakowicz-Bartkowiak D., "The recovery of gold from the aqua regia leachate of electronic parts using a core-shell type anionexchange resin", *J. Saudi Chem. Soc.*, **21**, 2017, pp. 741-750.

Deng W. J., Zheng J. S., Bi X. H., Fu J. M. and Wong M. H., "Distribution of PBDEs in air particles from an electronic waste recycling site compared with Guangzhou and Hong Kong, South China", *Environ. Int.*, **33**, 2007, pp. 1063- 1069.

Diaz L. A., Lister T. E., Parkman J. A. and Clark G. G., "Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste", *J. Cleaner Prod.*, **125**, 2016, pp. 236-244.

Dimitrakakis E., Janz A., Bilitewski B. and Gidarakos E., "Small WEEE: determining recyclables and hazardous substances in plastics", *J. Hazard. Mater.*, **161**, (2-3), 2008, 913-919.

Directive 2002/95/EC on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal of the European Union, L 37, 2003

Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment. Official Journal of the European Union, L 37/24, 2003

Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing directive 91/157/EE C. Official Journal of the European Union, L 266, 2006

Directive 2008/34/EC amending Directive 2002/96/EC on waste electrical and electronic equipment (WEEE), as regards the implementing powers conferred on to the Commission. Official Journal of the European Union, L 81, 2008

D'Silva K., Fernandes A. and Rose M., "Brominated Organic Micropollutants-Igniting the Flame Retardant Issue", *Critical Reviews in Env. Sci. and Tech.*, **34**, (2), 2004, pp. 141-207.

Dumler R., Lenoir D., Thoma H. and Hutzinger O., "Thermal formation of polybrominated dibenzofurans and dioxins from decabromodiphenyl ether flame retardant: Influence of antimony(III) oxide and the polymer matrix", *Chemosphere*, **20**, (10-12), 1990, pp. 1867-1873.

Dyke P., Coleman P. and James R., "Dioxins in ambient air, bonfire night 1994", *Chemosphere*, **34**, (5-7), 1997, pp. 1191-1201.

EEC Council Directive on hazardous waste, 1991.

EEC Council Directive on hazardous waste, 1994.

Ebin B. and Isik M. I., Pyrometallurgical processes for the recovery of metals from WEEE. In: Chagnes, A., Cote, G., Ekberg, C. (Eds.), WEEE Recycling. Elsevier, 2016, pp. 107–138.

Eggert R. G., "Minerals go critical", *Nat. Chem.*, **3**, 2011, pp. 688-691.

Egeonu N. and Heart S., "E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in African countries," *Int. J. Environ. & Waste Manag.*, **17**, (3–4), 2016, pp. 318–339.

Ellingson J. R., Beard M. C., Johnson J. C., Yu P., Micic O. I., Nozik A. J., Shabaev A. and Efros A. L., "Highly Efficient Multiple Exciton Generation in Colloidal PbSe and PbS Quantum Dots", *Nano Lett.*, **5**, (5), 2005, pp. 865–871.

Everaert K. and Baeyens J., "Catalytic combustion of volatile organic compounds", *J. Hazard. Mater.*, **109**, (1-3), 2004, pp. 113–139.

Ewing R.C., "Nuclear waste form glasses: the evaluation of very long-term behavior", *Mater. Tech.*, **16**, 2001, pp. 30–36.

ExelGroup, [Online]: <http://www.exelgroup.gr>

Ferella F., Belardi G., Marsilii A., De M. I. and Vegliò F., "Separation and recovery of glass, plastic and indium from spent lcd panels", *Waste Manag.*, **60**, 2016, pp. 569-581.

Fernández-Carrasco L., Ferrer R., Aponte D. F. and Martínez-Ramírez S., "Stabilization of photovoltaic panels cell waste in building material matrices", 1st Spanish National Conference on Advances in Materials Recycling and Eco- Energy, 2009.

Fonti V., Amato A. and Beolchini F., "Urban biomining: new challenges for a successful exploitation of WEEE by means of a biotechnological approach", *Microbiol. Miner. Met. Mater. Environ.* **13**, 2015, pp. 329–358.

Fthenakis V. M. and Moskowitz P. D., "Photovoltaics: Environmental, Safety and Health Issues and Perspectives", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **8**, 2000, pp. 27-38.

Garnier C., Verdier P., Razafindrakoto J. and Laurent Y., "WO Patent 9831639", 1998.

George M., *Minerals Yearbook of Gold*, U.S. Geological Survey, 2015.

Gerasimov G. Ya., "Degradation of Dioxins in Electron-Beam Gas Cleaning of Sulfur and Nitrogen Oxides", *High Energy Chemistry*, **35**, (6), 2001, pp. 389-393.

Ghosh B., Ghosh M. K., Parhi P., et al., "Waste printed circuit boards recycling: an extensive assessment of current status". *J. Clean. Prod.*, **94**, 2015, pp. 5–19.

Giles Slade, "Made to Break. Technology and Obsolescence in America", First Harvard University Press paperback edition, 2007

Gkaidatzis G., Aggelakoglou K. and Aktsoğlu D., "E-waste – Environmental Problems and Current Management", TEE First Greek-Chinese Forum on the Environment, 2009.

Goemans M., Clarysse P., Joannes J., De Clercq P., Lenaerts S., Matthys K. and Boels K., "Catalytic NO_x reduction with simultaneous dioxin and furan oxidation", *Chemosphere*, **54**, (9), 2004, pp. 1357–1365.

Goetzberger A., Hebling C. and Schock H.-W., "Photovoltaic materials, history, status and outlook", *Materials Science and Engineering*, **40**, 2003, pp. 1–46.

Goosey M., "End-of-life electronics legislation-an industry perspective", *Circuit World*, **30**, (2), 2004, pp. 41-45.

Gordon B. H., Greta O., James B. Hedrick J. "Rare Earth Element Resources: A Basis for High Technology", U.S. Geological Survey Fact Sheet 087-02, 2015.

Graedel T. and Allenby B., "Industrial ecology", Prentice Hall eds., 1995.

Grambow B., "Nuclear waste glasses – how durable?", *Elements*, **2**, 2006, pp. 357– 364.

Gu Y., Wu Y., Xu M., Mu X. and Zuo T., "Waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling for a sustainable resource supply in the electronics industry in China", *J. Cleaner Prod.*, **127**, 2016, pp. 331-338.

Guo J., Cao B., Guo Ji. and Xu Z., "A plate produced by nonmetallic materials of pulverized waste printed circuit boards", *Environ. Sci. Technol.*, **42**, (14), 2008, pp. 5267–5271.

Guo J., Guo Ji., Cao B., Tang Y. and Xu Z., "Manufacturing process of reproduction plate by nonmetallic materials reclaimed from pulverized printed circuit boards", *J. Hazard. Mater.*, **163**, (2–3), 2009, pp. 1019–1025.

Guo J., Li J., Rao Q. and Xu Z., "Phenolic molding compound filled with nonmetals of waste PCBs", *Environ. Sci. Technol.*, **42**, (2), 2008, pp. 624–628.

Ha Kim H., Yamamoto I., Takashima K., Katsura S. and Mizuno A., "Incinerator Flue Gas Cleaning Using Wet-Type Electrostatic Precipitator", *J. Chem. Eng. Jpn.*, **33**, (4), 2000, pp. 669–674.

Han K. N., Kellar J. J., Cross W. M. and Safarzadeh S., "Opportunities and challenges for treating rare-earth elements", *Geosystem Eng.*, **17**, 2014, pp. 178–194.

Hara K., Horiguchi T., Kinoshita T., Sayama K., Sugihara K. and Harakawa H., "Highly efficient photon-to-electron conversion with mercurochrome-sensitized nanoporous oxide semiconductor solar cells", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **64**, (2), 2000, pp. 115 – 134.

Hawken P., "The Ecology of Commerce – A Declaration of Sustainability", Harper Collins, 1993, pp. 45–46.

He W., Li G., Ma X., Wang H., Huang J., Xu M. and Huang C., "WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China", *J. Hazard. Mater.*, **136**, (3), 2006, pp. 502–512.

HelioSphera, [Online]: <http://www.heliosphera.com>

HELIOSYSTEMS-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, 2012. [On line]: <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>

Herat S., "Recycling of cathode ray tubes (CRTs) in electronic waste", *Clean*, **36**, 2008, pp. 19–24.

Hicks C., Dietmar R. and Eugster M., "The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China - legislative and market responses", *Environ. Impact. Assess. Rev.*, **25**, 2005, pp. 459-471.

Hileman B., "Electronic waste", *Chem. Eng. News*, **84**, 2006, pp. 18-21.

Hirota K. and Kojima T., "Decomposition Behavior of PCDD/F Isomers in Incinerator Gases under Electron-Beam Irradiation", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **78**, (9), 2005, 1685–1690.

Hischier R., Wäger P. and Gauglhofer J., "Does WEEE Recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE)", *Environ. Impact. Assess. Rev.*, **25**, 2005, pp. 525-539.

Ho Kim S., Kwak S.-Y. and Suzuki T., "Photocatalytic degradation of flexible PVC/TiO₂ nanohybrid as an eco-friendly alternative to the current waste landfill and dioxin-emitting incineration of post-use PVC", *Polymer*, **47**, (9), pp. 3005–3016.

Huang P., Zhang X. and Deng X., "Survey and analysis of public environmental awareness and performance in Ningbo, China: a case study on household electrical and electronic equipment", *J. Clean .Prod.*, **14**, 2006, pp. 1635-1643.

Huisman J., Botezatu I., Herreras L., et al., "Countering WEEE Illegal Trade (CWIT) Summary Report: Market Assessment, Legal Analysis, Crime Analysis and Recommendations Roadmap" Lyon, France, 2015.

Huisman J. and Magalini F., "Where are WEEE now?, Lessons from WEEE: Will EPR work for the US?", in Proc. IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, 2007, pp. 149-154.

IETC [Online]: www.unep.or.jp (Accessed August 2011)

Ijomah W. L. and Childe S. J., "A model of the operations concerned in re-manufacture", *International Journal of Production Research*, **45**, 2007, pp. 5857–5880.

Ijomah W. L. and Chiodo J. D., "Application of active disassembly to extend profitable remanufacturing in small electrical and electronic products", *International Journal of Sustainable Engineering*, **3**, 2010, pp. 246–257.

Ijomah W. L., "A model-based definition of the generic remanufacturing business process", PhD dissertation, University of Plymouth, UK, 2002.

Ijomah W. L., "The application of remanufacturing in sustainable manufacture", *Proceedings of ICE – Waste and Resource Management*, **163**, 2010, pp. 157–163.

Imre-Lucaci Á., Nagy M., Imre-Lucaci F. and Fogarasi S. "Technical and environmental assessment of gold recovery from secondary streams obtained in the processing of waste printed circuit boards", *Chem. Engin. J.*, **309**, 2017, pp. 655-662.

Inagaki Y., Furuya H., Idemitsu K. and Arima T., "Review of waste glass corrosion and associated radionuclide release as a part of safety assessment of entire disposal system", *Prog. Nucl. Energy*, **32**, 1998, pp. 501–508.

Inano H., "Effect of Alkali Metal Oxide on Pb Recovery from the Waste CRT Glass by Reduction Melting Method", *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*, 2012, pp. 896-900.

Ingle K. A., "Reverse Engineering", New York, McGraw-Hill, 1994

Izatt R. M., Izatt S. R., Bruening R. L., Izatt N. E. and Moyer B. A., "Challenges to achievement of metal sustainability in our high-tech society", *Chem. Soc. Rev.*, **43**, 2014, pp. 2451-2475.

Jenker H., "Plastic additives", Carl Hanser Verlag, Munich, Germany, 1979, pp. 387–415.

Kang H. -Y. and Schoenung J. M., "Electronic waste recycling: A review of US infrastructure and technology options", *Resour. Conservat. Recycl.*, **45**, 2005, pp. 368-400.

Işildar A., Van de Vossenberg J., Rene E.R., et al., "Two-step bioleaching of copper and gold from discarded printed circuit boards (PCB)", *Waste Manag.*, **57**, 2016, pp. 149–157.

Işıldar A., Renea E. R., Van Hullebuscha E. D. Lens P. N. L., "Electronic waste as a secondary source of critical metals: Management and recovery technologies", *Resour. Conserv. Recyc.*, **135**, 2018, pp. 296-312.

Janyasuthiwong S., Ugas R., Rene E. R., et al., "Effect of operational parameters on the leaching efficiency and recovery of heavy metals from computer printed circuit boards", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **91**, 2016, pp. 2038–2046.

Kang H. -Y. and Schoenung J. M., "Used consumer electronics: a comparative analysis of materials recycling technologies", *IEEE Int. Symp. On Electronics and the Environment*, 2004, pp. 226-230.

Karademir A., Bakoglu M. and Taspinar F., "Removal PCDD/Fs from Flue Gas by a Fixed-Bed Activated Carbon Filter in a Hazardous Waste Incinerator", *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 2004, pp. 1201–1207.

Kim D., Petrisor I. G. and Yen T. F., "Evaluation of biopolymer - modified concrete systems for disposal of cathode ray tube glass", *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **55**, 2005, pp. 961-969.

Krishnamurthy S. and Brown H. C., "Selective reductions. 27. Reaction of alkyl halides with representative complex metal hydrides and metal hydrides. Comparison of various hydride reducing agents", *J. Org. Chem.*, **45**, (5), 1980, pp. 849–856.

Kronholm D. and Hummelen (Kees) J. C., "A new material for high-performance solar cells", *SPIE Newsroom*, 2008. DOI: 10.1117/2.1200810.1232

Kuehr R. and Williams E., "Computers and the Environment. Understanding and Managing their Impacts", Kluwer & UNU, Dordrecht/Tokyo, 2003

Ladou J. and Lovegrove S., "Export of electronics equipment waste", *Int. J. Occup. Environ. Health.*, **14**, 2008, pp. 1-10.

LaDou J., "Printed circuit board industry", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **209**, 2006, pp. 211–219.

Lahaniatis E. S., Bergheim W. and Bieniek D., "Formation of 2,3,7,8-tetrabromodibenzodioxin and - furan by thermolysis of polymers containing brominated flame retardants", *Toxicol. Environ. Chem.*, **31**, (1), 1991, pp. 521–526.

Lahaniatis E. S., Roas R., Bieniek D., Klein W. and Korte F., "Bildung von chloriertenorganischenverbindungenbei der verbrennung von polyathylen in gegenwart von natriumchlorid", *Chemosphere*, **10**, (11–12), 1981, pp. 1321–1326.

- Lee C. H., Chang C. T., Fan K. S. and Chang T. C., "An overview of recycling and treatment of scrap computers", *J. Hazard. Mater.*, **114**, (1-3), 2004, pp. 93–100.
- Lee S. H., Yoo K., Jha M. K., et al., "Separation of Sn from waste Pb-free Sn-Ag-Cu solder in hydrochloric acid solution with ferric chloride", *Hydrometallurgy*, **157**, 2015, pp. 184–187.
- Lee C.-H., Chang S.-L., Wang K.-M. and Wen L.-C., "Management of scrap computer recycling in Taiwan", *J. Hazard. Mater.*, **73**, (3), 2000, pp. 209–220.
- Lekka M., Masavetas I., Benedetti A. V., Moutsatsou A. and Fedrizzi L. "Gold recovery from waste electrical and electronic equipment by electrodeposition: A feasibility study", *Hydrometallurgy*, **157**, 2015, pp. 97-106.
- Lenoir D., Zier B., Bieniek D. and Kettrup A., "The influence of water and metals on PBDD/F concentration in incineration of decabrombiphenyl ether in polymeric matrices", *Chemosphere*, **28**, (11), 1994, pp. 1921–1928.
- Leung A. O. W., Duzgoren-Aydin N. S., Cheung K. C. and Wong M. C., "Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China", *Environ. Sci. Technol.*, **42**, (7), 2008, pp. 2674–2680.
- Li J. H., Gao S., Duan H. B. and Liu L. L., "Recovery of valuable materials from waste liquid crystal display panel", *Waste Manag.*, **29**, 2009, pp. 2033-2039.
- Liljelind P., Unsworth J., Maaskant O. and Marklund S., "Removal of dioxins and related hydrocarbons from flue gas streams by adsorption and catalytic destruction", *Chemosphere*, **42**, (5-7), 2001, pp. 615–623.
- Lim X., "Degree of separation", *Nature*, **520**, (23), 2015, pp. 426–427.
- Lister T. E., Wang P. and Anderko A., "Recovery of critical and value metals from mobile electronics enabled by electrochemical processing", *Hydrometallurgy*, **149**, 2014, pp. 228–237.
- Liu H., Zhang S., Pan D., Tian J., Yang M., Wu M. and Volinsky A.A., "Rare earth elements recycling from waste phosphor by dual hydrochloric acid dissolution", *J. Hazard. Mater.*, **272**, 2014, pp. 96–101.
- Liu X. B., Tanaka M. and Matsui Y., "Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste: a case study in Beijing, China", *Waste Manag. Res.*, **24**, 2006, pp. 434-445.
- Lu Y. and Xu Z., "Precious metals recovery from waste printed circuit boards: A review for current status and perspective", *Resour. Conserv. Recyc.*, **113**, 2016, pp. 28-39.

Luckscheiter B. and Nesovic M., "Short-term corrosion of HLW glass in aqueous solutions enriched with various metal cations", *J. Nucl. Mater.*, **327**, 2004, pp. 182–187.

Luda M. P., "Recycling of Printed Circuit Boards, Integrated Waste Management - Volume II", Sunil Kumar Ed., ISBN: 978-953-307-447-4, 2011. [Online]: <http://www.intechopen.com/books/integrated-waste-management-volume-ii/recycling-of-printed-circuit-boards>

Lundin L. and Marklund S., "Thermal degradation of PCDD/F, PCB and HCB in municipal solid waste ash", *Chemosphere*, **67**, (3), 2007, pp. 474–481.

Luque A. and Hegedus S., "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", Copyright John Wiley & Sons Ltd, 2005.

Maier-Schwinning G. et al., "Reduction techniques for exhaust gas cleaning for PCDD/PCF", VDI-Berichte Nr. 1298, 1996, pp. 191–229.

Mäkinen J., Bachér J., Kaartinen T., et al., "The effect of flotation and parameters for bioleaching of printed circuit boards", *Miner. Eng.*, **75**, 2015, pp. 26–31.

Méar F., "Study of foam glass elaborated from waste cathode-ray tubes (CRT) lead oxide containing glasses: elaboration, physical and chemical characterizations and applications", Ph.D. Thesis-University Montpellier, 2004.

Méar F., Yot P. and Ribes M., "Effects of temperature, reaction time and reducing agent content on the synthesis of macroporous foam glasses from waste funnel glasses", *Mater. Lett.*, **60**, 2006, pp. 929–934.

Méar F., Yot P., Cambon M. and Ribes M., "Properties and structural characterization of foam glass elaborated from cathode-ray tube", *Adv. Appl. Ceram.*, **104**, 2005, pp. 123–130.

Méar F., Yot P., Cambon M. and Ribes M., "The changes in lead silicate glasses induced by the addition of a reducing agent (TiN or SiC)", *J. Non-Cryst. Solids*, **351**, 2005, pp. 3314–3319.

Méar F., Yot P., Cambon M. and Ribes M., "The characterization of waste cathode-ray tube glass", *Waste Manag.*, **26**, 2006, pp. 1468–1476.

Méar F., Yot P., Viennois R. and Ribes M., "Mechanical behaviour and thermal and electrical properties of foam glass", *Ceram. Int.*, **33**, 2007, pp. 543–550.

Méar F., Yot P. and Ribes M., "Effects of temperature, reaction time and reducing agent content on the synthesis of macroporous foam glasses from waste funnel glasses", *Mater. Lett.*, **60**, 2006, pp. 929–934.

MEWA

Miles R. W., Hynes K. M. and Forbes I., "Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues ", *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, **51**, (1-3), 2005, pp. 1-42.

Mitoma Y., Uda T. and Egashira N., " Approach to Highly Efficient Dechlorination of PCDDs, PCDFs, and Coplanar PCBs Using Metallic Calcium in Ethanol under Atmospheric Pressure at Room Temperature", *Environ. Sci. Technol.*, **38**, (4), 2004, 1216–1220.

Mitrou P. I., Dimitriadis G. and Raptis S. A., "Toxic effects of 2,3,7,8-tetrachlorobenzo-p-dioxin and related compounds", *Eur J Int Med.*, **12**, (5), 2001, pp. 406–411.

Miyoshi H., Chen D. P. and Akai T., "A novel process utilizing subcritical water to remove lead from wasted lead silicate glass", *Chem. Lett.*, **33**, 2004, pp. 956–957.

Morf L. S., Tremp J., Gloor R., Schuppisser F., Stengele M. and R. Taverna, "Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste – actual levels in Switzerland", *Waste Manag.*, **27**, 2007, pp. 1306-1316.

Natarajan G. and Ting Y. P., "Gold biorecovery from e-waste: an improved strategy through spent medium leaching with pH modification", *Chemosphere*, **136**, 2015, pp. 232–238.

Naumann E., "Plastics, fire prevention, and flame retardants: developments, progresses, and trends", *SueddeutschesKunststoff-Zentrum, Wuerzburg, Germany*, 1996, pp. 1–14.

Nifuku M., Horvath M., Bodnar J., Zhang G., Tanaka T., Kiss E., Woynarovic G. and Katoh H., "A study on the decomposition of volatile organic compounds by pulse corona", *J. Electrostat.*, **40-41**, 1997, pp. 687–692.

NIMS (National Institute for Material Science, Japan), [Online]: www.nims.go.jp/jpn/news/press/pdf/press215_2.pdf (accessed October 2015)

NRC, 1999, Buy recycled guidebook, http://www.nrc-recycle.org/brba/Buy_Recycled_Guidebook.pdf (accessed 21 November 2003).

Obata S. and Fujihira H., "Dioxin and NO_x Control Using Pilot-Scale Pulsed Corona Plasma Technology", *Combust. Sci. Technol.*, **133**, (1-3), 1998, 3–11.

Oguchi M., Murakami S., Tasaki T., Daigo I. and Hashimoto S., "Lifespan of commodities, Part II, Methodologies for estimating lifespan distribution of commodities" *J. Industrial Ecology*, **14**, 2004, pp. 613–626

Ogunniyi I. O., Vermaak M. K. G., Groot D. R., "Chemical composition and liberation characterization of printed circuit board comminution fines for beneficiation investigations", *Waste Manag.*, **29**, 2009, pp. 2140–2146.

Oliver M. and Jackson T., "Energy and economic evaluation of building-integrated Photovoltaics", *Energy*, **26**, 2001, pp. 431–439.

Olsman H., van Bavel B. and Pettersson A., "Formation of dioxin-like compounds as photoproducts of decarbomated diphenyl ether (deBDE) during UV-irradiation", *Organohalogen Compounds*, **58**, 2002, pp. 41–44.

Ongondo F. O., Williams I. D. and Cherrett T. J., "How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes", *Waste Manag.*, **31**, 2011, pp. 714–730.

Orazio C. E., Kapila S., Puri R. K. and Yanders A. F., "Persistence of chlorinated dioxins and furans in the soil environment", *Chemosphere*, **25**, (7-10), 1992, pp. 1469–1474.

O'Regan B. and Grätzel M., "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", *Nature*, **353**, (6346), 1991, pp. 737–740.

Oturan N., Van Hullebusch E. D., Zhang H., et al., "Occurrence and removal of organic micropollutants in landfill leachates treated by electrochemical advanced oxidation processes", *Environ. Sci. Technol.*, **49**, 2015, pp. 12187–12196.

Owens C. V., Lambright C., Bobseine K., "Identification of estrogenic compounds emitted from the combustion of computer printed circuit boards in electronic waste", *Environ. Sci. Technol.*, **41**, (24), 2007, pp. 8506–8511.

Partain L. D., "Solar cells and their applications", John Wiley & Sons Inc., 1995.

Pelizzetti E., Borgarello M., MInero C., Pramauro E., Borgarello E. and Serpone N., "Photocatalytic degradation of polychlorinated dioxins and polychlorinated biphenyls in aqueous suspensions of semiconductors irradiated with simulated solar light", *Chemosphere*, **17**, (3), 1988, pp. 499–510.

Prakash S., Manhart A., Amoyaw-Osei Y. and Agyekum O. O., "Socio-economic assessment and feasibility study on sustainable e-waste management in Ghana", Öko-Institut eV in cooperation with Ghana Environmental Protection Agency (EPA) & Green Advocacy Ghana, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, VROM-Inspectorate, 2010.

Raugei M., Bargigli S. and Ulgiati S., "Life cycle assessment and energy pay-back time of advanced photovoltaic modules: CdTe and CIS compared to poly-Si", *Energy*, **32**, 2007, pp. 1310–1318.

Reck B. K. and Graedel T. E., "Challenges in metal recycling", *Science*, **337**, 2012, pp. 690-695.

Recycling Magazine, **36**, 2000.

Recycling Magazine, **37**, 2001.

Robinson B. H., "E-waste: An assessment of global production and environmental impacts", *Science of the Total Environment*, **408**, (2), 2009, pp. 183-191.

Rocchetti L., Vegliò F., Kopacek B. and Beolchini F., "Environmental impact assessment of hydrometallurgical processes for metal recovery from WEEE residues using a portable prototype plant", *Environ. Sci. & Technol.*, **47**, 2013, pp. 1581-1588.

Rot K., Huskic M., Makarovic M., LjubicMlakar T. and Zigon M., "Interfacial effects in glass fibre composites as a function of unsaturated polyester resin composition", *Compos. Pt. A: Appl. Sci. Manuf.*, **32**, (2-4), 2001, pp. 511-516.

Ruan J. and Xu Z., "Constructing environment-friendly return road of metals from e-waste: Combination of physical separation technologies", *Renew. Sust. Energy Rev.*, **54**, 2016, pp. 745-760.

Sahin M., Akcil A., Erust C., et al., "A potential alternative for precious metal recovery from e-waste: iodine leaching", *Sep. Sci. Technol.*, **50**, 2015, pp. 2587-2595.

Sasai R., Kubo H., Kamiya M. and Itoh H., "Development of an eco-friendly material recycling process for spent lead glass using a mechanochemical process and Na₂EDTA reagent", *Environ. Sci. Technol.*, **42**, 2008, pp. 4159-4164.

Saterlay A. J., Wilkins S. J. and Compton R. G., "Towards greener disposal of waste cathode ray tubes via ultrasonically enhanced lead leaching", *Green Chem.*, **3**, 2001, pp. 149-155.

Scheutz C., Mosbaek H. and Kjeldsen P., "Attenuation of methane and volatile organic compounds in landfill soil covers", *J. Environ. Qual.*, **33**, 2004, pp. 61-71.

Schluep M., Hagelueken C., Kuehr R., Magalini F., Maurer C., Meskers C., Mueller E. and Wang F., "From E-waste to Resources, Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies", United Nations Environment Programme, 2009

Schmidt C. W., "Unfair trade - E-waste in Africa", *Environ. Health. Perspect.*, **114**, 2006, pp. 232-235.

Schüler D., Buchert M., Liu R., Dittrich S. and Merz C., "Study on rare earths and their recycling - Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament", Öko-Institute.V., 2011.

Search and Separate – S+S

Sepúlveda A., Schlupe M., Renaud F. G., Streicher M., Kuehr R., Hagelüken C. and Gerecke A. C., "A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: examples from China and India", *Environ. Impact Assess. Rev.*, **30**, 2010, pp. 28-41.

Silveira A. V., Fuchs M. S., Pinheiro D. K., Tanabe E. H., Bertuol D. A., "Recovery of indium from lcd screens of discarded cell phones", *Waste Manag.*, **45**, 2015, pp. 334-342.

Sheng J., Luo S. and Tang B., "The leaching behavior of borate waste glass SL-1", *Waste Manage.*, **19**, 1999, pp. 401-407.

Shiomitsu T., Hirayama A., Iwasaki T., Akashi T. and Fujisawa Y., "Volatilization and Decomposition of Dioxin from Fly Ash", *NKK Tech. Rev.*, **85**, 2001, pp. 25-29.

Shute R. L. and Badger A. E., "EFFECT OF IRON OXIDE ON MELTING OF GLASS", *Journal of the American Ceramic Society*, **25**, (12), 1942, pp. 355-357.

Sinha-Khetriwal D., Kraeuchi P. and Schwaninger M., "A comparison of electronic waste recycling in Switzerland and in India", *Environ. Impact. Assess Rev.*, **25**, 2005, pp. 492-504.

Silvas F. P. C., Jiménez Correa M. M., Caldas M. P. K., et al., "Printed circuit board recycling: physical processing and copper extraction by selective leaching", *Waste Manag.*, **46**, 2015, pp. 503-510.

Snader K., "Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products", *Institut for Ökologie und Politik*, 2007.

Solmer J. S. and Stoll R. G., "United States: Electronic Waste - New Developments", *Folley and Lardner*, MA, USA, 2007.

Sommer P., Rotter V. S. and Ueberschaar M., "Battery related cobalt and REE flows in WEEE treatment", *Waste Manage.*, **45**, 2015, pp. 298-305.

Steinert

StEP Initiative [Online]: www.step-initiative.org (Accessed August 2015)

Sthiannopkao S. and Wong M. H., "Handling e-waste in developed and developing countries: initiatives, practices, and consequences", *Sci. Total Environ.*, **463-464**, 2013, pp. 1147-1153.

Strzałkowska A., Wojtala M. and Siwka J., "Pb(II) leaching from waste CRT funnel glass in nitric acid solutions", *J. Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, **55**, (2), 2012, pp.825-828.

Stuhlpfarrer P., Luidold S. and Antrekowitsch H., "Recycling of waste printed circuit boards with simultaneous enrichment of special metals by using alkaline melts: A green and strategically advantageous solution", *Waste Manag.*, **37**, 2016, pp. 17-25.

Sun Z., Xiao Y., Agterhuis H., Sietsma J. and Yang Y., "Recycling of metals from urban mines e a strategic evaluation", *J. Cleaner Prod.*, **112**, 2016, pp. 2977-2987.

Sun Z., Xiao Y., Sietsma J., Agterhuis H. and Yang Y., "A cleaner process for selective recovery of valuable metals from electronic waste of complex mixtures of end-of-life electronic products", *Environ. Sci. Technol.*, **49**, 2015, pp. 7981–7988.

Sundin E., Lindahl M. and Ijomah W., "Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry", *Journal of Manufacturing Technology Management*, **20**, 2009, pp. 723–753.

Terazono A., Murakami S., Abe N., Inanc B., Moriguchi Y. and Sakai S., "Current status and research on e-waste issues in Asia", *J. Mater Cycles Waste Manage*, **8**, 2006, pp. 1-12.

Tolley W. K. and Palmer G. R., "Recovering Cadmium and Tellurium from CdTe Manufacturing Scrap", in *Proc. AIME Annual Meeting*, 1991.

Troitzsch J., "Combustion behavior of plastics", Carl HanserVerlag, 1982, pp. 47–67.

Tsalavoutas S., Kapoutsis G. and Zahilas L., "Leonardo Pilot Project Recy-Occupation. Survey of the Greek recycling sector", *Organization for Vocational Education and Training*, 2002.

Turbini L. J., Munie G. C., Bernier D., Gamalski J. and Bergman D. W., "Examining the environmental impact of lead- free soldering alternatives", *IEEE Trans. Electronics Packaging Manufacturing*, **24**, 2001, pp. 4-9.

Tysklind M., Faengmark I., Marklund S., Lindskog A., Thaning L. and Rappe C., "Atmosphairic transport and transformation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans", *Environ. Sci. Technol.*, **27**, (10), 1993, 2190–2197.

UNEP [Online]: www.unep.org (Accessed August 2011)

USGS, "Commodity Statistics and Information", [Online]: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/> (Accessed June 2015)

USGS, "Lithium Statistics and Information", [Online]: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/> (Accessed June 2015)

- Villares M., İşildar A., Mendoza Beltran A. and Guinee J., "Applying an ex-ante life cycle perspective to metal recovery from e-waste using bioleaching", *J. Clean. Prod.*, **129**, 2016, pp. 315–328.
- Vogg H. and Stieglitz L., "Thermal behavior of PCDD/PCDF in fly ash from municipal incinerators", *Chemosphere*, **15**, (9-12), 1986, pp. 1373–1378.
- Wang R. and Xu Z., "Recycling of non-metallic fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review", *Waste Manag.*, **34**, 2014, pp. 1455-1469.
- Wang D., Cai Z., Jiang G., Leung A., Wong M. H. and Wong W. K., "Determination of polybrominated diphenyl ethers in soil and sediment from an electronic waste recycling facility", *Chemosphere*, **60**, (6), 2005, pp. 810–816.
- Weitzman D. H., "Is CRT glass-to-lead recycling safe and environmentally friendly?", *IEEE Int. Symp. Electronics and the Environment*, 2003, pp. 329-334.
- Widmer R., Oswald - Krapf H., Sinha - Khatriwal D., Schnellmann M. and Boni H., "Global perspectives on e - waste", *Environ. Impact. Assess. Rev.*, **25**, 2005, pp. 436-458.
- Williams E., "Global Production Chains and Sustainability: The Case of High-purity Silicon and its Applications in IT and Renewable Energy", Tokyo: United Nations University Institute of Advanced Studies, 2000.
- Yamane L. H., de Moraes V. T., Romano Espinosa D. C. and Tenório J. A. S., "Recycling of WEEE: Characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers", *Waste Manag.*, **31**, 2011, pp. 2553-2558.
- Yokoyama S. and Iji M., "Recycling of printed wiring boards with mounted electronic parts", in *Proc. IEEE International Symposium*, 1997, pp. 109–114.
- Yot P., Assadinik M., Cambon M., Meyrand B., Liautard B. and Ribes M., "Recycling of end of life cathode-ray tubes-synthesis and characterization of foam glass" in *Proc. National workshop of research in Technological Institute of University*, tome 1, Publications of University of Saint-Etienne, 2001, pp. 312–324.
- Zeng X., Gong R., Chen W. Q. and Li J., "Uncovering the recycling potential of new WEEE in China", *Environ. Sci. Technol.*, **50**, 2016, pp. 1347–1358.
- Zhang C., Wang J., Bai J., Guan J., Guo C. and Wu W., "Recovering lead from cathode ray tube funnel glass by mechano-chemical extraction in alkaline solution", *Waste Manag. Res.*, **31**, (7), 2013, pp. 759-763.

Zhang L. and Xu Z., "A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment", *J. Cleaner Prod.*, **127**, 2016, pp. 19-36.

Zhang S., Ding Y., Liu B. and Chang C.-C., "Supply and demand of some critical metals and present status of their recycling in WEEE", *Waste Manag.*, **65**, 2017, pp. 113-127.

Zhou Y. X., Yan P., Cheng Z. X., Nifuku M., Liang X. D. and Guan Z. C., "Application of non-thermal plasmas on toxic removal of dioxin-contained fly ash", *Powder Technol.*, **135-136**, 2003, pp. 345-353.

Zientek M. L. and Loferski P. J., "Platinum-Group Elements: So Many Excellent Properties", US Geological Survey, 2014.

Zier B., Lahaniatis E. S., Bieniek D. and Kettrup A., *Organohalog. Compd.*, **2**, 1990, pp. 381-384.

"Απόβλητα από Ηλεκτρικό και Ηλεκτρονικό Εξοπλισμό - ΑΗΗΕ", ΕΕΣΔΑ, 2014. [Online]: <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=63>

"Απόβλητα ειδών Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)". [Online]: <http://www.eoan.gr/el/content/13> (Accessed July 2014)

"Απολογιστική έκθεση συστήματος εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων φωτιστικών, λαμπτήρων & μικροσυσκευών 2012", ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2013.

"Απολογιστική έκθεση συστήματος εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων φωτιστικών, λαμπτήρων & μικροσυσκευών 2012", ΦΩΤΟΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε., 2013.

ΑΔΑ: Β4ΘΤΩ9Μ-73Ψ - ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΗΜΟΥ ΔΡΑΜΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε. Φορέας: ΔΗΜΟΣ ΔΡΑΜΑΣ. Ημ/νία τελευταίας τροποποίησης: 26/09/2012 09:16:35. Είδος: ΑΝΑΘΕΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΙΩΝ / ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ Ή ΜΕ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗ)

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΙΓΑΙΟΥ - ΧΥΤΗΡΙΑ Α.Β.Ε.Ε., [Online]: www.aegeanrecycling.gr

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α.Ε., "Company Profile", [Online]: http://www.electrocycle.gr/electrocycle_company/files/company_profile.pdf (Accessed July 2014)

Βαφειάδης Α. και Νικολούδης Κ., "Πλαίσιο και κανόνες διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Αναλυτική περιγραφή διαδικασίας σε οθόνες CRT", Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικής, 2008.

Δημόπουλος Π., "Ανακύκλωση Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού", Διπλωματική Εργασία-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2004.

Ζαχαρίου Α. και Πρωτογερόπουλος Χ., "Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών και οι Δραστηριότητες του ΚΑΠΕ για την Ανάπτυξη της στον Ελλαδικό χώρο", 1ο Εθνικό Συνέδριο "Τεχνολογίες Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Περιβάλλοντος", 2000.

Θεοδώρου Ι., "Επεξεργασία Απόβλητων Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών μετά το τέλος ζωής. Αποτύπωση της Ελληνικής Αγοράς", Διπλωματική Εργασία-Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2012.

Καγκαράκης Κ., "Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία", Εκδόσεις Συμμετρία, 1992.

Μακρής Θ., "Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών των κτιρίων", Διπλωματική μεταπτυχιακής ειδίκευσης, Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2009.

Τρυπαναγνωστοπούλου Μ., "Σύνθεση και μελέτη υβριδικών φωτοβολταϊκών κυττάρων: Νέα πρόκληση για το περιβάλλον και τα κτίρια", Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Επιστήμης των Υλικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2010.