



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων από
ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές με την
μέθοδο των βαρέων διαμέσων

Διπλωματική εργασία

Δημήτρης Δανιηλίδης

Επιβλέπων καθηγητής: Καθ. Γεώργιος Αναστασάκης

Αθήνα, Οκτώβριος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές με την μέθοδο των βαρέων διαμέσων

Διπλωματική εργασία

Δημήτρης Δανιηλίδης

Επιβλέπων καθηγητής: Καθ. Γεώργιος Αναστασάκης

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Γεώργιος Αναστασάκης, Καθηγητής

Κωνσταντίνος Τσακαλάκης, Καθηγητής

Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη, Καθηγήτρια

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της δυνατότητας αποδοτικού διαχωρισμού και ανάκτησης των πλαστικών από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές με την μέθοδο των βαρέων διάμεσων.

Στο θεωρητικό σκέλος πραγματοποιήθηκε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των πλαστικών σε ό,τι αφορά τα είδη τους και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης παρουσιάστηκε αναλυτικά η συμμετοχή των πλαστικών σε απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών καθώς και των μεθόδων ανακύκλωσης που συναντάμε στην συγκεκριμένη βιομηχανία.

Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται μια γενική περιγραφή των θερμοπλαστικών και στην συνέχεια, αφού έγινε περιγραφή της διαδικασίας της ανακύκλωσης αυτής καθαυτής αλλά και το πως κατατάσσεται στα νομοθετικά και κοινωνικά πλαίσια, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.

Στη συνέχεια, αφού κατατάξουμε την ανακύκλωση των πλαστικών αποβλήτων στο βιομηχανικό και ερευνητικό γίγνεσθαι, παραθέτουμε βιβλιογραφικά τις κύριες μεθόδους μηχανικού διαχωρισμού.

Σε ό,τι αφορά το πειραματικό σκέλος, έλαβε χώρα εργαστηριακός διαχωρισμός πλαστικών από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές με την μέθοδο των βαρέων διάμεσων σε διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα και διαφορά ειδικά βάρη.

Στη συνέχεια παρατέθηκαν ποσοτικές απεικονίσεις των διαχωρισμών σε διαγράμματα και αφού πραγματοποιήθηκαν ποιοτικοί έλεγχοι PVC με FTIR στα δείγματα, παρατέθηκαν τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις από τον διαχωρισμό.

Abstract

The aim of this Diploma Thesis was the study of the feasibility for sorting and enriching plastic particles from electric and electronic devices using heavy media method.

In the theoretical section, we provide an extensive literature review of different kind of plastics and their properties. Moreover, we showed an in-depth analysis of plastics in waste of electric and electronic devices, and the recycling method applied in this industry.

In the first chapters, we provide a brief introductory description of thermoplastics kai later, after the the analysis of recycling process and it's law restrictions, we analyzed the characteristics of waste from electric and electronic devices.

Next step, after classifying plastic recycling in industrial and research state of the art, we provide the literature for primary mechanical sorting methods.

Regarding the experimental procedure, the laboratory sorting of plastics took place via heavy media method, in various granular ratios and specific weights. Finally, we provided the schematics of sorting in diagrams.

And after qualitative PVC checks with FTIR technique on samples, we provided the final remarks and conclusions.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Γεώργιο Αναστασάκη για την απεριόριστη συμπαράσταση, καθοδήγηση και τον χρόνο που αφιέρωσε για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την εταιρία BIANATT A.E για την παραχώρηση των απαραίτητων δειγμάτων καθώς και της χημικές αναλύσεις που έλαβαν χώρα στα εργαστήρια τους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου ,καθώς και την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη που μου παρείχαν καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό Μέρος	8
1.1 Γενικά χαρακτηριστικά πλαστικών - θερμοπλαστικών.....	8
1.2 Θερμοπλαστικά στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία.....	9
1.2.1 Ακρυλονιτρίδιο - βουταδιένιο - στυρένιο (ABS).....	9
1.2.2 Ακρυλικά.....	9
1.2.3 Πολυμερή υγρών κρυστάλλων (LCPS)	10
1.2.4 Τροποποιημένος Πολυφαινυλενικός αιθέρας (PPE)	11
1.2.5 Πολυαμίδια (PA)	11
1.2.6 Τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο (PBT) και Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET)	11
1.2.7 Πολυανθρακικά (PC)	12
1.2.8 Μίξεις PC/ABS.....	13
1.2.9 Πολυαιθεροαιθεροκετόνη (PEEK).....	14
1.2.10 Πολυαιθεριμίδιο (PEI) και Πολυαμιδημιδίδιο (PAI)	14
1.2.11 Πολυοξυμεθυλένιο/Ακετάλη.....	15
1.2.12 Σουλφίδιο πολυφαινυλενίου (PPS).....	16
1.2.13 Πολυπροπυλένιο (PP).....	16
1.2.14 Θερμοπλαστικά ελαστομερή (TPEs)	17
1.2.15 Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	17
1.3 Η διαδικασία της ανακύκλωσης.....	18
1.3.1 Οφέλη της ανακύκλωσης.....	20
1.4 Απόβλητα Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών (WEEE)	22
1.4.1 Χαρακτηριστικά των WEEE	22
1.5 Νομοθεσία	24
1.5.1 Συγκεντρωτική παράθεση όλων των Ελληνικών και Ευρωπαϊκών νομοσχεδίων για τα πλαστικά απόβλητα από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.....	24
1.5.2 Ορισμοί με βάση την υπάρχουσα νομοθεσία	26
1.5.3 Περιβαλλοντικά προβλήματα.....	28
1.6 Ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων	29
1.6.1 Μηχανικές μέθοδοι διαχωρισμού	31
1.6.1.1 Διαλογή (screening).....	31
1.6.1.2 Διαχωρισμός με βάση το σχήμα (shape separation)	32
1.6.1.3 Μαγνητικός Διαχωρισμός.....	32

1.6.1.4 Διαχωρισμός με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα	32
1.6.1.5 Διαχωρισμός με βάση την πυκνότητα.....	33
1.6.1.5.1 Η διαδικασία διαχωρισμού με βαρέα διάμεσα	36
Κεφάλαιο 2. Πειραματικό μέρος	38
2.1 Δειγματοληψία.....	38
2.2 Κοκκομετρική ταξινόμηση	40
2.3 Εργαστηριακή χρήση των βαρέων διαμέσων	40
2.3.1 Αιωρήματα	41
2.3.1.1 Ανθρακικό Κάλιο (K_2CO_3).....	41
2.3.1.2 Ανθρακικό Ασβέστιο ($CaCO_3$).....	41
2.3.1.3 Παρασκευή αιωρήματος	42
2.4 Αποτελέσματα	43
2.4.1 Διαχωρισμός με β.δ. σε ε.β. 1 (Νερό)	44
2.4.2 Διαχωρισμός με Β.Δ σε ε.β. 1,08 (Ανθρακικό κάλιο- K_2CO_3).....	48
2.4.3 Διαχωρισμός με Β.Δ σε ε.β. 1,08 (Ανθρακικό ασβέστιο- $CaCO_3$)	50
2.4.4 Ποιοτικός έλεγχος PVC και FTIR.....	54
Κεφάλαιο 3. Παρατηρήσεις	57
Κεφάλαιο 4.Βιβλιογραφία	58

Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό Μέρος

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά πλαστικών - θερμοπλαστικών

Τα πολυμερή είναι χημικές ουσίες που τα μόριά τους σχηματίζουν μακρές αλυσίδες που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενα τμήματα (δομικές μονάδες).

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των πολυμερών οφείλονται στην χημική και την φυσική δομή του επαναλαμβανόμενου τμήματος των αλυσίδων. Η λέξη «Πλαστικά» συνήθως αναφέρεται σε υλικά που:

- Χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή και ακαμψία
- Παρουσιάζουν θερμοκρασιακά όρια επεξεργασίας
- Υπό την επίδραση εξασκούμενης δύναμης παραμορφώνονται συνεχώς

Σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά, όπως τα κεραμικά και τα μέταλλα, τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να θεωρηθούν μειονεκτήματα. Υπάρχουν όμως άλλα χαρακτηριστικά τους, τα οποία τα καθιστούν ελκυστικά για μια πληθώρα εφαρμογών:

- Μπορούν να μορφοποιηθούν εύκολα και να πάρουν το σχήμα μητρών πολύπλοκης μορφής με ελάχιστη προσπάθεια στην επεξεργασία και το τελείωμα.
- Έχουν χαμηλό ειδικό βάρος.
- Είναι ηλεκτρικοί μονωτές και έτσι βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών.
- Έχουν θερμομονωτική ικανότητα.
- Παρουσιάζουν άλλες ιδιότητες, όπως η ευκαμψία και η διαφάνεια.

Νέοι τύποι πολυμερών και σύνθετων υλικών, ενισχυμένων με συνθετικές ίνες παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και μακρά διάρκεια χρήσης

Αξίζει να σημειωθεί πως το 1981 η κατ' όγκο κατανάλωση πλαστικών υπερέβη την κατανάλωση του χάλυβα, περίπου κατά $20 \cdot 10^6$ κυβικά μέτρα τον χρόνο, με την διαφορά αυτή να συνεχίζει να αυξάνεται.

Τα πολυμερή διακρίνονται στα θερμοπλαστικά πολυμερή, τα θερμοσκληρυνόμενα (thermosets) και τα ελαστομερή.

Τα θερμοπλαστικά μπορούν να τήκονται με την θέρμανση, να στερεοποιούνται με την ψύξη και να επανατήκονται. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών είναι το PS, το PE και το PVC.

Τα θερμοσκληρυνόμενα παρουσιάζονται ως μόρια που ανήκουν σε μια μακρά αλυσίδα, όταν αυτά βρίσκονται σε ρευστή κατάσταση. Υπό θέρμανση και πίεση έχουν την δυνατότητα να σκληραίνουν, λόγω διασταυρώσεων μεταξύ των πολυμερικών αλυσίδων. Άπαξ και σκληρύνουν δεν μπορούν να επιστρέψουν στην φάση όπου είναι μαλακά και ρέουν.

Τα ελαστομερή αποτελούνται από διασταυρωμένες δομές δικτύου με μεγάλη δυνατότητα παραμόρφωσης και βασικά πλήρη επανάκαμψη, λόγω του μεγάλου αριθμού ευελιξίας αλυσίδων.

Τα θερμοπλαστικά και τα θερμοσκληρυνόμενα επονομάζονται συνήθως πλαστικά. [2]

1.2 Θερμοπλαστικά στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία

Όπως έχει προαναφερθεί, τα πολυμερή συνδυάζονται με έναν μεγάλο αριθμό πρόσθετων και τροποποιητικών για την δημιουργία θερμοπλαστικών. Περισσότερα από 15000 είδη θερμοπλαστικών είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, με την κοινή ονομασία “commodity plastics” ή “engineering plastics”.

Λόγω της πολύ υψηλής δυνατότητας μορφοποίησής τους και της καλής μηχανικής συμπεριφοράς τους, έχουν ένα τεράστιο εύρος εφαρμογών, ειδικά στην βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών, όπου χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πολλών διαφορετικών εξαρτημάτων. Αξίζει να σημειωθεί πως το 1995, η αξία της συγκεκριμένης βιομηχανίας υπολογίζεται να ήταν περίπου 1.3 δις £.

Η αυξημένη τιμή των “engineering plastics” σε σχέση με τα υπόλοιπα πλαστικά οφείλεται στην καλύτερη συμπεριφορά των υλικών αυτών σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, στην εξαιρετική συμπεριφορά σε καταπονήσεις και την ακαμψία τους. Επιπρόσθετα, λόγω της καλής διαμορφωσιμότητάς τους, μπορούν να χυτευτούν και παραγάγουν προϊόντα με πολύπλοκο σχήμα. Επίσης, λόγω της υψηλής ποιότητάς τους, τα υλικά που παράγονται από την ανακύκλωσή τους διατηρούν τις καλές ιδιότητές τους.

1.2.1 Ακρυλονιτρίδιο - βουταδιένιο - στυρένιο (ABS)

Είναι ένα άμορφο τετραμερές που σχηματίστηκε από τον πολυμερισμό των μονομερών ακρυλονιτρίδιο, βουταδιένιο και στυρένιο. Είναι δυνατό να επιτευχθεί ένα μεγάλο εύρος τελικών χημικών συστάσεων και ιδιοτήτων διαφοροποιώντας τον λόγο των προαναφερθέντων μονομερών ή τροποποιώντας τις συνθήκες παρασκευής τους. Κατά συνέπεια είναι δυνατή η παραγωγή πολλών διαφορετικών εμπορικών προϊόντων με βάση το ABS, τα οποία χαρακτηρίζονται από καλό επιφανειακό φινίρισμα, σκληρότητα και αντοχή στην κρούση, χαμηλή απορρόφηση νερού, καλή διαστατική σταθερότητα, καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και αντίσταση στην γήρανση και τα χημικά. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε οικιακές μονώσεις, διακόπτες, καλώδια, πρίζες και μπαταρίες (UPS). Επίσης έχει καταστεί ως ένα δημοφιλές υλικό για την χύτευση σκελετών τηλεφωνικών συσκευών και ακουστικών, όπου η αντοχή στην κρούση, η καλή επιφάνεια, η ευκολία στην χύτευση και το σχετικά μικρό κόστος συνέβαλαν στην διεύρυνση των εφαρμογών του.

1.2.2 Ακρυλικά

Τα ακρυλικά και ειδικά αυτά στην οικογένεια των πολυμεθυλμεθακρυλικών (PMMA), χρησιμοποιούνται ευρέως στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία. Τυπικές εφαρμογές τους είναι οι light diffusers (όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται για φωτισμό δρόμων). Χαρακτηρίζονται από κρυσταλλική καθαρότητα, επιφανειακή σκληρότητα και αντίσταση στην χάραξη, εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες, σταθερότητα σε υπέρυθη ακτινοβολία, καλή αντίσταση σε χημικά και καλές ηλεκτρικές ιδιότητες. Όταν όμως απαιτείται αυξημένη σκληρότητα προτιμώνται τα πολυανθρακικά, εφόσον τα ακρυλικά είναι εξαιρετικά εύθραυστα.

Το PMMA έχει μελετηθεί εκτενώς στην παραγωγή πολυμερικών οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση οπτικών σημάτων. Οι πολυμερικές οπτικές ίνες έχουν

πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ίνες υάλου, όπως η ευκολία στον χειρισμό, το μειωμένο βάρος, η ολκιμότητά τους και η ευκολία στην συναρμολόγηση. Επίσης, έχουν δυνητικά χαμηλό κόστος. Το PMMA είναι ελκυστικό για αυτού του τύπου την εφαρμογή, γιατί μετατρέπεται εύκολα σε μονομερές και επειδή στον πολυμερισμό του δεν παράγονται συμπτυκνωμένα προϊόντα.

Το PMMA χρησιμοποιείται εκτενώς στην κατασκευή φωτοανθεκτικών και αποτελεί την βάση για πολλές πρακτικές εφαρμογές. Ακόμα και αν παρουσιάζει υψηλή ανάλυση, η χαμηλή του ευαισθησία και κακή θερμική σταθερότητα παρότρυναν τους ερευνητές να ψάξουν για εναλλακτικές λύσεις.

1.2.3 Πολυμερή υγρών κρυστάλλων (LCPs)

Τα θερμοτροπικά πολυμερή υγρών κρυστάλλων είναι μία ομάδα κρυσταλλικών πολυμερών που παράγονται ως τυχαία συμπολυμερή από μία συγκεκριμένη ομάδα αρωματικών πολυεστέρων με πολυμερισμό ειδικών μονομερών. Η κατάσταση υγρής κρυσταλλικότητας είναι μια μεμονωμένη κατάσταση όπου η κατεύθυνση της μεγάλης κλίμακας μοριακής διάταξης παραμένει, ακόμα και με την απουσία κάποιων τύπων διάταξης μικρής κλίμακας. Παρουσιάζουν μια αρκετά διατεταγμένη δομή, όπου η υγρή και η στερεά κατάσταση των πολυμερών διατάσσονται μαζί για να δώσουν ιώδεις κρυσταλλικές αλυσίδες σε διάτμηση στο τήγμα. Ένα βασικό χαρακτηριστικό τους είναι οι ανισοτροπία στις ιδιότητες με βάση τον προσανατολισμό κατά την διεργασία. Τα πρώτα LCPs είχαν πολύ υψηλά σημεία τήξης και ήταν δύσκολα στην κατεργασία. Όμως, σύντομα αναπτύχθηκαν συμπολυμερή, στα οποία υπήρχε ένας βαθμός αταξίας που καθιστούσε την κατεργασία τους ευκολότερη. Υποστηρίζεται πως υπάρχουν περίπου 20 εταιρίες παγκοσμίως που έχουν προγράμματα για ανάπτυξη ειδών LCP. Η παγκόσμια αγορά τους το 1997 υπολογίζεται να ήταν πάνω από 8000 τόνοι.

Πίνακας 1: Οι ιδιότητες των LCPs

Glass transition temperature (°C)	217
Dielectric constant (1kHz)	4.0-4.5
Dissipation factor (1GHz)	$4-6 \times 10^{-3}$
Volume resistivity (Ωm)	$10^{13}-10^{14}$
Dielectric strength (kV mm^{-1})	30-43
Moulding temperature (°C)	30-200
Mould shrinkage (%)	0-0.6
Melt temperature (°C)	285-325

Η εμπορική εισαγωγή των LCPs έγινε στα μέσα της δεκαετίας του '80, παρείχε νέες δυνατότητες για σχεδιασμό θερμοπλαστικών μέσα από την εξαιρετική τους αντοχή σε ακραίες θερμοκρασίες, την εξαιρετική επιβράδυνση μετάδοσης φλόγας με πολύ μικρή εκπομπή καπνού, καλή χημική αντίσταση και σταθερότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία. Είναι, επίσης, διαφανή στην ενέργεια μικροκυμάτων και είναι ανεπηρέαστα από ραδιενεργή ακτινοβολία. Παρουσιάζουν σταθερότητα στις διαστάσεις τους με τις σταθερές θερμικής εξάπλωσης να βρίσκονται σε ένα μεγάλο εύρος.

Αυτές οι ιδιότητες σε συνδυασμό με τις εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες και την καλή ροή, καθιστούν τα LCPs ιδανικά για εφαρμογές, όπως συνδέτες. Επίσης, τα θερμοτροπικά LCPs έχουν χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή οπτοηλεκτρονικών εξαρτημάτων υψηλής απόδοσης, όπως

οπτικές ίνες σε συστήματα επικοινωνίας με κύματα. Σε αυτήν την εφαρμογή τα LCPs ήταν ιδεατά προσαρμοσμένα στις ανάγκες για σταθερές θερμικής εξάπλωσης, που είναι παρόμοιες με οπτικές ίνες υάλων, είναι σε μικρό μέγεθος και έχουν καλή σταθερότητα στις διαστάσεις.

Τα ελκυστικά χαρακτηριστικά τους και η ικανότητα για τροποποίησή τους για συγκεκριμένες εφαρμογές δείχνουν πως θα αυξηθεί η χρήση τους στα επόμενα χρόνια, ειδικά στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές. Επί του παρόντος, όμως, είναι σχετικά ακριβά και αυτό περιορίζει κάπως την χρήση τους.

1.2.4 Τροποποιημένος Πολυφαινυλενικός αιθέρας (PPE)

Τα PPE είναι άμορφες ρητίνες που έχουν εδραιωθεί στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία λόγω της καλής σταθερότητας στις διαστάσεις τους, την μικρή συστολή σε καλούπι, την καλή συμπεριφορά σε ερπυσμό και την χαμηλότερη απορρόφηση νερού από όλα τα θερμοπλαστικά. Ένα ακόμα πλεονέκτημα των ρητινών PPE, είναι πως όλες οι βαθμίδες τους που είναι πυρίμαχες δεν περιέχουν αλογόνα. Ανεπτυγμένη από την General Electric Plastics, η μοναδική αυτή τεχνολογία αναμειγνύει PPE με υψηλής αντοχής πολυστυρένιο (HIPS), ώστε να δημιουργηθούν υλικά με χαρακτηριστικά που θα τα καταστήσουν κατάλληλα για συγκεκριμένες εφαρμογές. Το εύρος των εφαρμογών κυμαίνεται από μόνωση συρμάτων μέχρι οπτικές ίνες και μπαταρίες UPS.

Ειδικές βαθμίδες αυτού του υλικού αναπτύχθηκαν και παρέχουν έναν συνδυασμό ιδιοτήτων που σχετίζονται με επιβράδυνση μετάδοσης φλόγας χωρίς την παρουσία αλογόνων, αντοχή στην διάβρωση και χαμηλή εκπομπή καπνού. Αυτά τα υλικά ικανοποιούν ακόμα και τις πιο ακραίες απαιτήσεις της βιομηχανίας.

Επίσης, λόγω του χαμηλού συντελεστή απώλειας και διηλεκτρικής σταθεράς αυτού του υλικού, συνηθίζεται η χρήση του στην εκτύπωση πλακετών ηλεκτρικών κυκλωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν σε υψηλές συχνότητες. Επιπρόσθετα, με την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσής τους να είναι στους 190 °C, έχουν σχετικά καλή θερμική σταθερότητα.

1.2.5 Πολυαμίδια (PA)

Τα πολυαμίδια, ή αλλιώς Nylon ήταν από τα πρώτα θερμοπλαστικά που χρησιμοποιήθηκαν για εμπορικά προϊόντα. Χαρακτηρίζονται από αντοχή, ακαμψία και σκληρότητα, εξαιρετική ευκολία στην χύτευση και ολκιμότητα. Αυτές οι ιδιότητες σε συνδυασμό με την εξαιρετική αντίσταση στην φθορά εδραίωναν την χρήση τους στην βιομηχανία παραγωγής συνδετών και σε εξοπλισμό για επένδυση καλωδίων, συρμάτων, κλπ.

Όμως, η ευαισθησία αυτών των υλικών σε αλλαγές στις διαστάσεις και οι εκφυλισμένες ηλεκτρικές ιδιότητες μέσω προσρόφησης υγρού δημιούργησε ευκαιρίες για εναλλακτικά υλικά, όπως το PBT.

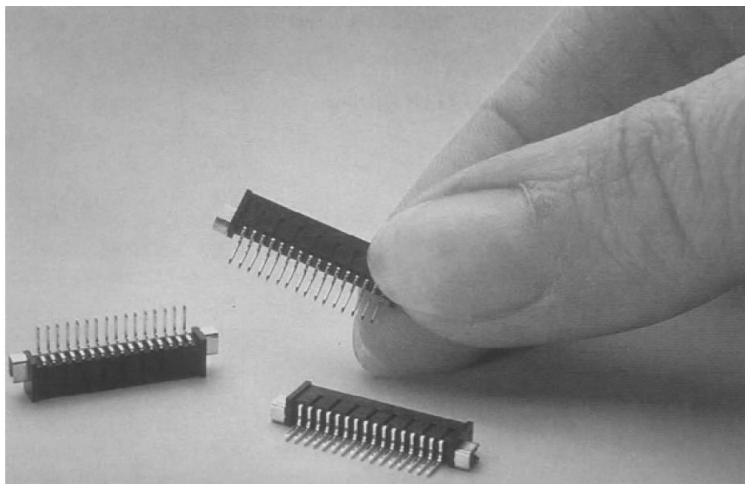
1.2.6 Τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο (PBT) και Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET)

Τα θερμοπλαστικά PBT και PET υπάγονται στους θερμοπλαστικούς πολυεστέρες. Το PBT χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές που απαιτούν την τεχνική χύτευσης με εκβολή, όπου μέσω αυτής μπορούν να παραχθούν υλικά για εξαρτήματα με σύνθετο σχήμα, λόγω της

ευχυτότητάς τους. Ιδιότητες όπως η σταθερότητα των διαστάσεων του χυτού σώματος διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις συγκεκριμένες εφαρμογές.

Χρησιμοποιούνται συνήθως σε συσκευές με καλώδια, κυκλώματα και συνδέτες. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι οι υψηλές μηχανικές, θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες και η εξαιρετική χημική αντίσταση.

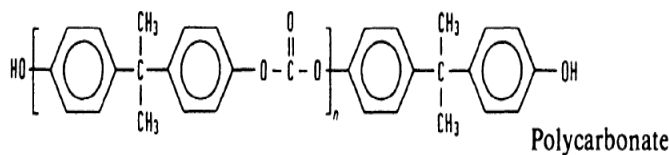
Το PBT είναι σχετικά μαλακότερο από το σχετικά άκαμπτο και σκληρό PET, όμως η επίδοσή του σε ακραίες θερμοκρασίες είναι σχετικά βραχυπρόθεσμη. Αυτό το καθιστά κατάλληλο για προϊόντα όπως οι βάσεις (υποδοχείς) για λαμπτήρες.



Εικόνα 1: Συνδέτης από PBT (Φωτ.: General Electric Plastics)

1.2.7 Πολυανθρακικά (PC)

Τα πολυανθρακικά μπορούν να παρασκευαστούν από την συμπύκνωση τμημάτων α-διφαινόλης και διφαινολικών ανθρακικών. Τυπικά έχει μοριακά βάρη από 20000 έως 30000 για υλικά που παράγονται με χύτευση με εκβολή, ενώ σε άλλα υλικά τα μοριακά βάρη μπορούν να υπερβούν την τιμή των 60000.

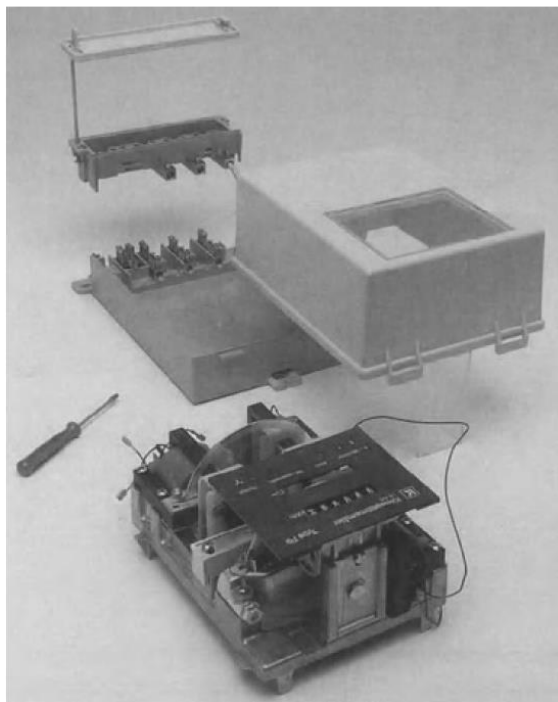


Εικόνα 2: Μόριο πολυανθρακικών

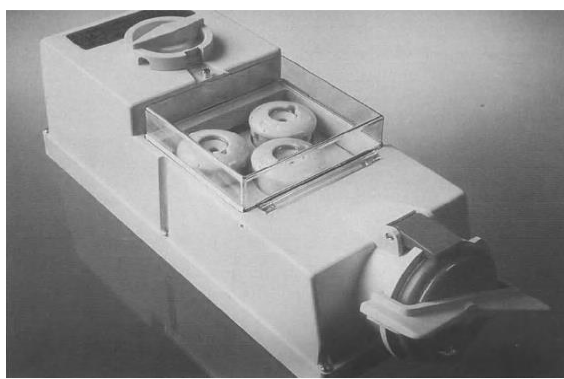
Οι ρητίνες πολυανθρακικών διακρίνονται από την σκληρότητα, την αντίσταση στην θέρμανση και την φλόγα, τη σταθερότητα διαστάσεων και την διαφάνεια. Στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως είναι οι συνδέτες, οι συσκευές με καλώδια, οι διαχύτες φωτός και τα τεμάχια τερματικών. Οι μονωτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες

των πολυανθρακικών είναι εξαιρετικές και μένουν σχεδόν ανεπηρέαστες από τις θερμοκρασιακές αλλαγές.

Συγκεκριμένοι συνδυασμοί χημικών και θερμοκρασιακών περιβαλλόντων, μαζί με μηχανικές καταπονήσεις μπορούν να δράσουν επιβλαβώς για αυτά τα υλικά. Παρ' όλα αυτά έχουν αναπτυχθεί βαθμίδες αυτών των υλικών με ενισχυμένη αντίσταση και, επίσης, ειδικές επιφανειακές επικαλύψεις που αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους προβλήματα, παρέχοντας χημική αντίσταση.



Εικόνα 3: kWh-μετρο με εξαρτήματα από PC.



Εικόνα 4: Θήκη για διακόπτες από P

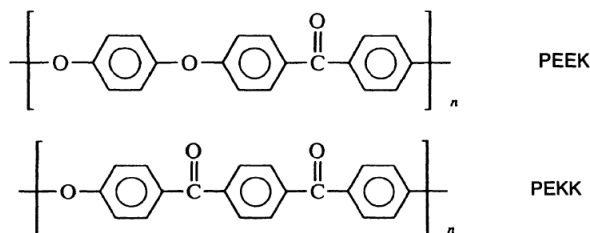
1.2.8 Μίξεις PC/ABS

Ο συνδυασμός αυτός συνδυάζει την κατεργασιμότητα του ABS και την υψηλή μηχανική αντοχή και αντοχή στην θερμότητα των πολυανθρακικών. Συναντάται συχνά σε κυκλώματα kWh-

μετρων, επενδύσεις καλωδίων, βάσεις λαμπτήρων και οικιακές συσκευές. Επίσης χρησιμοποιείται εκτενώς σε επικαλύψεις πλαστικών.

1.2.9 Πολυαιθεροαιθεροκετόνη (PEEK)

Η ομάδα των PEEK είναι από μια οικογένεια πολυμερών που περιέχουν μια ομάδα αρωματικών κετονών ως πολυμερικό σκελετό. Αυτή η ομάδα έχει πλεονεκτήματα όπως η θερμική σταθερότητα, καλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και χημική αντίσταση. Εκτός του PEEK υπάρχουν και άλλα πολυμερή με βάση την κετόνη, όπως οι πολυκετόνες (PK), οι πολυαιθεροκετόνες (PEK) και οι πολυαιθεροκετοκετόνες (PEKK).

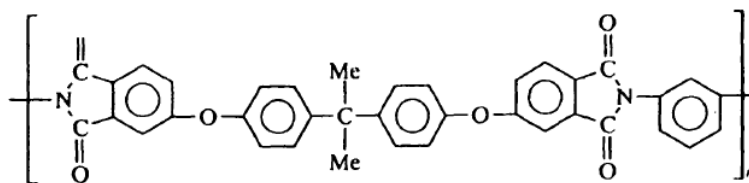


Εικόνα 5: PEEK και PEKK

Η PEEK προσδίδει αντίσταση και χημική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας το ένα από τα θερμοπλαστικά με την μεγαλύτερη αντοχή στην θερμότητα. Επίσης, είναι σχεδόν καθόλου εύφλεκτο και έχει ελάχιστες εκπομπές καπνού ή τοξικών ουσιών. Λόγω του υψηλού του κόστους όμως έχει πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές στην βιομηχανία.

1.2.10 Πολυαιθεριμίδιο (PEI) και Πολυαμιδημίδιο (PAI)

Το PEI ανήκει στην ομάδα των γραμμικά τροποποιημένων πολυϊμιδίων. Τα πολυϊμίδια που περιέχουν ένα χαρακτηριστικό group ιμιδίων, χαρακτηρίζονται από μεγάλη θερμική σταθερότητα. Με χημική τροποποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την μορφή ένεσης θερμοπλαστικών και να χυτευτούν σε καλούπι. Άλλα μέλη αυτής της ομάδας είναι τα πολυαμίδιο-ιμίδια και τα πολυιμιδικά. Ένα τυπικό παράδειγμα πολυαιθερικό ιμιδίου είναι το Ultem, το οποίο έχει την ακόλουθη δομή:



Εικόνα 6: Δομή μορίου Ultem

Τα PEI είναι ιδανικά για συνδέτες για υψηλές θερμοκρασίες, σε προβολείς, ανακλαστήρες φωτός και γενικά για εφαρμογές στον ηλεκτρικό φωτισμό. Οι εφαρμογές αυτές χρειάζονται μακροπρόθεσμη αντίσταση στην θερμότητα και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Η καλή επίδοση αυτών των θερμοπλαστικών φαίνεται, επίσης, από την δράση τους ως επιβραδυντικά

φλόγας με ελάχιστη εκπομπή καπνού, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές στο εσωτερικό αεροσκαφών. Λόγω του ότι είναι άμορφο, παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα μετά την χύτευση σε σύγκριση με τα κρυσταλλικά υλικά και κατ' επέκταση παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις. Αυτό, σε συνδυασμό με την αντίσταση σε χημικά και την συγκολλησιμότητα, το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές όπως οι μετρητές αερίου. Έχουν αντίσταση στην διάβρωση από οξέα ορυκτών, όμως είναι επιρρεπή στην προσβολή από βάσεις (πχ. NaOH). Παρ'όλο που τα PEI είναι λιγότερο ευαίσθητα στο νερό από κάποια άλλα πολυμερή, πρέπει να ξηραθούν πριν κατεργαστούν ως τήγμα. Παρουσιάζουν συγκρίσιμες ιδιότητες με πολυαιθεροσουλφόνια και πολυαρυλοσουλφόνια, παρόλο που η χαμηλή διαλυτότητά τους σε συχνότητες τα καθιστούν προτιμότερα σε εφαρμογές που σχετίζονται με μικροκύματα.

Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά των πολυαιθεριμιδίων που τα καθιστούν κατάλληλα για ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές είναι οι καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και σταθερότητα όσον αφορά στις διαστάσεις, αλλά και η δράση τους ως επιβραδυντικά φλόγας.

Έχουν κριθεί, επίσης, κατάλληλα για κατασκευή ολοκληρωμένων μικροκυκλωμάτων, λόγω της χημικής καθαρότητάς τους.

Τα PEI τελευταίας γενιάς έχουν θερμοκρασίες υαλώδους μετάπτωσης στους 265 °C και μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες πάνω από 220 °C.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των PEI και PAI

Property	PEI (Ultem 1000)	PAI (Torlon 4203L)
Glass transition temperature (°C)	217	275
Dielectric constant (1kHz)	3.15	4.2
Dissipation factor (1kHz)	1.3×10^{-3}	2.6×10^{-2}
Volume resistivity (Ωm)	6.7×10^{15}	3×10^{14}
Dielectric strength (kV mm^{-1})	28	24
Moulding temperature (°C)	175	204-218
Mould shrinkage (%)	0.7	1.0
Melt temperature (°C)	365-390	330-360
Continuous use temperature (°C)	170	200-220

Τα PAI παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα, με καλή κατεργασιμότητα και καλή μηχανική συμπεριφορά μέχρι την θερμοκρασία των 250 °C, όμως η χύτευση τους είναι πιο δύσκολη σε σύγκριση με τα PAI. Έχουν κατώτερες ηλεκτρικές ιδιότητες σε σχέση με τα PEI και έτσι έχουν σχετικά λίγες εφαρμογές στην ηλεκτρική και ηλεκτρονική βιομηχανία, με εξαίρεση κάποια εξαρτήματα ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

1.2.11 Πολυοξυμεθυλένιο/Ακετάλη

Σχηματίζεται από τον πολυμερισμό φορμαλδεϋδης και έχει σημείο τήξεως στους 160-185 °C. Είναι το πιο άκαμπτο ενισχυμένο θερμοπλαστικό και αυτό με την μεγαλύτερη αντοχή, γεγονός που οφείλεται στην ικανότητα της φορμαλδεϋδης να σχηματίσει εναλλασσόμενες μοριακές αλυσίδες που μέσω αυτών αυξάνεται η κρυσταλλικότητα.

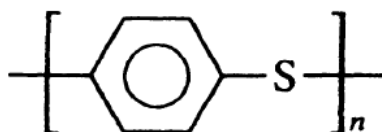
Παρουσιάζει εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, που συμπληρώνονται με υψηλή αντίσταση στην φθορά και αντοχή στην κόπωση, χαμηλό συντελεστή τριβής, εξαιρετική σταθερότητα στις διαστάσεις, καλή αντίσταση στην χημική προσβολή και χαμηλή προσρόφηση νερού. Βέβαια,

διαβρώνεται όταν έρχεται σε επαφή με πολύ ισχυρά οξέα ή ισχυρές βάσεις και υδρολύεται με καυτό νερό.

Συναντάται σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως τα υδρόμετρα και τα μικρά εξαρτήματα που θέλουν συχνή συναρμολόγηση-αποσυναρμολόγηση. Δεν έχουν επιβραδυντική δράση για τις φλόγες λόγω του ότι έχουν την τάση να καίγονται με μία κυανή φλόγα.

1.2.12 Σουλφίδιο πολυφαινουλενίου (PPS)

Είναι ένα κρυσταλλικό αρωματικό πολυμερές που αποτελείται από την παρακάτω δομική μονάδα:



Εικόνα 7: Η δομική μονάδα των PPS

Εμπορικά παράγεται ως γυαλί ή θερμοπλαστικό που έχει υποστεί ενίσχυση με την προσθήκη υάλων ή ορυκτών. Είναι ιδανικό για προϊόντα όπως σύνδεσμοι, προϊόντα για εξωτερικό φωτισμό και εξαρτήματα ρελέ. Δρα και ως επιβραδυντικό φλόγας, παρουσιάζει εξαιρετική χημική αντίσταση, ενώ δεν υπάρχουν γνωστοί διαλύτες που μπορούν να το διαλύσουν σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 200 °C.

Έχει εξαιρετική θερμική σταθερότητα, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα θερμοκρασιών που βρίσκονται πολύ κοντά στο σημείο τήξης του, ακόμα και αν το τελευταίο είναι χαμηλότερο σε σχέση με τα αντίστοιχα πολυμερή που έχουν ως βάση τις κετόνες. Επίσης, παρουσιάζει χαμηλή προσρόφηση νερού, παρόλο που μακροχρόνια επαφή με νερό σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να μειώσει την μηχανική του αντοχή. Επίσης, αν και η ενίσχυση των PPS τους προσδίδει μεγάλο όριο διαρροής, ταυτόχρονα αυξάνει και την ψαθυρότητά τους.

Η θερμική, μηχανική και χημική σταθερότητα αυτού του θερμοπλαστικού, σε συνδυασμό με τα εξαιρετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του το καθιστά ευρέως διαδεδομένο στην ηλεκτρική και ηλεκτρονική βιομηχανία.

Έχει ήδη βρει εφαρμογές σε συνδέσμους και πρίζες, όπου απαιτείται σταθερότητα στις διαστάσεις του προϊόντος. Άλλες εφαρμογές τους είναι οι διακόπτες, πηνία και επιφανειακά εξαρτήματα σε οικιακές συσκευές. Σε κάποια φάση είχε προταθεί και η χρήση του σε ημιαγωγούς, λόγω της υψηλής καθαρότητάς του.

1.2.13 Πολυπροπυλένιο (PP)

Το πολυπροπυλένιο παράγεται από πολυμερισμό προπενίου, υπό χαμηλή πίεση. Με πολλές διαφορετικές ποικιλίες αποτελεί το πιο διαδεδομένο πλαστικό στην ηλεκτροτεχνική βιομηχανία. Χαρακτηρίζεται από καλή ισορροπία αντοχής και ακαμψίας, εξαιρετική χημική αντίσταση και ηλεκτρικές ιδιότητες, σχεδόν μηδενική προσρόφηση υγρασίας και εύκολη κατεργασία. Είναι

πολύ διαδεδομένο στην βιομηχανία συρμάτων και καλωδίων, όμως έχει περιορισμένες δυνατότητες για εκτυπώσεις και επιμεταλλώσεις. Έχει επίσης χρησιμοποιηθεί και σε περιβλήματα μπαταριών και χαλαρά περιβλήματα για καλώδια οπτικών ινών. Τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου πλαστικού είναι η κακή σταθερότητα σε υπέρυθη ακτινοβολία, η περιορισμένη αντίσταση στην θέρμανση και η κακή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες.

1.2.14 Θερμοπλαστικά ελαστομερή (TPEs)

Τα πλαστικά αυτά συνδυάζουν την αντοχή και την διαμορφωσιμότητα των θερμοπλαστικών με την ολκιμότητα και την αντίσταση στην κρούση του πλαστικού. Συνιστούν μια ομάδα υλικών που παρουσιάζουν περίπλοκες μοριακές δομές που περιέχουν «σκληρές» και «μαλακές» περιοχές. Οι σκληρές περιοχές περιέχουν γραμμικές αλληλουχίες πολυμερικών αλυσίδων χαμηλότερα από το σημείου υαλώδους μετάπτωσης, οι οποίες αλληλοσυγκρατώνται με δευτερογενείς δυνάμεις, όπως οι Van Der Waals. Πάνω από κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία, που είναι αρκετή ώστε να υπερνικηθούν οι δυνάμεις αυτές, τα TPEs συμπεριφέρονται ως θερμοπλαστικά. Ένα παράδειγμα τέτοιων υλικών είναι η μείξη πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου με καουτσούκ EPM ή EPDM.

Βρίσκουν εφαρμογές σε ηλεκτρολόγια, καλώδια και σύρματα, ενώ οι πολυουρεθάνες που ανήκουν στα TPE χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές καλωδίων, όπως καλώδια για υποβρύχιες χρήσεις.

1.2.15 Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Αποτελεί ένα εξαιρετικά κοινό και πολύπλευρο εμπορικό υλικό που χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η μόνωση συρμάτων και καλωδίων, όπου και αποτελεί το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς.

Η μόνωση καλωδίων με επικάλυψη PVC έλαβε χώρα για πρώτη φορά στην Γερμανία κατά τον 2° Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά αρχικά υπήρχαν προβλήματα ρωγματώσεων, όταν τους ασκούσαν τάσεις. Το 1950 έγινε ανάπτυξη ειδικών βαθμίδων PVC, όπου είχαν την απαραίτητη σκληρότητα ώστε να μην καταστρέφεται η μόνωση. Το 1970 στην Βρετανία εφευρέθηκε η πρώτη μόνωση καλωδίων με συνδυασμό nylon – PVC, με το nylon να προσδίδει σκληρότητα και αντίσταση στην κοπή, όμως να μειώνει την ικανότητα του υλικού επιβράδυνσης μετάδοσης φλόγας. Το PVC έχει χρησιμοποιηθεί επίσης στην σφράγιση ραφιών που περιέχουν εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών, για την προστασία τους από ακραία περιβάλλοντα.

Γενικά, το άμορφο αυτό υλικό παρέχει εξαιρετική αντίσταση στην προσρόφηση νερού και στην προσβολή από χημικά, μηχανική αντοχή και αντοχή στον καιρό.

Παρόλα αυτά, δεν ενδείκνυται η χρήση του σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 60 °C, η οποία περιορίζει την χρήση του σε κάποιες απαιτητικές εφαρμογές. Η χλωρίωση αυξάνει την αντίσταση του PVC στην μετάδοση φλόγας και στην θερμότητα, όμως στην περίπτωση φωτιάς, το υλικό θα απελευθερώσει διαβρωτικά προϊόντα καύσης, όπως το HCl. [1]

1.3 Η διαδικασία της ανακύκλωσης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ελλάδα έχουν κατατάξει τα στάδια της διαχείρισης αποβλήτων με την εξής σειρά, ξεκινώντας από τα πιο επιθυμητά και καταλήγοντας στα λιγότερο επιθυμητά. Η σειρά πάει ως εξής: Πρόληψη, Επαναχρησιμοποίηση (Επανάχρηση), Ανακύκλωση, Ανάκτηση και Απόρριψη. Η βασική λογική είναι ότι τα απόβλητα δεν αποτελούν ένα άχρηστο φορτίο, αλλά έναν πολύτιμο πόρο που μπορεί να προσδώσει πολλαπλά οφέλη, με την σωστή διαχείριση.

Έτσι, είναι σαφές πως η απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να αποτελεί την έσχατη λύση. Βέβαια, η κάθε επεξεργασία προκαλεί κάποια διαταραχή στο περιβάλλον, καταναλώνοντας μεγάλη ενέργεια, ενώ πολλές μέθοδοι επεξεργασίας καθίστανται μη-βιώσιμες λόγω του αυξημένου κόστους.

Με τον νόμο 4042/2012, η πυραμίδα διαχείρισης αποβλήτων που αποτυπώνεται στην Θεματική Στρατηγική της Ε.Ε μεταφέρθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία. Η πυραμίδα παρατίθεται παρακάτω:



Εικόνα 8: Τα στάδια της ανακύκλωσης

Πρόληψη

Τα ιδανικά απόβλητα είναι αυτά που χρειάζονται μηδενική επεξεργασία και άρα μηδενική κατανάλωση ενέργειας και κόστος. Η πρόληψη παραγωγής αποβλήτων γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων. Σε αυτό συμβάλει ο οικολογικός σχεδιασμός των προϊόντων και η εκπαίδευση των καταναλωτών. Παραδείγματα πρόληψης αποτελεί κομποστοποίηση υπολειμμάτων κουζίνας και η αποφυγή λήψης ανεπιθύμητης αλληλογραφίας.

Επαναχρησιμοποίηση (Επανάχρηση)

Περιλαμβάνει την επαναλαμβανόμενη χρήση προϊόντων και συστατικών. Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, η επαναχρησιμοποίηση επίπλων και ρούχων έχει επίσης οικονομικά και κοινωνικά οφέλη, καθώς δημιουργεί θέσεις εργασίας και προσφέρει αγαθά σε πολίτες που δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να τα αγοράσουν. Παραδείγματα αποτελούν το γέμισμα μελανοδοχείων εκτυπωτών, η επισκευή ηλεκτρονικού εξοπλισμού, η μεταποίηση παλιών ρούχων, η ανακαίνιση επίπλων, κ.α.

Ανακύκλωση

Το μεγαλύτερο μέρος των απορριμμάτων ανακυκλώνεται. Στην Ελλάδα υπάρχουν 15 συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης και ανακύκλωσης για ένα μεγάλο εύρος προϊόντων. Μέσω της ανακύκλωσης επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση πολύτιμων πρώτων υλών, οι οποίες διαφορετικά θα εισάγονταν από το εξωτερικό, με μεγάλο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Η ανακύκλωση απαιτεί την ευθύνη του παραγωγού για το προϊόν που παράγει, αλλά και την υπευθυνότητα του πολίτη για τον διαχωρισμό των αποβλήτων, ανάλογα με την δυνατότητα ανακύκλωσής τους.

Ανάκτηση

Αφορά κυρίως την αποτέφρωση των αποβλήτων για παραγωγή ηλεκτρισμού, ατμού και θέρμανσης για οικιακή χρήση. Αν δεν λάβει χώρα με τον σωστό τρόπο, ελλοχεύουν κίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να τηρούνται οι προδιαγραφές ασφαλείας. Η αποτέφρωση των αποβλήτων για την ανάκτηση ενέργειας είναι από τις λιγότερο επιθυμητές διεργασίες στην Ε.Ε, και τα κράτη-μέλη προτρέπονται να χρησιμοποιούν πρακτικές που είναι πιο ψηλά στην ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων. Για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιούνται εναλλακτικές τεχνικές για την ανάκτηση πλαστικών, όπως για παράδειγμα η εφαρμογή μεθόδων διαχωρισμού μεταλλευμάτων.

Απόρριψη

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η απόρριψη αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής είναι η τελευταία λύση στην ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων. Από την ταφή τους παράγεται το μεθάνιο, το οποίο ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης, η αποσύνθεσή τους με το πέρασμα του χρόνου απελευθερώνει επιβλαβή χημικά, τα οποία προσβάλλουν το έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα. Υπολογίζεται πως ένας ΧΥΤΑ μπορεί να μολύνει σε μία μέρα την ποσότητα πόσιμου νερού που χρησιμοποιεί ένα νοικοκυριό μέσα σε έναν χρόνο. Με

οικονομικούς όρους, η αξία των υλικών που απορρίπτεται στους ΧΥΤΑ της Ευρώπης κάθε χρόνο, είναι περίπου 5.25 δις ευρώ.

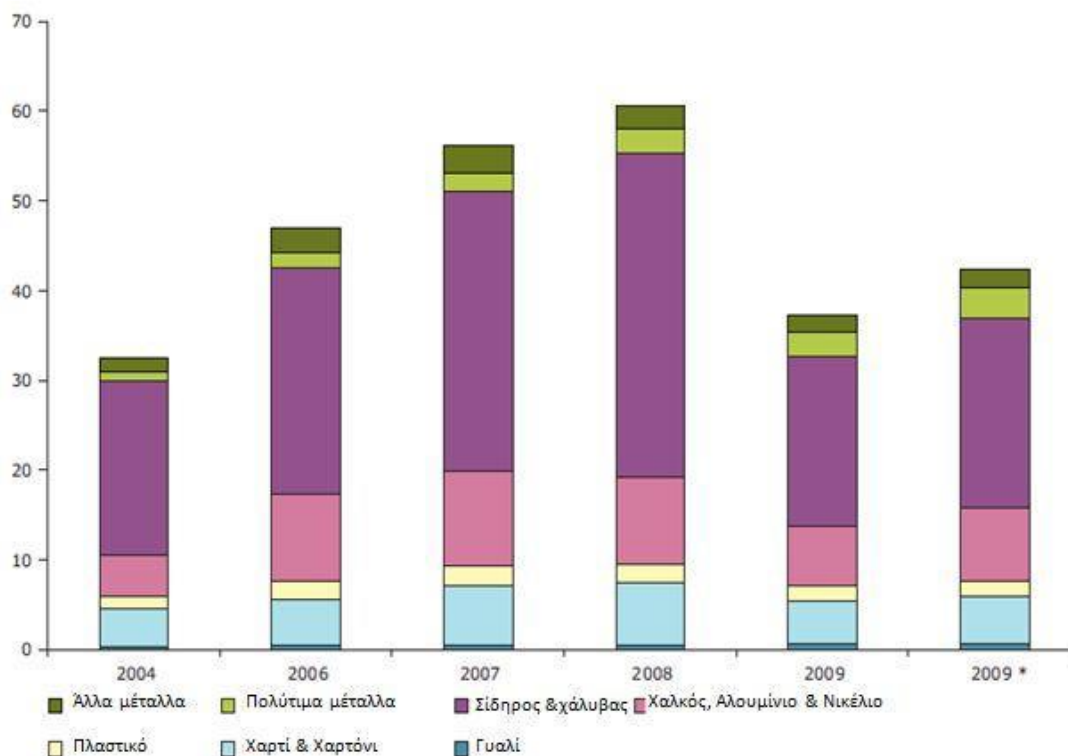
1.3.1 Οφέλη της ανακύκλωσης

Η ανακύκλωση συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη από την οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική πλευρά της. Αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη διαχείριση των αποβλήτων, διότι επιτυγχάνει οικονομικά οφέλη, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και διασφαλίζει κοινωνική ισότητα και θέσεις εργασίας. Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά κοινωνικά και οικονομικά οφέλη της.

Οικονομικά οφέλη

Τα οικονομικά οφέλη της ανακύκλωσης σχετίζονται με την αξία των υλικών που ανακτώνται. Ενδεικτικά, ο κύκλος εργασιών της ανακύκλωσης των πιο βασικών υλικών που ανακυκλώνονται, σχεδόν διπλασιάστηκε την τετραετία 2004-2008 στην Ε.Ε (από 32.5 δις σε 60.5 δις ευρώ), ενώ αν και έπεσε στα 37.2 δις ευρώ το 2009 λόγω της οικονομικής ύφεσης, διατηρήθηκε σε πιο υψηλά επίπεδα σε σχέση με το 2004. Τα σημαντικότερα ανακυκλώσιμα υλικά είναι τα μέταλλα (σίδηρος, χάλυβας, χαλκός, αλουμίνιο) και μετά το χαρτί και το χαρτόνι.

Στο επόμενο διάγραμμα της Eurostat, παρατίθεται ο κύκλος εργασιών για τα πιο βασικά ανακυκλώσιμα υλικά στην Ε.Ε, τις χρονιές για τις οποίες έγινε λόγος παραπάνω.



Εικόνα 9: Κύκλος εργασιών για τα βασικά ανακυκλώσιμα υλικά στην Ε.Ε

Η αξία των εξαγωγών ανακυκλώσιμων υλικών παρουσιάζει αυξητική τάση, γεγονός που συνδέεται και με την ανάπτυξη των ασιατικών οικονομιών και ειδικότερα της Κίνας. Για

ορισμένα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως το χαρτί, το αλουμίνιο και ο χαλκός, η αξία των εξαγωγών είναι υψηλότερη τα τελευταία χρόνια από ότι πριν την οικονομική κρίση. Μεγαλύτερη είναι η επίδραση στις εξαγωγές των δευτερογενών μετάλλων, όπου η άνοδος των διεθνών τιμών είχε ως αποτέλεσμα μέχρι και τον πενταπλασιασμό της αξίας των εξαγωγών τους μέσα σε μια δεκαετία (2000-2010).

Η ανακύκλωση αποτελεί ένα βασικό κλειδί για την επίτευξη της στρατηγικής της Ε.Ε. για μετάβαση σε μια οικονομία, που αξιοποιεί αποδοτικότερα τους φυσικούς της πόρους. Ήδη τα στοιχεία της Eurostat δείχνουν ότι η ανακύκλωση καλύπτει την κατανάλωση χαρτιού και χαρτονιού κατά 41%, του σιδήρου και χάλυβα κατά 42%, του αλουμινίου κατά 10%, του γυαλιού κατά 14% και του πλαστικού κατά 2% (στοιχεία του 2006). Υπάρχει δυναμικό για ακόμη μεγαλύτερη συμμετοχή των ανακυκλωμένων υλικών στην παραγωγή πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα στο πλαστικό, στο γυαλί και διάφορα επιμέρους μέταλλα. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των ποσοστών ανακύκλωσης και δίνει ευκαιρίες για ανάπτυξη ερευνητικών και επαγγελματικών καινοτομιών.

Ένα κρίσιμο σημείο είναι η ανάκτηση των σπάνιων μετάλλων που είναι απαραίτητα για νέες τεχνολογίες, όπως π.χ. οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μέταλλα όπως το ίνδιο που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά και στις επίπεδες οθόνες, το γερμάνιο που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες, το γάλλιο για κυκλώματα, κ.α., εισάγονται στην Ε.Ε. και οι ανάγκες της βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πληροφορικής αυξάνονται ραγδαία. Το πρώτο βήμα για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας υψηλής τεχνολογίας είναι η αύξηση της ανακύκλωσης των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Τα απόβλητα αυτά αντιπροσωπεύουν ένα ρεύμα υψηλής αξίας, λόγω των σπάνιων μετάλλων που περιέχουν, όπου εκτιμάται ότι η αξία από τη διαχείρισή τους θα φτάσει τα 5.6 δις € μέχρι το 2020.

Περιβαλλοντικά οφέλη

Όπως έχει προαναφερθεί, η υγειονομική ταφή αποβλήτων στο περιβάλλον εγκυμονεί πολλούς κινδύνους που πολλές φορές δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί. Για παράδειγμα, τα απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών περιέχουν ουσίες, όπως ο υδράργυρος, το κάδμιο και ο μόλυβδος. Η απόρριψή τους στο περιβάλλον προκαλεί επιπτώσεις στο έδαφος, στον υδροφόρο ορίζοντα, τους οργανισμούς και κατ' επέκταση στον άνθρωπο. Επιπρόσθετα, το πλαστικό χρειάζεται εκατοντάδες χρόνια για να αποδομηθεί και η παρουσία του είναι εξαιρετικά επιβλαβής για διάφορους οργανισμούς. Επίσης, η περίπτωση της απόρριψης γυαλιού κοντά σε δασικές περιοχές, πολλές φορές προκαλεί πυρκαγιές.

Ακόμα, η διαχείριση των αποβλήτων έχει άμεση σχέση με την κλιματική αλλαγή. Η ταφή αποβλήτων σε ΧΥΤΑ απελευθερώνει μεθάνιο, το οποίο είναι αέριο του θερμοκηπίου, 300 φορές ισχυρότερο από το διοξείδιο του άνθρακα.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της ανακύκλωσης υλικών είναι ότι εκπέμπει πολύ λιγότερο CO₂, σε σύγκριση με τις διεργασίες παραγωγής των ίδιων υλικών. Έρευνα της Okoportal υπολογίζει την εξοικονόμηση αερίων του θερμοκηπίου από την ανακύκλωση, να κυμαίνεται στους 160.000.000 τόνους CO₂, το οποίο αντιστοιχεί στην ποσότητα που παράγουν η Ελλάδα και η Φινλανδία μαζί. Επίσης, η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ έχει υπολογίσει πως η απόρριψη

100 τόνων χαρτιού/χαρτονιού προκαλεί εκπομπή 62 τόνων CO₂, ενώ αντίθετα η ανακύκλωση 50 τόνων χαρτιού, απορροφά 3 τόνους CO₂.

Κοινωνικά οφέλη

Το βασικό κοινωνικό όφελος που απορρέει από την ανακύκλωση είναι η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Η ανακύκλωση δημιουργεί πολύ περισσότερες νέες θέσεις εργασίας σε σχέση με την υγειονομική ταφή σε ΧΥΤΑ. Αυτό συμβαίνει γιατί στην ανακύκλωση λαμβάνουν χώρα πολλές διαφορετικές εργασίες συλλογής, διαλογής, επεξεργασίας και αποσυναρμολόγησης.

1.4 Απόβλητα Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών (WEEE)

Η ανακύκλωση στερεών αποβλήτων από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές (WEEE) είναι μια διεργασία αυξημένης σημασίας τα τελευταία χρόνια. Τα συγκεκριμένα απόβλητα αποτελούν το 4% των αστικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [5]. Η ετήσια ποσότητα αποβλήτων από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές στην Γερμανία ανέρχεται στην τιμή των 1.8 εκατομμυρίων τόνων. Η αντίστοιχη ποσότητα στην Αυστρία είναι 85000 τόνοι/έτος με ανοδική τάση, με τους 5000 τόνων αποβλήτων να θεωρούνται επιβλαβή [6]. Στην Πολωνία, 30000 τόνοι WEEE παράχθηκαν το 2005, ενώ αναμένεται η αύξησή τους 3-5% ανά έτος. [7]

Λόγω του ότι περιέχουν επιβλαβή υλικά, τα WEEE μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα κατά την διαχείρισή τους, αν δεν υποστούν τις κατάλληλες διεργασίες. Για τον λόγο αυτόν, πολλές χώρες θέσπισαν ανάλογη νομοθεσία για βελτιώσουν την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και άλλες μορφές ανάκτησης τέτοιων αποβλήτων, καθώς επίσης και για να μειώσουν την απόθεσή τους. Η Ευρωβουλή στις 13-02-2003 εξέδωσε δύο σχετικές οδηγίες: Την Οδηγία για τα απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών [8] και την Οδηγία για τον περιορισμό των επιβλαβών ουσιών. [9]

Η ανακύκλωση των WEEE είναι ένα σημαντικό θέμα, όχι μόνο από την σκοπιά της διαχείρισης των αποβλήτων, αλλά και από αυτήν της ανάκτησης χρήσιμων υλικών. Αποτελεί μία μη ομογενή και περίπλοκη διαδικασία, όσον αφορά υλικά και εξαρτήματα. Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα σύστημα ανακύκλωσης που να είναι οικονομικά βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον, είναι σημαντικός ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση των χρήσιμων υλικών και των επιβλαβών ουσιών, αφού, μέσω αυτών, μπορεί να γίνει η κατανόηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών αυτού του είδους της ροής αποβλήτων.

1.4.1 Χαρακτηριστικά των WEEE

Σύμφωνα με την Οδηγία της ΕΕ για τα WEEE, ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός ορίζεται ως ο εξοπλισμός που χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτρομαγνητικό πεδίο για να λειτουργήσει, ή ως ο εξοπλισμός που μπορεί να μεταδώσει ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το εύρος της τάσης του ρεύματος για τέτοιες συσκευές είναι από 0-1000 V για AC και 0-1500 V για DC. [8]

Η σχετική οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατατάσσει τον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό σε δέκα κατηγορίες:

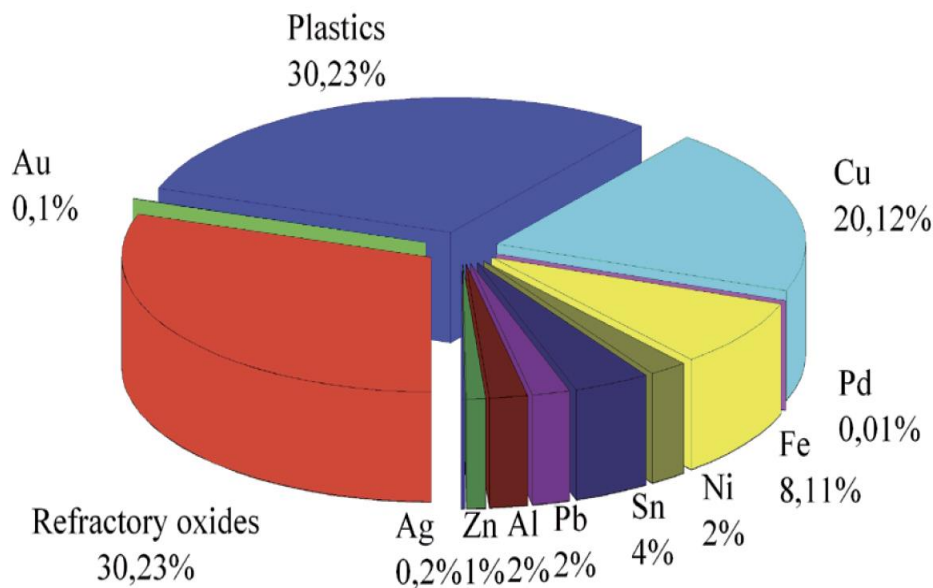
- Μεγάλες οικιακές συσκευές (πχ Ψυγεία)
- Μικρές οικιακές συσκευές (πχ μηχανές του καφέ)
- IT και εξοπλισμός τηλεπικοινωνιών (πχ υπολογιστές)
- Εξοπλισμός καταναλωτή (πχ εξαρτήματα ραδιοφώνου ή τηλεόρασης)
- Εξοπλισμός φωτισμού (λαμπτήρας φθορίου)
- Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, εξαιρώντας τα στατικά βιομηχανικά εργαλεία, όπως τα γεωτρύπανα.
- Εξοπλισμός για διασκέδαση και αθλητισμό (π.χ., βιντεοπαιχνίδια)
- Ιατρικές συσκευές, εκτός από συσκευές μεγάλου μεγέθους που χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικά κέντρα, όπως ο εξοπλισμός για X-Ray.
- Όργανα ελέγχου και παρακολούθησης (π.χ., ανιχνευτές καπνού)



Εικόνα 10: Απόβλητα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών

Η σύσταση του εκάστοτε WEEE εξαρτάται από τον τύπο και την ηλικία του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, απόβλητα από IT συστήματα και συστήματα τηλεπικοινωνιών περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα πολύτιμων μετάλλων και scrap από τις οικιακές συσκευές. Σε παλαιότερες συσκευές, η ποσότητα πολύτιμων μετάλλων είναι αυξημένη, όμως μαζί με αυτήν και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών. [6]

Γενικότερα, τα WEEE αποτελούνται από μέταλλα (40%), πλαστικά (30%) και πυρίμαχα οξείδια (30%). Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια πιο αναλυτική παρουσίαση των συστατικών τους:



Εικόνα 11: Η γενική σύσταση των WEEE

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, το μεταλλικό scrap αποτελείται από χαλκό (20%), σίδηρο (8%), κασσίτερο (4%), νικέλιο (2%), μόλυβδο (2%), ψευδάργυρο (1%), άργυρο (0.02%), χρυσό (0.1%) και παλλάδιο (0.005%) [11]. Τα τυπικότερα πλαστικά συστατικά των WEEE είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, οι πολυεστέρες και τα πολυανθρακικά. [10]

Ένα μεγάλο πρόβλημα στην κατεργασία των WEEE είναι περιεχόμενες ουσίες όπως βαρέα μέταλλα και οργανικές ενώσεις. Σε συνδυασμό με τα αλογόνα στο κλάσμα των πλαστικών σχηματίζουν μεταλλικά αλογονίδια που έχουν καταλυτική επίδραση στον σχηματισμό διοξινών και φουρανίων. [11]

1.5 Νομοθεσία

1.5.1 Συγκεντρωτική παράθεση όλων των Ελληνικών και Ευρωπαϊκών νομοσχεδίων για τα πλαστικά απόβλητα από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές

NOMOS 2939/2001 (ΦΕΚ 179)

Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευών και άλλων προϊόντων

ΠΔ 117/2004 (ΦΕΚ 82 Α)

Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις των Οδηγιών 2002/95 & 2002/96

ΠΔ 15/2006 (ΦΕΚ 12 Α)

Τροποποίηση ΠΔ 117/2004

ΥΑ 133480/2011 (ΦΕΚ 2711)

Τροποποίηση παραρτήματος IB ΠΔ 117/2004

Οδηγία 2002/95/EK

Σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

Οδηγία 2002/96/EK

Σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)

Οδηγία 2011/65/EK

Για τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό

Οδηγία 2012/19/ΕΕ

Σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)

Οδηγία 2003/108/EK

Για τροποποίηση οδηγίας 2002/96 σχετικά με τη χρηματοδότηση της ΑΗΗΕ από χρήστες, πλην των ιδιωτικών νοικοκυριών

Οδηγία 2008/35/EK

Για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2005/747/EK

Για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

Απόφαση 2005/717/EK

Για την τροποποίηση με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2005/618/EK

Για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2006/310/EK

Για τροποποίηση, με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2006/690/EK

Για την τροποποίηση του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2006/691/EK

Για την τροποποίηση του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2006/692/EK

Για την τροποποίηση του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK

Απόφαση 2008/385/EK

Για την τροποποίηση, με σκοπό την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK

1.5.2 Ορισμοί με βάση την υπάρχουσα νομοθεσία

Με βάση την προαναφερθείσα νομοθεσία έχουν θεσπιστεί οι ακόλουθοι ορισμοί:

«Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός» ή «ΗΗΕ» είναι 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 έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση μέχρι 1000 V εναλλασσόμενου ρεύματος και μέχρι 1500 V συνεχούς ρεύματος”.

«Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού» ή «ΑΗΗΕ» νοείται ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θεωρείται “απόβλητο” κατά την έννοια του άρθρου 2 στοιχείο (α) της 50910/2003 ΚΥΑ σε συνδυασμό με την παράγραφο 4 του άρθρου 2 του Ν. 22 2939/2001 συμπεριλαμβανομένων όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, των συναρμολογημένων μερών και των αναλωσίμων, που συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά τον χρόνο απόρριψής του.

«Πρόληψη»: τα μέτρα που αποσκοπούν στη μείωση της ποσότητας των ΑΗΗΕ, καθώς και των υλικών και των ουσιών που περιέχουν, και στον περιορισμό των κινδύνων που συνεπάγονται για το περιβάλλον.

«Διαχείριση Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού» (ΗΗΕ)

α) η παραγωγή ή/και διάθεση υλικών από τα οποία κατασκευάζεται άμεσα ο ΗΗΕ ή/και τμήματα και ανταλλακτικά αυτού (προμήθεια πρωτογενών και δευτερογενών υλικών όπως ορίζονται στις παραγράφους 25 και 26 του άρθρου 2 του Ν.2939/2001) εφεξής “προμήθεια”

β) η παραγωγή των ΗΗΕ συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστικών του στοιχείων / εξαρτημάτων και τμημάτων αυτού εφεξής “κατασκευή”

γ) η διάθεση στην αγορά (συμπεριλαμβανομένης της εμπορίας και της εισαγωγής) ΗΗΕ προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ή να καταναλωθούν από το κοινό (“διακίνηση”). Στη διακίνηση δεν περιλαμβάνονται οι εργασίες μεταφοράς καθαυτές.

«Διαχείριση αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)»: η συλλογή, η μεταφορά, η μεταφόρτωση, η προσωρινή αποθήκευση, η αξιοποίηση και διάθεση των ΑΗΗΕ και των μεταχειρισμένων ανταλλακτικών αυτών, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας των εργασιών αυτών και της αποκατάστασης των χώρων αποθήκευσης, μεταφόρτωσης, αξιοποίησης και διάθεσης των ΑΗΗΕ και των μεταχειρισμένων ανταλλακτικών μετά την παύση λειτουργίας τους.

«Επαναχρησιμοποίηση» οιαδήποτε εργασία με την οποία τα ΑΗΗΕ ή τα κατασκευαστικά τους μέρη χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς που σχεδιάστηκαν, συμπεριλαμβανομένης της συνέχισης της χρήσης του εξοπλισμού ή των κατασκευαστικών τους μερών που επιστρέφονται στα σημεία συλλογής ή στους διανομείς, τους ανακυκλωτές ή τους παραγωγούς.

«Ανακύκλωση» ή «επανεπεξεργασία», στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας, των αποβλήτων υλικών, για τους σκοπούς που αρχικά είχαν σχεδιασθεί ή για άλλους σκοπούς εξαιρουμένης της ανάκτησης ενέργειας, η οποία συνίσταται στη χρήση καυσίμων αποβλήτων ως μέσων παραγωγής με άμεση καύση με ή χωρίς άλλα απόβλητα, αλλά με ανάκτηση θερμότητας.

«Αξιοποίηση» οιαδήποτε από τις εργασίες που περιγράφονται στο Παράρτημα IVB του άρθρου 17 της 50910/2727/2003 ΚΥΑ.

«Διάθεση» οιαδήποτε από τις εργασίες που περιγράφονται στο Παράρτημα IVA του άρθρου 17 της 50910/2727/2003 ΚΥΑ.

«Επεξεργασία» οιαδήποτε δραστηριότητα μετά την παράδοση μετά την παράδοση των ΑΗΗΕ σε μονάδα απορρύπανσης, αποσυναρμολόγησης, τεμαχισμού, αξιοποίησης ή προετοιμασίας για διάθεση, καθώς και οιαδήποτε άλλη ενέργεια εκτελείται για την αξιοποίηση και/ή τη διάθεση των ΗΗΕ.

«Συλλογή» όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. η) της 50910/2727/2003 ΚΥΑ. Οι εργασίες συλλογής ξεκινούν από το σημείο συλλογής όπως ορίζεται στην παράγραφο του άρθρου αυτό.

«Σημείο συλλογής» κάθε εγκεκριμένος χώρος σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις στον οποίο γίνεται η παραλαβή ΑΗΗΕ από τον τελικό χρήστη.

«Εναλλακτική διαχείριση» αποτελούν οι εργασίες συλλογής, παραλαβής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης των ΑΗΗΕ, ώστε μετά την επαναχρησιμοποίηση ή επεξεργασία τους αντίστοιχα να επιστρέφουν στο ρεύμα της αγοράς.

«Σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης» η οργάνωση σε ατομική ή συλλογική βάση με οποιαδήποτε νομική μορφή των εργασιών συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίησης των ΑΗΗΕ.

«Παραγωγός» οιοδήποτε πρόσωπο, ανεξάρτητα από το ποια τεχνική πωλήσεων χρησιμοποιεί, συμπεριλαμβανομένης της εξ αποστάσεως επικοινωνίας σύμφωνα με την οδηγία 97/7/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 20ής Μαΐου 1997, για την προστασία των καταναλωτών κατά τις εξ αποστάσεως συμβάσεις, το οποίο:

- i) κατασκευάζει και πωλεί ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό με τη μάρκα του,
- ii) μεταπωλεί με τη μάρκα του εξοπλισμό παραγόμενο από άλλους προμηθευτές, όπου ο μεταπωλητής δεν θεωρείται «παραγωγός» εφόσον η μάρκα του παραγωγού αναγράφεται στον εξοπλισμό σύμφωνα με το σημείο i)
- iii) εισάγει ή εξάγει κατ' επάγγελμα ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό σε ένα κράτος μέλος.

«Διακινητής διανομέας» οιοσδήποτε παρέχει ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό εξοπλισμό, επί εμπορικής βάσεως, σε εκείνον που πρόκειται να τον χρησιμοποιήσει.

«ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης» τα ΑΗΗΕ που προέρχονται από νοικοκυριά και από εμπορικές, βιομηχανικές, ιδρυματικές και άλλες πηγές, η φύση και η ποσότητα των οποίων είναι παρόμοιες με των προερχόμενων από νοικοκυριά.

«Επικίνδυνες ουσίες ή παρασκευάσματα» κάθε ουσία ή παρασκεύασμα που να θεωρείται επικίνδυνη σύμφωνα με τις διατάξεις της εκάστοτε κείμενης νομοθεσίας.

«Χρηματοδοτική συμφωνία» οποιαδήποτε συμφωνία ή ρύθμιση δανειοδότησης, μίσθωσης, ενοικίασης ή μελλοντικής πώλησης εξοπλισμού, ανεξάρτητα από το αν οι όροι της εν λόγω συμφωνίας ή της ρύθμισης ή οιασδήποτε συνοδευτικής συμφωνίας ή ρύθμισης προβλέπουν ή επιτρέπουν τη μεταβίβαση της ιδιοκτησίας του εξοπλισμού.

«Αρμόδια αρχή» για την εφαρμογή του παρόντος Διατάγματος είναι ο ΕΟΕΔΣΑΠ , όπως ορίζεται στις παραγράφους 1,2, και 3 του άρθρου 24 σε συνδυασμό με την παράγραφο 11 του ίδιου άρθρου του Ν.2939/2001 (Α'157)

«Οικονομικοί παράγοντες» όσοι ασκούν διαχείριση των ΗΗΕ, εφεξής “διαχειριστές”, καθώς και όσοι ασκούν συλλογή, ανακύκλωση, επεξεργασία και εν γένει αξιοποίηση των ΑΗΗΕ, οι χρήστες ΗΗΕ, οι ΟΤΑ και άλλοι δημόσιοι και ιδιωτικοί οργανισμοί.

«Ορφανά προϊόντα - Ιστορικά απόβλητα»: Τα ΑΗΗΕ από προϊόντα που διατέθηκαν στην αγορά πριν από τις 13 Αυγούστου 2005 αλλά και προϊόντα όπου οι εταιρίες που τα παρασκεύασαν έχουν κλείσει.

«Λευκά προϊόντα»: Μεγάλες οικιακές εφαρμογές, όπως ψυγεία, πλυντήρια κ.α.

«Καφέ προϊόντα»: Οπτικοακουστικός εξοπλισμός όπως τηλεοράσεις, συστήματα ήχου, κ.α.

«Γκρι εμπορεύματα (grey ware)»: Ο όρος αναφέρεται στα προϊόντα του τομέα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (π.χ. Η/Υ, φωτοαντιγραφικά, fax κ.α.).

1.5.3 Περιβαλλοντικά προβλήματα

Οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές είναι σύνθετες κατασκευές και περιέχουν πολλά υλικά, αρκετά από τα οποία μπορεί να είναι τοξικά για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Τα συνηθέστερα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται είναι τα σιδηρούχα μέταλλα, το πλαστικό, το γυαλί, το αλουμίνιο και ο χαλκός. Αυτά όμως είναι υλικά τα οποία σπανίως είναι αυτούσια και καθαρά μέσα στις συσκευές. Συνήθως είναι αναμεμιγμένα ή επικαλυμμένα με άλλες ουσίες. Οι καθοδικοί σωλήνες των οθονών των Η/Υ, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι κυρίως από γυαλί, είναι επικαλυμμένοι με μόλυβδο, ο οποίος είναι ιδιαίτερα τοξικός.

Τα πλαστικά των συσκευών μπορεί να περιέχουν προσμίξεις με οργανικές ενώσεις βρωμίου (BFR's) που λειτουργούν ως φλογοεπιβραδυντικές ουσίες (για την επιβράδυνση τυχόν πυρκαγιάς), οι οποίες είναι επίσης τοξικές και ανιχνεύονται πολύ συχνά ακόμη και στο μητρικό γάλα. Στην αγορά κυκλοφορούν υλικά που περιέχουν μέχρι και 30% κ.β. φλογοεπιβραδυντικές ουσίες, κυρίως πλαστικά και υφάσματα. Οι μητρικές και άλλες πλακέτες που βρίσκονται στις ηλεκτρονικές συσκευές, περιέχουν μια πληθώρα από χημικές ουσίες, όπως βρώμιο (Br), μόλυβδο (Pb), νικέλιο (Ni), ψευδάργυρο (Zn), υδράργυρο (Hg) κ.α. Τα ψυγεία και τα

κλιματιστικά περιέχουν χλωροφθοράνθρακες, τα επονομαζόμενα και ως CFC's, ουσίες που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος και είναι ύποπτες για βλάβες του νευρικού συστήματος.

Η ταφή ή καύση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων εγκυμονεί πολλούς κινδύνους για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, αφού ελευθερώνει στο περιβάλλον (έδαφος, ατμόσφαιρα και νερό) πολλές από τις ουσίες που προαναφέρθηκαν, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα. Βάση όμως του Π.Δ.117, η ταφή των ΑΗΗΕ έχει απαγορευτεί και δίνεται η ευκαιρία για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση, όπως επίσης επιβάλλεται και η μείωση των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται σε αυτά.

Η Ελλάδα δεσμεύεται από την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, καθιστώντας υπεύθυνο για την απόρριψη του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού τον κατασκευαστή τους.

Κατ' εφαρμογή της νομοθεσίας, ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός θα φέρει το διαγραμμένο σύμβολο του τροχήλατου κάδου απορριμμάτων πάνω στο προϊόν στα συνοδευτικά έγγραφα, ώστε να δηλώνεται ότι τα προϊόντα αυτά πρέπει να απορρίπτονται προς ανακύκλωση σύμφωνα με τη νομοθεσία που διέπει τα ΑΗΗΕ. [3]

1.6 Ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων

Το χαμηλό κόστος, το χαμηλό βάρος, η αντοχή και η καλή προσαρμοστικότητα σχεδιασμού των πλαστικών είναι ο βασικός παράγοντας που αύξησε την κατανάλωσή τους, η οποία αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω τα επόμενα χρόνια. Η ανάκτηση των πλαστικών από μεταχειρισμένο εξοπλισμό μέσω ανακύκλωσης παραμένει πρόκληση. Η παγκόσμια κατανάλωση πλαστικών ήταν 230 εκατομμύρια τόνοι το 2005, από τους οποίους 47.5 εκατομμύρια παρήχθησαν στην Ευρώπη (25 χώρες της Ε.Ε + Ελβετία και Νορβηγία). Από την Ευρωπαϊκή παραγωγή, μόνο τα 22 εκατομμύρια τόνοι επανασυλλέχθηκαν. Από την ποσότητα που συλλέχθηκε ανακυκλώθηκαν 4 εκατομμύρια τόνοι ως υλικό για παραγωγή πρώτων υλών (18% της συνολικής) και 6.4 εκατομμύρια τόνοι ως υλικό για ανάκτηση ενέργειας (29%). [18]

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες λύσεις προκειμένου να μειωθεί ή να εξαλειφθεί πλήρως η μη παραγωγική εναπόθεση πλαστικών. Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν την μετατροπή τους σε πηγή ενέργειας μέσω καύσης, την μετατροπή τους σε επαναχρησιμοποιούμενο καύσιμο ή και την επαναχρησιμοποίησή τους ως πλαστικά.

Αρκετές αναφορές όπως αυτές των Nourreddine (2007), Srogi (2007), Menke et al. (2003), Themelis et al. (2002), Roy & Chaala (2001) και Campbell et al. (2001), δείχνουν πως το ενεργειακό δυναμικό των πλαστικών αποβλήτων είναι σχετικά μεγάλο, με εύρος από 10.2 έως 30.7 MJ/kg, και προτείνουν την χρήση τους ως πηγή ενέργειας, ως σταθεροποιητή θερμοκρασίας σε αποτεφρωτήρες, εργοστάσια θερμικής ενέργειας, υψικαμίνους και κλιβάνους τσιμέντου. Η χρήση των πλαστικών αποβλήτων ως καύσιμα είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των χώρων υγειονομικής ταφής, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας. Βέβαια, υπάρχει ο κίνδυνος της εκπομπής επιβλαβών ουσιών (όπως οξεία και καρκινογόνα αέρια), κατά την καύση πλαστικών που περιέχουν χλώριο, φθόριο και βρώμιο. [26, 16, 21, 14]

Οι Jody & Daniels το 2006 ανέφεραν μερικές εναλλακτικές μεθόδους ανακύκλωσης που βασίζονται στην πυρόλυση, την αεριοποίηση και την θερμική μετατροπή. Υποστήριξαν επίσης πως αυτές οι μέθοδοι είναι αρκετά περίπλοκες και απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, ενώ πολλές από αυτές εκπέμπουν επιβλαβή αέρια και στερεά απόβλητα, τα οποία μπορούν να γίνουν τοξικά. Η οικονομική βιωσιμότητα των διεργασιών αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αγορά αργού πετρελαίου και το κόστος της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων.

Με τα πλαστικά να αποτελούν προϊόντα προστιθέμενης αξίας, λόγω του τρόπου παραγωγής τους, η βελτιστοποίηση της ανάκτησης και του διαχωρισμού τους για επαναχρησιμοποίηση τους για παραγωγή πρώτων υλών, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα. Τα οικονομικά της ανακύκλωσης πλαστικών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κόστος του υλικού που παράγεται, το οποίο είναι συνάρτηση της καθαρότητάς του, της ομοιομορφίας του ή της απουσίας χρώματος, καθώς και της απουσίας ασύμβατων συστατικών.

Αν και υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για ανακύκλωση πλαστικών, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία, η κάθε μέθοδος χρησιμοποιείται για συγκεκριμένο είδος πλαστικού, χωρίς να υπάρχει μια γενική διαδικασία για ανακύκλωση πλαστικών αποβλήτων. Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, το μεγαλύτερο ποσοστό πλαστικών που ανακυκλώνονται προέρχεται από πλαστικά μπουκάλια. Όμως υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό πλαστικών που προέρχεται από οικιακές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, το οποίο δεν ανακτάται.

Έχει λάβει χώρα ένας μεγάλος αριθμός ερευνών για την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών για την ανάκτηση υλικών που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν από ροές πλαστικών αποβλήτων. Αυτό αποτελεί μια λογική λύση για την μείωση του μεγάλου όγκου ετερογενών πλαστικών αποβλήτων και την ανάκτησή ενός ικανού ποσοστού για την επαναχρησιμοποίησή τους στην παραγωγή πρώτων υλών. Βέβαια, ο ετερογενής χαρακτήρας των αποβλήτων αυτών καθιστά την εύρεση αυτοματοποιημένης μεθόδου ανακύκλωσης ένα περίπλοκο ζήτημα.

Οι πιο κοινοί τύποι πλαστικού που παράγονται είναι τα επαναχρησιμοποιούμενα θερμοσκληρυνόμενα (thermoset) πλαστικά: PU, PE, PP, PVC και PS. Άλλα συνηθισμένα είδη πλαστικών είναι τα ABS, PC, PA, PET, SAN, POM, PBT και PMMA. Η ανακύκλωση αυτών των πλαστικών από ροές αποβλήτων είναι περίπλοκη, λόγω της συνύπαρξης 50 διαφορετικών ειδών πλαστικών σε αυτές. Από τα παραπάνω είδη πλαστικών είναι δυνατή η παραγωγή πληρωτικών, ενισχυτικών ενώσεων, ρητινών, ενισχυτικών χρωστικών και τροποποιητικών αντιδραστηρίων. Θεωρητικά, τα περισσότερα πλαστικά είναι ανακυκλώσιμα, ενώ κάποιοι τύποι πλαστικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά. Σε άλλες περιπτώσεις βέβαια, κάποια είδη πλαστικών είναι ασύμβατα, γεγονός που καθιστά απαραίτητο τον αποδοτικό διαχωρισμό τους. Τα παρόμοια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που καθιστούν τον μηχανικό διαχωρισμό τους περίπλοκο.

Το εύρος των πλαστικών που χρησιμοποιείται σε έναν συγκεκριμένο τομέα (π.χ. ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά οικιακά είδη), γενικά δεν περιλαμβάνει όλα τα είδη πλαστικών. Αποτελεσματικότεροι διαχωρισμοί μπορούν να επιτευχθούν, όταν η κάθε μέθοδος διαχωρισμού περιορίζεται σε ένα είδος προϊόντων ή έναν κατασκευαστικό τομέα. Αυτό φαίνεται και από τα

συστήματα ανακύκλωσης διαφόρων εταιριών, οι οποίες επεξεργάζονται συγκεκριμένα είδη πλαστικών αποβλήτων.

Η παραγωγή επαναχρησιμοποιούμενων πλαστικών υψηλής ποιότητας από ροές αποβλήτων παρεμποδίζεται επίσης από την παρουσία εξωγενών υλικών, όπως μέταλλα, ίνες, γυαλί, ξύλο, άλλα πλαστικά, κλπ. Η παρουσία υπολειμμάτων με μορφή τεμαχίων δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την κατάσταση.

Οι Buchan & Yasar το 1995 και οι Jody & Daniels το 2006 ανέπτυξαν μεθόδους για την απομάκρυνση ρυπαντών από πλαστικά απόβλητα. [13, 15] Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στην ταξινόμηση και την κατάταξη των πλαστικών, καθώς και στον διαχωρισμό τους με βάση την πυκνότητα. Επίσης, έχει επιτευχθεί αξιοσημείωτη ανάπτυξη στις χημικές μεθόδους ανάκτησης συγκεκριμένων ειδών πλαστικών. Από αυτές, οι χημικές διεργασίες και μερικές από τις μηχανικές απαιτούν προπαρασκευή του υλικού, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη συγκέντρωση του προς ανακύκλωση υλικού, ώστε η όλη διαδικασία να είναι οικονομικά βιώσιμη. Αυτό επιτυγχάνεται με τον περιορισμό των πρώτων υλών ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή γραμμής παραγωγής, με την χειροδιαλογή ή/και την ταξινόμηση ή προπαρασκευή του υλικού με άλλες μηχανικές κατεργασίες. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται η ταξινόμηση των πλαστικών τεμαχίων βάσει μεγέθους, και τον θρυμματισμό υπερμεγεθών τεμαχίων, αν αυτό απαιτηθεί. Στις περιπτώσεις αυτές περιλαμβάνεται και η μέθοδος Argonne που χρησιμοποιείται για ανάκτηση αφρών πολυουρεθάνης [22], καθώς και η μέθοδος Salyr που χρησιμοποιείται για απομάκρυνση ξύλινων θρυμμάτων. [15]

Οι μηχανικές διαδικασίες συγκέντρωσης, που έχουν λάβει χώρα μέχρι σήμερα, βασίζονται στην κατάταξη των πλαστικών τεμαχίων με βάση το μέγεθος, διαφορικό θρυμματισμό, διαχωρισμό κατά στρώματα, διαφορική θερμική τήξη, οπτική ταξινόμηση, ταξινόμηση μέσω IR, X-Ray και υπέρυθη (UV) ανάλυση, διαχωρισμό με βάση την πυκνότητα και επίπλευση. Η δυνατότητα ταξινόμησης των πλαστικών με βάση το είδος και το χρώμα, με συνδυασμό των παραπάνω διεργασιών, επιτρέπει την παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων πλαστικών. Βέβαια, το εύρος της κοκκομετρίας των τεμαχίων του προς ανακύκλωση πλαστικού, καθώς και η δυναμικότητα παραγωγής υλικών με τις προαναφερθείσες μεθόδους είναι αρκετά περιορισμένες.

Με εξαίρεση τον οπτικό διαχωρισμό και τον διαχωρισμό με βάση την πυκνότητα, όλες οι διεργασίες που αναφέρθηκαν απαιτούν την προπαρασκευή του προς ανακύκλωση υλικού. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται με την απομάκρυνση εξωγενών υλικών, την καταστροφή ειδών πλαστικών που δεν διαχωρίζονται από τα προς ανακύκλωση, ή την αύξηση της περιεκτικότητας του προς ανάκτηση πλαστικού ώστε η ανάκτησή του με ανακύκλωση να είναι οικονομικά βιώσιμη.

1.6.1 Μηχανικές μέθοδοι διαχωρισμού

1.6.1.1 Διαλογή (screening)

Η μέθοδος αυτή, εκτός από την παρασκευή τροφοδοσίας ομοιόμορφου μεγέθους, αλλά και για την αναβάθμιση της περιεκτικότητας σε μέταλλο, είναι σημαντική για την ανακύκλωση, γιατί οι ιδιότητες και το σχήμα των μεταλλικών τεμαχίων είναι διαφορετικές από αυτές των πλαστικών και των κεραμικών υλικών.

Στην πρωτογενή μέθοδο διαλογής για ανάκτηση μετάλλων χρησιμοποιείται περιστρεφόμενο κόσκινο, στο οποίο τοποθετούνται τα τεμάχια από τα στερεά απόβλητα. Η μέθοδος αυτή έχει υψηλή αντίσταση στην έμφραξη των οπών. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά την μέθοδο αυτή πολύ χρήσιμη, εφόσον λόγω των πολλών διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών των τεμαχίων, η έμφραξη αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα. [33]

1.6.1.2 Διαχωρισμός με βάση το σχήμα (shape separation)

Οι τεχνικές διαχωρισμού τεμαχίων με βάση το σχήμα τους αναπτύχθηκαν κυρίως για εφαρμογές που είχαν στην βιομηχανία κόνεων [34-37]. Ο Fujiuchi [34] ταξινόμησε αυτές τις τεχνικές διαχωρισμού σε τέσσερις διαφορετικές ομάδες με βάση τις εξής διαφορετικές αρχές λειτουργίας:

- Ταχύτητα των τεμαχίων πάνω σε κεκλιμένη τράπεζα
- Χρόνος που απαιτείται για να περάσουν τα τεμάχια μέσα από ένα διάφραγμα πλέγματος
- Δύναμη πρόσφυσης των σωματιδίων πάνω σε ένα επίπεδο
- Ταχύτητα καθίζησης των τεμαχιδίων στο ρευστό

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος από τις παραπάνω είναι αυτή που έχει ως αρχή λειτουργίας την ταχύτητα των τεμαχίων πάνω σε κεκλιμένη τράπεζα και χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία ανακύκλωσης. [32, 38]

Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί τεχνική που βασίζεται στο σχήμα τεμαχιδίων για την ανάκτηση χαλκού από απόβλητα ηλεκτρικών καλωδίων, καθώς και για ανάκτηση προϊόντων από απόβλητα ηλεκτρικών κυκλωμάτων, τηλεοράσεων και ΗΥ. [32, 38, 39]

1.6.1.3 Μαγνητικός Διαχωρισμός

Υπάρχουν δύο κατηγορίες μαγνητικών διαχωριστών, οι μαγνητικοί διαχωριστές χαμηλής έντασης, και οι μαγνητικοί διαχωριστές υψηλής έντασης. Το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται είτε από μόνιμους μαγνήτες, είτε από ηλεκτρομαγνήτη.

Οι μαγνητικοί διαχωριστές υψηλής έντασης χρησιμοποιούνται και στον επαγωγικό διαχωρισμό (Eddy Current), όπου προστατεύουν τον εξοπλισμό από μηχανικές βλάβες. Την τελευταία δεκαετία έχει γίνει σημαντική πρόοδος στον σχεδιασμό και την λειτουργία των μαγνητικών διαχωριστών υψηλής έντασης, ως αποτέλεσμα της δημιουργίας μόνιμων μαγνητών, κραματωμένων με σπάνιες γαίες.

Οι μαγνητικοί διαχωριστές χαμηλής έντασης που διαθέτουν τύμπανο, χρησιμοποιούνται στην ανάκτηση σιδηρομαγνητικών μετάλλων από παραμαγνητικά μέταλλα, ή άλλου είδους μη μαγνητικά στερεά απόβλητα, όπως τα πλαστικά.

1.6.1.4 Διαχωρισμός με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα

Οι συγκεκριμένες μέθοδοι διαχωρίζουν υλικά με διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι που βασίζονται στην συγκεκριμένη αρχή λειτουργίας:

- Ο επαγωγικός διαχωρισμός (Eddy current separation)

- Ο ηλεκτροστατικός διαχωρισμός (Corona electrostatic separation)
- Ο τριβοηλεκτρικός διαχωρισμός (Trieboelectric separation)

Η λειτουργικότητα του επαγωγικού διαχωρισμού βασίζεται στους μόνιμους μαγνήτες σπάνιων γαιών. Αρχικά, οι διαχωριστές αυτού του είδους χρησιμοποιούνταν για την ανάκτηση παραμαγνητικών μετάλλων από θρυμματισμένα απόβλητα αυτοκινήτων [33, 42, 43]. Όμως πλέον χρησιμοποιείται σε χυτήρια άμμου, PET, scrap ηλεκτρονικών συσκευών, απόβλητα από ύαλο και άλλα [44-49]. Στην παρούσα φάση οι διαχωριστές αυτοί χρησιμοποιούνται σε περίπτωση που η τροφοδοσία περιέχει χονδρομερή τεμάχια.

Οι ηλεκτροστατικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό υλικών σε αγώγιμα και μη αγώγιμα κλάσματα. Η ακραία διαφορά ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) ανάμεσα σε μέταλλα και μη-μεταλλικά υλικά καθιστά την συγκεκριμένη μέθοδο ανακύκλωσης εξαιρετικά επιτυχημένη. Σήμερα, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ανάκτηση χαλκού ή αλουμινίου από ηλεκτρικά καλώδια και σύρματα. [40, 41, 50-53]

Οι τριβοηλεκτρικοί διαχωριστές καθιστούν δυνατή την ταξινόμηση πλαστικών με βάση την διαφορά τους στις ηλεκτρικές ιδιότητες. Τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι η αυτονομία ως προς το σχήμα των τεμαχίων, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μεγάλη δυναμικότητα.

1.6.1.5 Διαχωρισμός με βάση την πυκνότητα

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι για διαχωρισμό των βαρύτερων υλικών από τα ελαφρύτερα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τον διαχωρισμό με βαρέα διάμεσα, τον διαχωρισμό με την χρήση κυκλώνα, τους φυγοκεντρικούς διαχωριστές, τους διαχωριστές υγρής κλίνης, καθώς και τους αεροδιαχωριστές.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι βασικές μέθοδοι διαχωρισμού βάσει πυκνότητας [54].

	Μέγεθος τεμαχίων	Πλαστικά απόβλητα	Scrap Αλουμίνου	Scrap μπαταριών μολύβδου	Scrap από καλώδια και σύρματα	Scrap από ηλεκτρικές/ηλεκτρονικές συσκευές	Scrap ελαφριών χαλύβων
Σε υγρό		+		+	+		+
Σε βαρέα διάμεσα (στατικά)	5-150 mm		+	+		+	+
Σε βαρέα διάμεσα (δυναμικά)	<50 mm				+		+
Αεροδιαχωριστές	0.7-5 mm				+		

Πίνακας 3: Βασικές μέθοδοι διαχωρισμού βάσει πυκνότητας

Ο διαχωρισμός με βάση την πυκνότητα διαχωρίζει τα υλικά με βάση την διαφορετική επίδραση της βαρύτητας (ή και άλλων δυνάμεων, όπως η φυγόκεντρος). Η επίδραση των δυνάμεων αυτών μεταβάλλει την κίνηση των τεμαχίων μέσα στο ρευστό μέσο, το οποίο μπορεί να είναι ο αέρας, το νερό, ή κάποιο αιώρημα. Βέβαια, η κίνησή αυτή εξαρτάται και από την μορφολογία των τεμαχίων (σχήμα, μέγεθος).

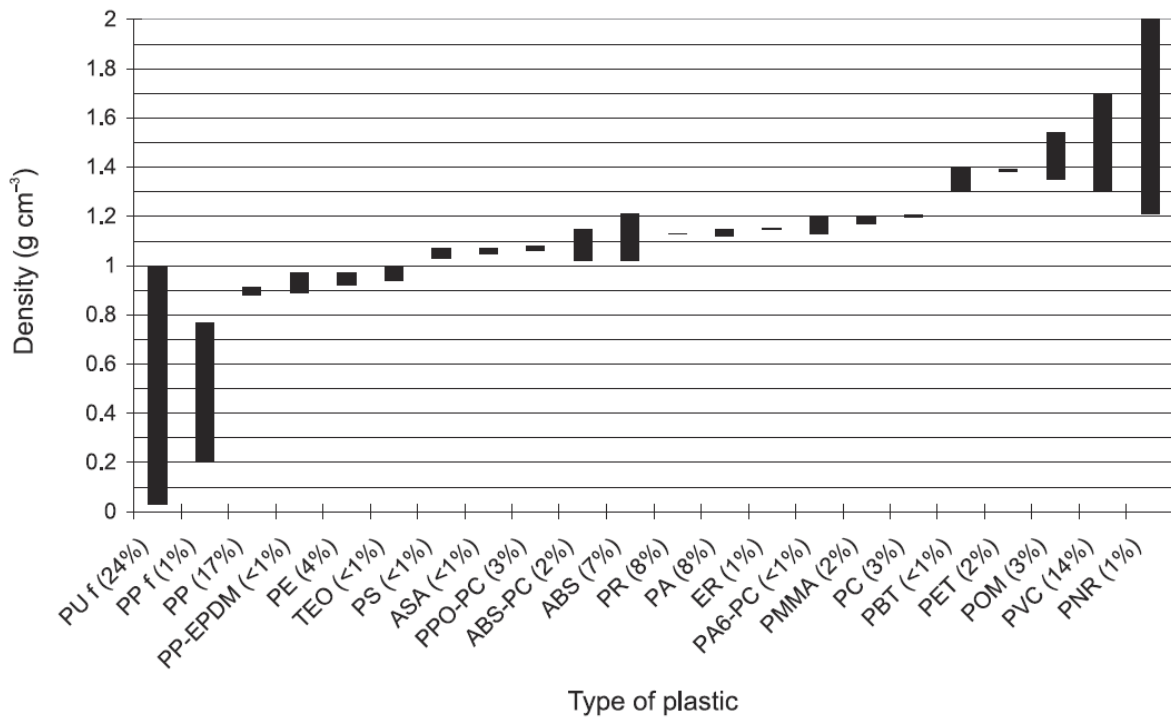
Ο διαχωρισμός διαφορετικών ειδών πλαστικών ή ομάδων ειδών πλαστικών, με βάση τις διαφορετικές πυκνότητες που έχουν, φαίνεται να είναι η αποτελεσματικότερη μέθοδος όσον αφορά το κόστος και την δυναμικότητα παραγωγής. Αποτελεί μια, συγκριτικά με άλλες, απλή μέθοδο, που αυτοματοποιείται εύκολα σε βιομηχανικό επίπεδο και χαρακτηρίζεται από ευελιξία κατά την πραγματοποίησή της. Χαρακτηρίζεται συχνά ως η πιο διαδεδομένη μέθοδος για διαχωρισμό υλικών παγκοσμίως.

Σε μερικές περιπτώσεις, αποτελεί μια εδραιωμένη μέθοδο για ολοκληρωμένο διαχωρισμό πλαστικών, όταν τα πλαστικά έχουν μια ορισμένη διαφορά πυκνότητας με τα υπόλοιπα υλικά που υπάρχουν στα WEEE. Επίσης, είναι συνηθισμένο η συγκεκριμένη μέθοδος να χρησιμοποιείται σε καθαρισμό ή αναβάθμιση πρώτων υλών που προορίζονται για διεργασίες όπως οι παρακάτω:

- Η διεργασία CreaSolv, που χρησιμοποιείται για ανάκτηση πολυστυρενίου (PS). [56]
- Η διεργασία Gallo για την ανάκτηση πολυστυρενίου από PP και PE. [15].
- Η διεργασία MBA Polymers Inc., για την ανάκτηση μίγματος PP και PE, filled PP, ABS, και HIPS.
- Η διεργασία «Recovery Plastics International» για την ανάκτηση PET και PVC, ABS, ABS-fr, PS και HIPS-fr. [28]
- Η διεργασία Stignsnaes για την μετατροπή PVC σε άλας και ελαιώδη φάση. [30]
- Η διεργασία Vinyloop για την ανάκτηση PVC [29]
- Η διεργασία ανακύκλωσης Volkswagen-Sicon [15, 27, 19].
- Η διεργασία Argonne για την ανάκτηση HIPS και ABS [15, 23]

Η προεργασία των πλαστικών βάσει της πυκνότητας τους για μετέπειτα διεργασίες, όπως οι παραπάνω, απαιτούν τον πλήρη έλεγχο αλληπάλληλων διαχωρισμών με βάση την πυκνότητα, όπως στην διεργασία Argonne.

Σαν παράδειγμα, στο επόμενο διάγραμμα παρατίθενται τα προϊόντα διαχωρισμού τεμαχιδίων αποβλήτων ενός οικογενειακού αυτοκινήτου US Sedan του 1995:



Εικόνα 12: Προϊόντα που προκύπτουν από την ανακύκλωση ενός τυπικού US οικογενειακού Sedan και αντίστοιχο εύρος πυκνότητας για το κάθε υλικό.

Γενικά, με τον διαχωρισμό βάσει πυκνότητας με βαρέα διάμεσα πυκνότητας 1.01, 1.25 και 2.05 g/cm³, παράγονται τέσσερα κλάσματα:

- PU, PP, PP-EPDM, PE και TEO
- PS, ASA, PPO-PC, ABS, PR, PA, ER, PA6-PC, PMMA και PC
- PBT, PET, POM, PVC και PNR
- Άλλα υλικά (ύαλοι, μέταλλα κλπ)

Αυτά τα κλάσματα, μπορούν να υποστούν ξανά διαχωρισμό με βαρέα διάμεσα, ώστε να ανακτηθούν τα χρήσιμα:

- Διαχωρισμός των PU και PP που επιπλέον από PP, PP-EPDM, PE και TEO.
- Διαχωρισμός του PP από PP-EPDM, PE και TEO
- Διαχωρισμός των ASA, PPO-PC και ABS-PC από PR, PA, ER, PA-PC, PMMA και PC.
- Εξαγωγή ενός πλούσιου σε PS κλάσματος, το οποίο περιλαμβάνει και μικρές ποσότητες PPO-PC, ABS-PC και ABS, από ένα κλάσμα που περιλαμβάνει PS, ASA, PPO-PC, ABS-PC, ABS, PR, PA, ER, PA-PC, PMMA και PC.
- Εξαγωγή ενός πλούσιου σε PC κλάσματος, το οποίο περιλαμβάνει και μικρές ποσότητες PA-PC, ABS-PC και ABS, από ένα κλάσμα που περιέχει PS, ASA, PPO-PC, ABS-PC, ABS, PR, PA, ER, PA-PC, PMMA και PC. [12]

1.6.1.5.1 Η διαδικασία διαχωρισμού με βαρέα διάμεσα

Αποτελεί μια διαδικασία επίπλευσης-βύθισης, κατά την οποία τεμάχια διαφορετικών πυκνοτήτων τοποθετούνται σε ένα υγρό διάμεσο, του οποίου η πυκνότητα είναι ενδιάμεση. Τα ελαφρύτερα τεμάχια επιπλέουν ενώ αυτά με υψηλότερη πυκνότητα βυθίζονται, με ρυθμό που ανταποκρίνεται στην σχετική πλευστότητα τους στο διάμεσο, κάτω από την κινητήρια δύναμη της βαρύτητας.

Παράγοντες που επηρεάζουν τον διαχωρισμό, όταν πρόκειται για την μέθοδο των βαρέων διαμέσων είναι οι εξής:

- Το σχήμα των τεμαχίων/σωματιδίων.
- Το μέγεθος των τεμαχίων/σωματιδίων.
- Η επιφανειακή υφή των τεμαχίων/σωματιδίων
- Το εύρος της διαφοράς πυκνότητας των τεμαχίων/σωματιδίων με την πυκνότητα του υγρού μέσου.
- Η συσσωμάτωση των τεμαχίων/σωματιδίων με σταγονίδια ελαίου ή φυσαλίδες.
- Η υδροσκοπική αντίσταση των πλαστικών στην βύθιση, όταν αυτά βρίσκονται στην διεπιφάνεια αέρα-υγρού.
- Ο βαθμός στον οποίο έχει γίνει ο διαχωρισμός, όπου και καθορίζει το αν η διαδικασία είναι οικονομικά βιώσιμη.

Όσο η ειδική επιφάνεια των σωματιδίων αυξάνεται εκθετικά με την μείωση του μεγέθους τους, τόσο αυξάνεται και η αντίστασή τους στην κίνηση μέσα στο υγρό. Έτσι, ο διαχωρισμός με βαρέα διάμεσα είναι ταχύτερος και πιο αποτελεσματικός όταν τα σωματίδια είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους.

Σε μη σφαιρικά σωματίδια, όπως θραυσμένα πλαστικά, ο βαθμός μετατόπισης τους στο υγρό μέσο διαφέρει, ακόμα και αν αυτά έχουν την ίδια πυκνότητα και μάζα. Αυτό συμβαίνει λόγω του διαφορετικού αναγλύφου και σχήματος της επιφάνειας των σωματιδίων.

Επίσης, η σωστή κατάταξη των τεμαχίων εμποδίζεται, όταν η περιεκτικότητά τους στο διάμεσο είναι μεγαλύτερη από 15 wt%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο διαχωρισμός να γίνεται βραδύτερος, όμως να έχει αυξημένο εύρος μεγέθους τεμαχίων που μπορεί να κατεργαστεί.

Ακόμα, αύξηση του ιξώδους του μέσου περιορίζει το ελάχιστο μέγεθος τεμαχίων για να μπορούν να υποστούν επεξεργασία. Αυτό συμβαίνει λόγω της αυξημένης αντίστασής τους στην μετατόπιση μέσα στο μέσο. Έτσι αυξάνεται ο χρόνος που απαιτείται ούτως ώστε να λάβει χώρα επαρκής διαχωρισμός.

Τα πλαστικά τεμάχια πρέπει να είναι θραυσμένα σε τέτοιο μέγεθος ώστε να είναι αποδεσμευμένα το ένα από το άλλο. Η υπερβολική θραύση, εκτός από το ότι αυξάνει σημαντικά το κόστος της διεργασίας, θα δημιουργήσει ένα μεγάλο κλάσμα όγκου μη-κατεργάσιμων σωματιδίων (λόγω του μικρού μεγέθους τους). Επίσης, η παρουσία ελαίων ή άλλων κολλωδών ουσιών ενισχύει την τάση των σωματιδίων να δημιουργούν συσσωμάτωματα. Για αυτόν τον λόγο, απαιτείται η πλύση των σωματιδίων με καταιονισμό νερού. [12]

Επιπρόσθετα, τα πλαστικά τεμάχια είναι υδρόφοβα και έχουν την τάση να επιπλέουν, όταν βρίσκονται σε υδατικά διαλύματα, ακόμα και όταν έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτή του υδατικού μέσου διαχωρισμού. Για τον ίδιο λόγο, τα πλαστικά έχουν την τάση να αλληλοεπιδρούν με φυσαλίδες, οι οποίες τους προσδίδουν μια φαινομενική πυκνότητα, με τιμή μικρότερη από την πραγματική τους. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού, με θραύσματα μεγάλης πυκνότητας να συνυπάρχουν με αυτά που είναι χαμηλής πυκνότητας. Σύμφωνα με την εταιρεία SiCon GmbH [20] η τεχνολογία Polyfloat που ανέπτυξε είναι ικανή να αποτρέψει την πρόσφυση των πλαστικών σε φυσαλίδες αέρα. [19, 20]

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι και μηχανές διαχωρισμού που βασίζονται στον διαχωρισμό με βάση την πυκνότητα, με το μέσο διαχωρισμού να είναι το νερό. Οι μηχανές διαχωρισμού μπορεί να είναι είτε στατικού τύπου είτε φυγοκεντρικού τύπου. Στην περίπτωση στατικού τύπου η βαρύτητα είναι η κυρίαρχη δύναμη διαχωρισμού, ενώ στου φυγοκεντρικού τύπου, η διαδικασία επιταχύνεται με την επίδραση της φυγόκεντρου δύναμης. Με τις μηχανές φυγοκεντρικού τύπου είναι δυνατή η επεξεργασία τεμαχίων μεγαλύτερου εύρους μεγέθους από τις στατικές.

Οι διαχωριστές στατικού τύπου απαιτούν περιβάλλον μη-τυρβώδους ροής για να λειτουργήσουν, ούτως ώστε η διαφορά στην πυκνότητα να λειτουργήσει βοηθώντας τον διαχωρισμό.

Στους φυγοκεντρικούς διαχωριστές ανήκουν οι κυκλωνικές μηχανές ενώ έχει χρησιμοποιηθεί και ο πολυβαρτομετρικός διαχωριστής που λειτουργεί με νερό. [25]

Οι de Araujo et al., σε έρευνά τους το 2007, διαπίστωσαν πως ο διαχωρισμός με στατικά βαρέα διάμεσα είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για τον διαχωρισμό χαλκού και PVC από WEEE. Για να παραχθεί PVC υψηλής καθαρότητας, θα πρέπει τα προς ανακύκλωση τεμάχια να έχουν μέγεθος μικρότερο των 3 mm και να έχουν υποστεί καταιονισμό με νερό. Όμως, λόγω της μικρής δυναμικότητάς της, η μέθοδος των στατικών βαρέων διαμέσων δεν χρησιμοποιείται για την συγκεκριμένη εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα. Οι ερευνητές προτείνουν την συγκεκριμένη μέθοδο διαχωρισμού στην περίπτωση που βρίσκονται και άλλα είδη πλαστικών στα απόβλητα, όπως το καουτσούκ και το PE. [24]

Οι Pongstabodee et al., σε έρευνά τους που έλαβε χώρα το 2008, ανέφεραν τα αποτελέσματα από δοκιμές για διαχωρισμό τεμαχίων HDPE, PP, ABS, PS, PET και PVC, με την μέθοδο των στατικών βαρέων διαμέσων. Τα τεμάχια είχαν μέγεθος 3-5 mm και πάχος 0.08-1 mm. Πλήρης διαχωρισμός επετεύχθη για τα τεμάχια HDPE και PP, με αλκοολούχο διάλυμα ως διάμεσο. Επίσης, με διάμεσο ως ένα αιώρημα χλωριούχου ασβεστίου-νερού, έγινε επιτυχής διαχωρισμός PS/ABS από PET/PVC. [55]

Κεφάλαιο 2. Πειραματικό μέρος

Το πειραματικό μέρος περιλαμβάνει την εργαστηριακή μελέτη διαχωρισμού μείγματος πλαστικών, από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές από την μονάδα ανακύκλωσης πλαστικών BIANAT στον Ασπρόπυργο, με την μέθοδο των βαρειών διάμεσων σε διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

2.1 Δειγματοληψία

Παραλήφθηκαν τρεις σάκοι από το μείγμα, οι οποίοι περιείχαν διάφορα πλαστικά από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ., πλυντήρια, ψυγεία, κτλ). Αφού ομογενοποιήθηκε το μείγμα, έλαβε χώρα αντιπροσωπευτική δειγματοληψία προκειμένου να χωριστεί σε δείγματα μικρότερου βάρους, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες δοκιμές. Με την μέθοδο δειγματολήπτη Jones το μείγμα χωρίστηκε σε δυο ισόποσα αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Σάκος 1: 7709 g

Σάκος 2: 7569 g



Εικόνα 13: Αντιπροσωπευτικό δείγμα υλικού

Το δείγμα του σάκου 1 υποβλήθηκε σε κοκκομετρική ανάλυση σε κόσκινα με αντίστοιχο άνοιγμα οπής 10mm και 5mm, με αποτέλεσμα το δείγμα να χωριστεί στα εξής κοκκομετρικά κλάσματα:

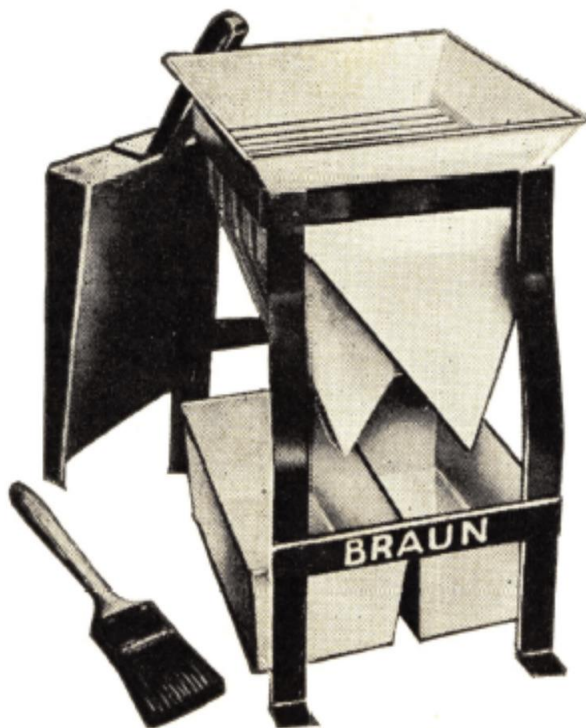
- +10mm
- -10mm+5mm
- -5mm

Τα βαρά υγρά, τα οποία επιλέχθηκαν για τις δοκιμές έχουν την ακόλουθη πυκνότητα:

- 1 g/cm^3 (Νερό)
- $1,08 \text{ g/cm}^3$ με K_2CO_3
- $1,08 \text{ g/cm}^3$ με CaCO_3

Κατά την διάρκεια της εργασίας, το κάθε κλάσμα πέρασε από την διαδικασία των βαρέων διάμεσων σε πυκνότητα διαχωρισμού 1 g/cm^3 (νερό). Το βυθισθέν προϊόν που παραλήφθηκε πέρασε στη συνέχεια από ειδικό βάρος $1,08 \text{ g/cm}^3$ που παρασκευάστηκε αντίστοιχα με K_2CO_3 και CaCO_3 , αφού πρώτα λάβουν χώρα διαδοχικές δειγματοληψίες προκειμένου να ληφθούν αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά τις δοκιμές με την χρήση των βαρέων διάμεσων.

Η συσκευή δειγματοληψίας Jones αποτελείται από δύο σειρές 6 ή 10 κεκλιμένων οχετών, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί μέσα σε ένα ορθογώνιο πλαίσιο, έτσι ώστε ο μισός αριθμός των οχετών να βρίσκεται προς τη μία πλευρά και ο άλλος μισός προς την άλλη. Το δείγμα αποχύνεται ομοιόμορφα σε όλο το πλάτος του υποδοχέα και ρέει μέσω των οχετών στους κάδους υποδοχής που βρίσκονται από κάτω. Με αυτό τον τρόπο, το δείγμα χωρίζεται σε μικρές λωρίδες διαφορετικής ροής και διχοτομείται σε δύο όμοια δείγματα.



Εικόνα 14: Δειγματολήπτης Jones

2.2 Κοκκομετρική ταξινόμηση

Με τη χρήση συγκεκριμένης σειράς κοσκίνων έλαβε χώρα η ταξινόμηση του υλικού σε κοκκομετρικά κλάσματα, σε ομάδες τεμαχίων ουσιαστικά με πανομοιότυπες διαστάσεις (μεταξύ δύο ορίων). Αυτή η διαδικασία ονομάζεται κοκκομετρική ανάλυση. Μετά το πέρας της ταξινόμησης τα δείγματα φυλάχτηκαν σε πλαστικούς σάκους κλειστά σε δροσερό μέρος. Για το μείγμα που είχαμε προς επεξεργασία επιλεχτήκαν δυο κόσκινα 10mm και 5mm, οπότε προέκυψαν τα εξής κοκκομετρικά κλάσματα με τα αντίστοιχα βάρη.

+10mm	-10mm+5mm	-5mm
3633,2 g	1997,8 g	2074,8 g



Εικόνα 15: Δοχεία με τα κοκκομετρικά κλάσματα

2.3 Εργαστηριακή χρήση των βαρέων διάμεσων

Η μέθοδος των βαρέων διάμεσων είναι μια πραγματική βαρυτομετρική επεξεργασία, η οποία με την δημιουργία ενδιάμεσου ειδικού βάρους, διαχωρίζει υλικά με μεταξύ τους διαφορά ειδικού βάρους έως και 0,1. Εάν σε ένα υγρό με πυκνότητα ρ_0 προσθέσουμε κοκκομετρικά τεμάχια δύο διαφορετικών προϊόντων α και β με αντίστοιχες πυκνότητες $\rho_\alpha < \rho_0$ και $\rho_0 < \rho_\beta$, τότε τα τεμάχια του προϊόντος α θα επιπλεύσουν ενώ τα τεμάχια του προϊόντος β θα βυθισθούν. Ουσιαστικά, ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με διοχέτευση της τροφοδοσίας μέσα σε υγρό ενδιάμεσου ειδικού βάρους, οπότε το ελαφρότερο επιπλέει και το βαρύτερο βυθίζεται. Το ενδιάμεσο ειδικό βάρος λαμβανόταν με την χρήση βαρέων υγρών αλλά σύντομα η χρήση τους περιορίστηκε σε εργαστηριακούς μόνο διαχωρισμούς, εξαιτίας του υψηλού κόστους παραγωγής αυτών. Εξαιρετικά σημαντική είναι η δυνατότητα ανάκτησης των βαρέων διάμεσων μετά τον διαχωρισμό για την μείωση των απωλειών και, κατά συνέπεια, του κόστους επεξεργασίας. Η ανάκτηση των Β.Δ που παρασύρονται με τα διαχωρισμένα προϊόντα για επαναχρησιμοποίηση αποτέλεσε την βασική προϋπόθεση της βιομηχανικής ανάπτυξης της μεθόδου και την επιβολή της εφαρμογής στην πράξη.

2.3.1 Αιωρήματα

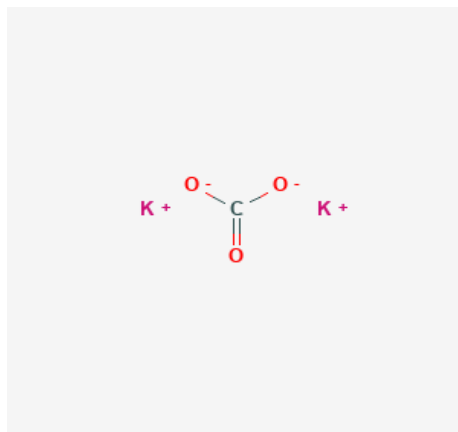
Ο όρος αιώρημα χρησιμοποιείται για συστήματα, στα οποία στερεά τεμαχίδια βρίσκονται σε αιώρηση μέσα σε ένα ρευστό μέσο. Ο όρος αυτός δεν πρέπει να συγχέεται με τον όρο διάλυμα. Στα διαλύματα η στερεή φάση διαλυτοποιείται μέσα στην υγρή με την μορφή ιόντων, ενώ στα αιωρήματα η υγρή και η στερεά φάση συνυπάρχουν ταυτόχρονα.

Τα αιωρήματα βρίσκουν εφαρμογές στον χώρο του εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, όπου χρησιμοποιούνται στην μέθοδο διαχωρισμού με βαρέα διάμεσα.

Τα τεμαχίδια του λεπτομερούς βαρέος διαμέσου μένουν σε κατάσταση αιώρησης στο ρευστό μέσο, συνήθως μέσω μηχανικής ανάδευσης.

2.3.1.1 Ανθρακικό Κάλιο (K_2CO_3)

Το ανθρακικό κάλιο (K_2CO_3) είναι μια υδατοδιαλυτή ανόργανη χημική ένωση που προέρχεται πρωτογενώς από την ποτάσα. Βιομηχανικά παρασκευάζεται με την αντίδραση του υδροξειδίου του καλίου με το διοξείδιο του άνθρακα. Το διάλυμα αυτό κρυσταλλώνεται για να σχηματίσει την ένυδρη ποτάσα, η οποία με θέρμανση πάνω από $200^{\circ}C$ παράγει άνυδρο άλας.



Εικόνα 16: Χημικός τύπος ανθρακικού καλίου. Πηγή: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

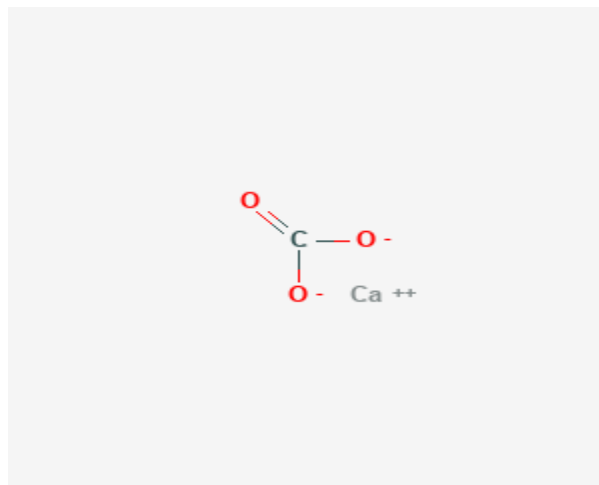
Έχει μια πληθώρα εφαρμογών, στις οποίες περιλαμβάνεται η παραγωγή σαπουνιών και υάλων. Χρησιμοποιείται επίσης ως αντιδραστήριο για ξήρανση οργανικών ενώσεων, όπως οι κετόνες, οι αλκοόλες και οι αμίνες. Χρησιμοποιείται, επίσης, ως σταθεροποιητικό αντιδραστήριο για την παραγωγή κρασιού και ως συστατικό για συγκολλήσεις και επικαλύψεις σε υποστρώματα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ως η στερεά φάση σε αιώρημα βαρέων διαμέσων. (Πηγή: Sigma Aldrich)

2.3.1.2 Ανθρακικό Ασβέστιο ($CaCO_3$)

Το ανθρακικό ασβέστιο εμφανίζεται ως λευκή άμορφη σκόνη ή σε μορφή άχρωμων κρυστάλλων. Είναι πρακτικά αδιάλυτο στο νερό. Μπορεί να προέλθει άμεσα από την εξόρυξη του ασβεστόλιθου. Η διεργασία εξαγωγής του επιτρέπει να διατηρήσει τα αρχικά του χαρακτηριστικά και να παραχθεί ένα λεπτομερές προϊόν, είτε σε στερεά μορφή, είτε σε μορφή πολφού.

Μπορεί επίσης να παρασκευαστεί και βιομηχανικά, είτε από την αποσύνθεση του ασβεστόλιθου σε οξείδιο του ασβεστίου και κατόπιν ενανθράκωση, είτε ως παραπροϊόν από την διεργασία Solvay (η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή ανθρακικού νατρίου). Το βιομηχανικά παραγόμενο ανθρακικό ασβέστιο έχει μεγαλύτερη καθαρότητα από αυτό που είναι προϊόν εξόρυξης, καθώς επίσης και διαφορετικές ιδιότητες.



Εικόνα 17: Χημικός τύπος ανθρακικού ασβεστίου. Πηγή: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Χρησιμοποιείται σε θεραπευτικές εφαρμογές ως σταθεροποιητικό για την αιμοδιάλυση, ως αντιόξινο σε γαστρική υπεροξύτητα και ως συμπλήρωμα ασβεστίου σε περιπτώσεις οστεοπόρωσης.

Επίσης βρίσκει εφαρμογές στην βιομηχανία τροφίμων ως βρώσιμη χρωστική ουσία, αλλά και ως θρεπτικό συστατικό στην πρωτογενή παραγωγή τροφίμων.

2.3.1.3 Παρασκευή αιωρήματος

Η παρασκευή του αιωρήματος πετυχαίνεται με την προσθήκη πολύ μικρομερών τεμαχιδίων από βαρέα διάμεσα μέσα σε υγρό (στην συγκεκριμένη περίπτωση νερό) με συνεχή μηχανική ανάδευση, μέχρις ότου να επιτευχθεί το ζητούμενο ε.β. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα αιώρημα β.δ., του οποίου οι ιδιότητες επιδρούν ουσιαστικά στον εμπλουτισμό που πραγματοποιείται στο αιώρημα. Η επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων για το ε.β., το ιξώδες και την ταχύτητα καταβύθισης των βαρέων διαμέσων στο αιώρημα βελτιστοποιεί τον διαχωρισμό.

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους είναι ο εξής:

$$\text{Ειδικό βάρος αιωρήματος: } \alpha = 1 + \frac{W}{V(1-d)}$$

W = το ολικό βάρος του αιωρήματος

V = ο όγκος του αιωρήματος

d = το ειδικό βάρος των διαμέσων

Το α δεν μπορεί να είναι μικρότερο ή ίσο με το d/2.

Αφού λάβει χώρα η παρασκευή του αιωρήματος, πραγματοποιείται διοχέτευση του προπαρασκευασθέντος μείγματος στο αιώρημα των Β.Δ. στο οποίο εκτελείται ο διαχωρισμός. Αμφότερα απομακρύνονται από τη μηχανή με κατάλληλο μηχανισμό ή αντλητικό σύστημα. Εν συνεχεία, τα απομακρυσμένα και διαχωρισθέντα προϊόντα τοποθετούνται σε ειδικά φίλτρα προκειμένου να λάβει χώρα αποστράγγιση με σκοπό να ληφθούν τα βάρη των διαχωρισμένων προϊόντων. Επίσης, μετά το πέρας του διαχωρισμού τα τεμάχια με χρήση άφθονου νερού και καταιονισμό πλύθηκαν προκειμένου να απομακρυνθεί είτε το ανθρακικό κάλιο, είτε το ανθρακικό ασβέστιο που χρησιμοποιήθηκαν ως βαρέα διάμεσα στη παρούσα εργασία. Ορισμένα βυθισθέντα είτε επιπλέοντα, αφού έλαβε χώρα αποστράγγιση, αποθηκευτήκαν ενώ ορισμένα αλλά χρησιμοποιήθηκαν σε εκ νέου δοκιμές.

2.4 Αποτελέσματα

Στο συγκεκριμένο πείραμα το προς επεξεργασία δείγμα τροφοδοτούταν περιοδικά στον κουβάδεξαμενή. Μετά το πέρας ορισμένου χρονικού διαστήματος, λάμβανε χώρα η αποκομιδή του επιπλέοντος υλικού είτε με χειροδιαλογή είτε με κόσκινο με κατάλληλο άνοιγμα οπών, ανάλογα το μέγεθος των τεμαχίων.



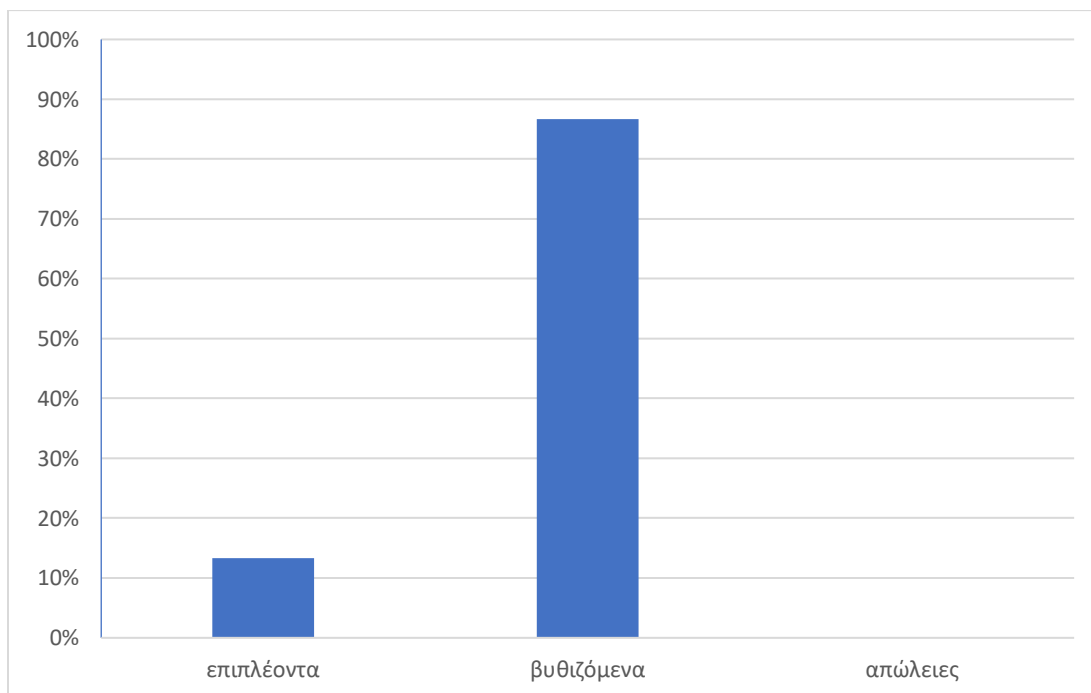
Εικόνα 18: Συσκευή διαχωρισμού με βαρέα διάμεσα

2.4.1 Διαχωρισμός με β.δ. σε ε.β. 1 (Νερό)

Αρχικό βάρος=3633,2 g

Πίνακας 4: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1 για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm

+10mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	482,4	13,28
βυθίζεται	3148,7	86,66
απώλειες	2,1	0,06

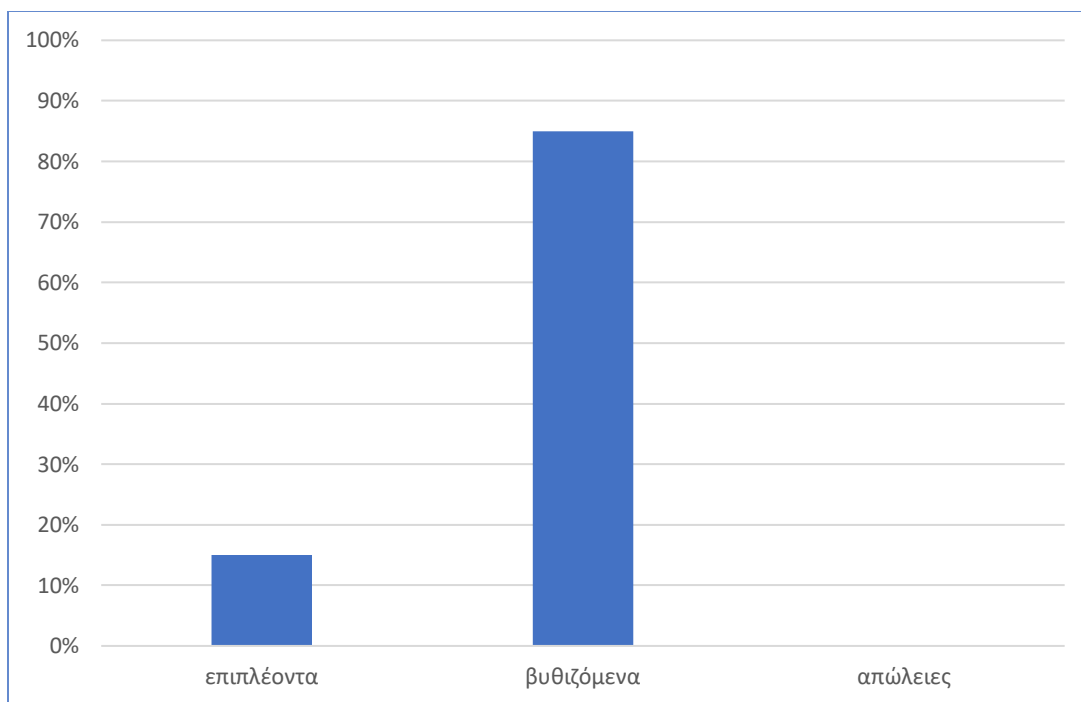


Εικόνα 19:Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα +10mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1

Αρχικό βάρος=1997,3 g

Πίνακας 5: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1 για το κοκκομετρικό κλάσμα-10mm+5mm

-10mm+5mm	Βάρος(gr)	Βάρος(%)
επιπλέει	300,6	15,05032
βυθίζεται	1696,2	84,92465
απώλειες	0,5	0,025034

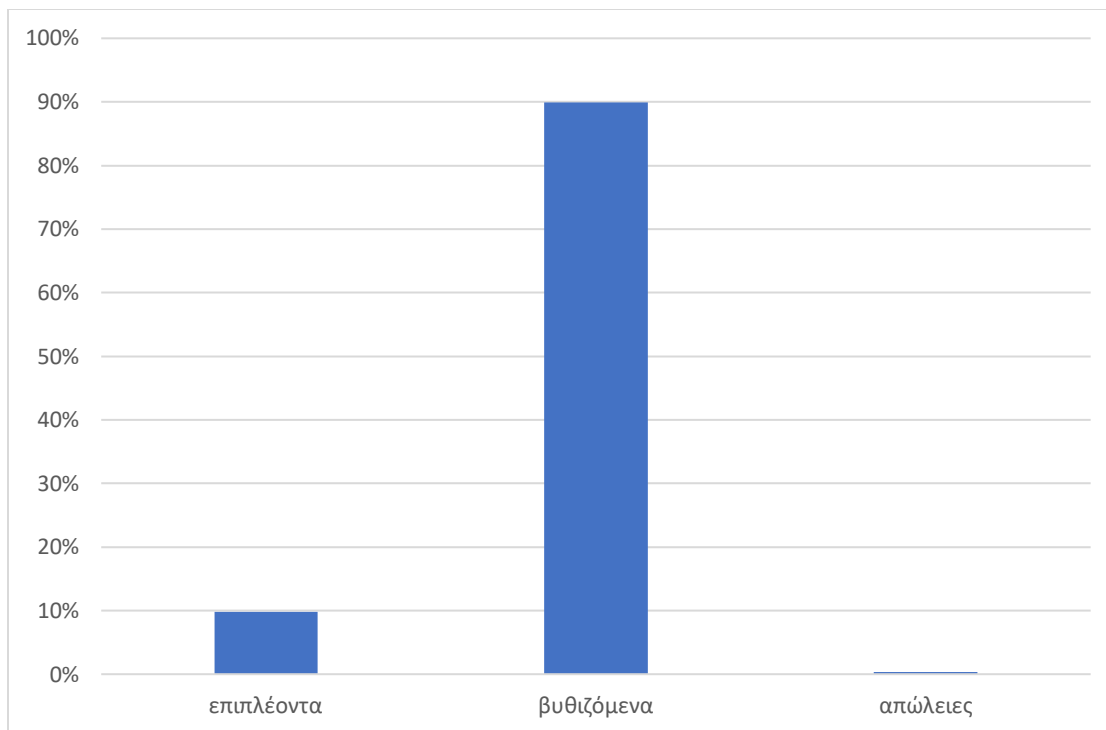


Εικόνα 20: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα -10mm+5mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1

Αρχικό βάρος=2074,8 g

Πίνακας 6: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1 για το κοκκομετρικό κλάσμα -5mm

-5mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	203	9,78
βυθίζεται	1865	89,89
απώλειες	6,8	0,33

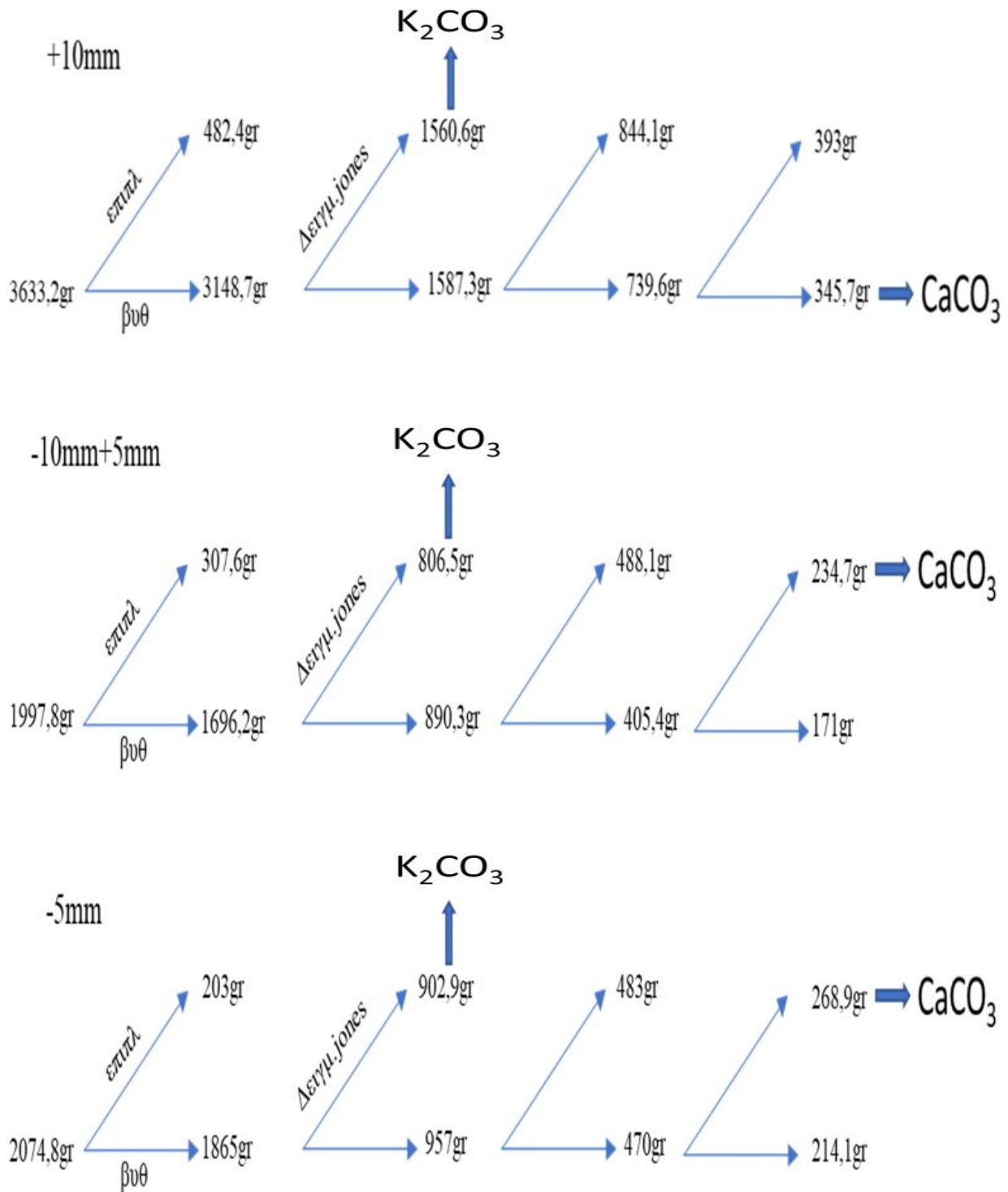


Εικόνα 21: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα -5mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1

Για το διαχωρισμό που πραγματοποιήθηκε σε νερό (ε.β. 1) παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη ποσοτική διαφοροποίηση μεταξύ των επιπλεόντων και των βυθισθέντων με τα βυθισθέντα να κυριαρχούν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η πλειοψηφία των πλαστικών που βρίσκονται σε δείγμα έχει ε.β. > 1.

Εν συνεχεία, τα βυθιζόμενα χωρίστηκαν σε 2 ισόποσα δείγματα με την βοήθεια δειγματολήπτη Jones, με το ένα μέρος να διαχωρίζεται με Β.Δ ανθρακικού καλίου (K_2CO_3) και άλλο μέρος, αφού διχοτομηθεί διαδοχικά σε αλλά δυο δείγματα προκειμένου να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια σε ότι αφορά την πειραματική διαδικασία, να διαχωρίζεται με Β.Δ ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$).

Παρακάτω, με γραφική αναπαράσταση, διακρίνονται τα δείγματα που παραλήφθηκαν προκειμένου να υποστούν διαχωρισμό με Β.Δ. με χρήση των αντιστοίχων αιωρημάτων.



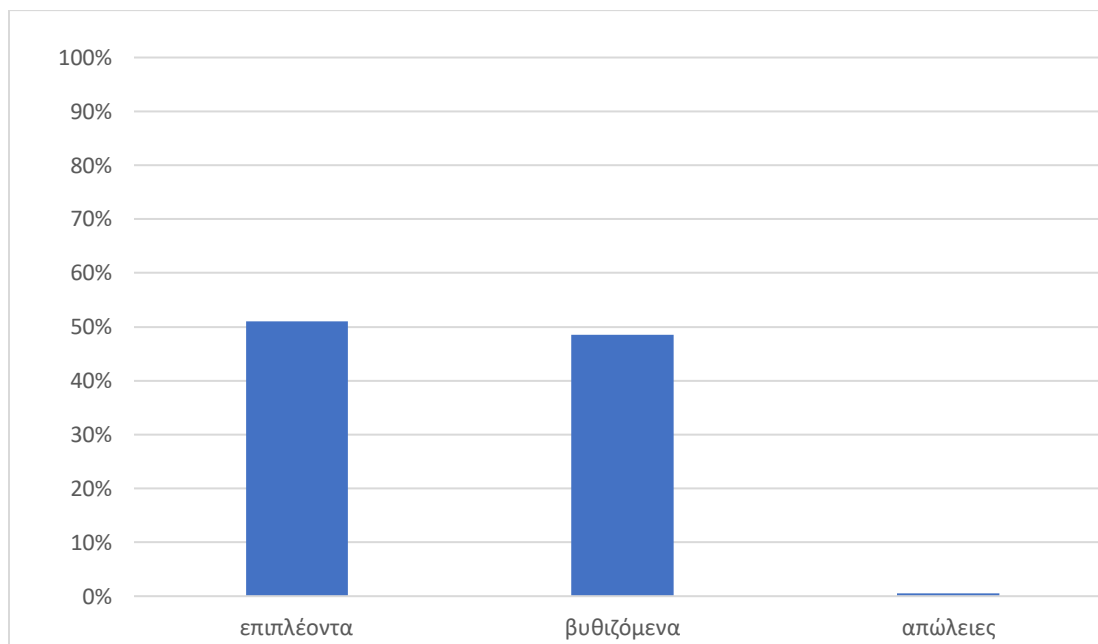
Εικόνα 22: Γραφική αναπαράσταση αρχικού διαχωρισμού και μετέπειτα δειγματοληψίας

2.4.2 Διαχωρισμός με Β.Δ σε ε.β. 1,08 (Ανθρακικό κάλιο- K_2CO_3)

Αρχικό Βάρος=1560,6 g

Πίνακας 7: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1,08 για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm

+10mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	796,4	51,03
βυθίζεται	756,6	48,48
απώλειες	7,6	0,49

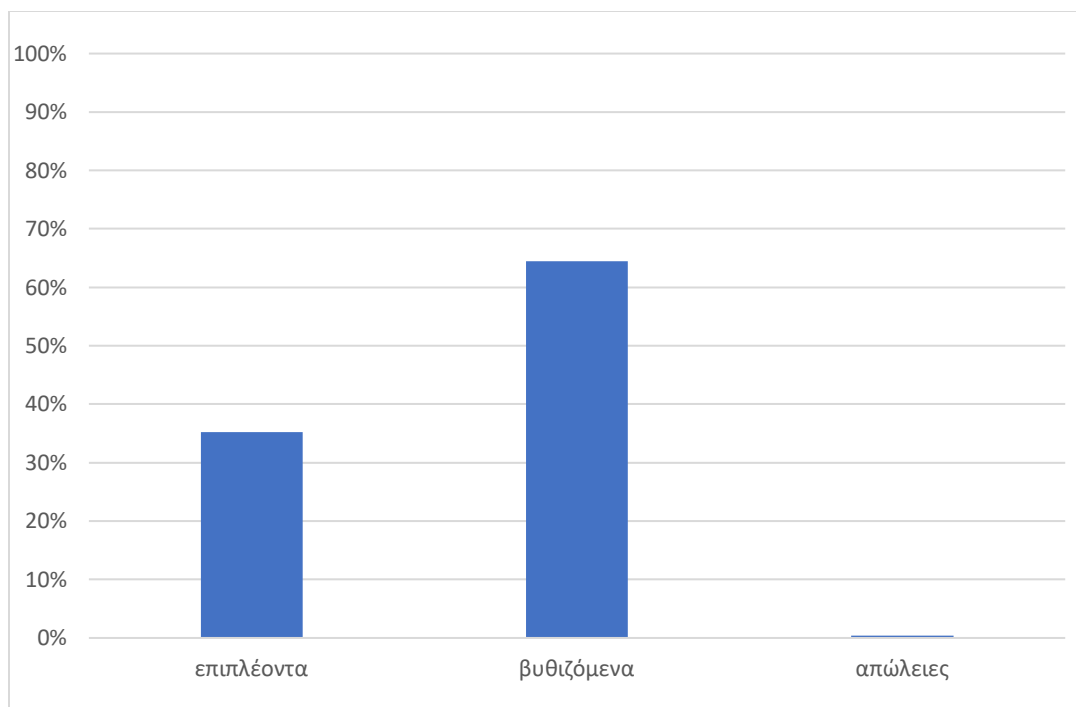


Εικόνα 23: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα +10mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1,08

Αρχικό Βάρος=806,5 g

Πίνακας 8: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1,08 για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm+5mm

-10mm+5mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	283,7	35,18
βυθίζεται	519,5	64,41
απώλειες	3,3	0,41

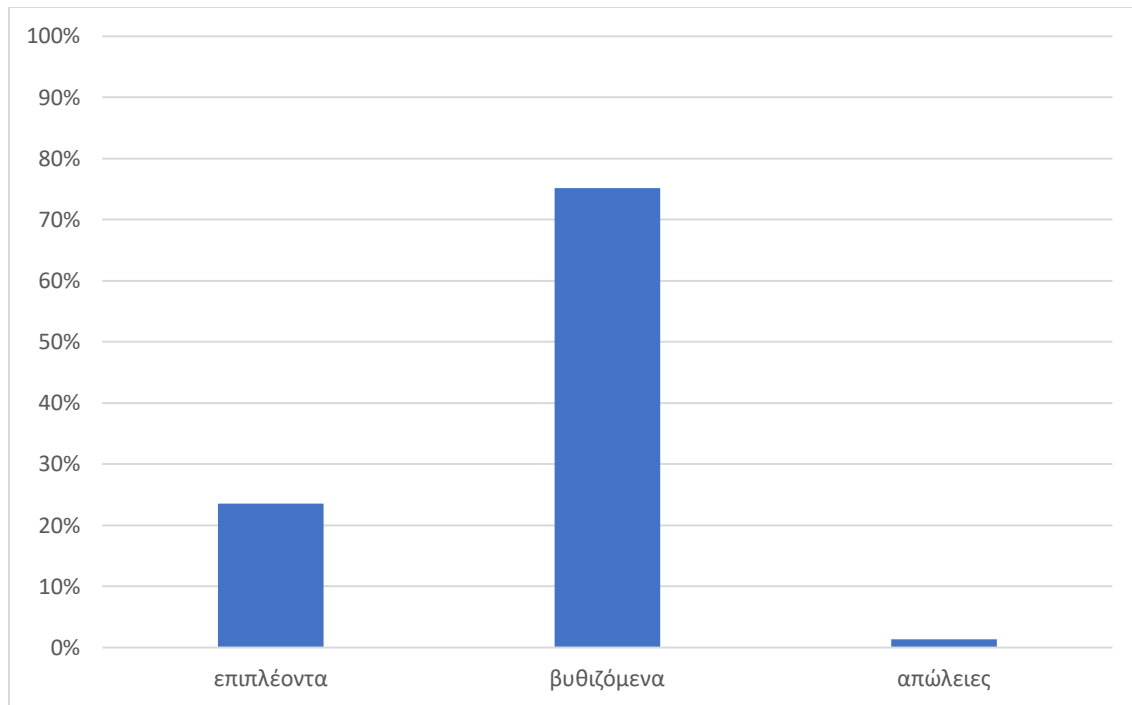


Εικόνα 24:Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα -10mm+5mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1,08

Αρχικό Βάρος=902,6 g

Πίνακας 9: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1,08 για το κοκκομετρικό κλάσμα-5mm

-5mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	212,4	23,52
βυθίζεται	678,6	75,16
απώλειες	11,9	1,32



Εικόνα 25: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα -5mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1,08

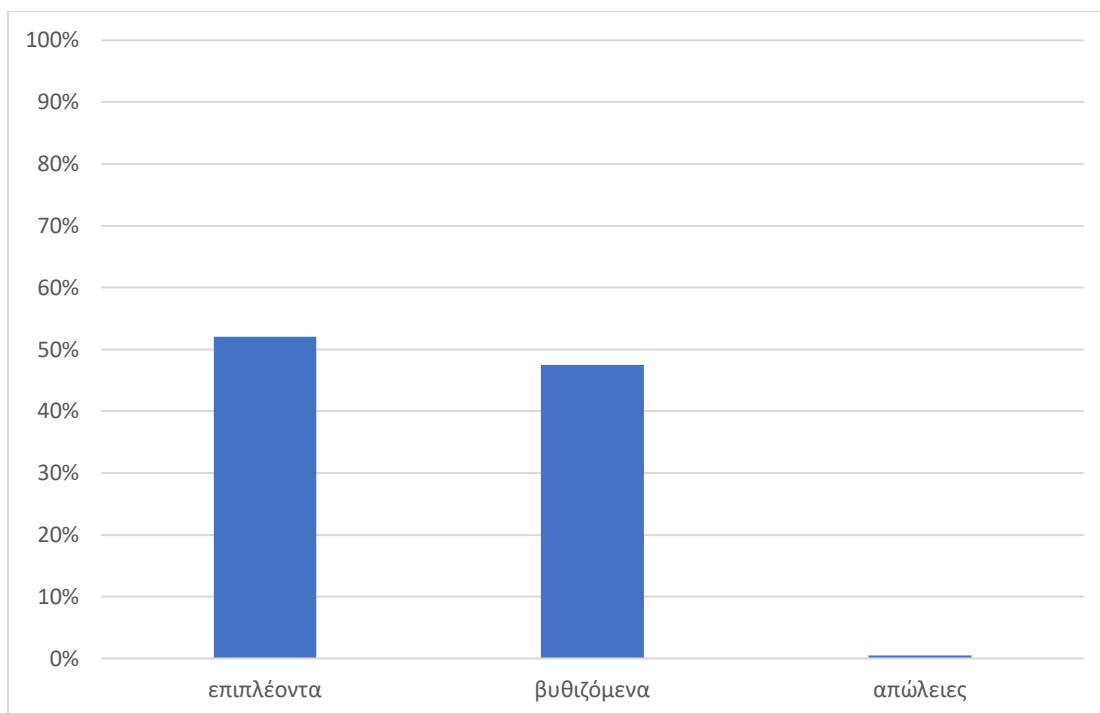
Για το K_2CO_3 παρατηρείται ότι αν και στο ανώτερο κλάσμα (+10mm) υπάρχει ισόποσος διαχωρισμός, όσο μειώνεται η κοκκομετρία αυξάνεται η απόκλιση μεταξύ των διαχωρισθέντων, με τα βυθισθέντα να κυριαρχούν ποσοτικά και αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε παγίδευση των λεπτομερών επιπλεόντων στα βυθισθέντα, σε συνδυασμό με έναν βαθμό δυσκολίας σε ό,τι αφορά την αποκομιδή των τεμαχιδίων από την δεξαμενή-κουβά.

2.4.3 Διαχωρισμός με Β.Δ σε ε.β. 1,08 (Ανθρακικό ασβέστιο- $CaCO_3$)

Αρχικό Βάρος=345,7 g

Πίνακας 10: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1,08 για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm

+10mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	180	52,07
βυθίζεται	164	47,44
απώλειες	1,7	0,49

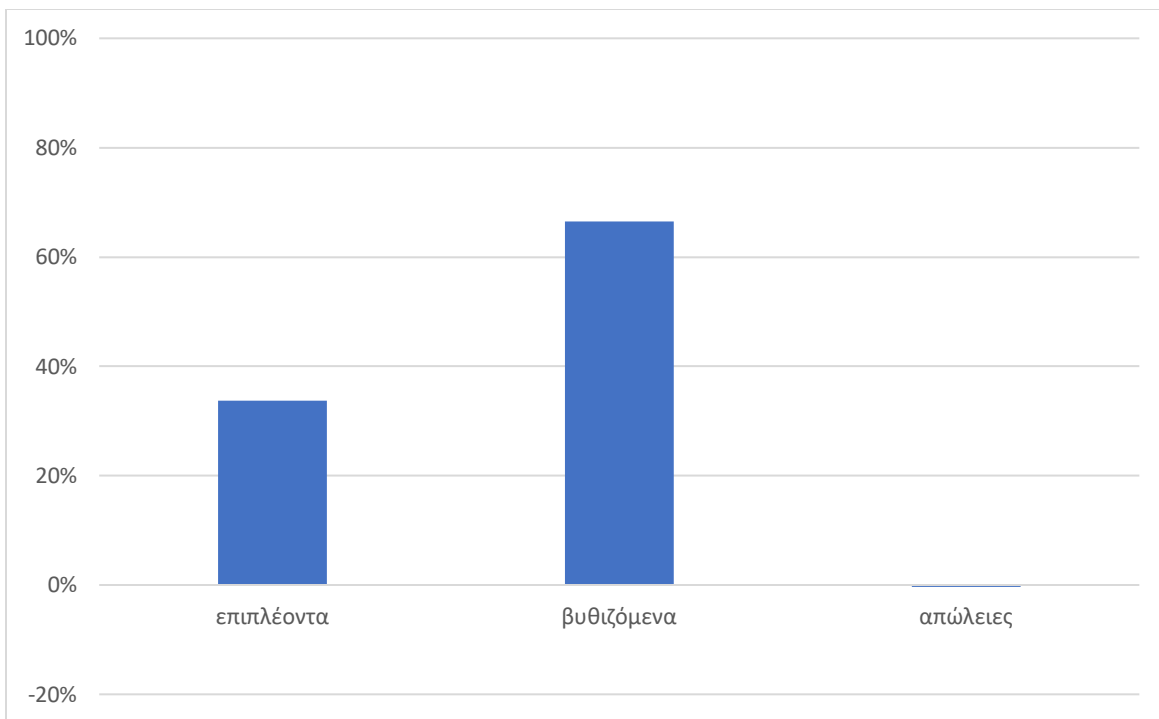


Εικόνα 26: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα +10mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1,08

Αρχικό Βάρος=234,7 g

Πίνακας 11: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1,08 για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm+5mm

-10mm+5mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	79,2	33,75
βυθίζεται	156,2	66,55
απώλειες	-0,7	-0,30

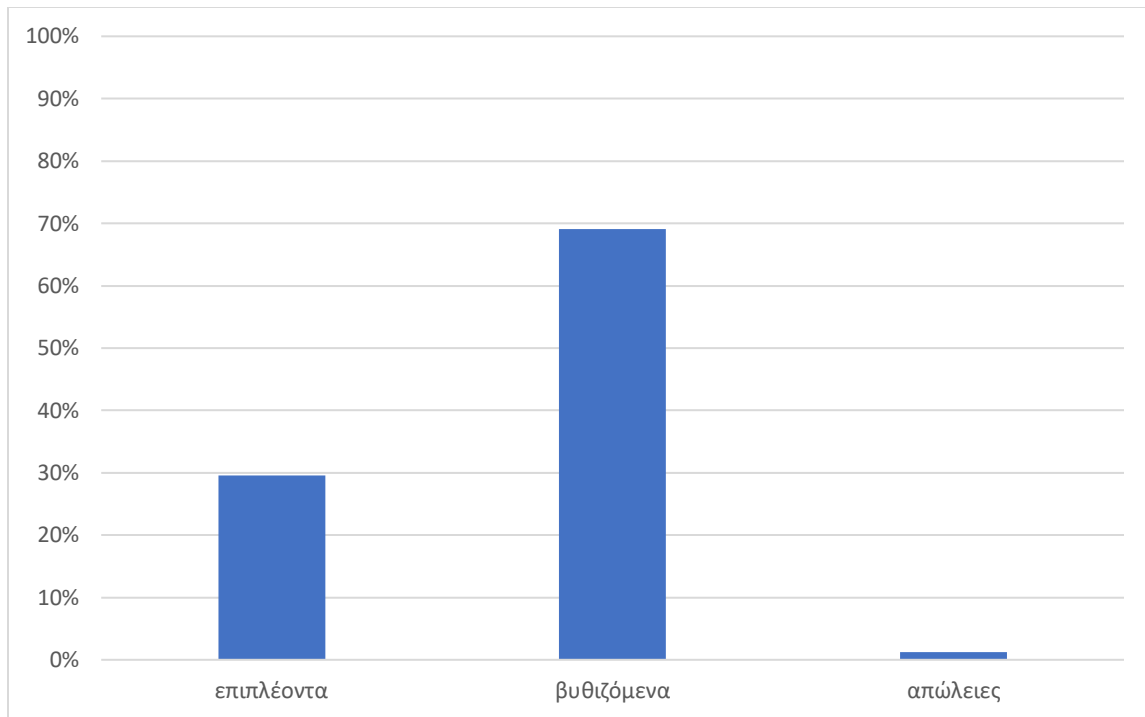


Εικόνα 27: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα -10mm+5mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1,08

Αρχικό Βάρος=268,9 g

Πίνακας 12: Αποτελέσματα διαχωρισμού σε ε.β. 1,08 για το κοκκομετρικό κλάσμα-5mm

-5mm	Βάρος (g)	Βάρος (%)
επιπλέει	79,6	29,60
βυθίζεται	185,9	69,13
απώλειες	3,4	1,27



Εικόνα 28: Βάρος προϊόντων (%) σε κοκκομετρικό κλάσμα -5mm για διαχωρισμό σε ε.β. 1,08

Σε ό,τι αφορά τον διαχωρισμό που έλαβε χώρα σε Β.Δ. CaCO_3 , ομοίως παρατηρείται ότι, αν και στο ανώτερο κλάσμα (+10mm) υπάρχει ισόποσος διαχωρισμός, όσο μειώνεται η κοκκομετρία αυξάνεται η απόκλιση μεταξύ των διαχωρισθέντων, με τα βυθισθέντα να κυριαρχούν ποσοτικά και αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε παγίδευση των λεπτομερών επιπλεόντων στα βυθισθέντα, σε συνδυασμό με έναν βαθμό δυσκολίας σε ό,τι αφορά την αποκομιδή των τεμαχιδίων από την δεξαμενή-κουβά.

Επίσης, στο κοκκομετρικό κλάσμα +10mm παρατηρήθηκε θετική απώλεια με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ένα μικρή ποσότητα CaCO_3 παρέμεινε στην επιφάνεια των τεμαχίων του πλαστικού και αύξησε το βάρος έναντι του αρχικού, αν και μετά το πέρας του διαχωρισμού πραγματοποιήθηκε ενδεδειγμένη έκλυση.

2.4.4 Ποιοτικός έλεγχος PVC και FTIR

Τα δείγματα ανάμικτου πλαστικού προερχόμενα από βαρυτομετρικό διαχωρισμό υπέστησαν ποιοτικούς ελέγχους PVC με FTIR σε ιδιωτικό Χημικό Εργαστήριο με δαπάνες της Εταιρείας, προκειμένου να γίνουν αντιληπτά ορισμένα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του διαχωρισθέντος μείγματος σε συγκεκριμένα κοκκομετρικά κλάσματα (+10mm) και σε συγκεκριμένα βαρέα διάμετρα (νερό, K_2CO_3).

Δείγμα Νο1: Είναι το δείγμα, το οποίο έχει κοκκομετρικό μέγεθος +10mm, επέπλευσε στο νερό και έχει βάρος $W=482,4$ g.

Περιγραφή του δείγματος Νο1: Τρίμμα πλαστικό, επισημαίνεται ότι αναλύθηκαν ξεχωριστά τα διαφορετικά μέρη του υλικού. Τα άσπρου χρώματος τεμάχια της σωρού F και τα μαύρου χρώματος τεμάχια της σωρού Z.



Εικόνα 29: Δείγμα Νο1

Σωρός F- Άσπρο χρώμα

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο για PVC, το υλικό βρέθηκε ότι δεν περιέχει PVC. Τα αποτελέσματα φάσματος FTIR έδειξαν ότι το υλικό είναι μείγμα τεμαχίων ABS (Acrylonitrile- Butadiene – Styrene) και PP (polypropylene).

Σωρός Z- Μαύρο χρώμα

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο για PVC, το υλικό βρέθηκε ότι περιέχει PVC. Τα αποτελέσματα φάσματος FTIR έδειξαν ότι το υλικό είναι PS (Polystyrene).

Δείγμα Νο10: Είναι το δείγμα, το οποίο έχει κοκκομετρικό μέγεθος +10mm, επέπλευσε στο διάλυμα K_2CO_3 με $\epsilon.\beta=1,08$ και έχει βάρος $W=796,4g$.

Περιγραφή του δείγματος Νο10: Τρίμμα πλαστικό, επισημαίνεται ότι αναλύθηκαν ξεχωριστά τα διαφορετικά μέρη του υλικού. Τα μαύρου χρώματος τεμάχια του σωρού I και τα άσπρου χρώματος τεμάχια του σωρού H.



Εικόνα 30: Δείγμα Νο10

Σωρός I- Μαύρο χρώμα

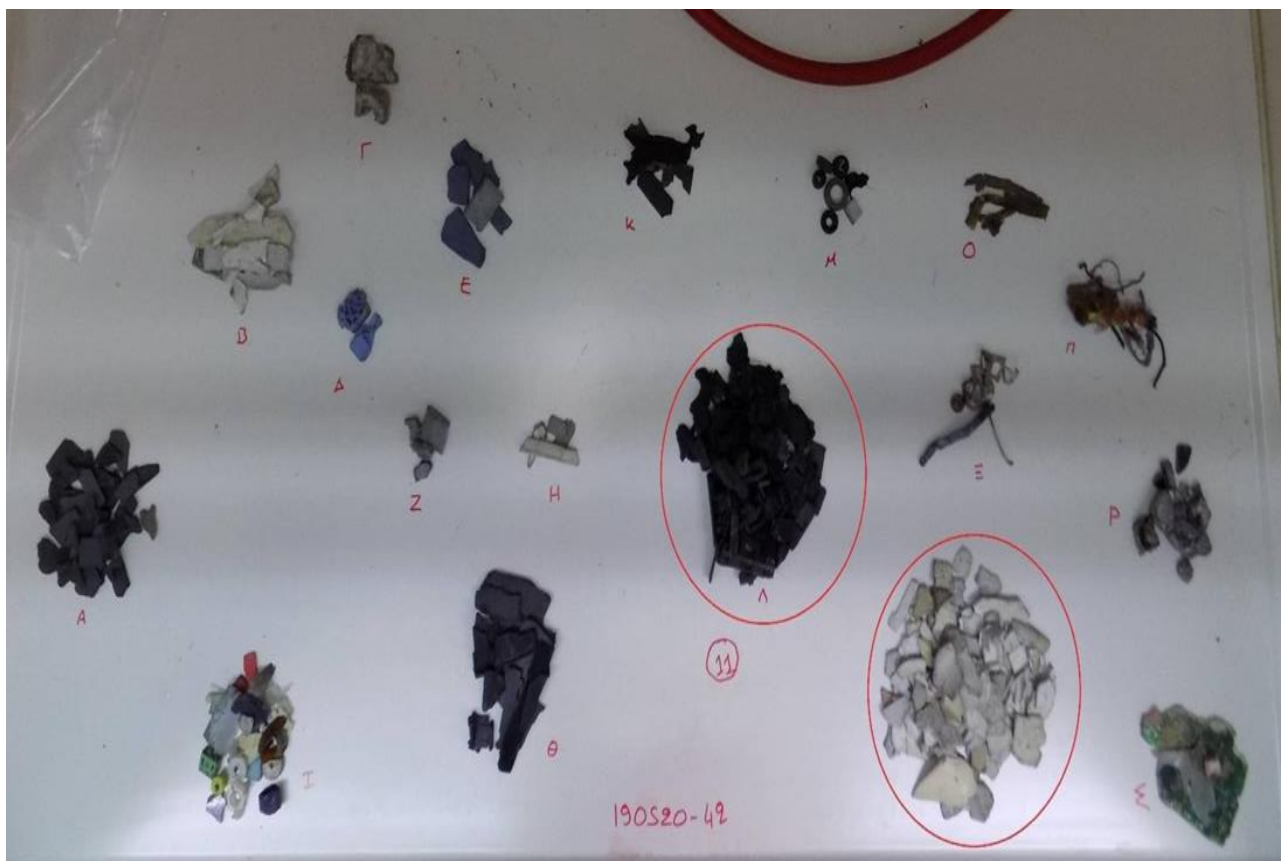
Κατά τον ποιοτικό έλεγχο για PVC το υλικό βρέθηκε ότι δεν περιέχει PVC. Τα αποτελέσματα φάσματος FTIR έδειξαν ότι το υλικό είναι PS (Polystyrene) ενώ, έπειτα από μέγιστη ταυτοποίηση προσδιορίστηκε ότι είναι Fortilene 8141.

Σωρός Η- άσπρο χρώμα

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο PVC, το υλικό βρέθηκε ότι δεν περιέχει PVC. Τα αποτελέσματα φάσματος FTIR έδειξαν ότι το υλικό είναι μείγμα τεμαχίων ABS (Acrylonitrile- Butadiene – Styrene) και PP (Polypropylene).

Δείγμα Νο11: Είναι το δείγμα, το οποίο έχει κοκκομετρικό μέγεθος +10mm, βυθίστηκε σε διάλυμα K_2CO_3 με $\epsilon.\beta=1,08$ και έχει βάρος $W=756,6g$.

Περιγραφή του δείγματος Νο11: Τρίμμα πλαστικό, επισημαίνεται ότι αναλύθηκαν ξεχωριστά τα διαφορετικά μέρη του υλικού. Τα μαύρου χρώματος τεμάχια του σωρού Λ και τα άσπρου χρώματος τεμάχια του σωρού χωρίς αρίθμηση.



Εικόνα 31: Δείγμα Νο11

Σωρός Α- Μαύρο χρώμα

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο PVC, το υλικό βρέθηκε ότι δεν περιέχει PVC. Τα αποτελέσματα φάσματος FTIR έδειξαν ότι το υλικό είναι PS (Polystyrene).

Σωρός Λευκός χωρίς αρίθμηση

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο PVC το υλικό βρέθηκε ότι δεν περιέχει PVC. Τα αποτελέσματα φάσματος FTIR έδειξαν ότι το υλικό είναι μείγμα τεμαχίων ABS (Acrylonitrile- Butadiene – Styrene) και PP (Polypropylene).

Σε ό,τι αφορά τα υπόλοιπα δείγματα δεν έγιναν αναλύσεις, διότι τα λεπτομερή τεμάχια του μείγματος (-5 mm) δεν δύναται να υποστούν εργαστηριακές αναλύσεις ενώ για τα υπόλοιπα χονδρομερή το κόστος είναι εξαιρετικά μεγάλο.

Κεφάλαιο 3. Παρατηρήσεις

Σε ό,τι αφορά την πειραματική διαδικασία που έλαβε χώρα, οι διαχωρισμοί που πραγματοποιήθηκαν δεν ήταν αρκετά αποδοτικοί.

- Παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια του διαχωρισμού ότι τεμάχια, τα οποία προορίζονταν να καταβυθιστούν με την βοήθεια της μηχανικής ανάδευσης ανέβαιναν συνεχώς στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να τα λαμβάνουμε ως επιπλέοντα. Επίσης, η αντίσταση των πλαστικών στην βύθιση, όταν αυτά βρίσκονται στην διεπιφάνεια αέρα-υγρού έπαιξε ουσιαστικό ρόλο.
- Η ποσοτική υπεροχή των βυθισθέντων στον διαχωρισμό με $\epsilon.\beta = 1$ σε νερό έδειξε ότι η πλειοψηφία των πλαστικών είχε $\epsilon.\beta. > 1$.
- Η μείωση των κοκκομετρικών κλασμάτων δυσχέραινε την αποκομιδή του επιπλέοντος υλικού σε σημαντικό βαθμό.
- Υπήρξε παγίδευση τεμαχίων στο βυθισθέν προϊόν καθώς πλαστικά που προορίζονταν να επιπλεύσουν, καταβυθίστηκαν.
- Στα τρία δείγματα βρέθηκαν σημαντικές ποσότητες ABS (Ακρυλονιτρίδιο - βουταδιένιο – στυρένιο) και PS (πολυστυρένιο). Για το δείγμα Νο10, το οποίο επέπλευσε στο K_2CO_3 , είναι λογικό, καθώς ο διαχωρισμός έχει γίνει σε εύρος πυκνοτήτων $1.00-1.08\text{g/cm}^3$ [σημειώνεται ότι το ειδικό βάρος του ABS κυμαίνεται μεταξύ του εύρους $1,06-1,08\text{ gr/cm}^3$, του PP κυμαίνεται μεταξύ του εύρους $0,855-0,946\text{ gr/cm}^3$ και του PS μεταξύ του εύρους $0,96-1,05\text{ gr/cm}^3$] αλλά στα δείγματα 1 και 11 δεν αναμενόταν η ανίχνευση αυτού του είδους των πλαστικών, πράγμα το οποίο εξηγείται σε μεγάλο βαθμό στις προαναφερθείσες παρατηρήσεις.

Κεφάλαιο 4.Βιβλιογραφία

1. «Plastics for electronics», Martin Goosey, Springer – Science+Business Media BV, UK, 1999
2. Σημειώσεις του μαθήματος «Πολυμερή και Σύνθετα Υλικά», Ευάγγελος Μητσούλης, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2008
3. Διπλωματική Εργασία «Νομοθετικό πλαίσιο, Έρευνα αγοράς και καταγραφή τεχνικών διαχωρισμού ΑΗΗΕ στην Ελλάδα», Μπατζιά Ελένη, ΕΜΠ, 2013
4. P. Gramatyka*, R. Nowosielski, P. Sakiewicz, “Recycling of waste electrical and electronic equipment”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 20, p. 535-537, 2007
5. J. Yla-Mella, E. Pongracz, R. Keiski, Recovery of WEEE in Finland, Proceedings of the Waste Minimization and Resources Use Optimization Conf., Oulu, 2004, 83-92.
6. H. Antrekowitsch, M. Potesser, W. Spruzina, F. Prior, Metallurgical recycling of electronic scrap, Proceedings of EPD Congress, 2006, 899-908.
7. R. Wawrzonek, The prognosis of waste electrical and electronic equipment (WEEE) in Poland, Proceedings of the Scientist Conference “Young scientist towards to modern technology”, Warsaw 2006, 61-68.
8. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).
9. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS)
10. M.S. Sodhi, B. Reimer, Models for recycling electronics end-of-life products, OR Spektrum, 23 (2001) 97-115.
11. E.Y.L. Sum, The recovery of metals from electronic scrap, Journal of Metallurgy, 43 (1991) 53-61.
12. M. R. Gent, M. Merendez, J. Torano, I. Diego, “Recycling of plastic waste by density separation: prospects for optimization, Waste Manag Res 2009 27, p. 175-185.
13. Buchan, R. & Yarar, B. (1995) Recovering plastics for recycling by mineral processing techniques. The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, February, 52–55.
14. Campbell, P.E., Evans, R.H., McMullan, J.T. & Williams, B.C. (2001) The potential for adding plastic waste fuel at a coal gasification power plant. Waste Management & Research, 12, 526–532
15. Jody, B.J. & Daniels, E.J. (2006) End-of-life Vehicle Recycling: The State of the Art of resource Recovery from Shredder Residue. ANL/ESD/07-8, 130 p. National Technical Information Service, US Department of Commerce, Springfield, VA 22161, USA. [http://www.es.anl.gov/Energy_systems/CRADA_Team_Link/publications/Recycling_Report_\(print\).pdf](http://www.es.anl.gov/Energy_systems/CRADA_Team_Link/publications/Recycling_Report_(print).pdf) (accessed 16 October 2008).
16. Menke, D., Fiedler, H. & Zwahr, H. (2003) Don't ban PVC: Incinerate and recycle it instead! Waste Management & Research, 21, 172–177
17. PlasticsEurope (2007a) An analysis of plastics production, demand and recovery for 2005 in Europe. PlasticsEurope, 21 pp.

18. PlasticsEurope (2007b) Press Release 9 May 2007, 1 p. Association of Plastics Manufacturers in Europe (AISBL), Brussels, Belgium.
19. SiCon GmbH, (2008a) VW-SiCon Process. <http://en.sicontechnology.com/index.asp?id=30> (accessed 16 October 2008).
20. SiCon GmbH, (2008b) Polyfloat the technology for plastic separation, 2pp. SiCon GmbH, Hilchenbach, Germany.
21. Themelis, N.J., Kim, Y.H. & Brady, M.H. (2002) Energy recovery from New York City municipal solid wastes. *Waste Management & Research*, 20, 223–233.
22. Jody, B.J. & Daniels, E.J. (1999) Recovery of Flexible Polyurethane Foam from Shredder Residue. ANL/ESD/TM-152, 28 pp. National Technical Information Service, US Department of Commerce, Springfield, VA, USA.
23. Daniels, E. (2004) Froth-Flotation. An Innovative Plastics Recycling Process. Developed by Argonne National Laboratory, 7 pp. National Technical Information Service, US Department of Commerce, Springfield, VA, USA. http://www.es.anl.gov/Energy_Systems/Process_Engineering/Current_Projects/Documents/FROTH.pdf (accessed 16 October 2008).
24. de Araújo, M.C.P.B., Chaves, A.P., Espinosa, D.C. & Tenorio, J.A.S. (2007) Electronic scraps – Recovering of valuable materials from parallel wire cables. *Waste Management*, 28, 2177–2182.
25. Menéndez, M., Gent, M., Toraño, J. & Diego, I. (2007) Optimization of multigravity separation for recovery of ultrafine coal. *Minerals & Metallurgical Processing*, 24, 253–263.
26. Nourreddine, M. (2007) Recycling of auto shredder residue. *Journal of Hazardous Materials*, A139, 481–490.
27. Krinke, S., Boßdorf-Zimmer, B. & Goldmann, D. (2006) The Volkswagen- SiCon Process: Eco-efficient solution for future end-of-life vehicle treatment. In: Proc. of LCE2006, pp. 359–364, 13th edition CIRP International conference on Life Cycle Engineering, Leuven, Belgium
28. Kobler, R., Christiansen, S. & Foss, H. (2004) Successful pilot processing of computer plastics into separate streams of brominated and phosphate flame retardant categories with RPI's 'Skin Flotation' Technology. In Global Plastics Environmental Conference 2004. Paper Abstract #32, 10 pp. Plastics Environmental Division, Society of Plastics Engineers, Lindale, GA, USA.
29. Solvay S.A. (2007) Vinyloop. Vinyloop Ferrara SpA, <http://www.vinyloop.com/> (accessed 16 October 2008).
30. Hansen, O.G. (2004) Chemical recycling of PVC waste at Stignæs. PVC Information Council, Denmark, [http://www.pvcinfo.be/bestanden/Stignæs%20UK.pdf](http://www.pvcinfo.be/bestanden/Stign%C3%A6s%20UK.pdf) (accessed 16 October 2008).
31. J. Cui, E. Forssberg, "Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review", *Journal of Hazardous Materials*, p. 243-263, 2003
32. A. Gungor, S.M. Gupta, Disassembly sequence planning for products with defective parts in product recovery, *Comput. Ind. Eng.* 35 (1998) 161–164.

33. R.J. Wilson, T.J. Veasey, D.M. Squires, Application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes, *Miner. Eng.* 7 (1994) 975–984
34. M. Furuuchi, K. Gotoh, Shape separation of particles, *Powder Technol.* 73 (1992) 1–9.
35. H. Ohya, S. Endoh, M. Yamamoto, H. Iwata, Analysis of particle motion regarding shape separation using an inclined conveyor, *Powder Technol.* 77 (1993) 55–59.
36. M. Furuuchi, C. Yamada, K. Gotoh, Shape separation of particulates by a rotating horizontal sieve drum, *Powder Technol.* 75 (1993) 113–118.
37. M. Furuuchi, K. Gotoh, Continuous shape separation of binary mixture of granular particles, *Powder Technol.* 54 (1988) 31–37.
38. S. Koyanaka, H. Ohya, S. Hitoshi, S. Endoh, H. Iwata, P. Ditl, Recovering copper from electric cable wastes using a particle shape separation technique, *Adv. Powder Technol.* 8 (1997) 103–111.
39. S. Owada, Y. Kiuchi, S. Yamagata, T. Harada, in: H. Hoberg, H. von Blottnitz (Eds.), Physical separation of the devices in televisions and personal computers for elemental concentration, in: *Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress*, vol. 5, Aachen, Germany, GDMB, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 1997, pp. 261–272.
40. R. Meier-Staude, R. Koehnlechner, Elektrostatische trennung von leiter/nichtleitergemischen in der betrieblichen praxis (electrostatic separation of conductor/non-conductor mixtures in operational practice), *Aufbereitungs-Technik* 41 (2000) 118–123.
41. H.G. Schubert, G. Warlitz, Sorting metal/non-metal mixtures using a corona electrostatic separator, *Aufbereitungs-Technik* 35 (1994) 449–456.
42. W.L. Dalmijn, J.A. van Houwelingen, New developments in the processing of the non-ferrous metal fraction of car scrap, in: P.B. Queneau, R.D. Peterson (Eds.), in: *Proceedings of the Third International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials*, Point Clear, TMS, Warrendale, USA, 1995, pp. 739–750.
43. D.A. Norrgran, J.A. Wernham, Recycling and secondary recovery applications using an Eddy-current separator, *Miner. Metal. Proc.* 8 (1991) 184–187.
44. H. Hoberg, Applications of mineral processing in waste treatment and scrap recycling, in: *Proceedings of the XVIII International Mineral Processing Congress*, Sydney, Australia, 1993, Australasian Institute of Mining & Metallurgy, Parkville, Australia, 1993, pp. 27.
45. W.L. Dalmijn, J.A. van Houwelingen, Glass recycling in The Netherlands, *Glass* 73 (1996) 3.
46. M. Meyer, Development and realization of shredder fluff recycling, in: P.B. Queneau, R.D. Peterson (Eds.), in: *Proceedings of the Third International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials*, Point Clear, TMS, Warrendale, USA, 1995, pp. 765–776.
47. J.A. Wernham, J.A. Marin, D.E. Heubel, Aluminum removal from recycled pet, in: *Proceedings of the First International Conference on Processing Materials for Properties*, Honolulu, TMS, Warrendale, USA, 1993, pp. 759–762.
48. H. Schubert, Wirbelstromsortierung—grundlagen, scheider, anwendungen, (Eddy current separation—foundations, separators, application), *Aufbereitungs-Technik* 35 (1994) 553–562.

49. G.I. Mathieu, R. Provencher, J.G. Tellier, Mechanical sorting of aluminum metal from spent potlining, in: Proceedings of the 119th TMS Annual Meeting, Anaheim, TMS, Warrendale, USA, 1990, pp. 361–367.
50. A. Iuga, V. Neamtu, I. Suarasan, R. Morar, L. Dascalescu, Optimal high-voltage energization of corona-electrostatic separators, *IEEE T. Ind. Appl.* 34 (1998) 286–293.
51. A. Iuga, L. Dascalescu, R. Morar, I. Csorvassy, V. Neamtu, Corona—electrostatic separators for recovery of waste non-ferrous metals, *J. Electrostat.* 23 (1989) 235–243.
52. L. Dascalescu, R. Morar, A. Iuga, A. Samuila, V. Neamtu, I. Suarasan, Charging of particulates in the corona field of roll-type electroseparators, *J. Phys. D Appl. Phys.* 27 (1994) 1242–1251.
53. L. Dascalescu, A. Samuila, A. Iuga, R. Morar, I. Csorvassy, Influence of material superficial moisture on insulation-metal electroseparation, *IEEE T. Ind. Appl.* 30 (1994) 844–849.
54. G. Schubert, Aufbereitung der NE-metallschrotte und NE-metallhaltigen abfaelle—teil 1 (processing of scrap and refuse containing non-ferrous metals—part 2), *Aufbereitungs-Technik* 32 (1991) 78.
55. Pongstabodee, S.; Kunachitpimol, N. & Damronglerd, S. (2008) Combination of three-stage sink-float method and selective flotation technique for separation of mixed post-consumer plastic waste. *Waste Management*, 28, 475–483.
56. Schlummer, M., Mäurer, A., Leitner, T. & Spruzina. W. (2006) Report: Recycling of flame-retarded plastics from waste electric and electronic equipment (WEEE). *Waste Management & Research*, 12, 573–583.