

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΑΝΔΡΙΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ (Α.Μ. 6588)
 ΜΠΑΝΤΟΥΝΑΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ (Α.Μ. 6822)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και έχει ως θέμα τη λειτουργία των μονάδων ανακύκλωσης υλικών.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η παρουσίαση των τεχνολογιών και του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην ανακύκλωση των σημαντικότερων υλικών.

Θέλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Παναγιωτάρα Διονύσιο για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια που μας προσέφερε.

Ανδριόπουλος Θεόδωρος
Μπαντούνας Λεωνίδα
11 Μαρτίου 2021

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές
Ανδριόπουλος Θεόδωρος Μπαντούνας Λεωνίδα

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για την ανακύκλωση των υλικών. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά όλες οι διαδικασίες ανακύκλωσης των πλαστικών απορριμμάτων. Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην ανακύκλωση των οικοδομικών υλικών. Παρουσιάζεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός και οι διαδικασίες ανακύκλωσης. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία ανακύκλωσης του χαρτιού. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία ανακύκλωσης του χάλυβα του αλουμινίου και του χαλκού. Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η ανακύκλωση του γυαλιού. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο περιέχονται τα συμπεράσματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Η σημασία της ανακύκλωσης.....	4
1.3 Η ανακύκλωση στην Ελλάδα.....	8
2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ	
2.1 Γενικά.....	11
2.2 Δευτερογενής ανακύκλωση	12
2.2.1 Συλλογή πλαστικών απορριμμάτων	14
2.2.2 Τεμαχισμός	15
2.2.3 Κοσκίνισμα	16
2.2.4 Διαλογή	16
2.2.5 Μορφοποίηση	22
2.3 Τριτογενής ανακύκλωση	27
2.4 Τεταρτογενής ανακύκλωση	28
2.5 Ανακύκλωση ελαστικών.....	30
3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	
3.1 Γενικά.....	31
3.2 Διαδικασία	32
3.3 Μεταφορά	34
3.4 Διαλογή	37

3.5 Θραύση	38
3.6 Αξιοποίηση των προϊόντων	43
4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ	
4.1 Γενικά.....	45
4.2 Συλλογή	47
4.3 Πολτοποίηση	48
4.4 Καθαρισμός	51
4.5 Απομελάνωση	52
5. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	
5.1 Γενικά.....	55
5.2 Ανακύκλωση χάλυβα	57
5.2.1 Επεξεργασία απορριμμάτων	57
5.2.2 Διαδικασίες τήξης απορριμμάτων χάλυβα	60
5.3 Ανακύκλωση χαλκού	62
5.4 Ανακύκλωση αλουμινίου	65
6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ	
6.1 Γενικά.....	69
6.2 Ανακύκλωση κλειστού βρόχου	70
6.3 Ανακύκλωση ανοικτού βρόχου	72
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες η υπερκατανάλωση προϊόντων είχε ως συνέπεια τη δραματική αύξηση των στερεών απορριμμάτων και την εξάντληση των φυσικών πόρων. Η αύξηση της ποσότητας των απορριμμάτων σε συνδυασμό και με το αυξημένο κόστος λειτουργίας των χώρων διάθεσης καθώς και των εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης καθιστούν επιτακτική την ανάγκη της ανακύκλωσης των απορριμμάτων. Σκοπός της ανακύκλωσης είναι η διατήρηση των φυσικών πόρων, η εξοικονόμηση ενέργειας και η προστασία του περιβάλλοντος.

Τα στερεά απορρίμματα αποτελούνται από τα αστικά ή δημοτικά στερεά απορρίμματα, αγροτικά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα λατομείων, απόβλητα εκσκαφών και κατεδαφίσεων και επικίνδυνα στερεά απόβλητα. Τα στερεά αστικά απορρίμματα αποτελούνται από οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά απορρίμματα, απόβλητα οδοκαθαρισμού, κήπων κ.τ.λ. Τα τοξικά ή επικίνδυνα στερεά απόβλητα όπως νοσοκομειακά, σφαγείων κ.τ.λ. δεν υφίστανται κοινή διαχείριση με τα υπόλοιπα στερεά απόβλητα και πρέπει να έχουν ιδιαίτερη μεταχείριση.

Τα τελευταία χρόνια στην Ε.Ε. η ταφή των στερεών αποβλήτων συνεχώς μειώνεται με αντίστοιχη αύξηση της αποτέφρωσης και της ανακύκλωσης/κομποστοποίησης.

Στην Ελλάδα οι ετήσιες ποσότητες των οικιακών απορριμμάτων είναι 4,5 εκατομμύρια τόνοι και ο ρυθμός αύξησης είναι 1,5-2,5% ετησίως. Τα απορρίμματα αυτά καταλήγουν σε 5000 σκουπιδότοπους από τους οποίους οι περισσότεροι λειτουργούν χωρίς στοιχειώδεις κανόνες ταφής. Η διάθεση των απορριμμάτων χωρίς κανόνες οδηγεί στην ρύπανση του εδάφους, των υπόγειων και επιφανειακών νερών και της ατμόσφαιρας. Το κόστος διαχείρισης ανέρχεται στο 1 δις. ευρώ χωρίς να υπάρχει καμία δυνατότητα αξιοποίησης.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ανακύκλωση και γενικότερα η σωστή διαχείριση των απορριμμάτων μπορεί να οδηγήσει σε πολύ σημαντικά οικονομικά, κοινωνικά και

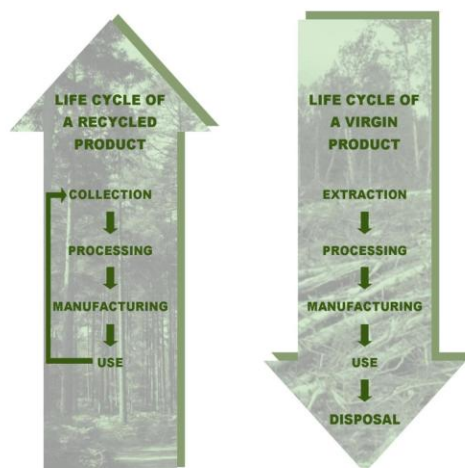
περιβαλλοντικά οφέλη. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει μια μεγάλη προσπάθεια με την κατασκευή μονάδων διαχείρισης/ανακύκλωσης απορριμμάτων σε όλες τις περιφέρειες της χώρας.

1. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανακύκλωση είναι η διαδικασία με την οποία επαναχρησιμοποιούνται διάφορα υλικά ή οποιοδήποτε προϊόν της ανθρώπινης δραστηριότητας και το οποίο στην μορφή που είναι δεν αποτελεί πλέον αγαθό για τον άνθρωπο. Στη διαδικασία αυτή συνήθως τα απορρίμματα μετατρέπονται σε πρώτες ύλες από τις οποίες παράγονται νέα προϊόντα. Είναι μια δυναμική διαδικασία που αποκαθιστά τον κύκλο ζωής ενός υλικού.

Η διαδικασία της ανακύκλωσης αποτελείται από τρία βήματα τα οποία κλείνουν έναν κύκλο. Το πρώτο βήμα είναι η συλλογή σε ειδικά δοχεία ή χώρους. Το δεύτερο βήμα είναι η επεξεργασία και η εμπορία των πρώτων υλών που προέρχονται από την ανακύκλωση. Τα υλικά ταξινομούνται και στη συνέχεια πωλούνται. Το τρίτο βήμα είναι η κατασκευή. Τα ανακυκλώσιμα μετατρέπονται σε νέα προϊόντα και εισέρχονται ξανά στην αγορά ως καταναλωτικά αγαθά.



Σχήμα 1.1 Ο κύκλος ζωής ενός ανακυκλωμένου και ενός παρθένου προϊόντος [16].

Η μείωση των στερεών αποβλήτων και συνεπώς η άμβλυση του προβλήματος διάθεσης των στερεών αποβλήτων είναι από μόνη της ένας καλός λόγος για ανακύκλωση. Ωστόσο, δεν είναι ο μόνος λόγος. Τα οφέλη από την ανακύκλωση είναι πολλά και σημαντικά γιατί:

- διατηρεί τους φυσικούς πόρους
- εξοικονομεί ενέργεια
- μειώνει τη ρύπανση του περιβάλλοντος
- δημιουργεί θέσεις εργασίας σε τοπικές βιομηχανίες

Τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι:

- Πλαστικό
- Χαρτί
- Γυαλί
- Μεταλλικά υλικά
- Αδρανή υλικά
- Ηλεκτρονικές συσκευές
- Μπαταρίες
- Λάδι μαγειρικό και λιπαντικό
- Ελαστικά αυτοκινήτων
- Τα βιοδιασπώμενα απόβλητα, όπως τα υπολείμματα τροφίμων ή τα απόβλητα κήπων και καλλιέργειών, είναι επίσης ανακυκλώσιμα με τη βοήθεια μικροοργανισμών μέσω της λιπασματοποίησης (κομποστοποίησης) ή της αναερόβιας χώνευσης.

1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η επαναχρησιμοποίηση υλικών ελαχιστοποιεί την ανάγκη πρώτων υλών και αυτό αποτρέπει εγγενώς τη ζημιά στο περιβάλλον και την επιδείνωση της φυσικής ισορροπίας από την κατανάλωση, η οποία αυξάνεται ανάλογα με τον πληθυσμό. Επιπλέον, η χρήση ανακυκλωμένων υλικών παρέχει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, η επαναχρησιμοποίηση υλικών αλουμινίου αντί της παραγωγής από ακατέργαστες πρώτες ύλες παρέχει εξοικονόμηση ενέργειας 35%, κάτι που είναι πολύ ευνοϊκό για όλους,

συμπεριλαμβανομένου του παραγωγού και του τελικού χρήστη. Υπάρχει ένα όριο στην ποσότητα πετρελαίου στη Γη από την οποία μπορούμε να κατασκευάσουμε πλαστικό, και ένα όριο στο ποσότητα μεταλλεύματος αλουμινίου για κατασκευή δοχείων. Οι πόροι αυτοί δεν είναι ανεξάντλητοι. Η ανακύκλωση μειώνει την κατανάλωση αυτών των πόρων. Επίσης, όταν χρησιμοποιούνται ανακυκλωμένα υλικά χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν νέα προϊόντα, δεν μπαίνουν σε χωματερές ή χώρους υγειονομικής ταφής, επομένως δεν προκαλούν ρύπανση του εδάφους και του υπεδάφους. Η παραγωγή προϊόντων από ανακυκλωμένα υλικά καταναλώνει πολύ λιγότερη ενέργεια από την παραγωγή των ίδιων προϊόντων από πρώτες ύλες. Λιγότερη κατανάλωση ενέργειας σημαίνει λιγότερα αέρια θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Η μείωση αυτών των εκπομπών επιβραδύνει την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ανακύκλωση ενός πλαστικού μπουκαλιού μπορεί να εξοικονομήσει την απαιτούμενη ενέργεια για να λειτουργήσει ένας μέσος λαμπτήρας για έξι ώρες.

Το γυαλί ήταν ένα ακριβό υλικό μέχρι το 1800 όταν ξεκίνησε η μαζική παραγωγή γυάλινων δοχείων. Σήμερα, οι πρώτες ύλες είναι πιο εύκολα διαθέσιμες, οπότε είναι φθηνό να φτιαχτεί. Το γυαλί είναι κατασκευασμένο από τρία κύρια συστατικά: άμμος, ανθρακικό νάτριο και ασβεστόλιθος. Τα συστατικά προστίθενται μαζί σε φούρνο και μετά θερμαίνονται μέχρι να λιώσουν. Το λιωμένο γυαλί χύνεται σε καλούπια ή φουσκώνεται για να φτιάξει φιάλες ή άλλα δοχεία. Η κατασκευή γυαλιού χρειάζεται θερμότητα, η οποία συνήθως παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων.

Το ενδιαφέρον για την επαναχρησιμοποίηση των περιορισμένων πόρων και των παραγόμενων προϊόντων αυξάνεται με την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, την κατανάλωση των φυσικών πόρων και την αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον. Η ανακύκλωση βοηθάει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος. Η ανακύκλωση μειώνει σημαντικά την ποσότητα των αποβλήτων σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων ή την ποσότητα των αποβλήτων που εναποτίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Πολλές περιοχές υγειονομικής ταφής στον κόσμο έχουν σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές επιδράσεις στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα των τοξικών χημικών ουσιών από τα αποσυντιθέμενα στερεά απόβλητα. Παρόλα αυτά

υπάρχουν πολλά παραδείγματα επικίνδυνων χημικών ουσιών που προκαλούν μόλυνση των υδάτινων πόρων.

Η αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων είναι αποδοτική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά δημιουργεί ένα επιπλέον κόστος όσον αφορά την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων θερμοκηπίου. Επομένως, ο ρυθμός ανακύκλωσης πρέπει να αυξηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο με την αποτέφρωση να παραμένει ως λύση ανάγκης. Η ανακύκλωση αποτρέπει την εγκατάλειψη των αποβλήτων στη φύση. Η ανακύκλωση των πλαστικών, των μετάλλων, του γυαλιού και του χαρτιού παρέχει σημαντική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, εάν υποθεθεί ότι 100 μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός μεταλλικού κουτιού από πρώτες ύλες, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθεί σε 5 μονάδες για παραγωγή νέου μεταλλικού κουτιού από επαναχρησιμοποιημένο μεταλλικό κουτί.

Η ανακύκλωση προστατεύει τους φυσικούς πόρους. Οι φυσικοί πόροι μειώνονται συνεχώς λόγω της αύξησης του πληθυσμού και των αλλαγών στις καταναλωτικές συνήθειες του κόσμου. Η ανακύκλωση θεωρείται η ενδεδειγμένη λύση για τη μείωση της κατανάλωσης πρώτων υλών και για την ορθολογική και αποτελεσματική εκμετάλλευση των φυσικών πόρων.

Ας δούμε μερικά παραδείγματα του πως η ανακύκλωση συμβάλλει σημαντικά στην αποφυγή εξάντλησης των περιορισμένων πόρων, ενέργειας και πρώτων υλών.

Η ανακύκλωση 1 τόνου χάλυβα εξαλείφει την απαίτηση για περίπου 1,2 τόνου σιδήρου ως πρώτη ύλη, εξαλείφει την ενεργειακή απαίτηση που προέρχεται από την καύση 800 κιλών άνθρακα και εξαλείφει περίπου την απαίτηση για 70 κιλά ασβέστη. Μέσω της ανακύκλωσης όλων των ειδών χαρτιού μπορεί να αποφευχθεί η κοπή εκατομμυρίων δέντρων. Η ανακύκλωση του χαρτιού σε σχέση με την παραγωγή του από παρθένες πρώτες ύλες προσφέρει μείωση της χρήσης νερού κατά 45% ενώ η μείωση στην ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται είναι από 74-94%. Πολύτιμα μέταλλα (χρυσός, ασήμι, ταντάλιο, τιτάνιο, ρόδιο κ.τ.λ.), άλλα μέταλλα (χαλκός, αλουμίνιο, νικέλιο κ.τ.λ.) έλαια (φυτικά έλαια, βιομηχανικά έλαια) ονομάζονται πεπερασμένοι πόροι και αργά ή γρήγορα θα καταναλωθούν οπωσδήποτε.

Πολλοί από τους κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων και υπολογιστών προοδευτικά ξεκίνησαν να ανακυκλώνουν τα κατεστραμμένα ή παρωχημένα προϊόντα με δική τους πρωτοβουλία.

Η ανακύκλωση διευκολύνει τη δημιουργία ισχυρής οικονομίας. Μείωση κόστους για παραγωγή ενέργειας, προστασία των πόρων, επαγγελματική ανάπτυξη κ.τ.λ., είναι οι καθοριστικές παράμετροι για τα κράτη για να χτίσουν μία ισχυρή οικονομία. Συνήθως, κατά τις περιόδους οικονομικής ύφεσης, τα ανακυκλώσιμα προϊόντα ακόμη και αν υποστούν την ίδια καθίζηση τιμών με τα άλλα προϊόντα, μεταβαίνουν στις τιμές προ κρίσης πολύ ταχύτερα από όλα τα άλλα προϊόντα. Ένας από τους τομείς που αντιμετωπίζουν ελάχιστο αντίκτυπο από την οικονομική κρίση είναι ο τομέας της ανακύκλωσης. Ο πιο σημαντικός λόγος γι αυτό είναι γιατί η ανακύκλωση προσφέρει διαθεσιμότητα πρώτων υλών με τους πιο οικονομικούς όρους.

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο προηγμένες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στην ανακύκλωση. Δημόσιοι φορείς και ιδιώτες σημειώνουν αξιοσημείωτα κέρδη από την ενασχόλησή τους με την αποθήκευση, τη συλλογή και επεξεργασία των αποβλήτων. Η ανακύκλωση είναι μια σημαντική πηγή εσόδων. Οι υποδομές και οι επενδύσεις που απαιτούνται έχουν αρκετά υψηλό κόστος, αλλά με τη σωστή εφαρμογή και την εκμετάλλευση των επιστημονικών γνώσεων είναι δυνατή η απόσβεση της αρχικής επένδυσης σε σύντομο χρόνο.

Η ανακύκλωση αποτελεί επάγγελμα. Αποτελεί ένα ευρύτερο πεδίο απασχόλησης σε σύγκριση με την αποτέφρωση των αποβλήτων. Σε μια περίοδο που χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά ανεργίας, ένα τέτοιο όφελος δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί ασήμαντο. Η ανακύκλωση δημιουργεί θέσεις εργασίας επιστημονικού προσωπικού ειδικευμένων αλλά ανειδίκευτων ατόμων.

Τέλος, η ανακύκλωση έχει ευεργετικές συνέπειες στην κοινωνία. Πρέπει να είναι μία κοινή προσπάθεια όλων των πολιτών σε συνεργασία με τους κρατικούς φορείς και τους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης. Είναι ένας τρόπος ευαισθητοποίησης των πολιτών για τα γενικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα.

1.3 Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το 2010 η Ελλάδα βρισκόταν στην τελευταία θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση ως προς την ανακύκλωση. Ένας λόγος είναι ότι δεν υπάρχουν για τους πολίτες και τις εταιρίες κίνητρα να συμμετέχουν σε προγράμματα ανακύκλωσης. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο η ανακύκλωση μπαίνει στη ζωή των Ελλήνων, όμως η Ελλάδα παραμένει στις 2-3 τελευταίες θέσεις των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο θέμα της διαχείρισης των απορριμμάτων.



Εικόνα 1.1 Η μονάδα ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων του νομού Σερρών [8].

Η Ελλάδα εκτρέπει από την ταφή μόνο το 23% των απορριμμάτων της, έναντι 72%, που είναι ο μέσος όρος στην ΕΕ. Η Ελλάδα, σύμφωνα με τον Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ), βρίσκεται 25 με 30 πίσω από τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, αλλά το χάσμα μπορεί να καλυφθεί μέσα σε δέκα χρόνια, αν δρομολογηθούν γρήγορα οι κινήσεις. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΕΟΑΝ, λειτουργούν 22 συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης για επτά ρεύματα αποβλήτων: συσκευασίες (χαρτί-χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί, μέταλλα, ξύλο), οχήματα στο τέλος

κύκλου ζωής, απόβλητα εκσκαφών κατασκευών και κατεδαφίσεων, μεταχειρισμένα ελαστικά οχημάτων, λιπαντικά έλαια, μπαταρίες, είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Υπάρχουν 35 κέντρα διαλογής σε όλη την Ελλάδα, τα οποία υπολειτουργούν, καθότι δέχονται πολύ λιγότερες ποσότητες από αυτές που μπορούν να επεξεργαστούν.

Το υλικό των αστικών αποβλήτων, που συλλέγεται στους μπλε κάδους, θα μπορούσε να είναι ποιοτικότερο και περισσότερο. Η απόρριψη στους μπλε κάδους και μη ανακυκλώσιμων σκουπιδιών δυσχεραίνει πολύ την κατάσταση. Σε αυτήν την περίπτωση μεταφέρονται όλα μαζί, γίνεται η διαλογή, ξεχωρίζονται τα ανακυκλώσιμα, αλλά ήδη έχει χαθεί χρόνος και τελικά λιγότερα ανακυκλώσιμα υλικά καταλήγουν στο εργοστάσιο.

Σημαντικοί λόγοι της καθυστέρησης της χώρας όσον αφορά την ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων είναι η έλλειψη συντονισμού φορέων-οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης-υπουργείων και η απουσία ενός μακρόπνοου σχεδίου, που θα περιλαμβάνει και την ευαισθητοποίηση των πολιτών. Η ανακύκλωση σε επίπεδο διαχείρισης δήμων στην Ελλάδα μπορεί να έχει να διανύσει ακόμη πολλά βήματα, στον ιδιωτικό τομέα όμως λειτουργεί αρκετά καλά. Σε αυτό συνδράμουν και γερμανικές εταιρίες με τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους.



Εικόνα 1.2 Μηχανές περισυλλογής υλικών για ανακύκλωση στο κέντρο της Αθήνας [17].

Το 2020, το Υπουργείο Ανάπτυξης της Ελλάδας ανακοίνωσε την ενίσχυση των υφιστάμενων και νέων επιχειρήσεων που θα δραστηριοποιηθούν στον τομέα της ανακύκλωσης αποβλήτων με ποσοστό έως 55%, μέσω ΕΣΠΑ.

2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

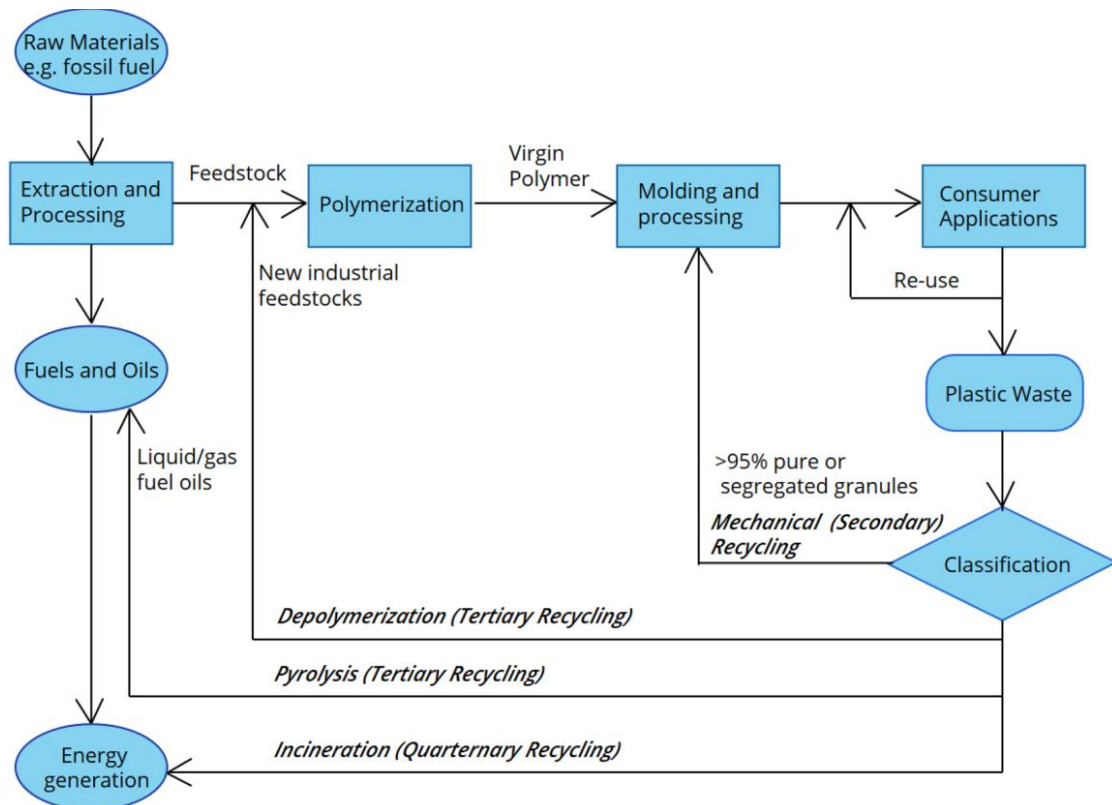
Η αναγκαιότητα της ανακύκλωσης των πλαστικών προκύπτει από τους παρακάτω λόγους:

- Σημαντική αύξηση της κατανάλωσης πλαστικών με αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες πλαστικών απορριμμάτων.
- Τα πλαστικά έχουν γενικά χαμηλή βιοαποικοδομησιμότητα και επομένως συσσωρεύονται στους αποδέκτες.
- Περιέχουν τοξικά πρόσθετα τα οποία εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα.
- Οικονομικά οφέλη και καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων.

Τα βασικά προβλήματα που εμποδίζουν την ανακύκλωση των πλαστικών είναι η μεταβλητότητα στη σύστασή τους, η χρήση προσθέτων και οι επιμολύνσεις με ξένες ουσίες. Είναι φανερό ότι βασική προϋπόθεση για την ανακύκλωση είναι η ύπαρξη αξιόπιστων και οικονομικών μεθόδων διαλογής και καθαρισμού των πολυμερών.

Με τον όρο πρωτογενής ανακύκλωση αναφερόμαστε στην ανακύκλωση που γίνεται μέσα στις ίδιες τις μονάδες παραγωγής πλαστικών. Τα προϊόντα που δεν τηρούν τις προδιαγραφές αναμειγνύονται με καθαρή πρώτη ύλη και επανατροφοδοτούνται στη μονάδα. Αποτελεί τον πιο απλό και οικονομικό τρόπο ανακύκλωσης.

Στη συνέχεια περιγράφεται η δευτερογενής ή μηχανική ανακύκλωση η οποία στοχεύει στην ανάκτηση των πολυμερών για την κατασκευή νέων προϊόντων, η τριτογενής ή χημική ανακύκλωση η οποία στοχεύει στην ανάκτηση των πρώτων υλών και η τεταρτογενής ανακύκλωση των πλαστικών η οποία στοχεύει στην ανάκτηση ενέργειας. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται ο κύκλος της ζωής των πλαστικών, οι μέθοδοι ανακύκλωσης καθώς και τα στάδια του κύκλου ζωής στα οποία επανεισάγονται τα προϊόντα κάθε μεθόδου ανακύκλωσης.



Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου ζωής των πλαστικών και των σημείων στα οποία μπορούν να επανεισαχθούν τα πλαστικά απορρίμματα μετά την επεξεργασία με κάποια από τις μεθόδους ανακύκλωσης [4].

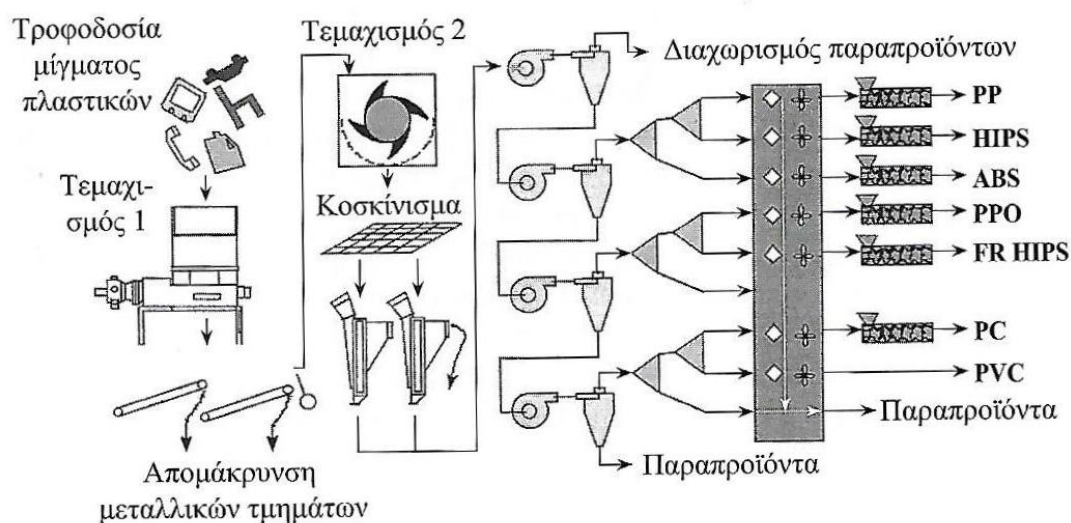
2.2 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Η δευτερογενής ή μηχανική ανακύκλωση πραγματοποιείται στις μονάδες ανακύκλωσης και περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Συλλογή
- Τεμαχισμός
- Κοσκίνισμα
- Διαχωρισμός (διαλογή)
- Μορφοποίηση

Στην συνέχεια χρησιμοποιούνται διάφορες πιο ειδικές μέθοδοι για την ανάκτηση του πολυμερούς όπως η τήξη και επαναμορφοποίηση των υλικών, η επιλεκτική διαλυτοποίηση και επανακαταβύθιση, ο

διαχωρισμός με βάση το σημείο ρευστοποίησης κ.τ.λ. Ένα διάγραμμα ροής της διαδικασίας αυτής φαίνεται στο σχήμα 2.2.

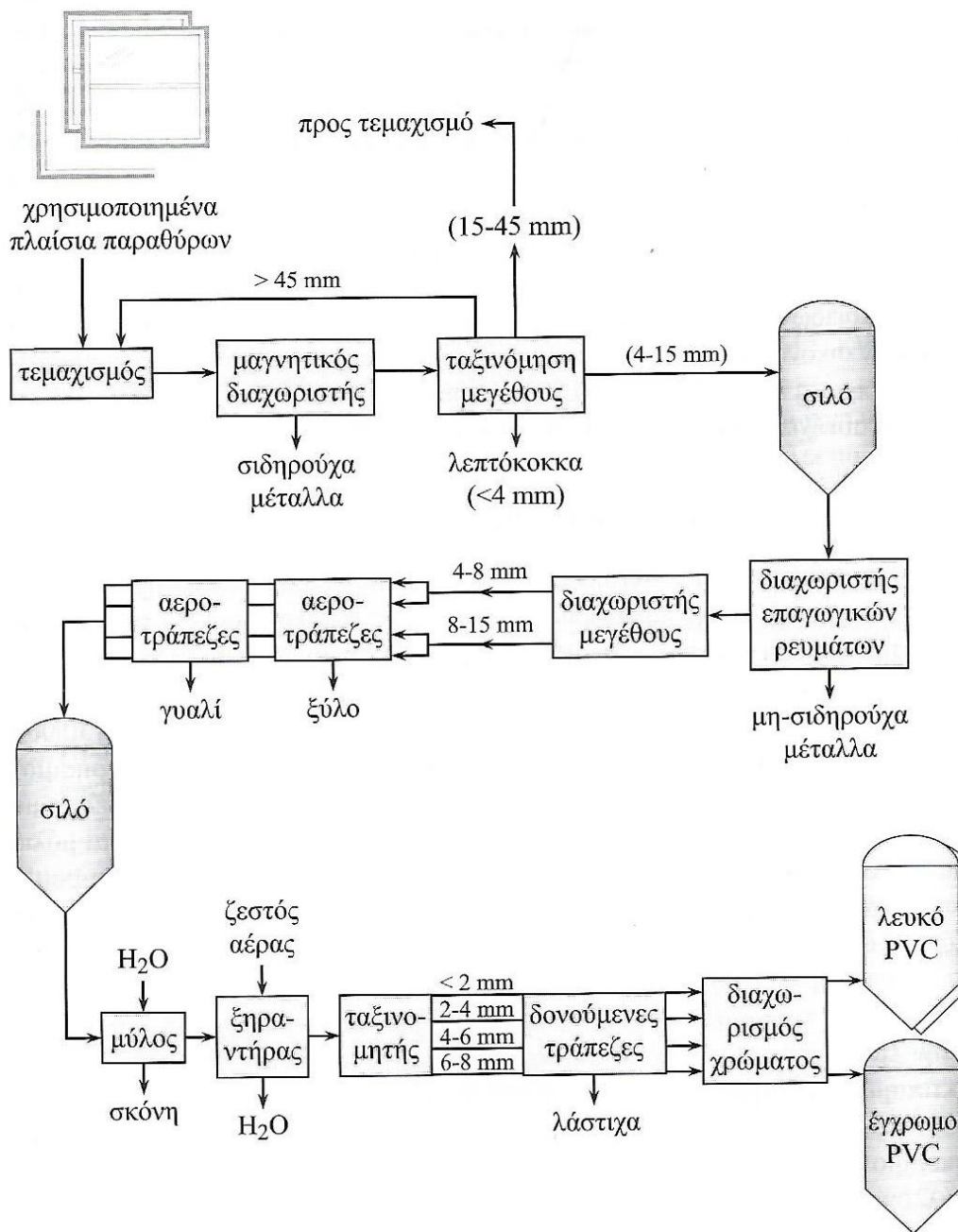


Σχήμα 2.2 Απλό διάγραμμα ροής ανακύκλωσης πλαστικών από διάφορα απορρίμματα και ανάκτηση διαφόρων χρήσιμων πολυμερών [2].

Από το σύνολο των πλαστικών προϊόντων που αποτελούν την τροφοδοσία του συστήματος τελικά παίρνουμε μόνο 6 διαφορετικά πολυμερή ως προϊόντα:

- Πολυπροπυλένιο (PP)
- Πολυστυρένιο υψηλής αντοχής στην κρούση (HIPS)
- Τριπολυμερές ακρυλονιτριλίου/βουταδιενίου/στυρενίου (ABS)
- Πολυφαινυλενοξείδιο (PPO)
- Πολυανθρακικό εστέρα (PC)
- Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στάδια έως και τον διαχωρισμό αποτελούν την προεπεξεργασία των πλαστικών απορριμμάτων. Τα στάδια της προεπεξεργασίας χρησιμοποιούνται και στην τριτογενή ανακύκλωση. Στην μηχανική ανακύκλωση όμως είναι απολύτως απαραίτητα για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη τροφοδοσία.



Σχήμα 2.3 Σχηματική απεικόνιση της μηχανικής ανακύκλωσης πλαισίων παραθύρων για την ανάκτηση PVC [2].

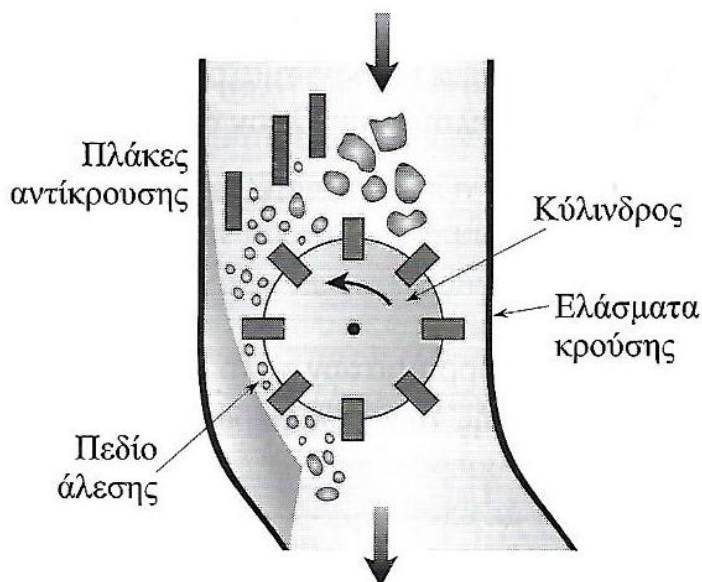
2.2.1 Συλλογή Πλαστικών Απορριμμάτων

Η οργάνωση της συλλογής των πλαστικών απορριμμάτων έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί καθορίζει τον βαθμό καθαρότητάς τους. Στόχος της συλλογής είναι βασικά η συλλογή των πλαστικών ξεχωριστά από τα

άλλα απορρίμματα. Γενικά η διαλογή στην πηγή είναι πιο εύκολη σε βιομηχανικό επίπεδο παρά στα οικιακά απορρίμματα.

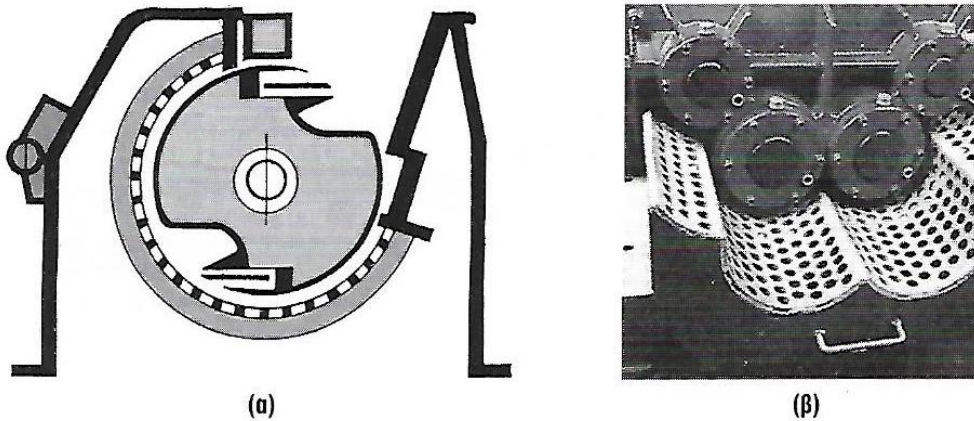
2.2.2 Τεμαχισμός

Η επιλογή του συγκεκριμένου τεμαχιστή εξαρτάται από τις απαιτούμενες ιδιότητες του προϊόντος. Για την παραγωγή λεπτόκοκκων προϊόντων (1-2 mm) χρησιμοποιούνται μύλοι κρούσης ενώ για τον απλό τεμαχισμό ειδικοί κόπτες. Οι τεμαχιστές που χρησιμοποιούνται συνήθως αποτελούνται από 2 ή 4 περιστρεφόμενα στελέχη κατασκευασμένα από ειδικό ατσάλι. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται διατάξεις που συνδυάζουν τον τεμαχιστή κρούσης και τον σφυρόμυλο (σχήμα 2.4). Οι μύλοι αυτοί αποτελούνται από το πεδίο κρούσης, το πεδίο άλεσης και το κόσκινο.



Σχήμα 2.4 Σχηματική αναπαράσταση ενός θραυστήρα κρούσης [2].

Τέλος χρησιμοποιούνται και περιστρεφόμενοι κόπτες. Αυτοί αποτελούνται από έναν κύλινδρο στον οποίο είναι ενσωματωμένα τα μαχαίρια. Το όλο σύστημα περιστρέφεται με μεγάλη γωνιακή ταχύτητα.



Σχήμα 2.5 (α) Σχηματική αναπαράσταση ενός περιστρεφόμενου κόπτη και (β) περιστρεφόμενος κόπτης με 4 κυλίνδρους [2].

2.2.3 Κοσκίνισμα

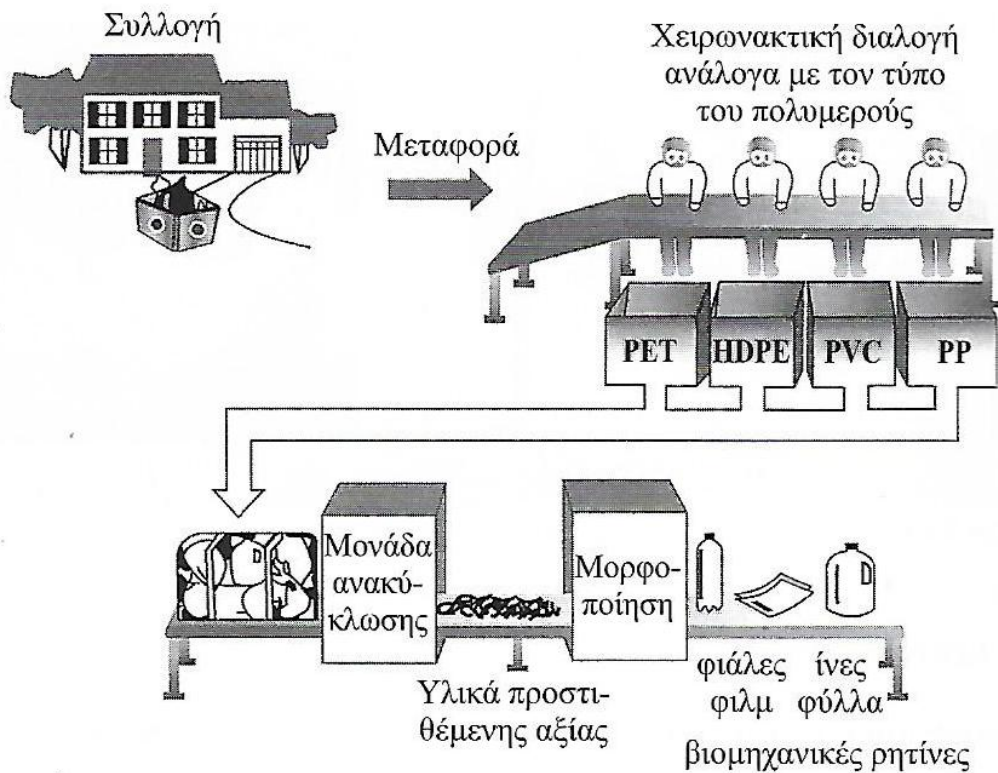
Με το κοσκίνισμα τα τεμαχίδια που έχουν ήδη προκύψει διαχωρίζονται με βάση το μέγεθός τους. Το προϊόν του τεμαχισμού διοχετεύεται πάνω από μία διάτρητη επιφάνεια. Το μέγεθος των οπών του κόσκινου καθορίζουν το μέγεθος των διερχόμενων σωματιδίων. Γενικά τα κόσκινα είναι δύο ειδών. Τα δονούμενα κόσκινα κινούνται κάθετα στην επιφάνεια κοσκίνισματος είτε κυκλικά είτε σπειροειδώς. Τα περιστρεφόμενα κόσκινα όμως χρησιμοποιούνται συχνότερα.

2.2.4 Διαλογή

Μίγματα διαφόρων τύπων πολυμερών από διάφορες χρήσεις έχουν χαμηλότερη αξία και τα προϊόντα που παράγονται από αυτά έχουν γενικά υποβαθμισμένες ιδιότητες. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές ταυτοποίησης και διαλογής των πολυμερών.

Η πιο απλή διαλογή είναι η χειρωνακτική, όπου τα υλικά διαχωρίζονται από ανθρώπους. Χρησιμοποιείται αρκετά συχνά αλλά έχει μεγάλο κόστος και αμφίβολα αποτελέσματα. Συνδέεται με την λεγόμενη οπτική διαλογή που βασίζεται στον διαχωρισμό των υλικών ανάλογα με το χρώμα τους.

Στις μεθόδους διαχωρισμού με βάση την πυκνότητα ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με την επίπλευση ή καταβύθιση σε ένα συνεχές μέσο, συνήθως το νερό.



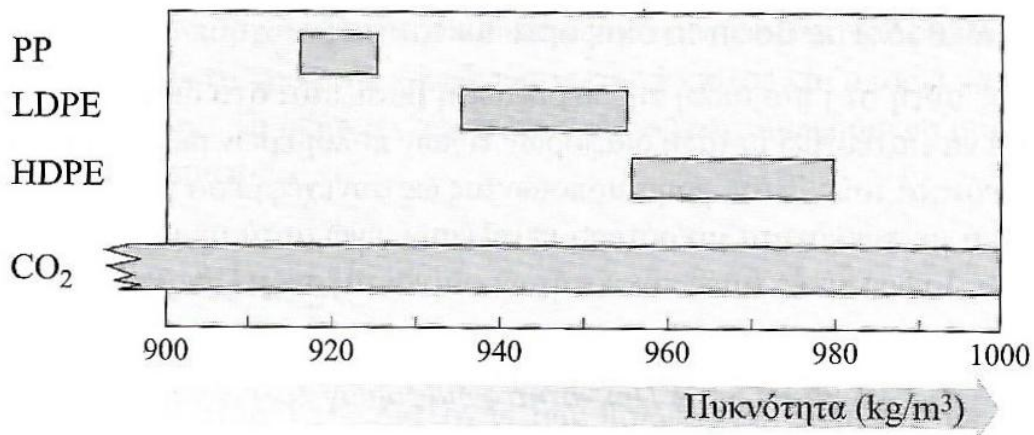
Σχήμα 2.6 Γραμμή χειρωνακτικής διαλογής πλαστικών [2].

Πίνακας 2.1 Πυκνότητες των σημαντικότερων πολυμερών

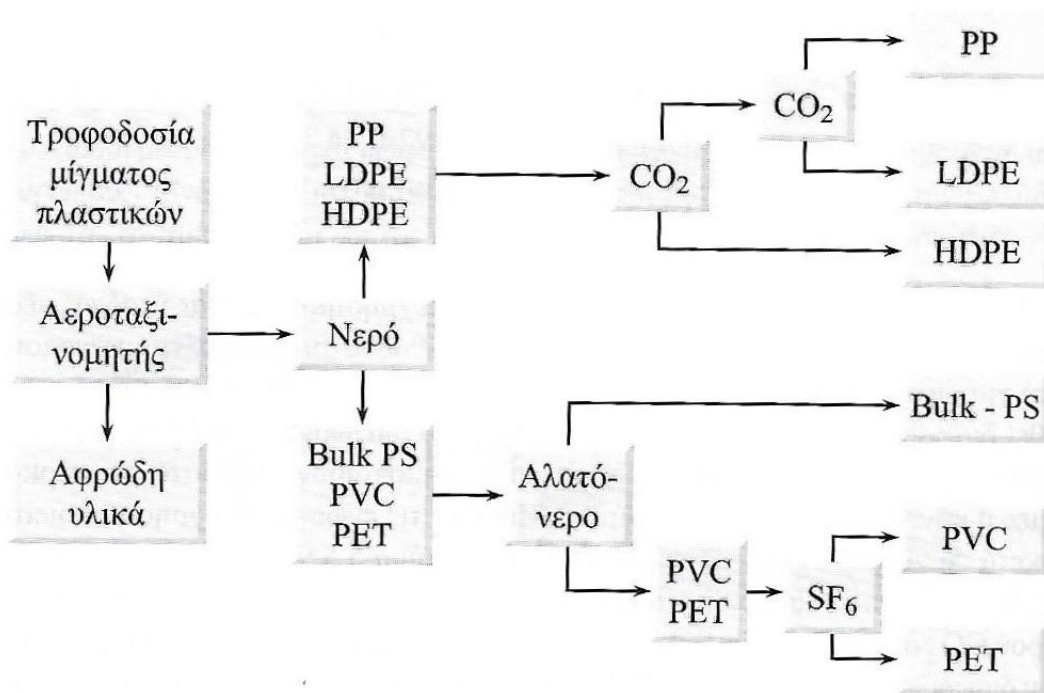
Πολυμερές	Πυκνότητα (g/cm ³)
PET	1.42
PVC	1.40
PS	1.05
HDPE	0.95-0.97
LDPE	0.92-0.94
PP	0.90-0.92

Για τον ικανοποιητικό διαχωρισμό πολυμερών με παραπλήσιες πυκνότητες, αντί για νερό χρησιμοποιούνται ρευστά, συνήθως υγρό CO₂, σε υπερκρίσιμες ή κοντά στις κρίσιμες συνθήκες. Με κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας επιτυγχάνουμε την μεταβολή της πυκνότητας του συνεχούς μέσου για να πετύχουμε διαχωρισμό όλων των υλικών. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η χρήση ειδικών δοχείων

που να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις. Επίσης έχει προταθεί και η χρήση εξαφθοριούχου θείου (SF_6) για τον διαχωρισμό PET και PVC.

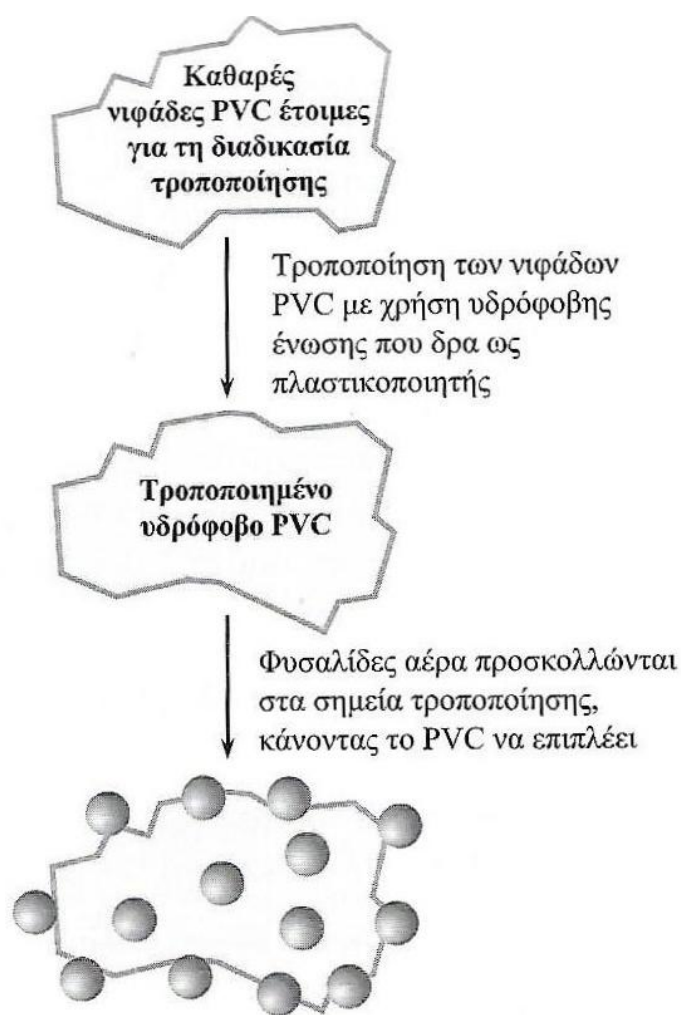


Σχήμα 2.7 Η πυκνότητα του CO_2 σε διάφορες πιέσεις σε σύγκριση με τις πυκνότητες διαφόρων πολυμερών [2].



Σχήμα 2.8 Διάγραμμα ροής της διεργασίας διαχωρισμού των σημαντικότερων πολυμερών με την τεχνική της επίπλευσης-καταβύθισης με χρήση διαφόρων υγρών [2].

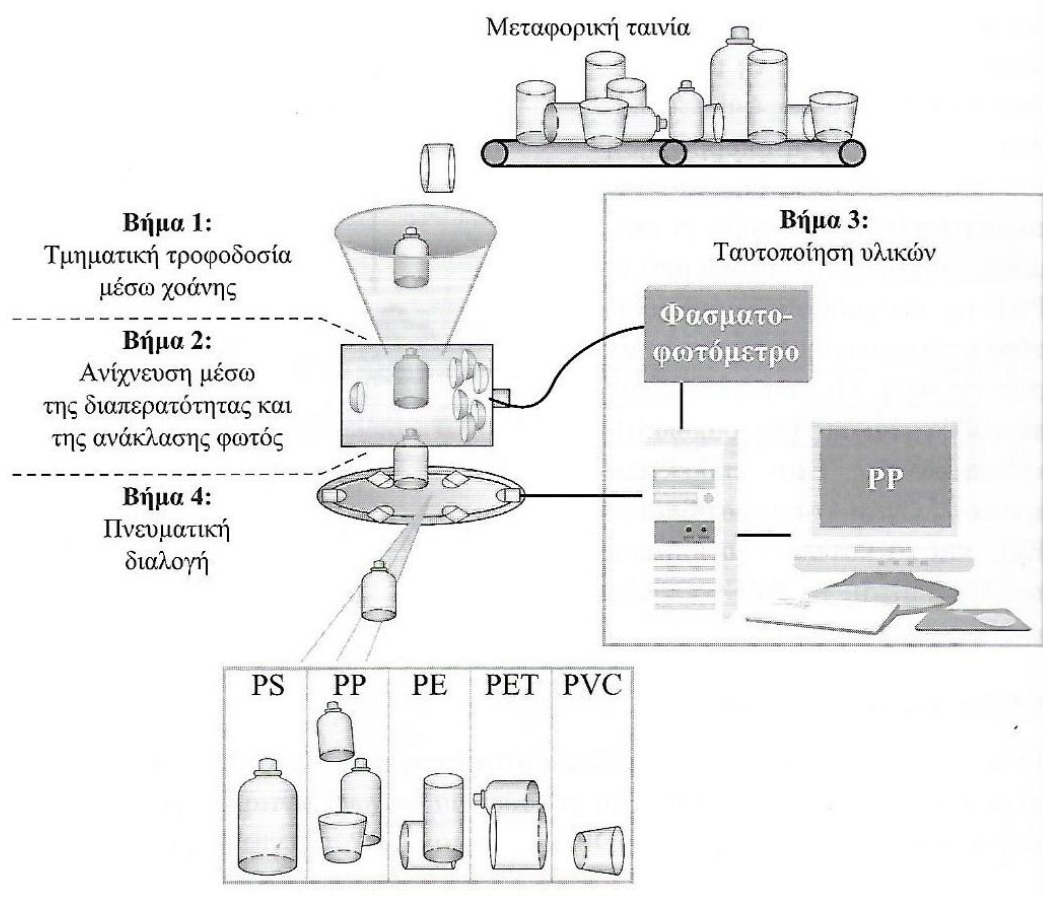
Μια παραλλαγή της μεθόδου είναι η τεχνική της αφρώδους επίπλευσης που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό πολυμερών με παραπλήσιες πυκνότητες όπως το PET και το PVC. Στην τεχνική αυτή εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι το PVC, σε αντίθεση με το PET, είναι πορώδες και δέχεται πλαστικοποιητές σε όλη τη μάζα του. Η απορρόφηση του πλαστικοποιητή από το PVC το κάνει υδρόφοβο και έτσι διαχωρίζεται εύκολα από το PET με τροφοδοσία φυσαλίδων αέρα σε ένα αιώρημα των πολυμερών με νερό. Οι φυσαλίδες προσκολλώνται επιλεκτικά στα σωματίδια του PVC και τα κάνουν ελαφρύτερα του PET.



Σχήμα 2.9 Η μέθοδος της αφρώδους επίπλευσης [2].

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και οι φασματοσκοπικές τεχνικές διαχωρισμού. Η πιο γνωστή και εύκολη μέθοδος είναι η φασματοσκοπία υπερύθρου (IR). Τα πολυμερή διαχωρίζονται με βάση το φάσμα απορρόφησης διαφόρων χαρακτηριστικών ομάδων της

πολυμερικής αλυσίδας. Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι αποτυγχάνουν αν στην επιφάνεια του πολυμερούς υπάρχουν ακαθαρσίες ή προσμίξεις από ξένα υλικά. Άλλες φασματοσκοπικές τεχνικές είναι η φασματοσκοπία Raman και η εκπομπή πλάσματος.



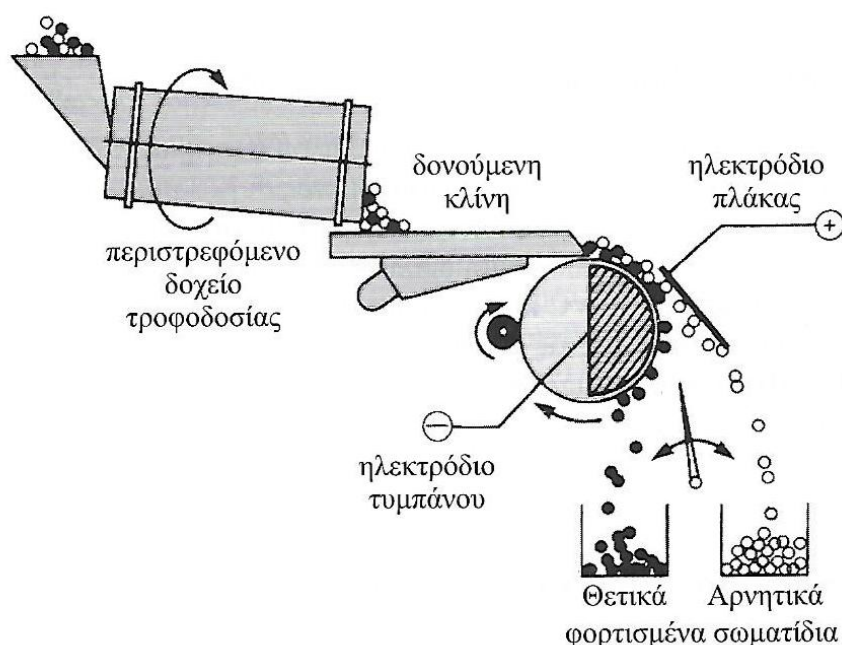
Σχήμα 2.10 Διαχωρισμός πολυμερών με τη φασματοσκοπία εγγύς υπερόθρου (NIR) [2].

Μία άλλη μέθοδος διαχωρισμού είναι η φθορισμομετρία ακτίνων X. Το υλικό βομβαρδίζεται με ακτίνες X και στη συνέχεια παράγει λόγω φθορισμού ακτίνες X σε συγκεκριμένες συχνότητες που είναι χαρακτηριστικές των στοιχείων που περιέχει. Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του PVC γιατί το χλώριο δίνει ένα πολύ χαρακτηριστικό φάσμα φθορισμού ακτίνων X.

Οι ηλεκτροστατικές μέθοδοι διαλογής βασίζονται στην πολικότητα που θα εμφανίσουν τα υλικά αν φορτιστούν ηλεκτροστατικά και βρεθούν σε ένα πεδίο υψηλού δυναμικού. Το μίγμα των διαφορετικών πολυμερών αρχικά τροφοδοτείται σε μία δονούμενη κλίνη και στη συνέχεια σε ένα

περιστρεφόμενο δοχείο τριβοηλεκτρικού διαχωρισμού. Το περιστρεφόμενο δοχείο είναι φορτισμένο αρνητικά και απέναντι υπάρχει μία πλάκα με θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια έλκονται από το θετικό ηλεκτρόδιο και απομακρύνονται από το περιστρεφόμενο δοχείο.

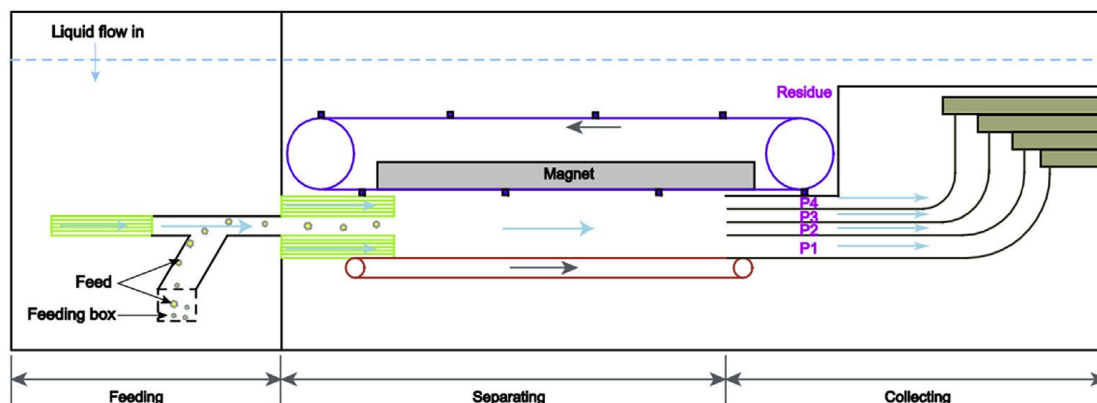
Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται διαχωρισμός σωματιδίων με μέγεθος από 2 έως 16 mm. Το βασικό της μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για το διαχωρισμό μιγμάτων που αποτελούνται από δύο πολυμερή. Παρόλα αυτά έχει εφαρμοστεί για τον διαχωρισμό μίγματος ABS/PC από PVC κατά την ανακύκλωση των ταμπλό των αυτοκινήτων. Στην περίπτωση αυτή το PVC φορτίζεται αρνητικά.



Σχήμα 2.11 Η ηλεκτροστατική μέθοδος διαλογής [2].

Μία πολύ σύγχρονη μέθοδος διαλογής είναι ο μαγνητικός διαχωρισμός πυκνότητας (magnetic density separation). Χρησιμοποιώντας ένα μαγνητικό υγρό (που περιέχει οξείδιο του σιδήρου) ως μέσο διαχωρισμού, η πυκνότητα του υγρού μπορεί να μεταβάλλεται με τη χρήση ενός μαγνητικού πεδίου. Επομένως, η μέθοδος αυτή μπορεί χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό πολλών πολυμερών σε ένα μόνο στάδιο. Ωστόσο, πρόκειται για μία ακόμα τεχνική με βάση την

πυκνότητα και τα πολυμερή με παραπλήσιες πυκνότητες θα μολύνουν το ένα το άλλο. Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για το διαχωρισμό PVC από απορρίμματα κτιρίων και κατασκευών.



Σχήμα 2.12 Σχηματική αναπαράσταση της διεργασίας μαγνητικής διαλογής [7].

2.2.5 Μορφοποίηση

Η σπουδαιότερη τεχνική μορφοποίησης είναι η εξώθηση (extrusion). Η διεργασία αυτή γίνεται σε ειδικές μηχανές που ονομάζονται εξωθητήρες ή εκβολείς. Κατά την τεχνική της εξώθησης, τα πολυμερή υπό μορφή τήγματος πιέζονται για να διέλθουν από ένα άνοιγμα που ονομάζεται μήτρα.

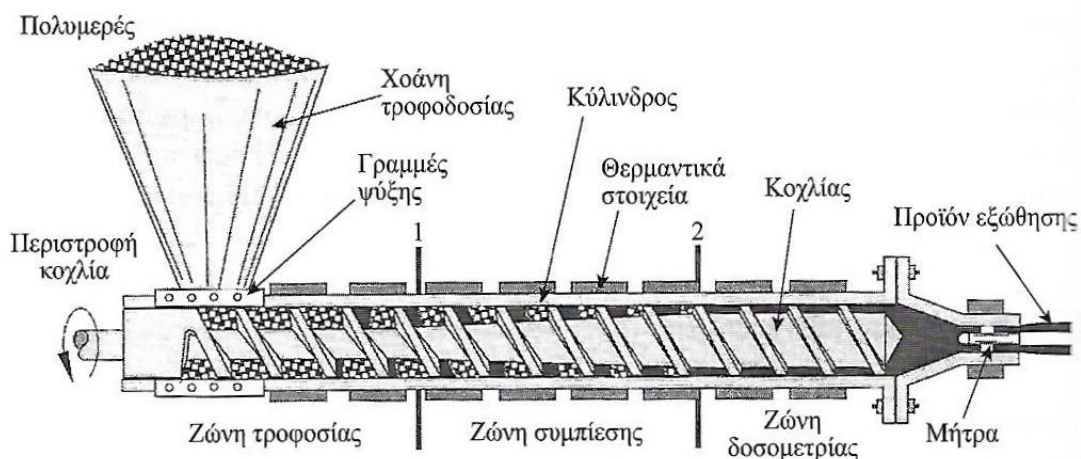
Οι εκβολείς κατατάσσονται σε δύο τύπους, τους εκβολείς συνεχούς και ασυνεχούς λειτουργίας. Οι κύριοι τύποι μηχανών συνεχούς λειτουργίας είναι μονοκόχλιοι (single screw extruders) και οι διπλοκόχλιοι εκβολείς (twin screw extruders). Οι δύο αυτοί τύποι εκβολέων χρησιμοποιούνται σχεδόν στο σύνολο των μονάδων μηχανικής ανακύκλωσης. Οι εκβολείς ασυνεχούς λειτουργίας συνήθως χρησιμοποιούν ένα έμβολο για την τήξη και προώθηση του υλικού. Χρησιμοποιούνται όμως σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

2.2.5.1 Μονοκόχλιοι Εκβολείς

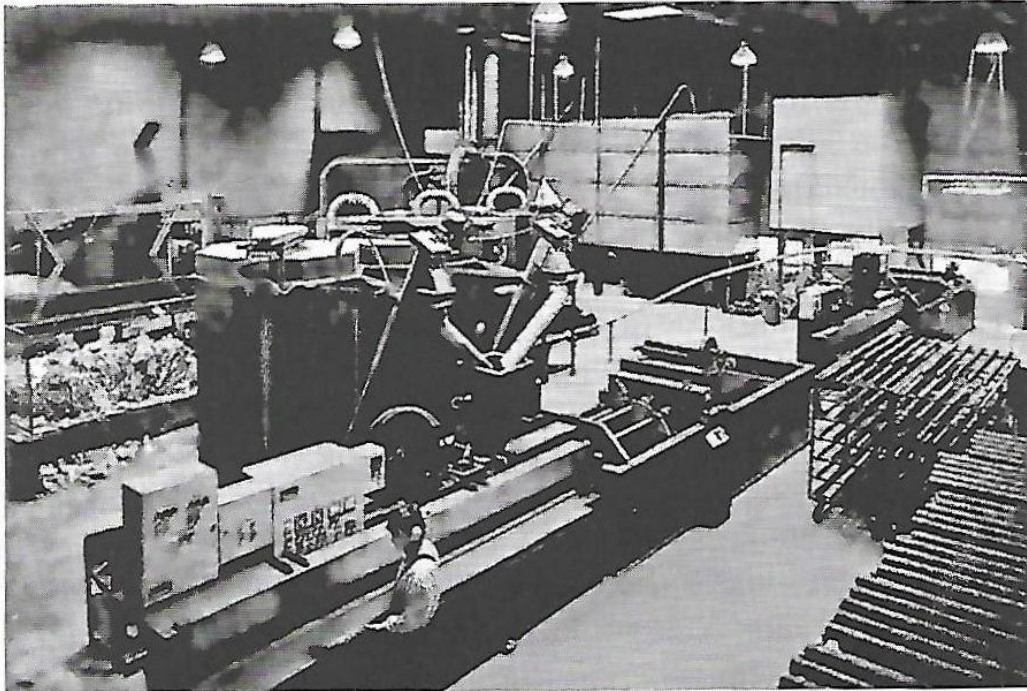
Τα κύρια πλεονεκτήματα των μονοκόχλιων εκβολέων είναι η απλή σχεδίαση, το χαμηλό κόστος, η σταθερότητα λειτουργίας και η αξιοπιστία καθώς και οι ικανοποιητικές αποδόσεις. Τα κύρια μέρη του μονοκόχλιου εκβολέα (σχήμα (2.13)) είναι:

- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης στον κοχλία το οποίο περιλαμβάνει ένα ηλεκτροκινητήρα με δυνατότητα να μεταβάλει την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία.
- Το κύριο σώμα περιλαμβάνει τον κύλινδρο και τον ατέρμονα κοχλία.
- Η χοάνη τροφοδοσίας του πολυμερούς στον κύλινδρο η οποία ψύχεται πάντα ώστε να εμποδίζεται η πρόωρη τήξη του πολυμερούς. Κάτι τέτοιο θα είχε σαν αποτέλεσμα το κόλλημα του υλικού στα τοιχώματα της χοάνης ή του κυλίνδρου και συνεπώς το φράξιμο της εισόδου νέου πολυμερούς στον κύλινδρο.
- Το σύστημα μετάδοσης της θερμότητας και ελέγχου της θερμοκρασίας.
- Την μήτρα εκβολής.

Ο κύλινδρος θερμαίνεται εξωτερικά με αντιστάτες για να λιώσει το πολυμερές. Η θερμοκρασία καθορίζεται ανάλογα με το πολυμερές. Μέσα στον κύλινδρο περιστρέφεται εφαρμοστά ο κοχλίας. Ο ρόλος του είναι να προωθεί το πολυμερές κατά μήκος του κυλίνδρου με σταθερό και ελεγχόμενο τρόπο. Κατά την προώθηση γίνεται και η ανάμιξη του πολυμερούς με τα διάφορα πρόσθετα.

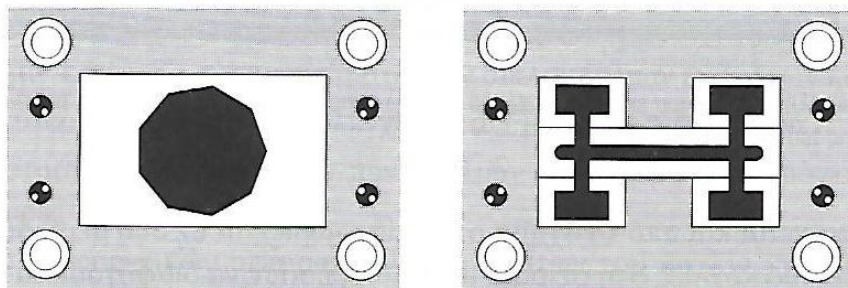


Σχήμα 2.13 Τα κύρια μέρη ενός μονοκόχλιου εκβολέα [2].



Εικόνα 2.1 Ο εκβολέας ET/1 της Advanced Recycling Technology (ART) [3].

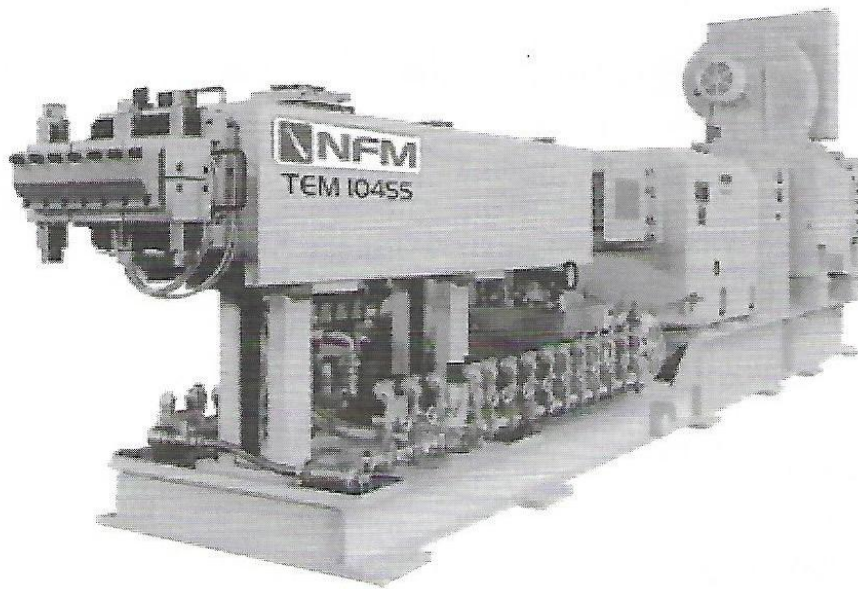
Η μήτρα τοποθετείται στο τέλος του εκβολέα όπου έχει ολοκληρωθεί η τήξη και ομογενοποίηση του πολυμερούς και μπορεί να μορφοποιηθεί. Πριν τη μήτρα υπάρχει ένα φίλτρο για την κατακράτηση ανόργανων κυρίως επιμολύνσεων. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες μητρών ανάλογα με το επιθυμητό προϊόν. Για την παραγωγή λεπτών φιλμ χρησιμοποιούνται μήτρες τύπου σχισμής, για την παραγωγή ινών ή ράβδων χρησιμοποιούνται διάτρητες πλάκες, για την παραγωγή σωλήνων χρησιμοποιούνται μήτρες ειδικής κυκλικής διατομής κ.τ.λ.



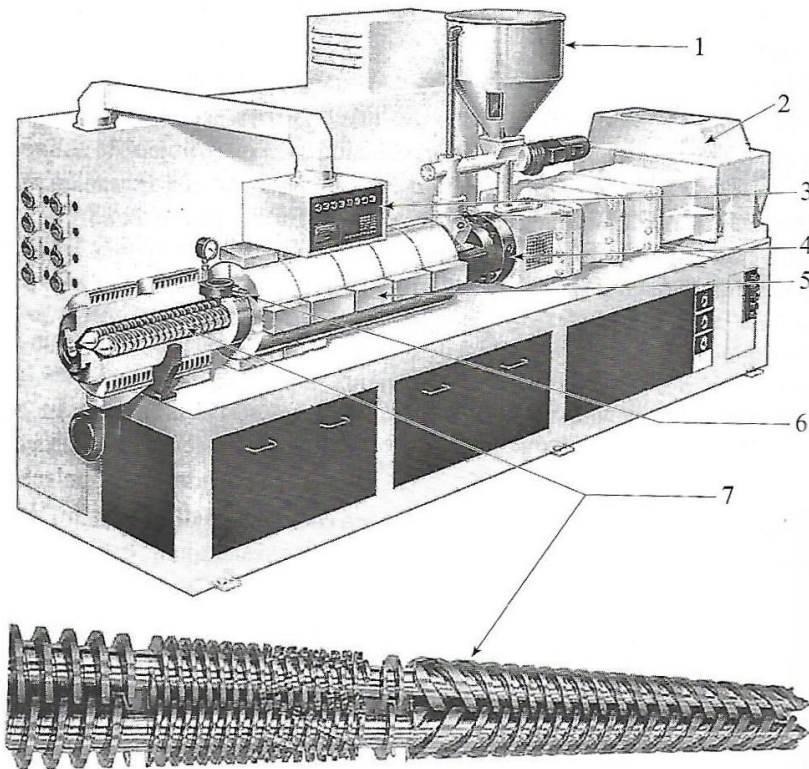
Σχήμα 2.14 Χαρακτηριστικές μήτρες εκβολής για την παραγωγή προφίλ [2].

2.2.5.2 Διπλοκόγλιοι Εκβολείς

Οι διπλοκόγλιοι εκβολείς είναι παρόμοιοι με τους εκβολείς μονού κοχλία με τη διαφορά ότι περιλαμβάνουν δύο παράλληλους κοχλίες στο εσωτερικό του ειδικά διαμορφωμένου κυλίνδρου. Παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους εκβολείς μονού κοχλία όπως η καλύτερη δυνατότητα ελέγχου της ανάμιξης και διασποράς, η μεγαλύτερη ογκομετρική ικανότητα τροφοδοσίας και η ευελιξία στον σχεδιασμό.

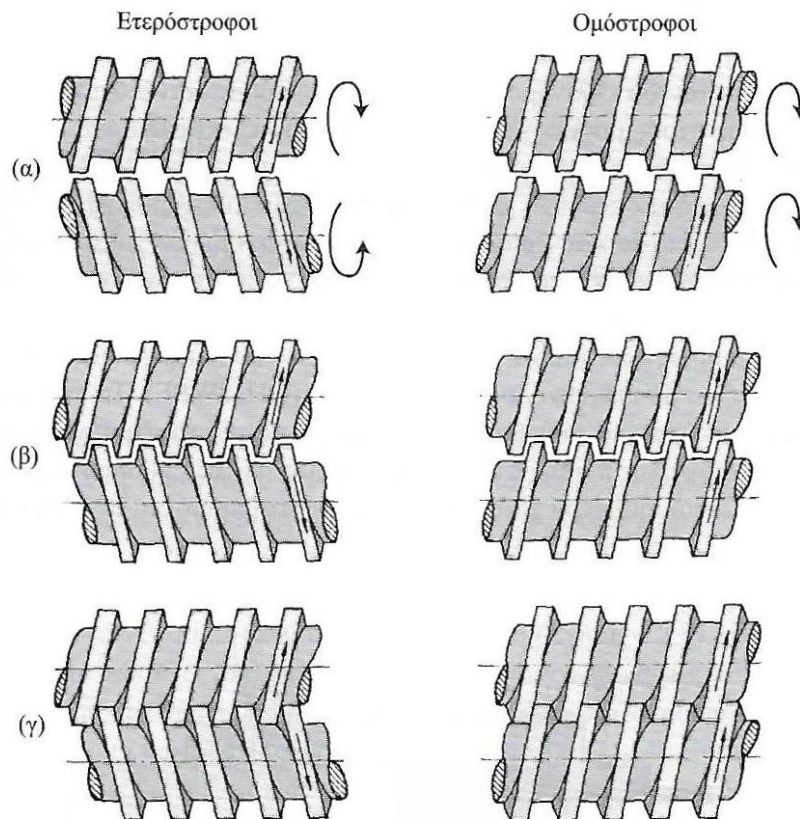


Εικόνα 2.2 Ο διπλοκόγλιος εκβολέας της Welding Engineers [3].



Σχήμα 2.15 Τα κύρια μέρη ενός διπλοκόχλιου εκβολέα: 1) χοάνη τροφοδοσίας, 2) κινητήρας, 3) σύστημα ελέγχου, 4) κύλινδρος, 5) θερμαντικά στοιχεία, 6) έξοδος αερίων, 7) κοχλίες [3].

Οι δύο κοχλίες μπορεί να περιστρέφονται με την ίδια φορά (ομόστροφοι) ή με αντίθετη φορά (ετερόστροφοι) και επίσης μπορεί να εφάπτονται πλήρως, μερικώς ή καθόλου. Η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών εξαρτάται από το πολυμερές και από το επιθυμητό προϊόν. Έτσι, όπου απαιτείται καλή ανάμιξη χρησιμοποιούνται υψηλές ταχύτητες περιστροφής, 200-500 rpm ενώ για την παραγωγή π.χ. προφίλ χρησιμοποιούνται χαμηλές ταχύτητες της τάξης των 10-40 rpm.



Σχήμα 2.16 Ετερόστροφοι και ομόστροφοι κοχλίες: α) μη επαπτομενικοί, β) μερικώς επαπτομενικοί, γ) πλήρως επαπτομενικοί [3].

2.3 ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Στην τριτογενή ή χημική ανακύκλωση επιδιώκεται η χημική ή θερμοχημική διάσπαση των πολυμερικών αλυσίδων με σκοπό την ανάκτηση είτε του αντίστοιχου μονομερούς είτε άλλων δευτερογενών προϊόντων που παρουσιάζουν κάποια αξία.

Οι μέθοδοι θερμοχημικής ανακύκλωσης περιλαμβάνουν την πυρόλυση, την εξαερίωση και την υδρογόνωση. Πυρόλυση είναι η διεργασία κατά την οποία το πολυμερές θερμαίνεται σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο τήξης του απουσία οξυγόνου με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αερίου, ενός υγρού και ενός στερεού κλάσματος. Κατά την εξαερίωση σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση όλα τα οργανικά συστατικά μετατρέπονται στο αέριο σύνθεσης ($\text{CO} + \text{H}_2$) ενώ κατά την υδρογόνωση προστίθεται και υδρογόνο στο στάδιο της θερμικής

αποικοδόμησης των μακρομοριακών αλυσίδων οπότε τα διάφορα ετεροάτομα που περιέχονται (εκτός C και H) μετατρέπονται σε διάφορα χρήσιμα προϊόντα, π.χ. το Cl σε HCl, το N σε NH₃ και το S σε H₂S.

Σε βιομηχανική κλίμακα προτιμώνται οι αντιδραστήρες ρευστοστερεάς κλίνης με τα βασικά πλεονεκτήματα της συνεχούς παραγωγής και των υψηλότερων ρυθμών θέρμανσης. Οι αντιδραστήρες σταθερής κλίνης έχουν την τάση να μπλοκάρονται από το πυκνό τήγμα του πολυμερούς καθιστώντας δύσκολη την εφαρμογή τους σε μεγάλη κλίμακα.

2.4 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Είναι γνωστό ότι τα πλαστικά έχουν γενικά υψηλή θερμοαντική αξία, η οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι αντίστοιχη της θερμοαντικής αξίας του λιγνίτη και ακόμη και του πετρελαίου θέρμανσης. Έτσι στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η χρήση των προηγούμενων μεθόδων ανακύκλωσης εφαρμόζεται η τεταρτογενής ανακύκλωση για την παραγωγή ενέργειας μέσω της ελεγχόμενης καύσης (αποτέφρωση) των πολυμερών. Στα πλεονεκτήματα της αποτέφρωσης περιλαμβάνονται η ανάκτηση σημαντικών ποσών ενέργειας, η σημαντική μείωση της μάζας των απορριμμάτων και η δυνατότητα εφαρμογής σε όλους τους τύπους των πλαστικών αποβλήτων. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνονται η πιθανή παραγωγή τοξικών παραπροϊόντων, το υψηλό κόστος και η περιορισμένη κοινωνική αποδοχή.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αποτεφρωτήρα είναι:

- Μηχανικός με σχάρες
- Περιστροφικός κλίβανος
- Ρευστοποιημένη κλίνη

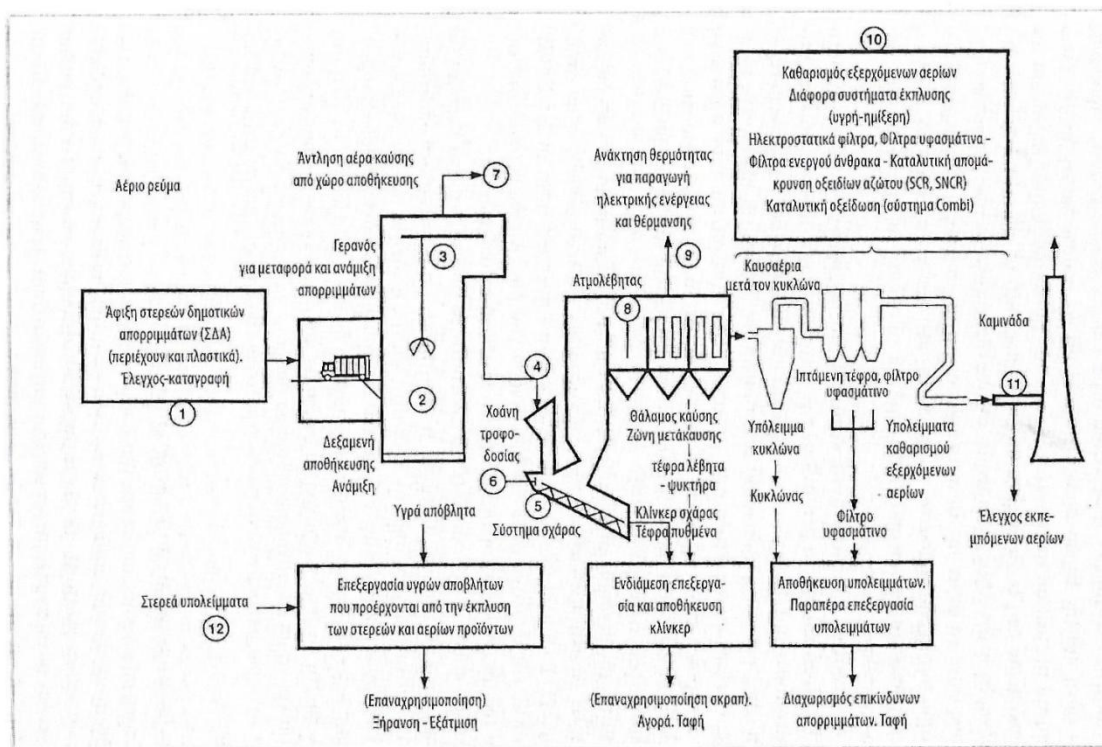
Ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιείται, τον αριθμό των θαλάμων καύσης, τον τύπο άρθρωσης των δομικών στοιχείων, το σχήμα και την χωρητικότητα, οι αποτεφρωτήρες διακρίνονται επίσης σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. Αποτεφρωτήρες μαζικής καύσης. Οι αποτεφρωτήρες αυτοί δέχονται ως τροφοδοσία ανάμικτα δημοτικά απορρίμματα ή το

δευτερογενές καύσιμο SRF που προέρχεται από τα δημοτικά απορρίμματα με βιο-ξήρανση. Συνήθως πρόκειται για μηχανικούς αποτεφρωτήρες με σχάρα.

2. Αποτεφρωτήρες RDF. Δέχονται ως τροφοδοσία το καύσιμο RDF που προέρχεται από τα δημοτικά απορρίμματα και μορφοποιείται σε πελλέτες ή μπρικέτες. Το καύσιμο αυτό προέρχεται είτε από την μηχανική διαλογή είτε από την μηχανική-βιολογική επεξεργασία των απορριμμάτων.
3. Αρθρωτοί αποτεφρωτήρες (modular). Έχουν τη δυνατότητα συναρμολόγησης των εξαρτημάτων τους στον χώρο εγκατάστασης. Είναι γενικά μικρής χωρητικότητας.

Η λειτουργία των αποτεφρωτήρων είναι ασυνεχής όταν η χωρητικότητά τους κυμαίνεται στα επίπεδα λίγων τόνων απορριμμάτων ανά ημέρα ενώ στα επίπεδα των 1000 τόνων ανά ημέρα η λειτουργία τους είναι συνεχής.



Σχήμα 2.17 Μονάδα μαζικής καύσης στερεών δημοτικών απορριμμάτων (ΣΔΑ) η οποία βασίζεται σε μηχανικό αποτεφρωτήρα με σχάρα [3].

2.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ

Κάθε χρόνο σε όλον τον κόσμο περισσότερα από τρία δισεκατομμύρια λάστιχα αυτοκινήτων αντικαθίστανται και καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Τα ελαστικά δεν αποσυντίθενται και είναι ιδιαίτερα εύφλεκτα. Επίσης, όταν καίγονται εκπέμπονται σημαντικοί ρύποι στην ατμόσφαιρα. Είναι φανερό ότι η ανακύκλωση των ελαστικών είναι απαραίτητη κυρίως για την προστασία του περιβάλλοντος.

Κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης, τα ελαστικά αρχικά τεμαχίζονται με ειδικά μηχανήματα τεμαχισμού. Στη συνέχεια αποβουλκανίζονται όπου μετατρέπονται σε μίγματα ελαστομερών πολυμερών μικρού μοριακού βάρους.

Τα προϊόντα της ανακύκλωσης των ελαστικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πλαστικές επιστρώσεις δαπέδων, στην παραγωγή ασφάλτου κ.ά. Επίσης χρησιμοποιούνται στην παραγωγή καύσιμης ύλης υψηλής θερμογόνου δύναμης.

3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην Ελλάδα μέχρι και σήμερα τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ) απορρίπτονται οπουδήποτε χωρίς έλεγχο και σχεδιασμό. Είναι φανερό ότι τα ΑΕΚΚ αποτελούν το μεγαλύτερο κλάσμα στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα και διεθνώς. Η απόρριψη των ΑΕΚΚ εκτός από την αισθητική πλευρά μπορεί να προκαλέσει την υποβάθμιση του περιβάλλοντος (έδαφος και υδροφόροι ορίζοντες) αφού μέσα στους σωρούς από μάζα εκτός από αδρανή υλικά είναι δυνατόν να περιέχονται υλικά όπως αμιάντος, μέταλλα, ηλεκτρικές συσκευές, βαφές κ.ά. Τα τελευταία χρόνια πάντως έχουν δημιουργηθεί αρκετές μονάδες συλλογής και επεξεργασίας ΑΕΚΚ σε όλη την Ελλάδα.

Οι κυριότερες μέθοδοι διαχείρισης των οικοδομικών αποβλήτων περιλαμβάνουν την εδαφική διάθεση, την ανακύκλωση-επαναχρησιμοποίηση και την καύση του ελαφρού κλάσματός τους. Από τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι η εδαφική εναπόθεση αποτελεί σήμερα την κυριότερη μέθοδο διαχείρισης.

Η διαδικασία ανακύκλωσης χωρίζεται στις φάσεις:

- Συλλογή των υλικών
- Επεξεργασία και διαχωρισμός των υλικών
- Παραγωγή πρωτογενών ή δευτερογενών υλικών
- Επαναφορά των υλικών στην αγορά υποκαθιστώντας αντίστοιχες ποσότητες φυσικών πρώτων υλών.

Η ανακύκλωση και ανάκτηση των χρήσιμων υλικών που υπάρχουν στα οικοδομικά υλικά πραγματοποιείται βασικά με δύο τρόπους.

Επιτόπια κατεργασία: Στην περίπτωση αυτή επιχειρείται η επεξεργασία των υλικών στον χώρο παραγωγής με τη χρήση κινητών σταθμών ανάκτησης υλικών. Έτσι αποφεύγεται η μεταφορά μεγάλου όγκου αποβλήτων με επακόλουθο οικονομικό κέρδος. Επίσης το κόστος αρχικής επένδυσης είναι σχετικά μικρό σε αυτόν τον τρόπο

επεξεργασίας. Από την άλλη μεριά αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρό εύρος υλικών ενώ και η ποιότητα των παραγόμενων υλικών δεν είναι πολύ υψηλή.

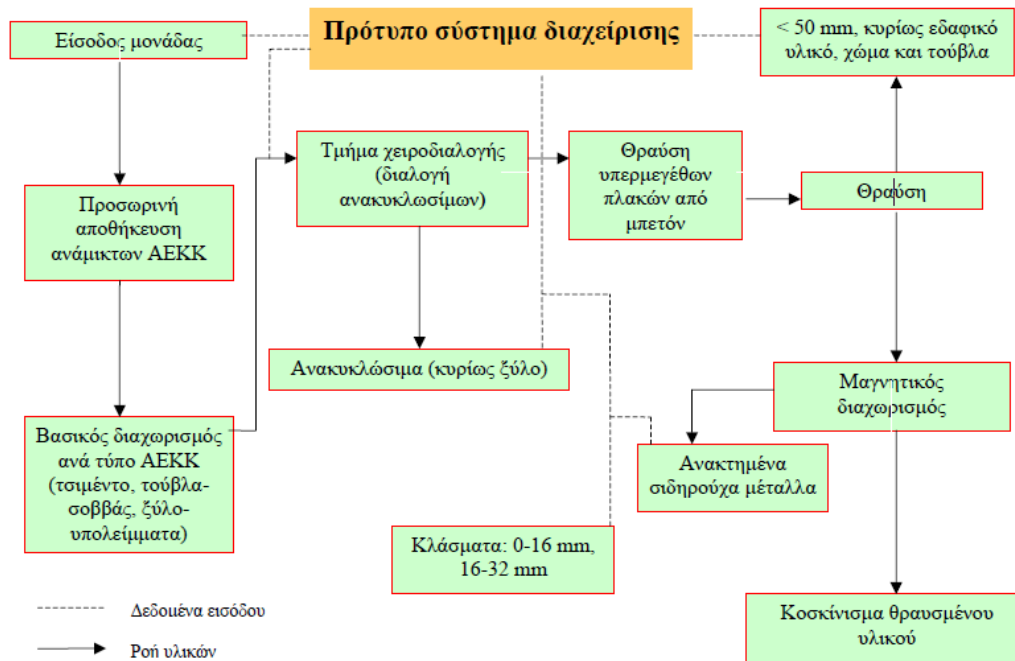
Επεξεργασία σε σταθερούς σταθμούς ανακύκλωσης: Στη μέθοδο αυτή στο σταθμό ανακύκλωσης μεταφέρεται από μεγάλες αποστάσεις ένας πολύ μεγάλος όγκος ανομοιογενών αποβλήτων. Το κόστος μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό. Στη μονάδα επεξεργασίας τα υλικά τεμαχίζονται και διαχωρίζονται. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης αλλά έχουν τη δυνατότητα να επεξεργαστούν μεγάλο εύρος υλικών και παράγουν υλικά καλύτερης ποιότητας.



Εικόνα 3.1 Επαναχρησιμοποιημένα υλικά οικοδομών από την εταιρεία Gardiners Reclaimed Building Materials Ltd (Αγγλία) [10].

3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η διαδικασία επεξεργασίας περιλαμβάνει πολλά βήματα που φαίνονται αναλυτικά στο πρότυπο διάγραμμα ροής του σχήματος 3.1. Συνήθως όμως η διαδικασία που εκτελείται σε μία μονάδα επεξεργασίας ΑΕΚΚ αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις.



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα ροής της μονάδας ανακύκλωσης ΑΕΚΚ στον ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων [11].

Φάση 1

Περιλαμβάνει τον έλεγχο, την ζύγιση και την καταγραφή των εισερχόμενων οικοδομικών αποβλήτων. Καταγράφεται η προέλευση, η σύσταση, το βάρος και άλλα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Τα υλικά εκφορτώνονται σε ειδικό χώρο. Επίσης γίνεται έλεγχος για την περίπτωση που υπάρχουν ανάμεσα στα απόβλητα τοξικά ή διάφορα άλλα επικίνδυνα υλικά.

Μετά την διαλογή, τα υλικά μεταφέρονται στη σκυροθραυστική μονάδα στην οποία γίνεται συστηματική και ελεγχόμενη θραύση των υλικών.

Φάση 2

Τα υλικά που παράγονται από την φάση 1 μεταφέρονται σε ειδικούς αποθηκευτικούς χώρους. Διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος και την ποιότητά τους και είναι πλέον διαθέσιμα είτε για άμεση χρήση είτε ως πρώτες ύλες για την παραγωγή άλλων προϊόντων.

Φάση 3

Από τις παραπάνω διαδικασίες προκύπτουν και αδρανή υλικά που δεν μπορούν επιδέχονται περαιτέρω επεξεργασία και συνεπώς δεν έχουν οικονομική αξία. Αυτά οδηγούνται στη συνέχεια σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Μία τυπική μονάδα επεξεργασίας ΑΕΚΚ περιλαμβάνει τα παρακάτω τμήματα [11]:

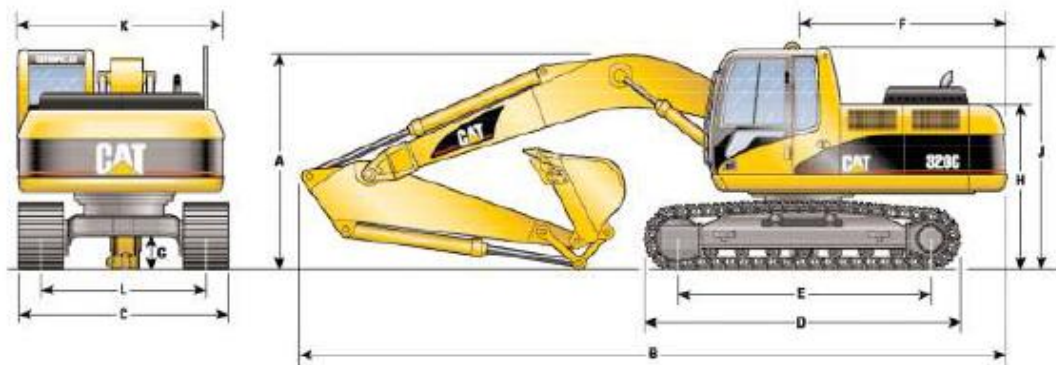
- Τμήμα προσωρινής αποθήκευσης των εισερχομένων πρώτων υλών. Η προσωρινή αποθήκευση εξασφαλίζει την επάρκεια στην τροφοδοσία της μονάδας έναντι πιθανών προβλημάτων στο δίκτυο συλλογής.
- Τμήμα διαχωρισμού, εφόσον τα υλικά έρχονται ανάμικτα (σκυρόδεμα, τούβλα, ανακυκλώσιμα), με χειροδιαλογή και θραύση των ογκωδών τμημάτων σε μικρότερα.
- Μηχανολογικός εξοπλισμός που αποτελείται από θραυστήρα, μαγνητικό διαχωριστή, κόσκινο και μεταφορικές ταινίες.
- Τμήμα αποθήκευσης των προϊόντων, πριν τη διάθεσή τους στους τελικούς αποδέκτες.
- Τμήμα αποθήκευσης των μεταλλικών υλικών που ανακτώνται.

3.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Για τη μεταφορά των οικοδομικών υλικών προς μία μονάδα επεξεργασίας ΑΕΚΚ αλλά και εντός αυτής χρησιμοποιούνται: ερπυστριοφόροι εκσκαφείς (excavator), ερπυστριοφόροι και λαστιχοφόροι φορτωτές (wheel loader, crawler loader), μεταφορικές ταινίες και φορτηγά. Ο εκσκαφέας χρησιμοποιείται για κατεδαφίσεις και εκσκαφές καθώς και για τη φόρτωση των υλικών στα φορτηγά. Ο φορτωτής χρησιμοποιείται για τη φόρτωση των φορτηγών και για τη μεταφορά των υλικών στη μονάδα θραύσης. Με τις μεταφορικές ταινίες γίνεται η μεταφορά των υλικών εντός της μονάδας από ένα τμήμα σε ένα άλλο. Με τα φορτηγά γίνεται η μεταφορά των αποβλήτων στην μονάδα καθώς και η μεταφορά των υλικών που ανακτήθηκαν στους τελικούς αποδέκτες.



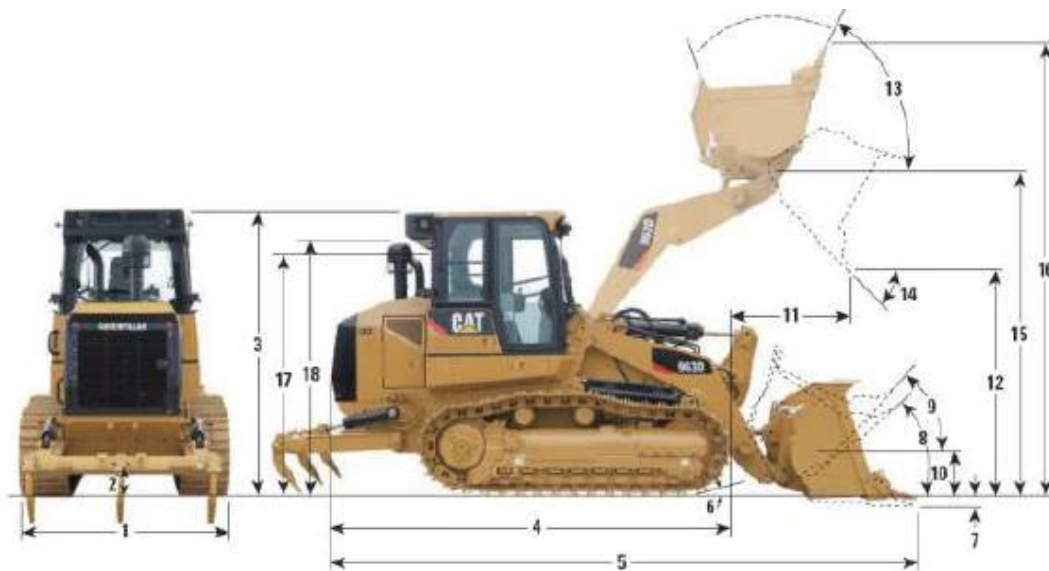
Εικόνα 3.2 Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας [9].



Σχήμα 3.2 Οι κινήσεις που μπορεί να εκτελέσει η μονάδα του εκσκαφέα [9].



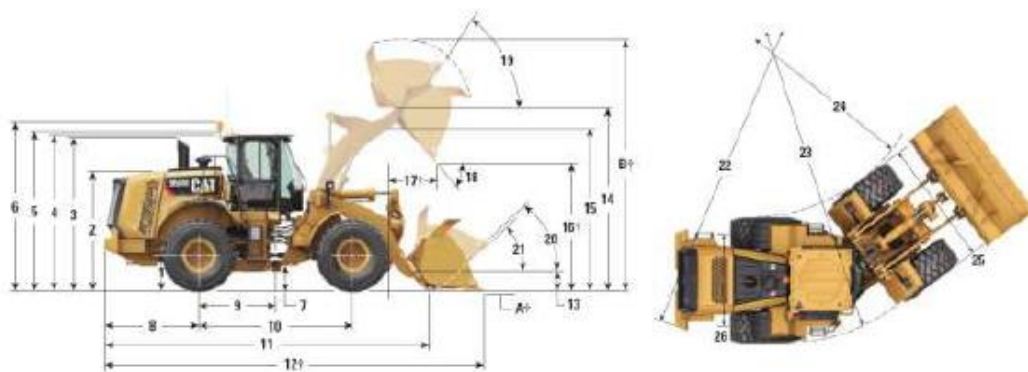
Εικόνα 3.3 Ερπυστριοφόρος φορτωτής [9].



Σχήμα 3.3 Οι κινήσεις που μπορεί να εκτελέσει η μονάδα του ερπυστριοφόρου φορτωτή [9].



Εικόνα 3.4 Λαστιχοφόρος φορτωτής [9].



Σχήμα 3.4 Οι κινήσεις που μπορεί να εκτελέσει η μονάδα του λαστιχοφόρου φορτωτή [9].

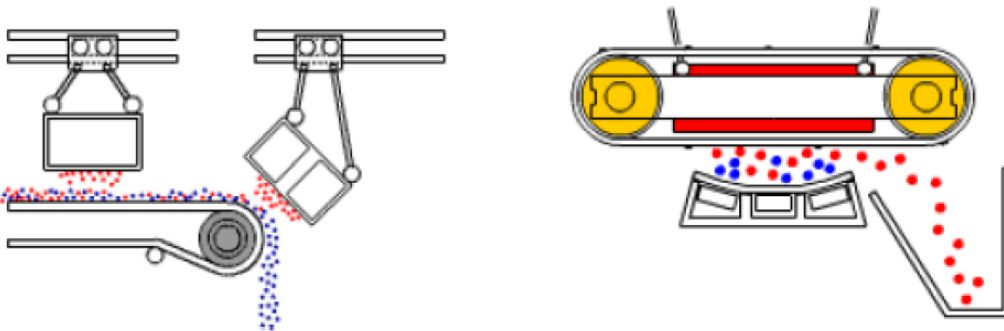
3.4 ΔΙΑΛΟΓΗ

Η διαλογή των υλικών γίνεται κατά βάση χειρωνακτικά. Οι εργάτες της μονάδας ξεχωρίζουν τα υλικά που προορίζονται για διαφορετική επεξεργασία και τα αποθηκεύουν προσωρινά.

Ειδικά για την απομάκρυνση των μεταλλικών προσμίξεων στα οικοδομικά υλικά χρησιμοποιούνται μαγνητικοί διαχωριστές όπως αυτοί που φαίνονται στο σχήμα 3.1.



Εικόνα 3.5 Χώρος χειρονακτικής διαλογής [12].



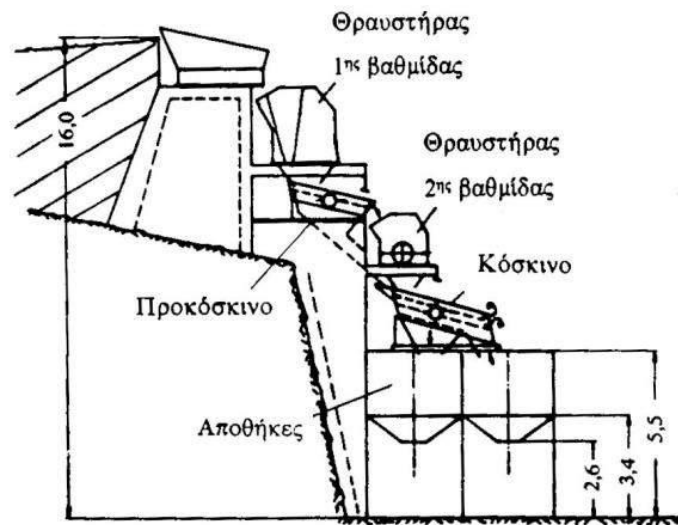
Σχήμα 3.2 Σχηματική απεικόνιση μαγνητικών διαχωριστών [10].

Επίσης, για την απομάκρυνση προσμίξεων που δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τις προηγούμενες μεθόδους χρησιμοποιείται και ρεύμα αέρα (αεροδιαχωρισμός).

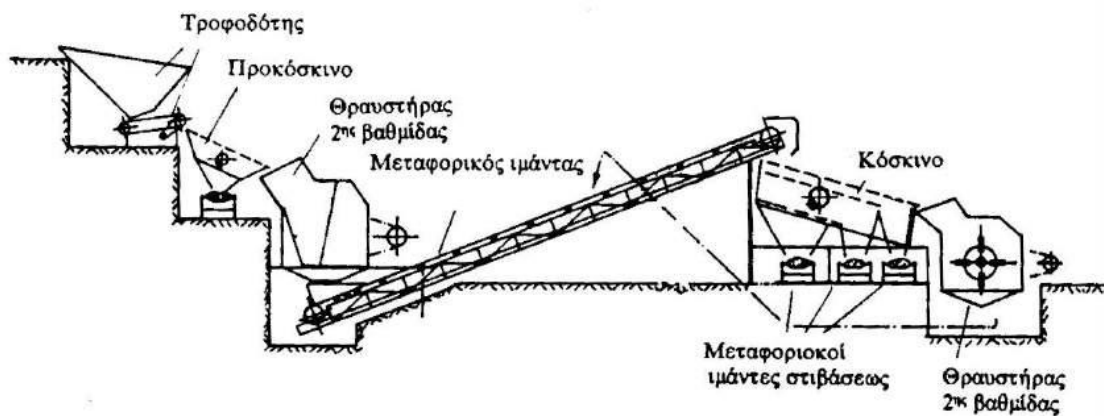
3.5 ΘΡΑΥΣΗ

Τα συγκροτήματα παραγωγής αδρανών υλικών (ΣΠΑΥ) αποτελούνται από σπαστήρες, κόσκινα, πλυντήρια αδρανών υλικών, ιμάντες μεταφοράς και χώρους αποθήκευσης. Τα ΣΠΑΥ μπορεί να είναι κατακόρυφης ή επίπεδης διάταξης ή αυτοφερόμενα.

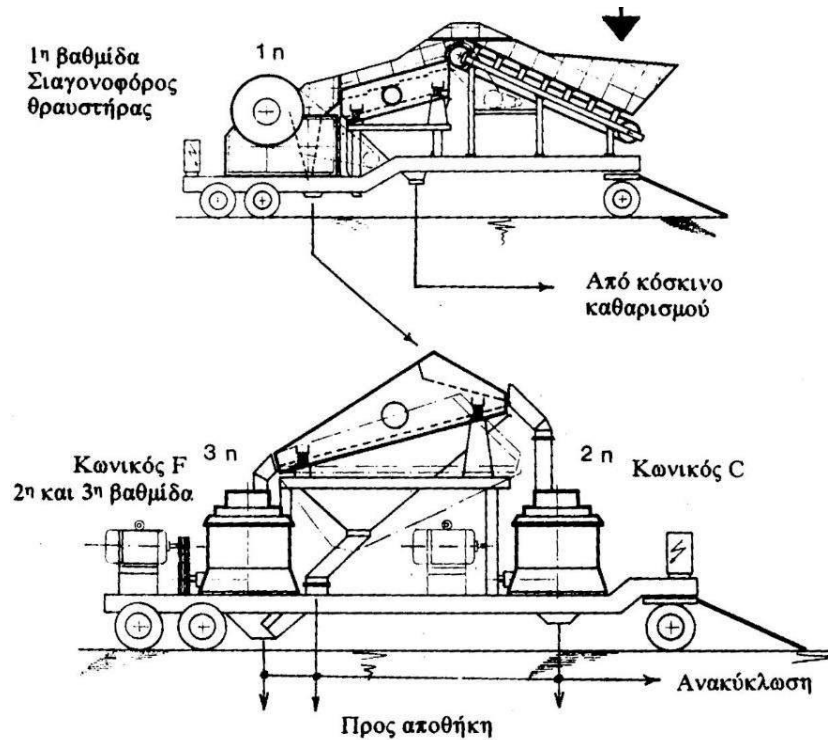
Στα ΣΠΑΥ κατακόρυφης διάταξης τα μηχανήματα τοποθετούνται κατακόρυφα και η ροή των υλικών συμβαίνει λόγω βαρύτητας. Είναι δύσκολο να λειτουργήσουν σε κλειστό κύκλωμα. Στα ΣΠΑΥ επίπεδης διάταξης τα μηχανήματα τοποθετούνται στο ίδιο ύψος και για τη μεταφορά των υλικών χρησιμοποιούνται ταινιόδρομοι. Λειτουργούν εύκολα σε κλειστό κύκλωμα και γενικά είναι πιο ευέλικτες διατάξεις. Στα αυτοφερόμενα τα μηχανήματα τοποθετούνται σε ένα ή περισσότερα πλαίσια με τροχούς.



Σχήμα 3.3 Σχηματική απεικόνιση ΣΠΑΥ κατακόρυφης διάταξης [13].



Σχήμα 3.4 Σχηματική απεικόνιση ΣΠΑΥ επίπεδης διάταξης [13].



Σχήμα 3.5 Σχηματική απεικόνιση αυτοφερόμενου ΣΠΑΥ [13].

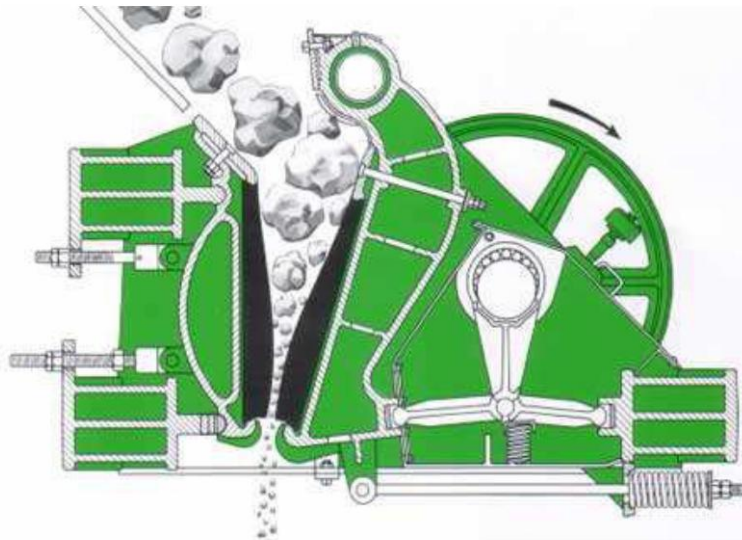
Η κινητή μονάδα θραύσης που φαίνεται στην εικόνα 3.6 αποτελείται από χοάνη στην οποία φορτώνονται τα υλικά, μονάδα ζύγισης, σπαστήρα και ιμάντα που μεταφέρει τα υλικά στον σπαστήρα.



Εικόνα 3.6 Κινητή μονάδα θραύσης [9].

Για τη θραύση των ΑΕΚΚ χρησιμοποιούνται ειδικοί σπαστήρες. Έχουν τη δυνατότητα θραύσης σε ελεγχόμενη κοκκομετρία. Ο λόγος διαστάσεων των κόκκων πριν και μετά την θραύση ονομάζεται βαθμός θραύσης. Στο σχήμα 3.6 φαίνεται η λειτουργία ενός σπαστήρα σιαγώνων. Υπάρχουν και άλλα είδη σπαστήρων που αναφέρονται στη συνέχεια ανάλογα με τη μέθοδο της θραύσης:

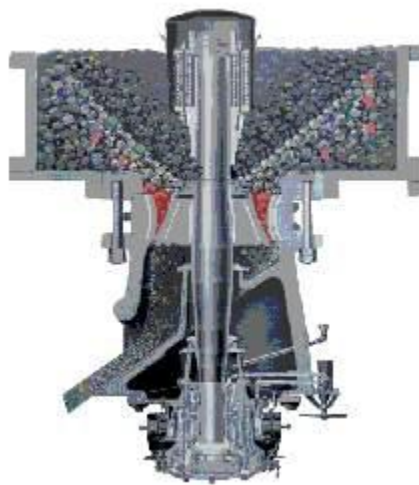
- Μία σταθερή σιαγόνα και μία σιαγόνα που κινείται παλινδρομικά: σιαγωνοφόρος, κολουρονικός.
- Κρούσεις μεταξύ δύο σιαγώνων: κρουστικός σιαγωνοφόρος, κωνικός κρουστικός.
- Θραύση με κρούση: περιστροφικός με κρουστήρες ή σπαστήρας με σφυριά.
- Αντίθετα στρεφόμενοι κύλινδροι: σπαστήρας με κυλίνδρους.
- Άλεση: Μύλος άλεσης που περιστρέφεται ή δονείται.



Σχήμα 3.6 Σπαστήρας τύπου σιαγώνων [10].



Εικόνα 3.7 Περιστροφικός σπαστήρας με κρουστήρες [13].



Εικόνα 3.8 Κωνικός κρουστικός σπαστήρας [13].

Στον πίνακα 3.1 φαίνονται οι τιμές του βαθμού θραύσης για διάφορα είδη σπαστήρων για μικρής και μεγάλης κλίμακας μονάδες. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων συνήθως απαιτούνται τέσσερις βαθμίδες θραύσης που ονομάζονται: πρόθραυση, μετάθραυση, λεπτοφυής θραύση και άλεση.

Στο στάδιο της θραύσης χρησιμοποιούνται ειδικά κόσκινα για τον διαχωρισμό των προϊόντων της θραύσης ανάλογα με το μέγεθος. Υπάρχουν στατικά, παλινδρομικά, περιστροφικά και δονητικά κόσκινα.

Πίνακας 3.1 Βαθμός θραύσης διαφόρων ειδών σπαστήρων [13]

Βαθμός θραύσης		
είδος θραυστήρα	μικρότερες μονάδες	μεγαλύτερες μονάδες
σιαγονοφόρος	4÷8	3÷10
κολουροκωνικός	5÷8	4÷6
περιστροφικός με κρουστήρες	5÷25	5÷50
κωνικός	3÷14	4÷14
με κυλίνδρους	1÷4	2÷8

3.6 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

Τα προϊόντα μιας μονάδας επεξεργασίας αδρανών ΑΕΚΚ παρουσιάζουν πολλές δυνατότητες αξιοποίησης. Οι σημαντικότερες εφαρμογές των αδρανών υλικών είναι:

- Στην παρασκευή σκυροδέματος αρκεί να παρουσιάζουν αρκετή αντοχή και χημική ανεκτικότητα ως προς το τσιμέντο. Συνήθως χρησιμοποιούνται προϊόντα θραύσης ασβεστολιθικών πετρωμάτων, γρανίτη, και μαγνητίτη.
- Στην παρασκευή δομικών υλών όπως τσιμεντόλιθων, ασφάλτου και προϊόντων σκυροδέματος.
- Στην οδοποιία το 90% των εύκαμπτων οδοστρωμάτων αποτελείται από αδρανή υλικά. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται προϊόντα θραύσης κατάλληλων πετρωμάτων όπως οι γρανίτες, γενέσιοι, ψαμίτες, χαλαζίτες κ.ά., προϊόντα θραύσης σκωριών ή απόβλητα ορυχείων μετά από επεξεργασία. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και υλικά παλαιών οδοστρωμάτων κατασκευασμένων από ασφαλτόμιγμα ή ανακυκλούμενο σκυρόδεμα.
- Στη σιδηροδρομική, όπου χρησιμοποιούνται πολύ χονδρόκοκκα (50-65 mm) αδρανή στο υποσύστημα της επιδομής, η οποία αποτελείται από τις σιδηροτροχιές και τους στρωτήρες, για να εξασφαλίζουν την απαραίτητη κλίση και απόσταση μεταξύ τους. Καταλληλότερα υλικά είναι οι χαλαζίτες καθώς και γρανιτικά πετρώματα.
- Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου, στην παρασκευή υδράσβεστου $[Ca(OH)_2]$, Επίσης χρησιμοποιούνται στη

μεταλλουργία, στην υαλουργία, στη γεωργία, στις ζωοτροφές, στη φαρμακοβιομηχανία κ.ά.

- Χρησιμοποιούνται επίσης ως υλικά επιχώσεων σε οικοδομικά έργα, ως υλικά ημερήσιας κάλυψης των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ και σε διάφορες εφαρμογές ως υποκατάστατο του χαλκιού.

4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΡΤΙΟΥ

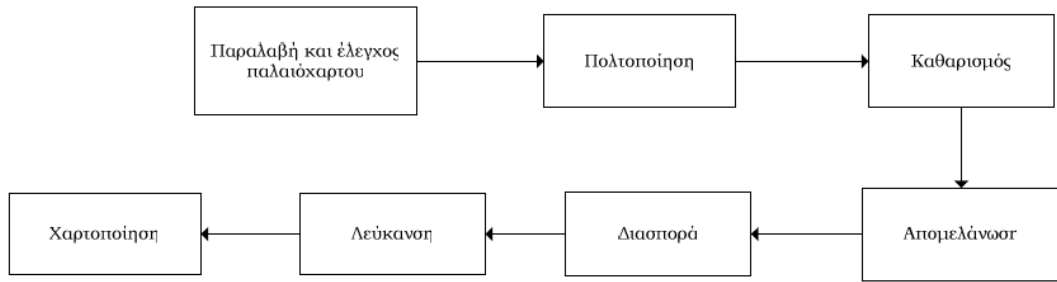
4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η τεχνολογία ανακύκλωσης του χαρτιού αποτελείται από διάφορες διεργασίες. Αρχικά απομακρύνονται διάφορες προσμίξεις και στη συνέχεια παράγεται ένα αιώρημα ινών από το οποίο θα παραχθεί το ανακυκλωμένο χαρτί. Είναι απαραίτητο να απομακρυνθούν όσο περισσότερες προσμίξεις γίνεται και να εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές βελτίωσης της ποιότητας ώστε το χαρτί που θα παραχθεί να έχει την απαιτούμενη ποιότητα.

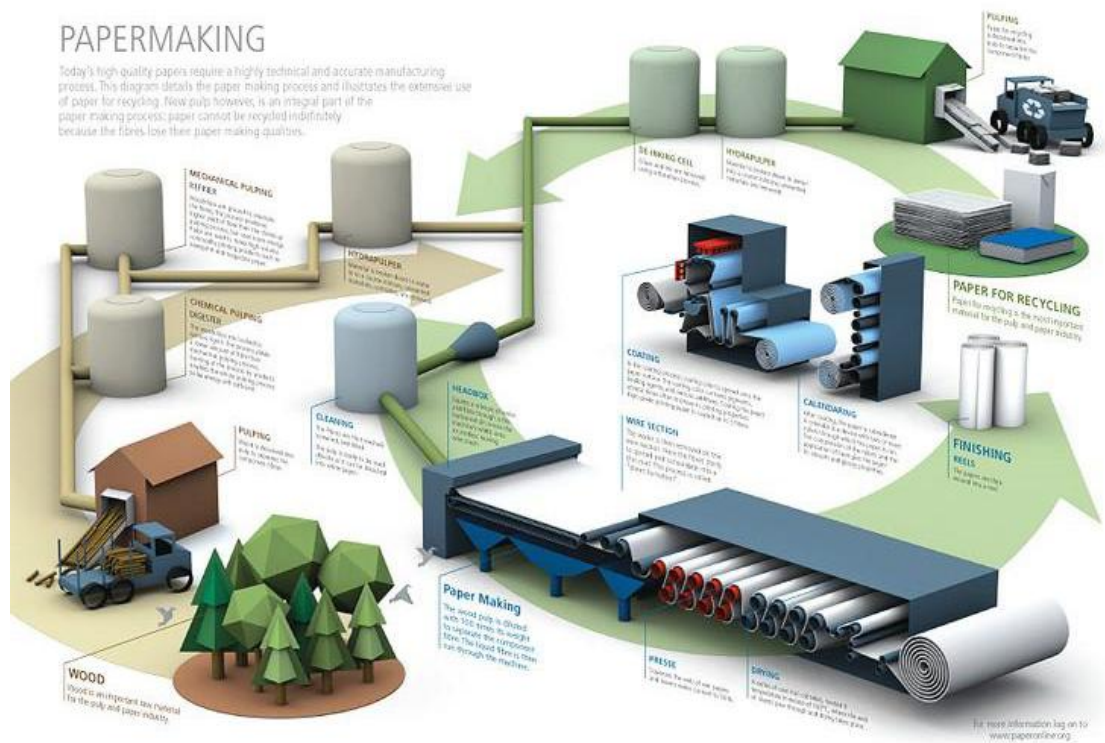


Σχήμα 4.1 Το ποσοστό του παλιόχαρτου που ανακυκλώνεται στην Ευρώπη από το 1990 έως το 2010 [21].

Η διαδικασία ανακύκλωσης αποτελείται από επτά βασικά στάδια, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 4.2. Κάποια από τα στάδια αυτά είναι δυνατόν να επαναλαμβάνονται ανάλογα με την απαιτούμενη ποιότητα του τελικού χαρτιού.



Σχήμα 4.2 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας ανακύκλωσης του χαρτιού [21].



Σχήμα 4.3 Ο κύκλος του χαρτιού [23].



Εικόνα 4.1 Οι εγκαταστάσεις της εταιρείας MEL στη Θεσσαλονίκη που δραστηριοποιείται στην ανακύκλωση χαρτονιού [15].

4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ

Το πρώτο στάδιο είναι η παραλαβή του παλαιόχαρτου. Σε αυτό το στάδιο γίνεται και έλεγχος του παλαιόχαρτου όπου απορρίπτονται διάφορες προσμίξεις που μπορούν εύκολα να απομακρυνθούν. Απομακρύνονται χαρτιά κόλλες, βαφές, μεταλλικά μελάνια κ.ά. που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στις επόμενες φάσεις της διεργασίας.



Εικόνα 4.2 Μπάλες από χαρτί προς ανακύκλωση [23].

4.3 ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΣΗ

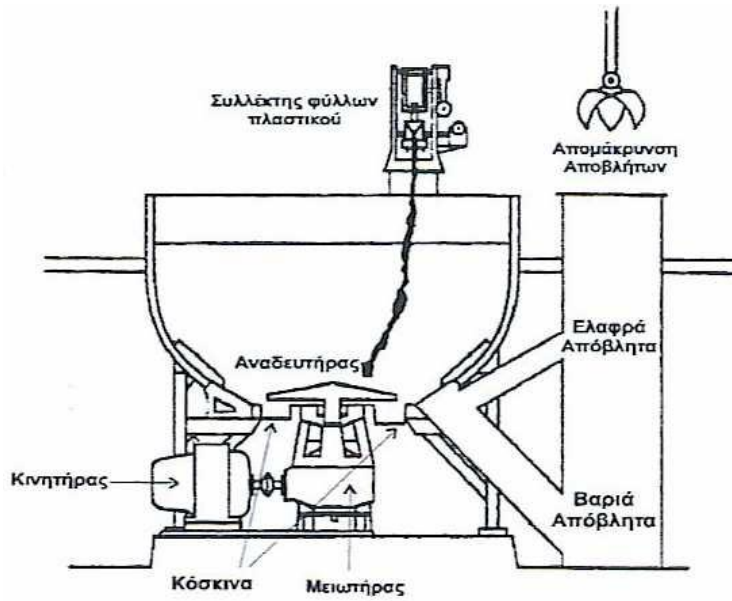
Κατά την πολτοποίηση (ινοποίηση), το παλαιόχαρτο μετατρέπεται σε ένα υδατικό αιώρημα ελεύθερων ινών. Το παλαιόχαρτο διαβρέχεται με μεγάλη ποσότητα νερού και εφαρμόζεται ανάδευση. Συμβαίνει ενυδάτωση των ινών, δηλαδή δημιουργούνται δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των ινών και των μορίων του νερού και οι ίνες διογκώνονται.

Οι ενυδατωμένες ίνες περιβάλλονται πλέον από μόρια νερού και η εφαρμογή της μηχανικής ενέργειας προκαλεί την απελευθέρωσή τους από τον επίπεδο ιστό του χαρτιού και την μετατροπή τους σε ένα υδατικό αιώρημα ελεύθερων ινών, χωρίς την μηχανική καταπόνησή τους. Παραδείγματος χάρη, για χαρτιά που δεν περιέχουν πρόσθετα αύξησης των μηχανικών αντοχών υπό συνθήκες εφύγρανσής τους, η ενυδάτωση των ινών προκαλεί μείωση των δυνάμεων συνοχής αυτών κατά 85-98%.

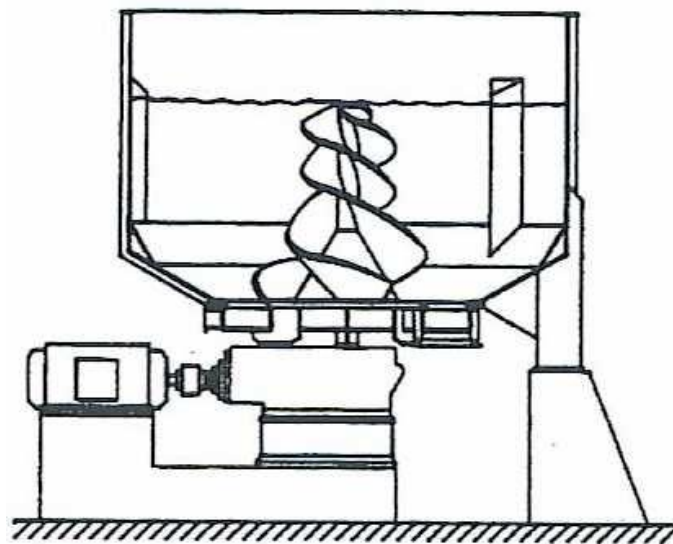
Η πολτοποίηση πραγματοποιείται σε ειδικές διατάξεις που ονομάζονται πολτοποιητές. Αυτοί ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με την συγκέντρωση των στερεών. Έχουμε τους πολτοποιητές χαμηλής περιεκτικότητας (3-6% κ.β. στερεών), τους πολτοποιητές μέσης περιεκτικότητας (6-12% κ.β. στερεών) και τους πολτοποιητές υψηλής περιεκτικότητας (12-18% κ.β. στερεών). Οι πολτοποιητές χαμηλής πυκνότητας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ανακυκλωμένου δημοσιογραφικού χαρτιού και χαρτιού για σκοπούς υγιεινής και καθαριότητας. Οι υπόλοιποι πολτοποιητές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτιών για γραφή και για εκτύπωση. Οι διαφορές των διαφόρων τύπων πολτοποιητών έγκειται κυρίως στον τρόπο ανάδευσης που χρησιμοποιούν.

Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται και τα εκρηκτικά συστήματα πολτοποίησης. Είναι διατάξεις που λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (180-210°C) και πιέσεις. Είναι όμως πιο αποδοτικοί από τους άλλους πολτοποιητές.

Στους πολτοποιητές χαμηλής περιεκτικότητας ο αναδευτήρας έχει τη μορφή οριζόντιου δίσκου με επιφανειακές ανωμαλίες και βρίσκεται στον πυθμένα του πολτοποιητή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4. Οι άλλοι πολτοποιητές έχουν ως αναδευτήρα έναν κοχλία με μεγάλα πτερύγια, που περιστρέφεται γύρω από ένα σταθερό κατακόρυφο άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.4 Σχηματική αναπαράσταση ενός πολτοποιητή χαμηλής περιεκτικότητας [21].



Σχήμα 4.5 Σχηματική αναπαράσταση ενός πολτοποιητή υψηλής περιεκτικότητας [21].

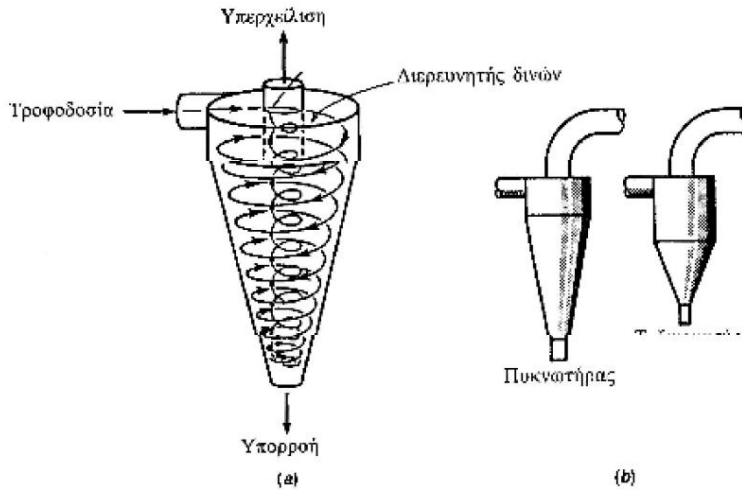
Οι πολτοποιητές ασυνεχούς λειτουργίας οι οποίοι λειτουργούν κατά παρτίδες εξασφαλίζουν πιο ομοιόμορφη ινοποίηση και το τελικό μίγμα είναι περισσότερο ομοιογενές. Έχουν όμως μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης γιατί απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια από τους πολτοποιητές συνεχούς λειτουργίας για την ίδια ποσότητα τροφοδοσίας.

Στους πολτοποιητές συνεχούς λειτουργίας το αιώρημα παραμένει για λιγότερο χρόνο και συνεπώς απαιτείται μικρότερος διαθέσιμος όγκος. Επίσης, για τους ίδιους λόγους οι πολτοποιητές συνεχούς λειτουργίας είναι πιο χαμηλές οι απαιτήσεις σε σωληνώσεις, αντλίες και βοηθητικές δεξαμενές.

Οι πολτοποιητές, περιέχουν συνήθως και κατάλληλο εξοπλισμό για την απομάκρυνση διαφόρων ξένων σωμάτων όπως π.χ. πλαστικά τεμάχια, σύρματα κ.τ.λ. Με τον ίδιο εξοπλισμό απομακρύνουν και διάφορα πλαστικοποιημένα χαρτιά και χαρτόνια που έχουν υποστεί κατεργασία με ρητίνες και δεν μπορούν να ινοποιηθούν.

Το παλαιόχαρτο εισέρχεται στον πολτοποιητή και αφήνεται να μαλακώσει μέσα στο θερμό νερό για χρονικό διάστημα που διαρκεί από λίγα λεπτά έως μερικές ώρες, ανάλογα με το είδος του και την απαιτούμενη ποιότητα του τελικού προϊόντος. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα ουδέτερης πολτοποίησης, δηλαδή πολτοποίηση σε $pH=7$. Σε αυτήν περίπτωση γίνεται μια σημαντική οικονομία γιατί δεν χρειάζεται να προστεθούν κάποια χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται κατά την αλκαλική πολτοποίηση.

Η πολτοποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες 40-55°C και διαρκεί 4-60 min. Η ταχύτητα της πολτοποίησης αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Γενικά, η πολτοποίηση που πραγματοποιείται σε όχι πολύ υψηλές θερμοκρασίες διατηρεί τα ανεπιθύμητα ξένα υλικά σε σχετικά μεγάλο μέγεθος. Έτσι γίνεται πιο εύκολη η απομάκρυνσή τους με κόσκινα ή υδροκυκλώνες. Για παράδειγμα, η πολτοποίηση παλαιόχαρτου που περιέχει κερί σε θερμοκρασία μικρότερη από τους 50 °C εξασφαλίζει ότι τα κεριά δεν θα λιώσουν με αποτέλεσμα την εύκολη απομάκρυνσή τους στη συνέχεια.



Σχήμα 4.6 Υδροκυκλώνας (α) απεικόνιση της ροής, (β) πολλαπλοί υδροκυκλώνες που λειτουργούν παράλληλα [22].

Επίσης, για την εύκολη απομάκρυνση διαφόρων κολλωδών ουσιών χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα όπως ο τάλκης. Τα πρόσθετα αυτά αποδυναμώνουν την σύνδεση των κολλωδών ουσιών με το χαρτί με αποτέλεσμα πάλι την εύκολη απομάκρυνσή τους. Επίσης στον πολτοποιητή προστίθενται διάφορες αλκοόλες οι οποίες εμποδίζουν την συσσωμάτωση των σωματιδίων των κολλωδών ουσιών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η απόθεση αυτών των ουσιών στα τοιχώματα του πολτοποιητή.

4.4 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Στο χαρτί που οδηγείται στην ανακύκλωση περιέχονται διάφορες ανεπιθύμητες προσμίξεις (contaminants) σε ποσοστό που κυμαίνεται από 1,5% κ.β. έως 2,5% κ.β. Οι πιο συνηθισμένες είναι άμμος, μέταλλα, πλαστικά και κόλλες. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα, αδιάλυτα ή μέτρια διαλυτά στο νερό. Η παρουσία αυτών των ουσιών μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στη λειτουργία του

μηχανολογικού εξοπλισμού. Επίσης, μειώνει το ρυθμό παραγωγής και υποβαθμίζει την ποιότητα του παραγόμενου χαρτιού.

Για την απομάκρυνση αυτών των ουσιών χρησιμοποιούνται οι υδροκυκλώνες υψηλής πυκνότητας (σχήμα 4.5) και τα κόσκινα. Το πέρασμα από τους υδροκυκλώνες γίνεται αμέσως μετά την πολτοποίηση. Στον υδροκυκλώνα το αιώρημα τίθεται σε περιστροφική κίνηση και οι ξένες ουσίες διαχωρίζονται με φυγοκέντριση. Με τους υδροκυκλώνες απομακρύνονται τα σωματίδια σχετικά μεγάλου μεγέθους και τα σωματίδια μεγάλης πυκνότητας. Υπάρχουν και υδροκυκλώνες μέσης και χαμηλής πυκνότητας που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση προσμίξεων μικρότερης πυκνότητας.

Με το κόσκίνισμα απομακρύνονται στερεά ξένα σώματα που έχουν διαφορετικό μέγεθος από τις ίνες καθώς και συσσωματώματα ινών. Τα κόσκινα έχουν μικρές οπές ή σχισμές κατάλληλου μεγέθους ώστε να συγκρατούνται τα ξένα σώματα και συχνά είναι εφοδιασμένα με περιστρεφόμενα στροφέια για την πιο εύκολη διέλευση του αιωρήματος. Το αιώρημα περνά δύο φορές από κόσκινα έτσι ώστε ένας αριθμός ινών που μπορεί να μην περάσει στο πρώτο κόσκινο, να ανακτηθεί στο δεύτερο.

4.5 ΑΠΟΜΕΛΑΝΩΣΗ

Το πιο συνηθισμένο ξένο συστατικό στο χαρτί είναι προφανώς το μελάνι. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την απομάκρυνσή του, δηλαδή την απομελάνωσης (deinking) του χαρτιού. Το μελάνι, συνήθως, αποτελεί το 0,5 με 2% της μάζας του παλαιοχάρτου που οδηγείται για απομελάνωση.

Η διαδικασία της απομελάνωσης μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από τα παρακάτω τέσσερα στάδια:

- Αποκόλληση του μελανιού από τις ίνες
- Ρύθμιση του μεγέθους και του σχήματος των σωματιδίων του μελανιού ώστε να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός τους από το αιώρημα ινών
- Διαχωρισμό των διασκορπισμένων σωματιδίων του μελανιού από τις ίνες

➤ Ανακύκλωση του νερού που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία

Η απομάκρυνση του μελανιού πραγματοποιείται με έκπλυση, επίπλευση, φυγοκέντριση και κοσκίνισμα. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η αποτελεσματικότητα κάθε μεθόδου για διάφορα μεγέθη σωματιδίων μελανιού.



Σχήμα 4.7 Αποτελεσματικότητα των μεθόδων απομελάνωσης για διάφορα μεγέθη σωματιδίων μελανιού [21].

Η έκπλυση είναι αποτελεσματική για την απομάκρυνση σωματιδίων μελανιού με μέγεθος από 3 έως 25 μm. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το αιώρημα εισέρχεται μέσα σε ένα κελί που περιβάλλεται από ένα πλέγμα οπών. Τροφοδοτούμε το κελί με νερό το οποίο παρασύρει τα σωματίδια του μελανιού και αυτά περνούν από τις οπές και απομακρύνονται. Το μέγεθος των οπών επιλέγεται έτσι ώστε να περνά μεγάλο ποσοστό σωματιδίων μελανιού αλλά να μην περνούν μαζί τους και ίνες που πρέπει να παραμείνουν μέσα στο κελί.

Η επίπλευση είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική απομελάνωσης. Το αιώρημα αποτελείται από νερό, ίνες, διάφορα πληρωτικά μέσα και τα σωματίδια του μελανιού που πρέπει να απομακρυνθούν. Στο μίγμα αυτό προστίθενται διάφορες τασιενεργές ουσίες έτσι ώστε να αυξηθεί ο υδρόφοβος χαρακτήρας των σωματιδίων του μελανιού.

Στο κελί επίπλευσης εισέρχεται αέρας με αποτέλεσμα τον συσσωματωμάτων φυσαλίδων αέρα και μελανιού. Πρέπει να τονιστεί ότι πρέπει να αποφεύγονται φαινόμενα τυρβώδους ροής γιατί έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάμιξη των σωματιδίων του μελανιού με τις ίνες.

Η επίπλευση είναι αποτελεσματική για απομάκρυνση σωματιδίων με μέγεθος 10 έως 100 μm . Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου κυμαίνεται από 75% έως 97%.

Η φυγοκέντριση είναι μία μέθοδος διαχωρισμού που βασίζεται στις διαφορετικές τιμές πυκνότητας των διαφόρων σωματιδίων. Συνήθως χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική των άλλων μεθόδων. Με τη φυγοκέντριση απομακρύνονται σωματίδια μελανιού με μέγεθος της τάξης των 100-400 μm . Τα σωματίδια μεγαλύτερης πυκνότητας συγκεντρώνονται στο κέντρο ενώ τα σωματίδια μικρότερης πυκνότητας συγκεντρώνονται στην περιφέρεια της διάταξης.

Το κοσκίνισμα (screening) είναι ιδιαίτερα αποδοτικό για την απομάκρυνση μεγάλων σχετικά σωματιδίων, όπως μεγάλα σωματίδια μελανιού και κόλλες. Στην πραγματικότητα μέσω της μεθόδου αυτής δύναται η απομάκρυνση σωματιδίων που έχουν διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά από τις ίνες. Τα κόσκινα όπως έχει ήδη αναφερθεί έχουν οπές ή σχισμές κατάλληλου μεγέθους που συγκρατούν τα ξένα σωματίδια.

Στη συνέχεια για τη λεύκανση γίνεται κατεργασία του αιωρήματος με όζον ή υπεροξείδιο του υδρογόνου. Από εκεί και μετά ακολουθείται η διαδικασία της χαρτοποίησης όπως και με τον χαρτοπολλτό που προέρχεται από την ξυλεία.



Εικόνα 4.3 Προϊόντα από ανακυκλωμένο χαρτί [23].

5. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανακύκλωση των μετάλλων είναι πολύ σημαντική για την προστασία του περιβάλλοντος αφού μειώνει τον όγκο των απορριμμάτων που καταλήγουν στην υγειονομική ταφή αλλά και για τη διατήρηση των αποθεμάτων του πλανήτη. Επίσης εξοικονομούνται μεγάλα ποσά ενέργειας και μειώνεται η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μέταλλα μπορούν να ανακυκλώνονται συνεχώς χωρίς απώλεια των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 5.1 Οι εγκαταστάσεις της μονάδας ανακύκλωσης μετάλλων της εταιρείας VA.STE.ECO EVOLUTION Ε.Π.Ε. στη Βοιωτία [14].

Τα κυριότερα μέταλλα που ανακυκλώνονται είναι το αλουμίνιο, ο χαλκός και τα σιδηρούχα. Το αλουμίνιο είναι ίσως η σημαντικότερη περίπτωση ανακύκλωσης μετάλλου. Το σημαντικότερο κέρδος από την ανακύκλωσή του δεν είναι στην οικονομία που γίνεται στην πρώτη ύλη (αφού ο βωξίτης είναι άφθονος στο στερεό φλοιό της γης) αλλά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ανακύκλωση χάλυβα χρησιμοποιεί 75% λιγότερη ενέργεια από ότι η παραγωγή χάλυβα από πρώτες ύλες. Όλοι οι τύποι του χάλυβα είναι 100% ανακυκλώσιμοι και μπορούν να ανακυκλωθούν πολλές φορές. Ο χάλυβας είναι το πιο ανακυκλωμένο υλικό στον κόσμο.

Για τη μεταφορά των μεταλλικών απορριμμάτων () χρησιμοποιούνται φορτωτές JCB και βαρέως τύπου, γερανοφόρα οχήματα, ανυψωτικά (Clark) με λαβίδες ή πιρούνια κ.ά.



Εικόνα 5.2 Γερανοφόρο οχήμα συλλογής με υδραυλικό γερανό (αρπάγη) [14].



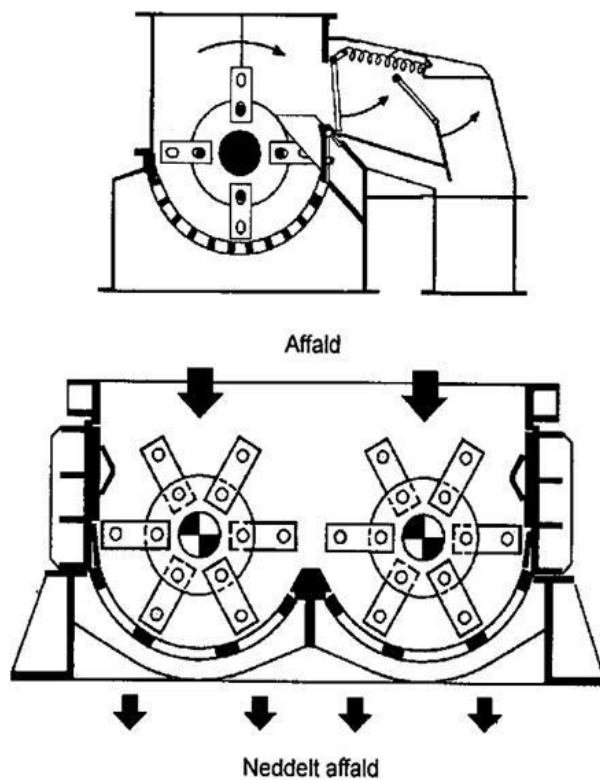
Εικόνα 5.3 Ανυψωτικό περνοφόρο όχημα (clark) με πιρούνια [14].

5.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

Η ανακύκλωση του χάλυβα είναι μια πολύ παλιά επιχείρηση και πρέπει να επισημανθεί ότι στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου υπάρχει ένα πολύ ανεπτυγμένο σύστημα συλλογής απορριμμάτων, μονάδες επεξεργασίας και εργοστάσια χάλυβα που χρησιμοποιούν τα απορρίμματα. Για τις εταιρείες επεξεργασίας απορριμμάτων και τις χαλυβουργίες, τα απορρίμματα χάλυβα αποτελούν έναν πολύτιμο πόρο.

5.2.1 Επεξεργασία απορριμμάτων

Τα απορρίμματα μεγαλύτερου μεγέθους π.χ. από αυτοκίνητα ή ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές (waste electrical and electronic equipment, WEEE), συνήθως κατακερματίζονται σε μικρότερα κομμάτια με έναν τεμαχιστή (σχήμα 5.1 και εικόνες 5.4 και 5.5), με σκοπό κυρίως τον διαχωρισμό των διαφορετικών υλικών που περιέχονται και την διευκόλυνση της ταξινόμησης.



Σχήμα 5.1 Σχηματική αναπαράσταση ενός τεμαχιστή [1].



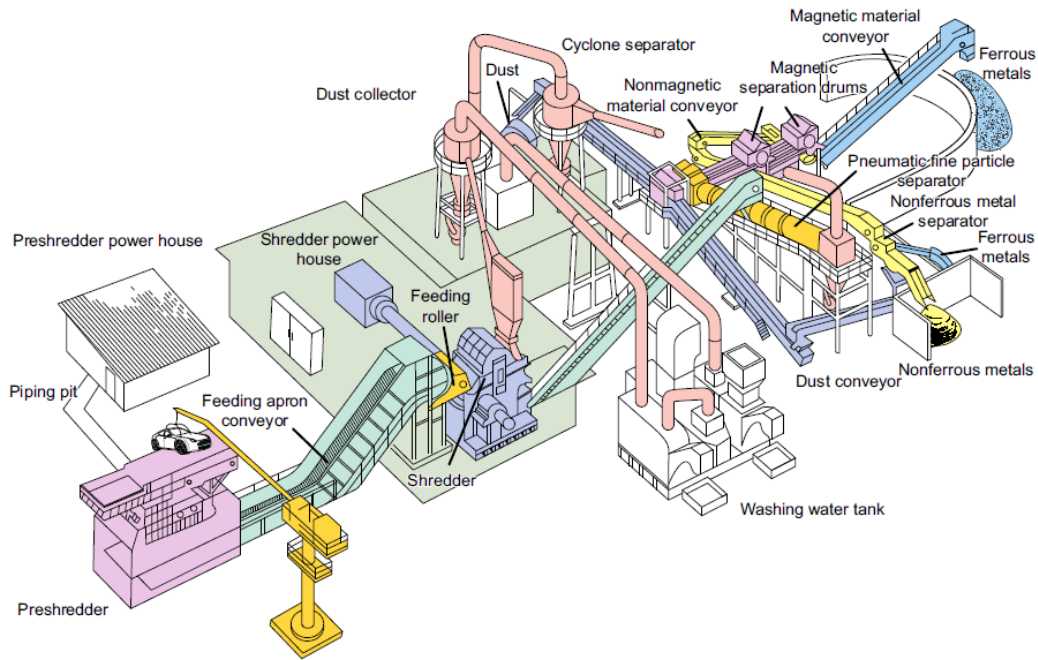
Εικόνα 5.4 Σπαστήρας Hummel για τον τεμαχισμό υλικών [14].



Εικόνα 5.5 Πρέσα - ψαλίδι AKROS HENSCHEL SCRAP SHEAR [14].

Μία τυπική διαδικασία για την διαλογή των διαφορετικών υλικών που εξάγονται από τον τεμαχιστή δίνεται στο Σχήμα 5.2. Το χαλύβδινο θραύσμα τοποθετείται στον τεμαχιστή και κατακερματίζεται σε κομμάτια σε περίπου μέγεθος παλάμης. Πολύ μικρά και ελαφριά σωματίδια, κυρίως με οργανικό περιεχόμενο, μεταφέρονται πνευματικά και συλλέγονται ως σκόνη.

Στη συνέχεια το υλικό περνά από κάποια στάδια διαχωρισμού, που περιλαμβάνουν μαγνητικό διαχωρισμό, κοσκίνισμα και αεροδιαχωρισμό. Το μεγαλύτερο μέρος του χάλυβα συλλέγεται στο μαγνητικό κλάσμα ενώ τα μη σιδηρούχα μέταλλα συλλέγονται στο μη μαγνητικό κλάσμα και επίσης τα πολύ μικρά και ελαφριά σωματίδια απομακρύνονται. Αυτά τα βήματα της διαχωρισμού μπορούν στη συνέχεια να συμπληρωθούν με κάποια ακόμη για τη βελτίωση της ταξινόμησης, όπως διαχωρισμός με βάση την πυκνότητα, ασθενής μαγνητικός διαχωρισμός, διαχωρισμός με ρεύματα eddy, χειρωνακτική ταξινόμηση, ταξινόμηση με βάση το χρώμα ή τις φυσικές ιδιότητες κ.τ.λ.



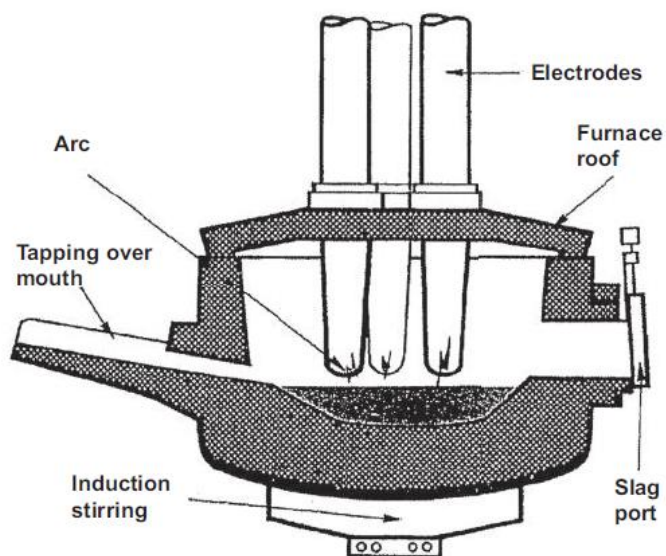
Σχήμα 5.2 Απεικόνιση της διαδικασίας ταξινόμησης του υλικού που εξέρχεται από τον τεμαχιστή σε διαφορετικές κατηγορίες υλικών [1].

Συνήθως το υλικό που εξέρχεται από τον τεμαχιστή δεν είναι πλήρως διαχωρισμένο. Πολύ συχνά τα τεμάχια χάλυβα περιέχουν χαλκό, αλουμίνιο ή άλλα μέταλλα. Η περιεκτικότητα του χάλυβα σε χαλκό περιορίζει την ποιότητα του χάλυβα που μπορεί να παραχθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι απαιτήσεις σχετικά με το ποσοστό των προσμίξεων στον τελικό χάλυβα εξαρτώνται ισχυρά από την ποιότητα του χάλυβα που θέλουμε να παραχθεί. Το περιεχόμενο σε Cu μπορεί να κυμανθεί από λίγο πάνω από 0,3% Cu έως κάτω από 0,1% Cu για διαφορετικές ποιότητες χάλυβα. Οι ποιότητες χάλυβα με μικρότερη περιεκτικότητα σε Cu έχουν υψηλότερη τιμή πώλησης από αυτές που περιέχουν περισσότερο Cu. Τα τελευταία χρόνια αρχίζουν να χρησιμοποιούνται και φασματοσκοπικές μέθοδοι για τον διαχωρισμό τον καθαρισμό του χάλυβα από τις διάφορες προσμίξεις.

5.2.2 Διαδικασίες Τήξης Απορριμμάτων Χάλυβα

Η χαλυβουργία από τα απορρίμματα βασίζεται στην πλήρη τήξη των απορριμμάτων σε έναν κλίβανο ηλεκτρικού τόξου (electric arc

furnace, EAF), όπου η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας για την τήξη. Η ανάπτυξη της διαδικασίας με αφρισμό σκωρίας μέσω έγχυσης άνθρακα και οξυγόνου, κοπή με οξυγόνο, προθέρμανση των απορριμμάτων, συν-καύση καυσίμου σε καυστήρες κ.ά. έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και επίσης πρόσθεσε κάποια ευελιξία όσον αφορά την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία επεξεργασίας, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τήξη θραυσμάτων χάλυβα σε ένα σύγχρονο EAF κυμαίνεται από 400 έως 450 kWh ανά τόνο χάλυβα. Αρχικά προστίθενται ειδικές ουσίες για να απορροφήσουν μερικές από τις ακαθαρσίες που περιέχονται στον χάλυβα. Στη συνέχεια, ο χάλυβας εξευγενίζεται με αλλαγή της χημικής σύστασης του λιωμένου μετάλλου (ladle refining process). Ακολουθεί χύτευση, έλαση και κάποιες τελικές επεξεργασίες. Μια πρόσφατη τάση είναι η προσθήκη παρθένου σιδήρου στα απορρίμματα κατά την παραγωγή χάλυβα σε έναν EAF. Ο φούρνος μπορεί είτε να λειτουργήσει είτε με ρεύμα AC με τρία ηλεκτρόδια, που και η πιο συνηθισμένη περίπτωση (σχήμα 5.3), είτε με συνεχές ρεύμα με ένα ηλεκτρόδιο.



5.3 Σχηματική απεικόνιση ενός κλιβάνου ηλεκτρικού τόξου [1].

Ο EAF είναι μια πολύ αποτελεσματική μονάδα τήξης, αλλά δεν είναι ο καταλληλότερος αντιδραστήρας για εκτέλεση αντιδράσεων εξευγενισμού ή για την προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων από μη μεταλλικό

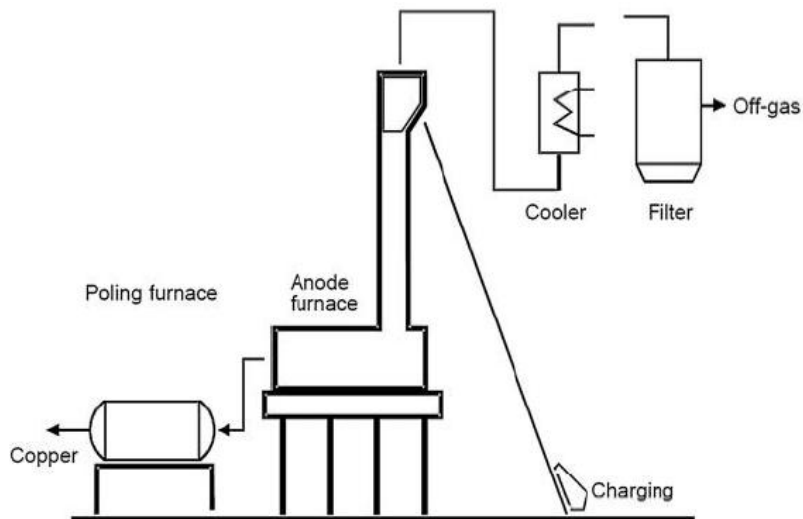
υλικό. Επομένως, η ποιότητα του παραγόμενου χάλυβα εξαρτάται από τις διαδικασίες που ακολουθούν μετά την τήξη.

5.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΛΚΟΥ

Τα απορρίμματα χαλκού τήκονται σε πρωτογενή και δευτερογενή χυτήρια. Ο τύπος του κλιβάνου και τα βήματα της διεργασίας που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του υλικού σε χαλκό, την ύπαρξη άλλων συστατικών, το μέγεθος κ.ά. Στην περίπτωση απορριμμάτων οξειδίου του χαλκού, απαιτείται αναγωγή, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση άνθρακα και σιδήρου. Ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη διαδικασία είναι δυνατόν να ανακτηθούν και άλλα μέταλλα όπως Zn, Pb και Sn. Ανάλογα με την ποιότητα των απορριμμάτων, μπορεί να απαιτηθεί απαιτείται εξευγενισμός, που γίνεται συνήθως με ηλεκτρικές μεθόδους.

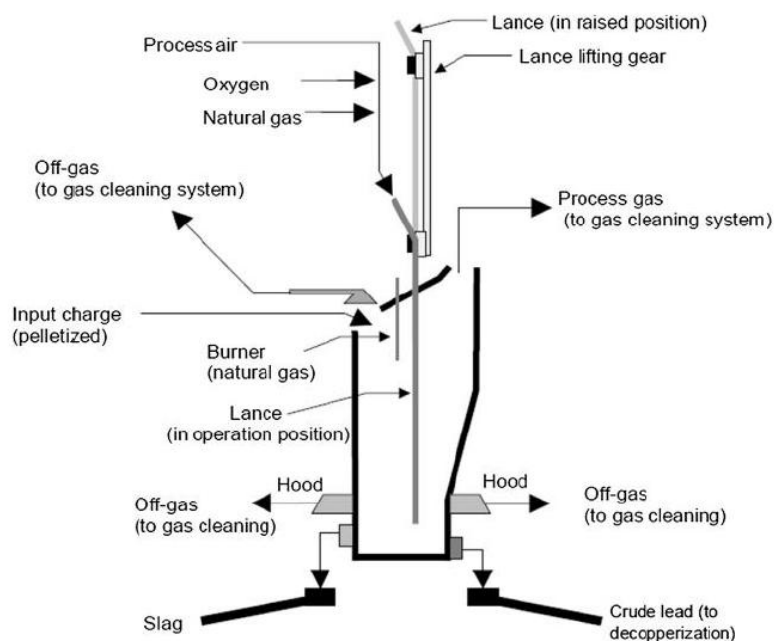
Τα θραύσματα χαλκού μπορούν να λιώσουν σε διάφορα είδη κλιβάνων: υψικάμινι, περιστροφικοί κάμινι ή ηλεκτρικοί φούρνοι. Τα χυτήρια που χρησιμοποιούνται για τα απορρίμματα χαλκού χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους τήξης ανάλογα με το είδος των απορριμμάτων. Οι μικροί μετατροπείς Peirce-Smith χρησιμοποιούνται συνήθως για απορρίμματα κραμάτων χαλκού όπως ο ορείχαλκος. Η διαδικασία Contimelt είναι μία συνεχής διαδικασία δύο σταδίων για την τήξη και επεξεργασία απορριμμάτων χαλκού υψηλής ποιότητας και μαύρου χαλκού.

Η διαδικασία Contimelt βασίζεται σε δύο διασυνδεδεμένους φούρνοι, συμπεριλαμβανομένου ενός βασικού αξονικού φούρνου όπου θραύσματα υψηλής ποιότητας και ο μαύρος χαλκός τήκονται. Καυστήρες οξυγόνου παρέχουν την θερμότητα για την τήξη. Ο λιωμένος χαλκός ρέει σε έναν κυλινδρικό κλίβανο, όπου αποξειδώνεται χρησιμοποιώντας φυσικό αέριο και χυτεύεται στην άνοδο.



Σχήμα 5.4 Η διαδικασία Contimelt [1].

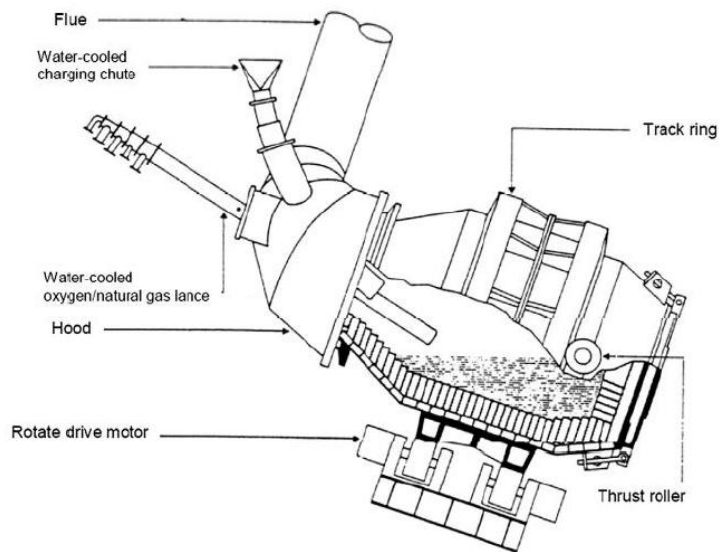
Η διαδικασία Isasmelt/Ausmelt βασίζεται σε κυλινδρικό φούρνο χρησιμοποιώντας χαλύβδινη λόγχη για ένεση, π.χ. φυσικού αερίου, πετρελαίου, οξυγόνου ή αέρα στο τήγμα. Η λόγχη βυθίζεται στο λουτρό, δημιουργώντας ένα καλά αναδευμένο τήγμα. Ο σχηματισμός μιας επικάλυψης σκωρίας προστατεύει τη λόγχη (σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5 Η διαδικασία Isasmelt/Ausmelt [1].



Εικόνα 5.6 Εγκαταστάσεις ανακύκλωσης χαλκού [1].



Σχήμα 5.6 Ο φούρνος TBRC [1].

Ο φούρνος TBRC (top blown rotary converter) ή αλλιώς Kaldo (σχήμα 5.6) είναι περιστρεφόμενος και με κλίση κλίβανος που χρησιμοποιεί λόγχες για θέρμανση. Ο φούρνος είναι ένας συμπαγής και ενεργειακά αποδοτικός αντιδραστήρας. Η καλή ανάμιξη επιτυγχάνεται μέσω περιστροφής. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει επίσης σε φθορά της πυρίμαχης επένδυσης. Το οξυγόνο και τα καύσιμα προστίθενται με λόγχες. Ο φούρνος χρησιμοποιείται για τήξη, μετατροπή και επεξεργασία

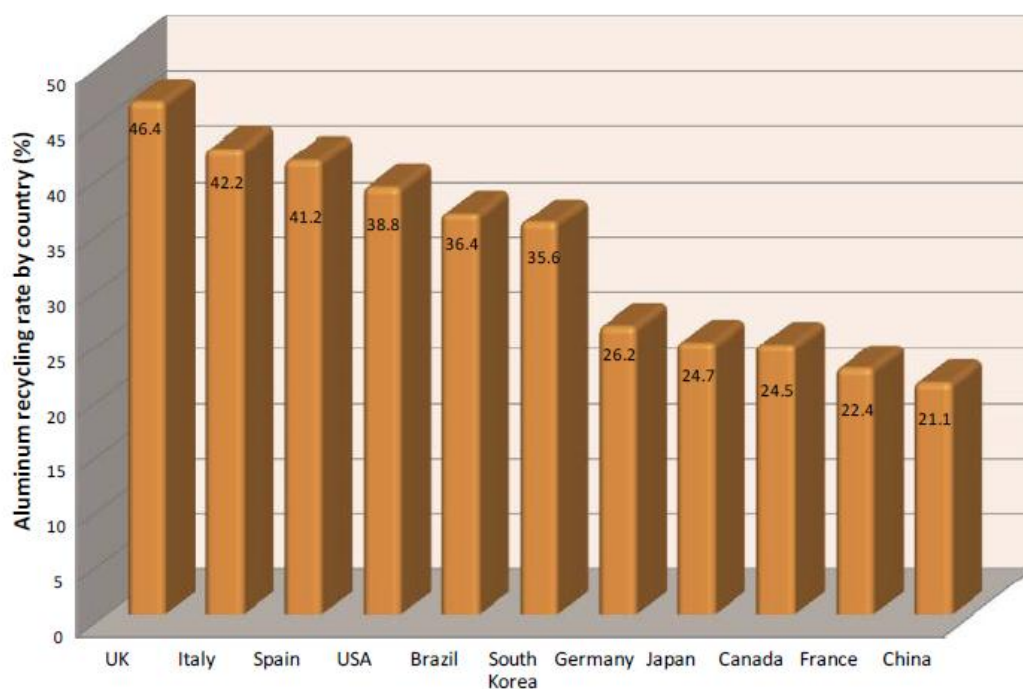
σκωρίας στις βιομηχανίες επεξεργασίας χαλκού, μολύβδου και πολύτιμων μετάλλων.

5.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Το αλουμίνιο, όπως κάθε μέταλλο, μπορεί να ανακυκλωθεί επανειλημμένα χωρίς απώλεια ιδιοτήτων, εκτός προφανώς από τις διάφορες προσμίξεις και τα άλλα συστατικά των κραμάτων του που αναπόφευκτα συλλέγονται και διαλύονται κατά τη διάρκεια των πολλών κύκλων ανακύκλωσης. Η υψηλή αξία των απορριμμάτων αλουμινίου αποτελεί βασικό κίνητρο για ανακύκλωση. Τα οφέλη από την ανακύκλωση έχουν να κάνουν με την εξοικονόμηση σημαντικών ποσών ενέργειας αλλά και φυσικών πόρων. Η ανακύκλωση αλουμινίου εξοικονομεί περίπου 95% της απαιτούμενης ενέργειας σε σύγκριση με την πρωτογενή παραγωγή αλουμινίου, αποφεύγοντας βέβαια και τις αντίστοιχες εκπομπές ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των αερίων του θερμοκηπίου. Ο παγκόσμιος μέσος όρος της ανακύκλωσης αλουμινίου είναι 27%. με το υψηλότερο ποσοστό να το έχει το Ηνωμένο Βασίλειο (57,3%).

Τα δοχεία αλουμινίου είναι σημαντικά για την ανακύκλωση γιατί έχουν μεγάλο όγκο και πολύ μικρότερο κύκλο ζωής από άλλα προϊόντα αλουμινίου. Η Βραζιλία κατέχει το παγκόσμιο ρεκόρ στην ανακύκλωση κουτιών αλουμινίου. Χρειάζονται περίπου 30 ημέρες για την αγορά, χρήση, συλλογή, ανακύκλωση, ανακατασκευή, επαναγέμισμα και επιστροφή ενός αλουμινένιου κουτιού στα ράφια των μαγαζιών.

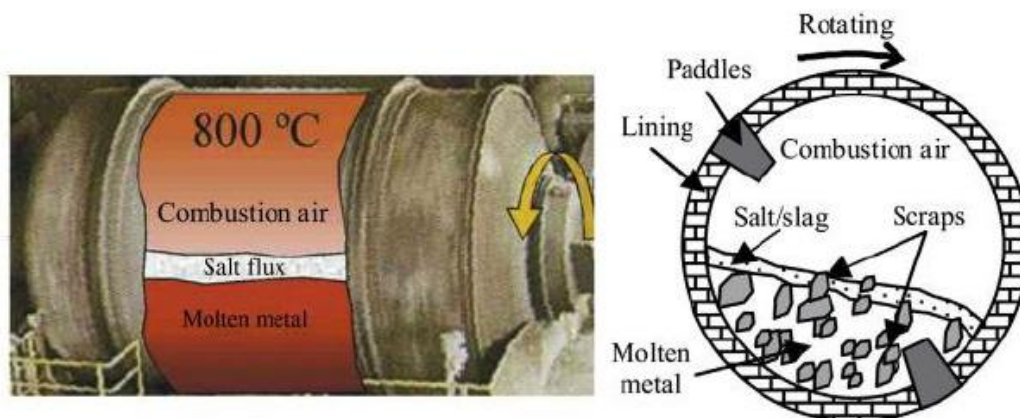
Υψηλής ποιότητας και καθαρά θραύσματα τήκονται και επαναδιαμορφώνονται για την παράγωγή καλής ποιότητας επεξεργασμένου αλουμινίου. Για χειρότερης ποιότητας απορρίμματα χρησιμοποιείται επεξεργασία με αλάτι (NaCl-KCl). Οι τύποι κλιβάνων περιλαμβάνουν κλιβάνους τήξης χωρίς ροή και περιστρεφόμενοι και σταθερής γωνίας. Καθαρά απορρίμματα καθορισμένης ποιότητας που είναι λίγο οξειδωμένα και μπορεί να περιέχουν πτητικά συστατικά όπως οργανικά υλικά, συνήθως επεξεργάζονται από έναν remelter και χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή σφυρήλατου αλουμινίου.



Σχήμα 5.7 Οι χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά ανακύκλωσης αλουμινίου [1].

Ανάλογα με τις συνθήκες οξειδωσης καθώς και την παρουσία λιπαντικών, επιστρώσεων κ.τ.λ., γίνεται επεξεργασία είτε χωρίς ροή είτε εξευγενισμός από σκωρία αλατιού και στη συνέχεια κραματοποίηση για την επίτευξη των καλύτερων δυνατών χυτών κραμάτων.

Τα μέτρια έως πολύ οξειδωμένα και τα ακάθαρτα απορρίμματα αλουμινίου υποβάλλονται συχνά σε επεξεργασία σε περιστροφικό φούρνο τήξης, όπου τα απορρίμματα θερμαίνονται από την καύση του φυσικού αερίου, λιώνει και εξευγενίζεται. Με κριτήρια την κατανάλωση ενέργειας και αλατιού, την ανάκτηση μετάλλων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η απόδοση τήξης των απορριμμάτων αλουμινίου είναι το κρίσιμο ζήτημα στη βιομηχανία ανακύκλωσης αλουμινίου .



Εικόνα 5.7 Ο περιστροφικός κλίβανος τήξης και οι φάσεις που είναι παρούσες μέσα στον κλίβανο [1].

Ακόμα και στα απλά θραύσματα αλουμινίου, οι ενώσεις με άλλα υλικά μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην ανακύκλωση. Η δεξιά πλευρά της εικόνας 5.8 δείχνει αποτελέσματα τήξης από δύο θραύσματα, Α και Β (στα αριστερά). Η ανάκτηση μετάλλων από τα απορρίμματα Α είναι 84,3% κατά βάρος, αλλά από τα Β είναι 95,3%. Οργανικά και άλλα επιχρίσματα καθώς και υλικά προσαρτημένα στο αλουμίνιο μπορεί να δημιουργήσουν ενώσεις, όπως σουλφίδια (π.χ. Al_2S_3), φωσφίδια (π.χ. AlP), υδρίδια (π.χ. AlH_3) ή καρβίδια (π.χ. Al_4C_3), με αποτέλεσμα μείωση της δυνατότητας ανάκτησης και άλλα προβλήματα. Άλλα προβλήματα προκύπτουν όταν αυτές οι ενώσεις αντιδρούν με νερό ή υγρασία στον αέρα και σχηματίζουν $H_2S(g)$, $PH_3(g)$, $H_2(g)$ και $CH_4(g)$, αντίστοιχα, και το Al_2O_3 , που είναι τοξικά, εκρηκτικά ή εύφλεκτα. Ως εκ τούτου, η ανάκτηση επηρεάζεται πολύ από την καθαρότητα και τη μορφολογία των απορριμμάτων. Επιπλέον, απώλειες συμβαίνουν λόγω μετάλλων και άλλων υλικών συνδεδεμένων με το αλουμίνιο, τα οποία δεν μπορούν να απομακρυνθούν και ως εκ τούτου απαιτούν μετά τον εξευγενισμό, αραίωση με αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας.

Ακόμα και η τήξη καθαρού αλουμινίου έχει απώλειες λόγω οξείδωσης με αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού ανάκτησης του αλουμινίου.



Εικόνα 5.8 Η επίδραση της επιφάνειας των απορριμμάτων στην απόδοση της ανάκτησης [1].

6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το γυαλί είναι ένα από τα παλαιότερα συνθετικά υλικά, με ενδείξεις για την παραγωγή του στην αρχαία Αίγυπτο που χρονολογούνται τουλάχιστον στο 3000 π.Χ. Η οπτική του διαφάνεια, σκληρότητα και αντοχή το έχουν κάνει απαραίτητο σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας. Επίσης είναι χημικά αδρανές και μη τοξικό. Σημαντικότερες εφαρμογές του γυαλιού είναι στα τζάμια, στις συσκευασίες, στα οχήματα, στα οικιακά είδη, στον ηλεκτρικό εξοπλισμό και σε προϊόντα μόνωσης και σύνθετα υλικά. Επιπλέον, το υλικό αυτό έπαιξε και παίζει καθοριστικό ρόλο σε πολλές εξελίξεις στην επιστήμη και την τεχνολογία.

Οι διαφορετικές εφαρμογές του γυαλιού απαιτούν και διαφορετικές χημικές συνθέσεις για αυτό. Η πρακτική εφαρμογή στην οποία καταλήγει η μεγαλύτερη ποσότητα γυαλιού είναι τα γυάλινα δοχεία. Το γυαλί που προορίζεται για δοχεία βασίζεται σε μια σύνθεση από περίπου 15% οξείδιο του νατρίου (Na_2O), 9% οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και λίγο περισσότερο από 70% διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Η μόνη σημαντική παραλλαγή στη σύνθεση αυτή προκύπτει από τα διαφορετικά χρώματα που παράγονται. Το πράσινο γυαλί επιτυγχάνεται με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων χρωμίου, ενώ το κεχριμπαρένιο περιέχει χρώμιο και σίδηρο. Στην περίπτωση του διαυγούς γυαλιού οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι γενικά χαμηλές.

Το γυαλί κατασκευάζεται με τήξη ενός κατάλληλου συνδυασμού πρώτων υλών σε κλίβανο και χρησιμοποιώντας διάφορες διαδικασίες σχηματισμού πριν την επανάψυξη. Μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών είναι χρησιμοποιείται, αλλά τα πιο συνήθισμένα υλικά είναι το διοξείδιο του πυριτίου (άμμος), το ανθρακώδες νάτριο (Na_2CO_2) και το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Στα βοροπυριτικά γυαλιά χρησιμοποιείται επίσης τριοξείδιο του βορίου (BO_3) που λαμβάνεται από το borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Επίσης χρησιμοποιείται και τριοξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) που

λαμβάνεται από την αλουμίνα που προέρχεται από τον εξευγενισμό του βωξίτη.

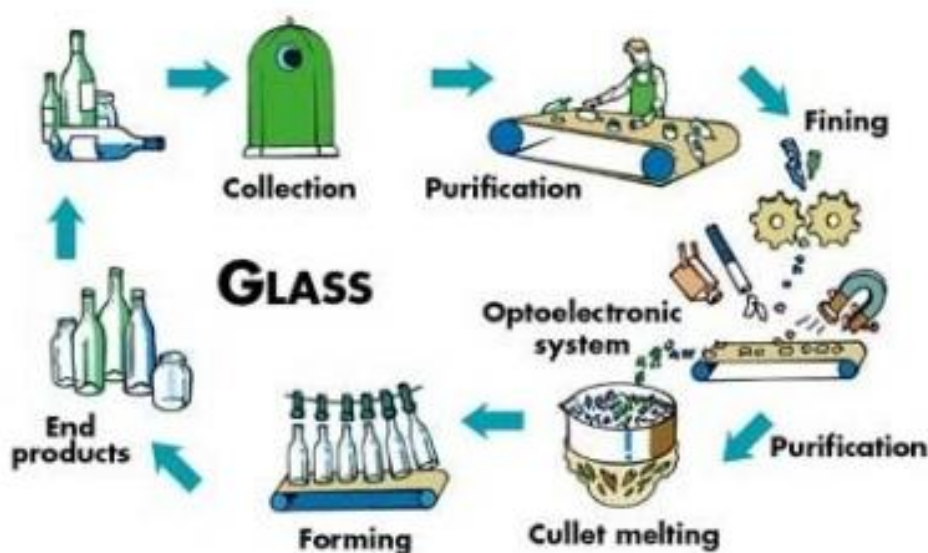
Το γυαλί είναι ένα υλικό που, σε πολλές από τις μορφές του, είναι επαναχρησιμοποιήσιμο. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις φιάλες και άλλα γυάλινα δοχεία, τα οποία είναι ακόμα σε θέση να ικανοποιήσουν το ρόλο τους ως δοχείων συσκευασίας πολλές φορές και πολύ καιρό μετά την πρώτη τους χρήση. Αυτό οδήγησε τους κατασκευαστές και τις κυβερνήσεις να αναγνωρίσουν ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων μέσω της ανάκτησης και της επαναχρησιμοποίησης των γυάλινων δοχείων.

Το γυαλί είναι επίσης εύκολα ανακυκλώσιμο υλικό και μπορεί να αναδιαμορφωθεί και να αναμορφωθεί σε αντικείμενα με τα ίδια χαρακτηριστικά όπως το πρωτότυπο υλικό (ανακύκλωση κλειστού βρόχου). Ωστόσο, για τη μεγιστοποίηση των επιπέδων ανακύκλωσης, έχει βρεθεί ότι οι εναλλακτικές διαδρομές «ανοικτού βρόχου» πρέπει επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο.

6.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

Γενικά με τον όρο ανακύκλωση κλειστού βρόχου εννοούμε τη διαδικασία κατά την οποία από τα απορρίμματα μέσω κατάλληλης επεξεργασίας ξαναφτιάχνουμε το ίδιο ή παρόμοιο προϊόν (με αυτό που απορρίφθηκε) χωρίς σημαντικές απώλειες. Κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης κλειστού βρόχου τα απορρίμματα γυαλιού ("cullet") εισάγονται πίσω στο φούρνο υαλουργίας, τήκονται και αναμιγνύονται με τις άλλες πρώτες ύλες. Αυτή η διαδικασία ανακύκλωσης που αναφέρεται μερικές φορές ως "remelt" μπορεί να επαναληφθεί επ 'αόριστον χωρίς απώλειες. Η ποιότητα του απαιτούμενου προϊόντος γυαλιού καθορίζει εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ανακύκλωση γυαλιού για μια δεδομένη διαδικασία κατασκευής. Για παράδειγμα, η συμπερίληψη γυάλινων απορριμμάτων στην κατασκευή του επίπεδου γυαλιού δεν είναι πάντα δυνατή, λόγω των αυστηρών απαιτήσεων όσον αφορά την καθαρότητα των πρώτων υλών για την επίτευξη των επιθυμητών οπτικών ιδιοτήτων. Ωστόσο, η χρήση των γυάλινων απορριμμάτων στην κατασκευή γυάλινων δοχείων είναι εξαιρετικά εύκολη.

Το πιο σημαντικό στάδιο στην ανακύκλωση του γυαλιού είναι η ταξινόμηση των γυάλινων απορριμμάτων με βάση το χρώμα. Η ταξινόμηση με βάση το χρώμα μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή σχημάτων συλλογής που απαιτούν από το κοινό να ταξινομήσει κατάλληλα τα γυάλινα μπουκάλια που επιστρέφει για ανακύκλωση. Μετά από μία πρώτη διαλογή, το γυαλί σπάει σε μικρά κομμάτια (υαλόθραυσμα) και στη συνέχεια έχουμε μία δεύτερη επεξεργασία διαλογής για την αφαίρεση των ξένων σωματιδίων. Η συλλογή γυαλιών μικτού χρώματος από εμπορικές πηγές οδήγησε στην εισαγωγή εξοπλισμού αυτόματης διαλογής «ηλεκτρονικών ματιών» που με τη χρήση μικροκαμερών είναι σε θέση να αναγνωρίσει τα διάφορα παρείσακτα σωματίδια που στη συνέχεια απομακρύνονται με ρεύμα αέρα ή άλλους τρόπους.



Σχήμα 6.1 Ο κύκλος του γυαλιού [24].

Η αυτόματη χρωματική ταξινόμηση του γυαλιού κάνει την επεξεργασία των απορριμμάτων γυαλιού μια διαδικασία ενός μόνο σταδίου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό επειδή τα γυάλινα δοχεία είναι πιθανό να περιέχουν διάφορα άλλα υλικά. Αυτά περιλαμβάνουν υλικά που χρησιμοποιούνται για επισήμανση και κλείσιμο, όπως μέταλλα, πλαστικά και χαρτί. Επίσης μπορεί να υπάρχουν και άλλα υλικά όπως κεραμικά και είδη γυαλιού τα οποία δεν μπορούν να ανακυκλωθούν. Εκτός από τη χειρωνακτική διαλογή για την απομάκρυνση των φανερών

προσμίξεων χρησιμοποιούνται επίσης το κοσκίνισμα, η μαγνητική διαλογή για την απομάκρυνση των σιδηρομαγνητικών υλικών, η διαλογή με ρεύματα eddy κ.ά. Στο τέλος της διαδικασίας διαλογής έχουμε πράσινο, καφέ και διάφανο γυαλί.

Στη συνέχεια τα απορρίμματα γυαλιού οδηγούνται στην ίδια γραμμή παραγωγής με την κοινή υαλουργία. Στην υαλουργία το γυαλί κατασκευάζεται με τήξη ενός κατάλληλου συνδυασμού πρώτων υλών σε κλίβανο και χρησιμοποιώντας διάφορες διαδικασίες μορφοποίησης πριν ψυχθεί ξανά.



Εικόνα 6.1 Ηλεκτρικός φούρνος για ανακύκλωση γυαλιού [25].

6.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

Στην ανακύκλωση ανοικτού βρόχου τα απορρίμματα χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την κατασκευή διαφόρων προϊόντων διαφορετικών από τα προϊόντα από τα οποία προήλθαν. Υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διαδρομές όσον αφορά την ανακύκλωση του γυαλιού. Μερικές από αυτές περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση σε πολύ διαφορετικά προϊόντα. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τήξη γυαλιού παρουσία άλλων υλικών, με διαφορετικά προϊόντα ανάλογα με τις συνθήκες.

Ένα εναλλακτικό γυάλινο προϊόν στην κατασκευή του οποίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν απορρίμματα γυαλιού είναι το *ballotini*,

δηλαδή μικρές γυάλινες σφαίρες (συνήθως διαμέτρου 1-60 μm) που είναι ιδιαίτερα ανακλαστικές και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν σήματα αυτοκινητόδρομων και πινακίδες, ανακλαστικά ρούχα ασφαλείας και οθόνες προβολής. Το ballotini συνήθως απαιτείται να είναι άχρωμο, και έτσι μόνο πυριτόλιθοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του.

Μόνωση από υαλοβάμβακα που αποτελείται από μικρού μήκους ίνες γυαλιού μπορεί επίσης να κατασκευαστεί από απορρίμματα γυαλιού. Σε αυτήν την περίπτωση οι ανοχές σχετικά με την ποιότητα του ανακυκλωμένου γυαλιού είναι σχετικά υψηλές και δεν υπάρχει καμία απαίτηση σχετικά με το χρώμα. Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν έως και 80% απορρίμματα γυαλιού στις μονώσεις.

Το αφρώδες γυαλί είναι ένα καθιερωμένο εμπορικό προϊόν που μπορεί να κατασκευαστεί από απορρίμματα γυαλιού σε ποσοστό 98% περίπου. Η κατασκευή αφρώδους γυαλιού κανονικά περιλαμβάνει την εισαγωγή σωματιδίων αφρού μέσα σε γυαλί, το οποίο στη συνέχεια θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεταξύ 700 και 900 $^{\circ}\text{C}$, όπου το γυαλί γίνεται ιξώδες ρευστό και ο αφρός μετατρέπεται σε αέριο που σχηματίζει φυσαλίδες.

Η χρήση των απορριμμάτων του γυαλιού ως συστατικό στο κεραμικά προϊόντα είναι επίσης μια πιθανή διέξοδος. Δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για τη χρήση του υλικού μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως πρόσθετα στα λεγόμενα fired ceramics είτε στην κατασκευή glass ceramics.

Τα κεραμικά από γυαλί είναι κεραμικά υλικά που περιλαμβάνουν τόσο κρυσταλλικές όσο και άμορφες φάσεις. Κατασκευάζονται με από υαλώδη υλικά που βρίσκονται σε περιοχές θερμοκρασιών που συμβαίνει μετατροπή από την άμορφη στην κρυσταλλική φάση. Διεξάγεται σημαντική έρευνα για τη χρήση των απορριμμάτων γυαλιού σε γυάλινα κεραμικά που περιέχουν και άλλα προϊόντα και υποπροϊόντα που παράγονται από απορρίμματα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανακύκλωση των απορριμμάτων προσφέρει πολλαπλά οφέλη σε όλους τους τομείς και μπορεί να αποτελέσει λύση για πάρα πολλά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της ανακύκλωσης επιτυγχάνουμε μείωση των σκουπιδιών που οδηγούνται στις χωματερές, προστασία του περιβάλλοντος, ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων (ενέργεια, μεταλλεύματα, νερό, πετρέλαιο κ.ά.) και οικονομική ανάπτυξη. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η έρευνα για νέες και πιο αποδοτικές μεθόδους ανακύκλωσης προσφέρει και ευκαιρίες συνεργασίας μεταξύ επιστημόνων και μηχανικών διαφορετικών ειδικοτήτων καθώς και ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνικών παραγωγής και επεξεργασίας υλικών.

Όλες οι χώρες του κόσμου έχουν στραφεί στην ανακύκλωση και προσπαθούν με διάφορους τρόπους να την προωθήσουν και να ευαισθητοποιήσουν τους πολίτες τους. Είναι φανερό ότι η επιτυχία αυτής της προσπάθειας εξαρτάται κυρίως από την συμμετοχή όλων των πολιτών. Η Ελλάδα έχει κάνει τα τελευταία χρόνια σημαντικά βήματα όσον αφορά την ανάπτυξη μονάδων ανακύκλωσης, αν και υπάρχουν πολλά που πρέπει να γίνουν στη συνέχεια.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα προϊόντα από ανακυκλούμενα υλικά δεν υστερούν σε ποιότητα έναντι των προϊόντων που παράγονται από παρθένα υλικά. Επίσης, γίνονται συνεχώς σημαντικά βήματα στην ανάπτυξη τεχνικών ώστε η ποιότητα αυτών των προϊόντων να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο και επίσης για να αυξηθεί το εύρος των δυνατών εφαρμογών τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Handbook of Recycling,) E. Worrell and M. Reuter, Elsevier Inc. 2014.
2. Καραγιαννίδης Γ, Σιδερίδου Ε, Αχιλιάς Δ. και Μπικιάρης Δ., Τεχνολογία Πολυμερών, εκδόσεις Ζήτη 2009.
3. Μπόκαρης Ε., Τεχνολογία Ανακύκλωσης Πλαστικών, εκδόσεις Ζήτη 2012.
4. A. Lee and M.S. Liew, Tertiary recycling of plastics waste: an analysis of feedstock, chemical and biological degradation methods, Journal of Material Cycles and Waste Management, 10 September 2020.
5. S.M. Al-Salem P. Lettieri, J. Baeyens, 2009, Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review ,Waste Management, **29**(10):2625-43.
6. Arun Kumar Awasthi et al 2017, Plastic solid waste utilization technologies: A Review IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. **263** 022024.
7. Narinder Singh et al, Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications, Composites Part B **115**, 409-422 (2017).
8. ecopress.gr
9. Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία μονάδας επεξεργασίας και ανακύκλωσης ΑΕΚΚ στην Πάφο. Πέτρος Νικολάου και Υιός Ltd, Μάιος 2017.
10. Κακλόπουλος Σ., Ανακύκλωση και Διαχείριση Αδρανών Υλικών, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης 2015.
11. Μ. Ζυγούρας και Α. Καραγιαννίδης, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟ ΜΙΑ ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ, http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_zigouras.pdf
12. Τ.Ε.Ε. Ανακύκλωση Οικοδομικών Απορριμμάτων, Πάτρα 2012.
13. Λαμπρόπουλος Σ., Παραγωγή Αδρανών Υλικών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.
14. <https://www.siakandaris.gr/>
15. <http://melpaper.com/index.php/el/>

16. https://fa.oregonstate.edu/sites/fa.oregonstate.edu/files/recycling/resources/MR_Class/chapter_4_recycling_processes.pdf
17. <https://el.wikipedia.org/>
18. <https://www.flash.gr/economy/1553755/anakyklwsi-yparchei-i-ochi-stin-ellada>
19. Y. Gensen, Mystery of Recycling: Glass and Aluminum Examples, <https://www.researchgate.net/publication/287214178>
20. Ιστοσελίδα Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης, <https://www.eoan.gr/>
21. Τσάτσης Δ., Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανακυκλωμένου χαρτιού συσκευασίας, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2008.
22. Θεοδοσούλη Κ., Ανακύκλωση πλαστικών υλικών, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Κρήτης 2011.
23. Κονδύλη Α. και Καλογεράκης Α., Σύγχρονες μέθοδοι και προοπτικές στην ανακύκλωση του χαρτιού, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Α.Ε.Ι. Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.
24. <http://myscienceschool.org/index.php?/archives/3953-Recycled-glass.html>
25. <http://www.glasstronics.co.uk/news.html>