



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΜΠ 338

Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ): Διαχείριση και Σχεδιασμός Συστημάτων

Αναπλ. Καθηγητής Απόστολος Γιαννής

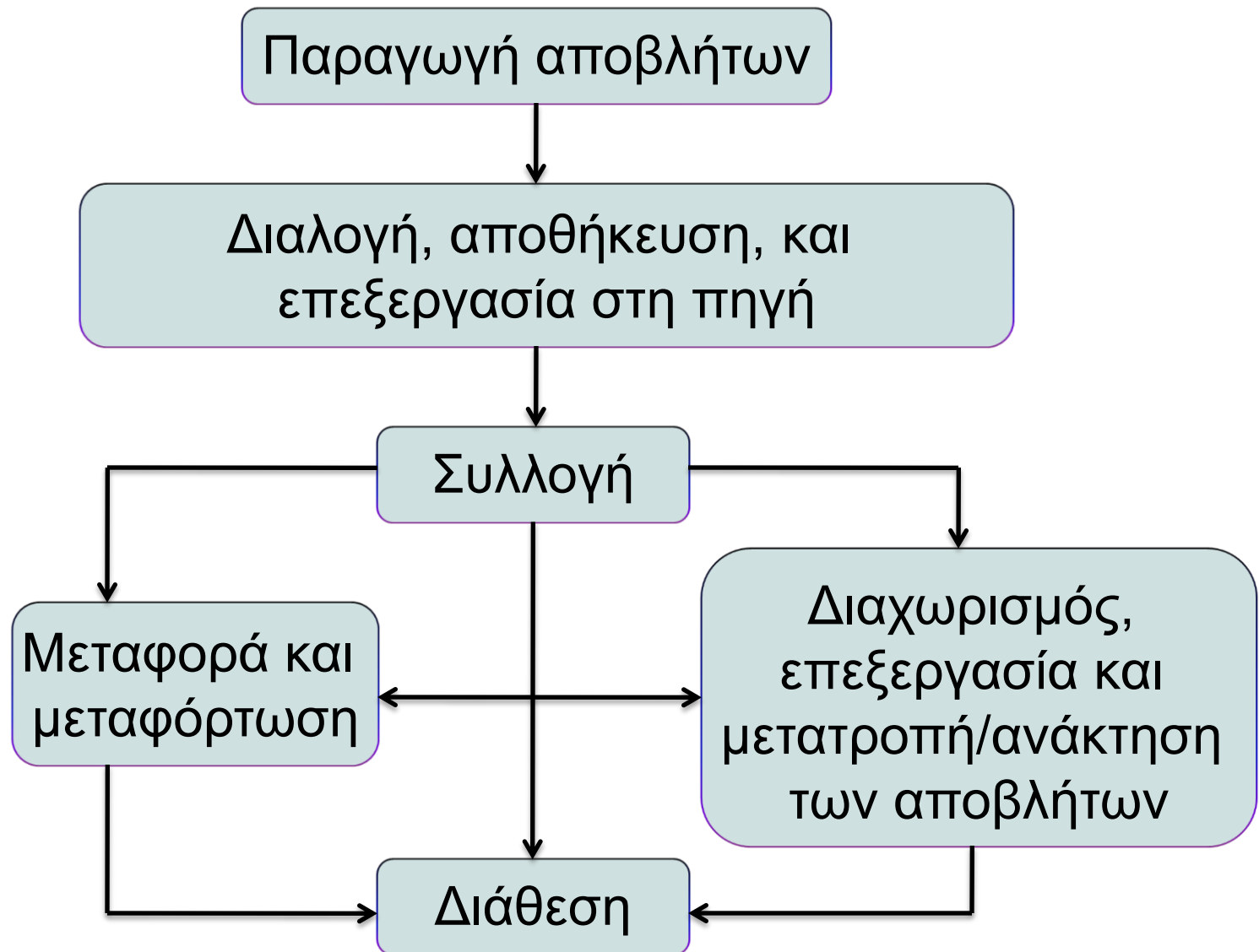
E-mail: agiannis@tuc.gr

Κεφάλαιο 3

Μείωση, Επαναχρησιμοποίηση, Ανακύκλωση, Ανάκτηση...

The Rs in Waste Management

Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Αποβλήτων

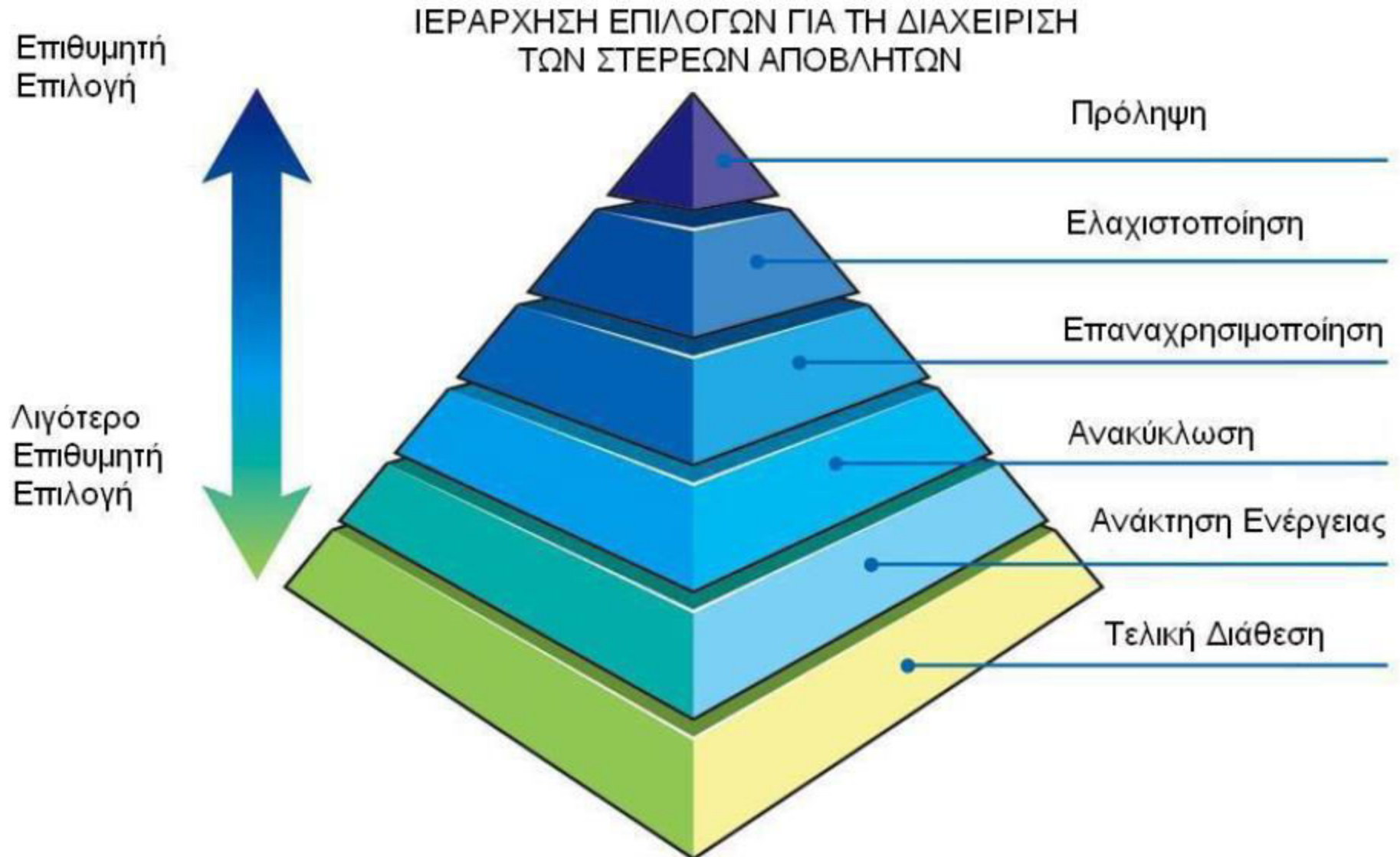


Διαλογή, αποθήκευση, και επεξεργασία στη πηγή

- **Διαλογή στη πηγή** περιλαμβάνει δραστηριότητες διαχείρισης αποβλήτων πριν την απόθεση σε κάδους για συλλογή.
- **Διαχωρισμός** σε συστατικά, όπως χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, αλουμίνιο, κλπ. είναι ο πιο **αποτελεσματικός** τρόπος για να επιτευχθεί η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αυτών των υλικών
 - ❑ Αποθήκευση εντός σπιτιού και περιοδική μεταφορά σε μεγαλύτερος κάδους ή κοντέινερ.
 - ❑ Απευθείας διάθεση σε κοντέινερ.



Ιεράρχηση στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων



Μέλλον

Αναστροφή
ιεράρχησης

ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ
ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ

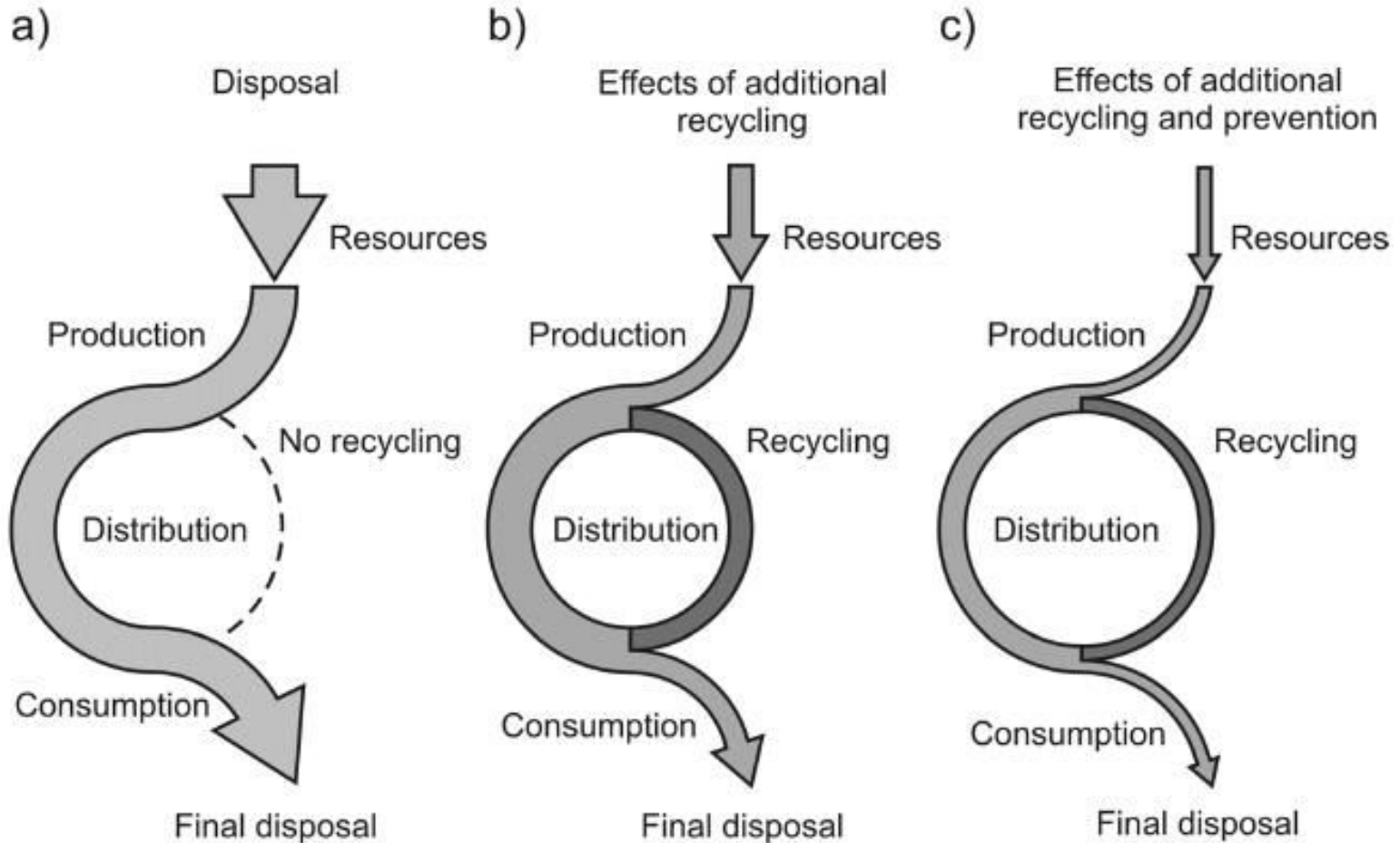
ΛΙΓΟΤΕΡΟ
ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ



Ιεράρχηση στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων

- **Πρόληψη:** πλήρης εξάλειψη των αποβλήτων
- **Ελαχιστοποίηση:** μείωση στη πηγή
- **Επαναχρησιμοποίηση:** επαναχρησιμοποίηση των υλικών πάνω απο μια φορά
- **Ανακύκλωση:** ανακύκλωση των υλικών στο ίδιο προϊόν ή σε άλλες παραγωγικές διαδικασίες
- **Ανάκτηση ενέργειας:** αποτέφρωση, αναερόβια χώνευση, κλπ.
- **Διάθεση:** διάθεση των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής

Πρόληψη και ανακύκλωση





Munich, Germany



Curbside Recycling Containers



12 6'03



FIGURE 10-10

Small direct-load rural public convenience transfer stations. In transfer station shown on left, the open top containers are placed against retaining wall at same level as unloading platform for ease of loading.



(a)



(b)



Garbage Police

To combat the high cost of garbage disposal and divert waste from landfills, earlier this year, Newark, New Jersey, began sending corps of recycling enforcement officers into neighborhoods to ensure that residents separate recyclables from garbage. The officers give two warnings to residents caught mixing recyclables with garbage. Repeat offenders can be fined up to \$1,000 per violation. (Courtesy City of Newark, New Jersey)



HAU ROON LAI

Barely coping with the influx of such appliances are centres such as Matsushita Eco Recycling Centre where dismantled units lie ready for processing.

JAPAN THE DUMP SITE

- ◆ 18m home appliances junked in a year
- ◆ Only 9m pieces end up in recycling centres

Despite a recycling law, illegal dumping is on the rise with nine million appliances thrown in the mountains and the ocean



HOW HWEE YOUNG



Υλικά που συνήθως ανακτώνται από ΑΣΑ

- Αλουμίνιο: κουτάκια Al και δευτερογενές Al
- Χαρτί: εφημερίδες (η λιγνίνη δύσκολα αποδομείται σε ΧΥΤΑ); όχι περιοδικά
- Πλαστικά: PET/HDPE/PP/PE...
- Γυαλί: απαιτείται διαχωρισμός
- Σιδηρούχα μέταλλα: αυτοκίνητα και ηλεκτρικές συσκευές

Υλικά που συνήθως ανακτώνται από ΑΣΑ

- Μη-σιδηρούχα μέταλλα: καλώδια χαλκού, φωτιστικά
- Ξύλα
- Υπολείμματα κατασκευών και κατεδαφίσεων
- Χρειάζεται υποστήριξη της πολιτείας για δημιουργία αγοράς
- Μηχανική διαλογή (material recovery facilities – MRF) για διαχωρισμό και επεξεργασία
- Επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση (circular economy)

Πως χρησιμοποιούνται τα ανακτωμενα υλικά

- Άμεση επαναχρησιμοποίηση
- Πρώτες ύλες στη βιομηχανία
- Υλικά για μεταποίηση
- Καύσιμα υλικά
- Αναμόρφωση χώρων (land reclamation)

Τα Ολυμπιακά μετάλλια του Τόκυο από τηλέφωνα





100% MADE IN THE USA

WAIST TAPE
Made in NC

BUTTON
Made in GA

BURRS
Made in GA

DENIM
Made in NC

ZIPPER
Made in GA

ASSEMBLED
in KY



Κέντρα συλλογής & ανταποδοτικής ανακύκλωσης

(Drop-off & Buy-back Centres)

- ❑ Για τα **κέντρα συλλογής** απαιτείται οι κάτοικοι και οι επιχειρήσεις να διαχωρίζουν τα ανακυκλώσιμα υλικά στη πηγή και να τα μεταφέρουν στα ειδικά κέντρα
- ❑ Η **ανταποδοτική ανακύκλωση** αναφέρεται σε προγράμματα που αποφέρουν χρηματική ανταμοιβή

Κέντρα συλλογής



Πράσινο σημείο

- Το Πράσινο Σημείο είναι η διακριτή συλλογή διάφορων κατηγοριών ανακυκλώσιμων αστικών αποβλήτων με στόχο την προώθησή τους για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση.
- Οριοθετημένος και εξοπλισμένος χώρος με την κατάλληλη υποδομή, ώστε οι πολίτες να μπορούν να αποθέτουν διαχωρισμένα ανακυκλώσιμα αστικά απόβλητα ή χρησιμοποιημένα αντικείμενα.



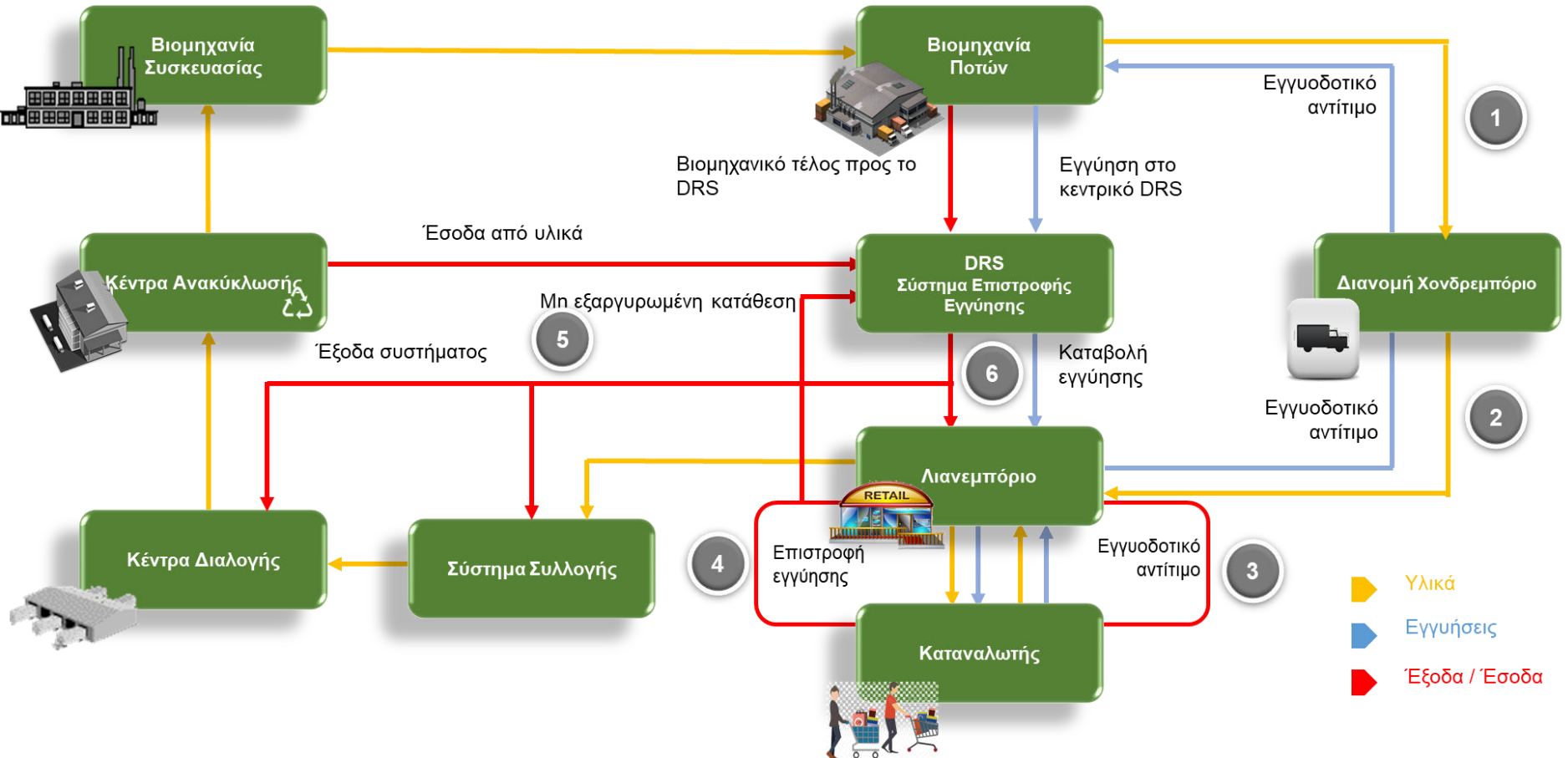
Πράσινο σημείο



Κέντρα ανταποδοτικής ανακύκλωσης



Σύστημα Επιστροφής Εγγύησης (DRS)



Πώς λειτουργεί το DRS

Ο καταναλωτής
αγοράζει ένα ποτό και
πληρώνει εγγυοδοτικό
αντίτιμο



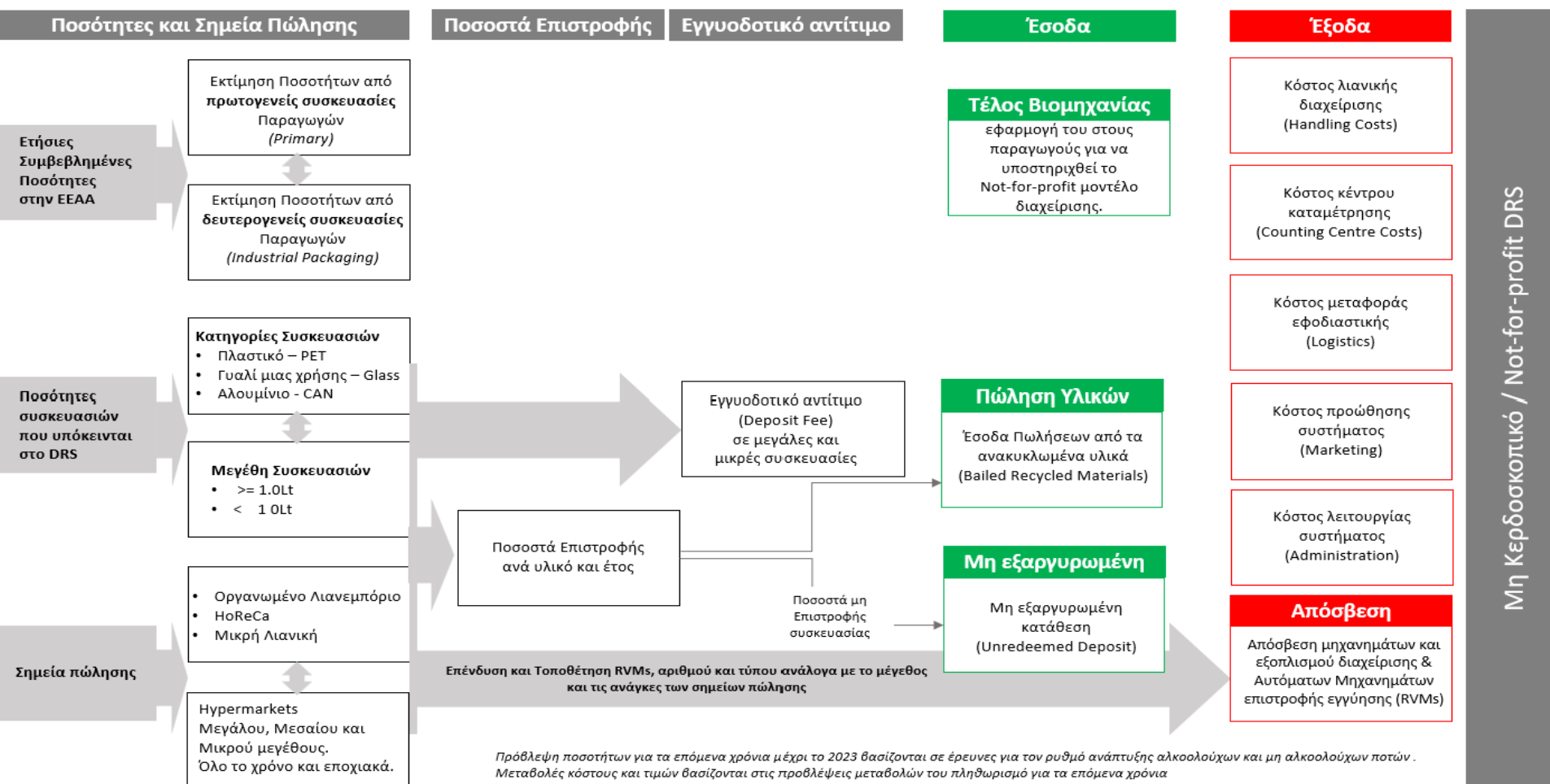
Ο καταναλωτής
επιστρέφει το άδειο
μπουκάλι σε ένα
καθορισμένο σημείο
επιστροφής και παίρνει
πίσω ολόκληρο το ποσό
της εγγύησης



Τα δοχεία συλλέγονται
από τα σημεία
επιστροφής και
ανακυκλώνονται



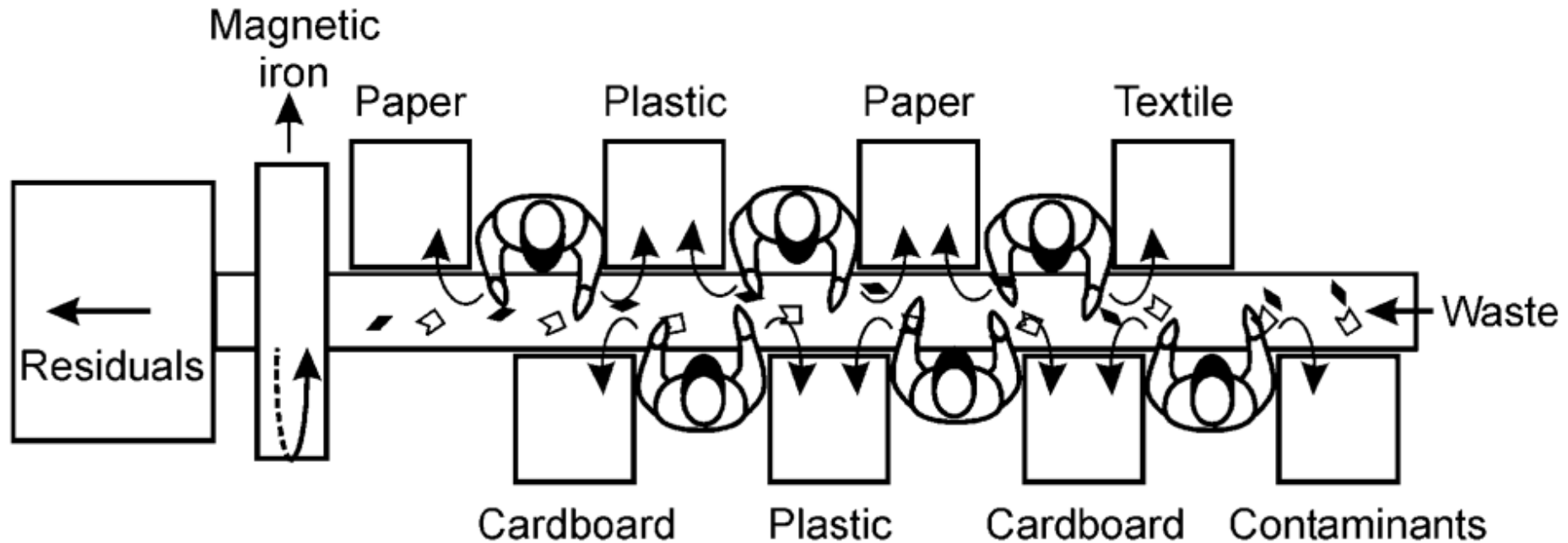
Σχεδιασμός συστήματος επιστροφής εγγύησης συσκευασιών ποτών μιας χρήσης



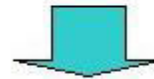
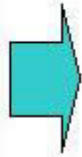
Επιλογές για διαχωρισμό των υλικών

- Διαχωρισμός στη πηγή
- Διαχωρισμός σε κέντρα μηχανικής διαλογής (Material Recovery Facilities – MRFs) ή Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ):
 - ο διαχωρισμός και ανάκτηση επαναχρησιμοποιούμενων και ανακυκλώσιμων υλικών
 - ο βελτιστοποίηση της ποιότητας των ανακτώμενων υλικών
- Χειρωνακτική vs μηχανική διαλογή
- Κέντρα μηχανικής διαλογής (MRF) για σύμμεικτα ΑΣΑ
- Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) για απορρίμματα μετά από διαλογή στην πηγή

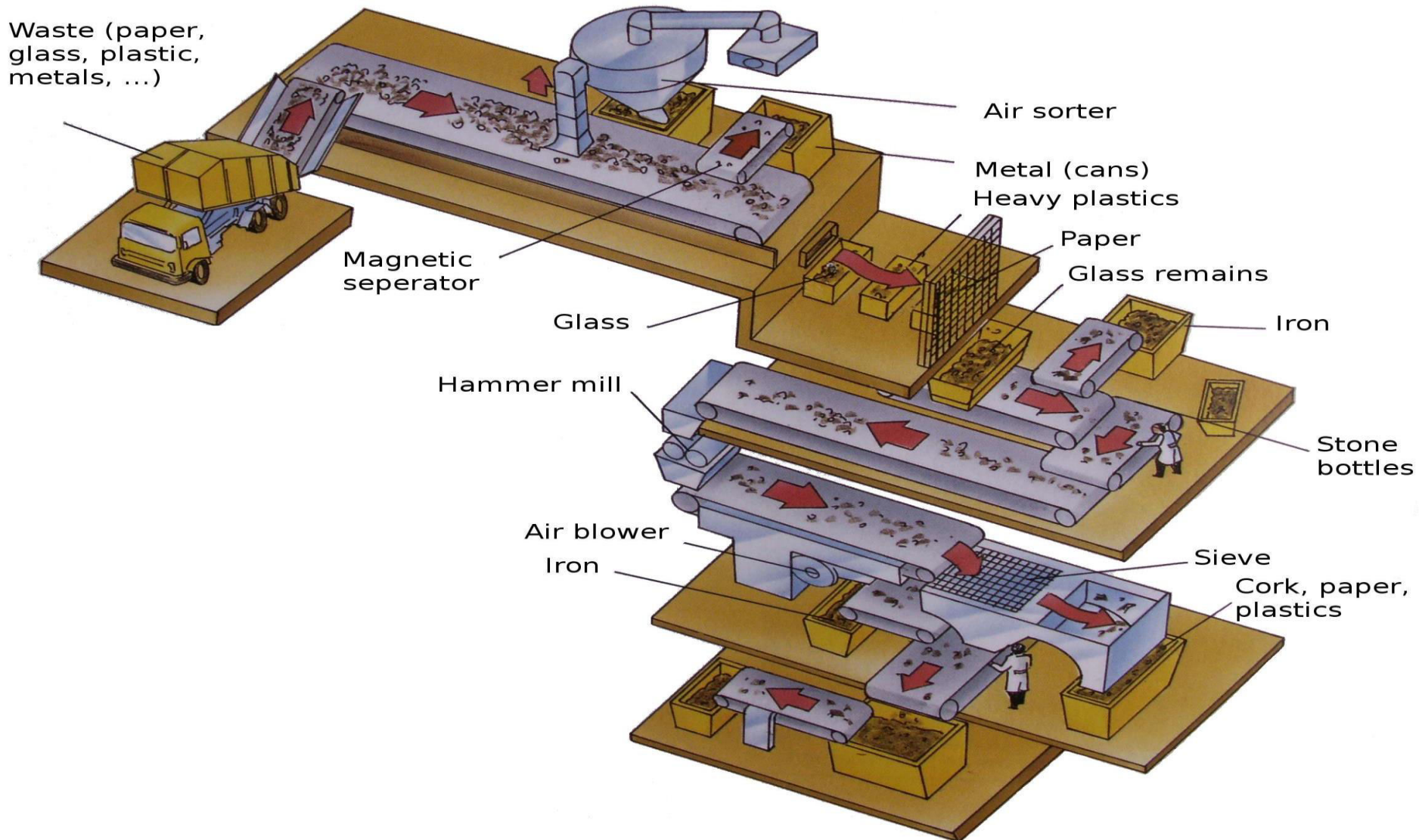
Χειροδιαλογή (Manual sorting)



Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών



Μηχανική διαλογή (MRF)



Εξοπλισμός για διαχωρισμό και επεξεργασία αποβλήτων

- μεταβάλλουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων για ευκολότερη ανάκτηση των υλικών
- απομακρύνουν ειδικά συστατικά και βρωμιές από το ρεύμα των αποβλήτων
- επεξεργασία των ανακτώμενων υλικών για περαιτέρω χρήση

Φυσικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό

- σχήμα
- πυκνότητα
- μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες
- χρώμα και αντανάκλαση

Εξοπλισμός (μονάδες) για διαχωρισμό και επεξεργασία αποβλήτων

- Τεμαχιστές (μείωση μεγέθους)
- Κόσκινα (πορώδη μέσα)
- Διαχωρισμός με βάση τη πυκνότητα – Αεροδιαχωριστές (air classification)
- Μαγνητικοί διαχωριστές
- Οπτικοί διαχωριστές (με βάση το χρώμα)
- Συμπιεστές

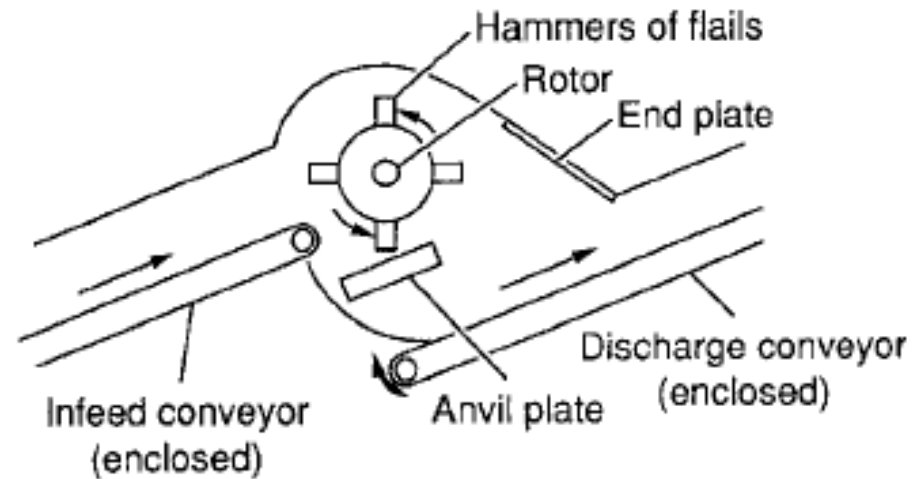
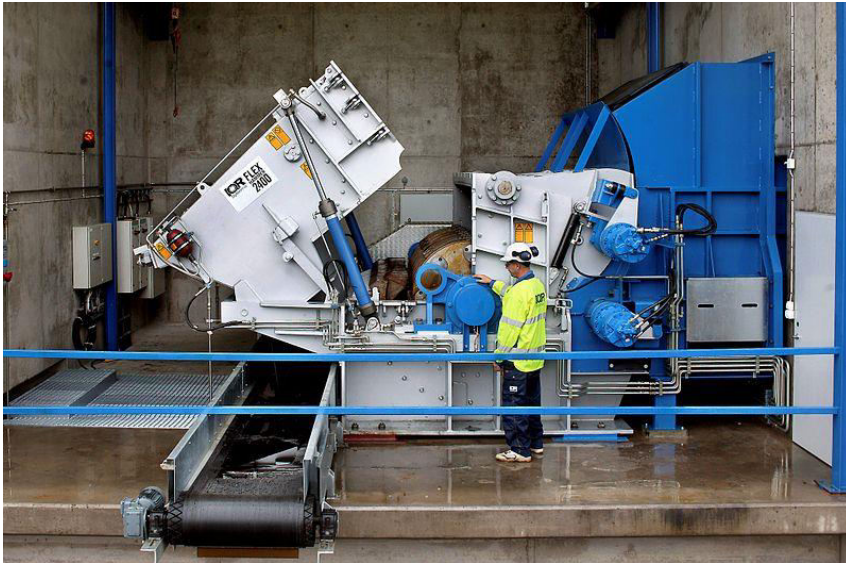
Εξοπλισμός μείωσης μεγέθους

- Μείωση μεγέθους: για απόκτηση τελικού προϊόντος σχετικά ομοιογενές και με μικρότερο μέγεθος σε σχέση με το ρεύμα εισόδου των αποβλήτων
 - Τεμαχιστές (hammer mill, flail mill, shear shredder)
 - Θραυστήρες γυαλιού (glass crushers)
 - Κοκκοποιητές (wood grinders)

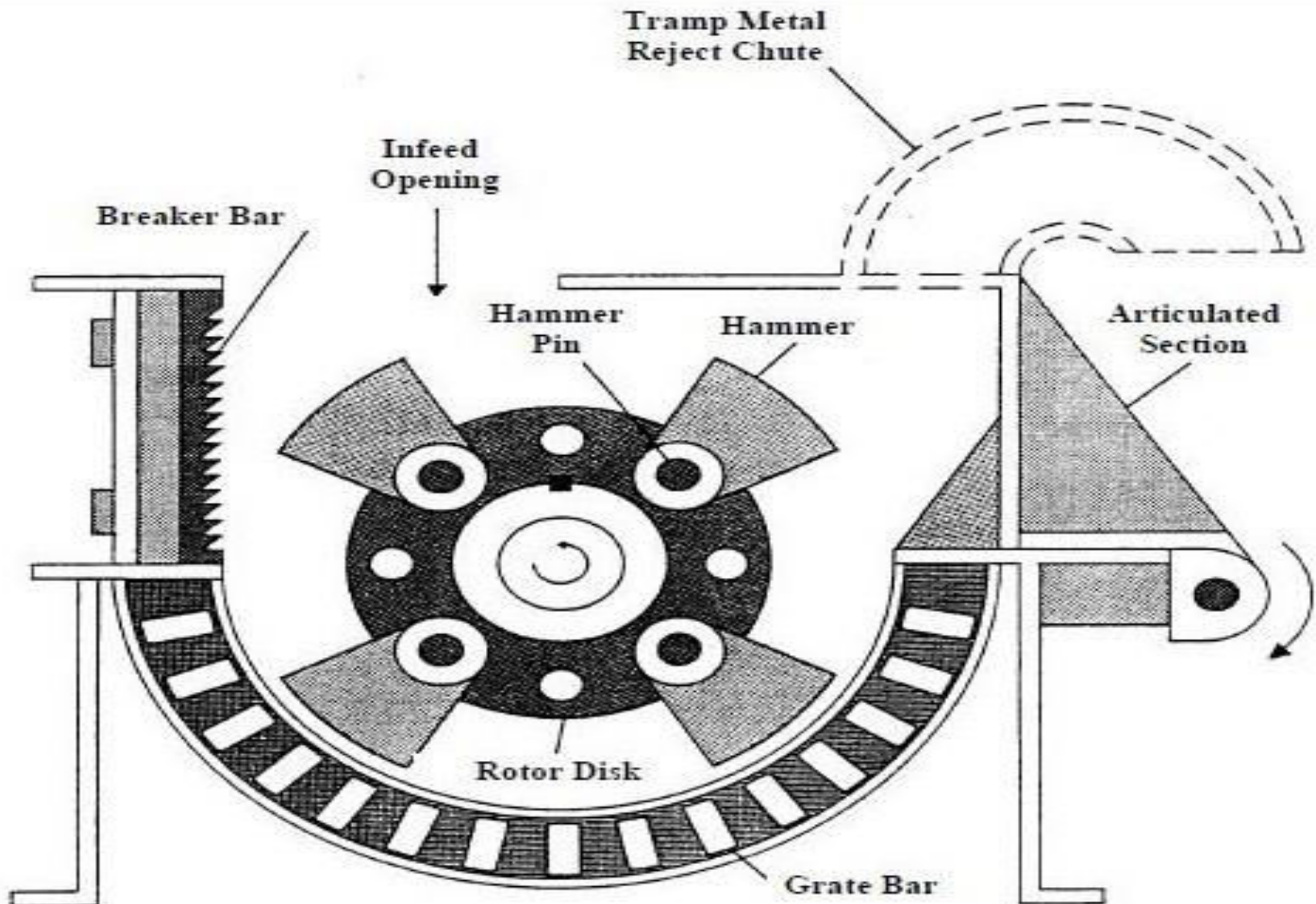
Scrap Tire Processing



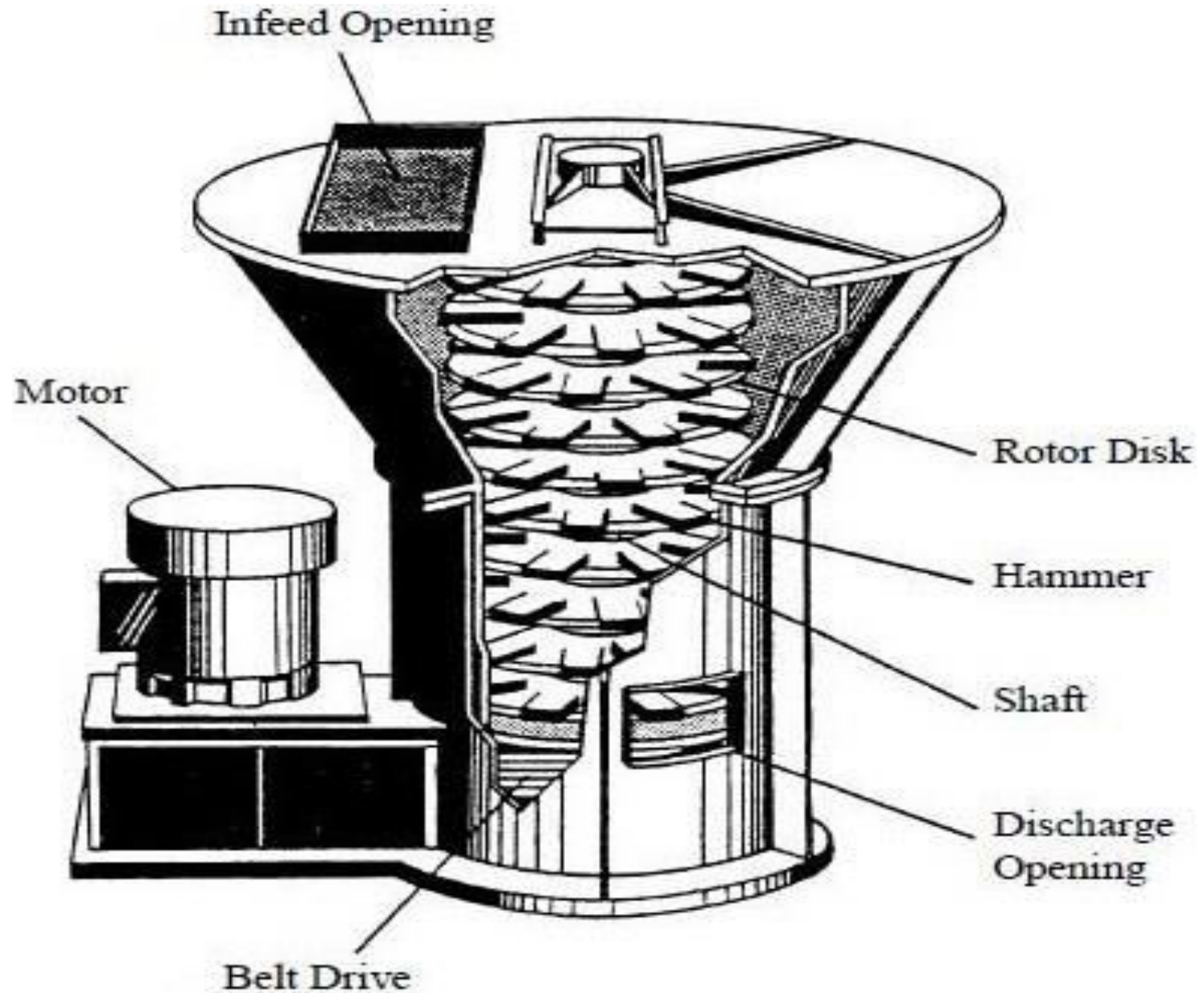
Hammer mill



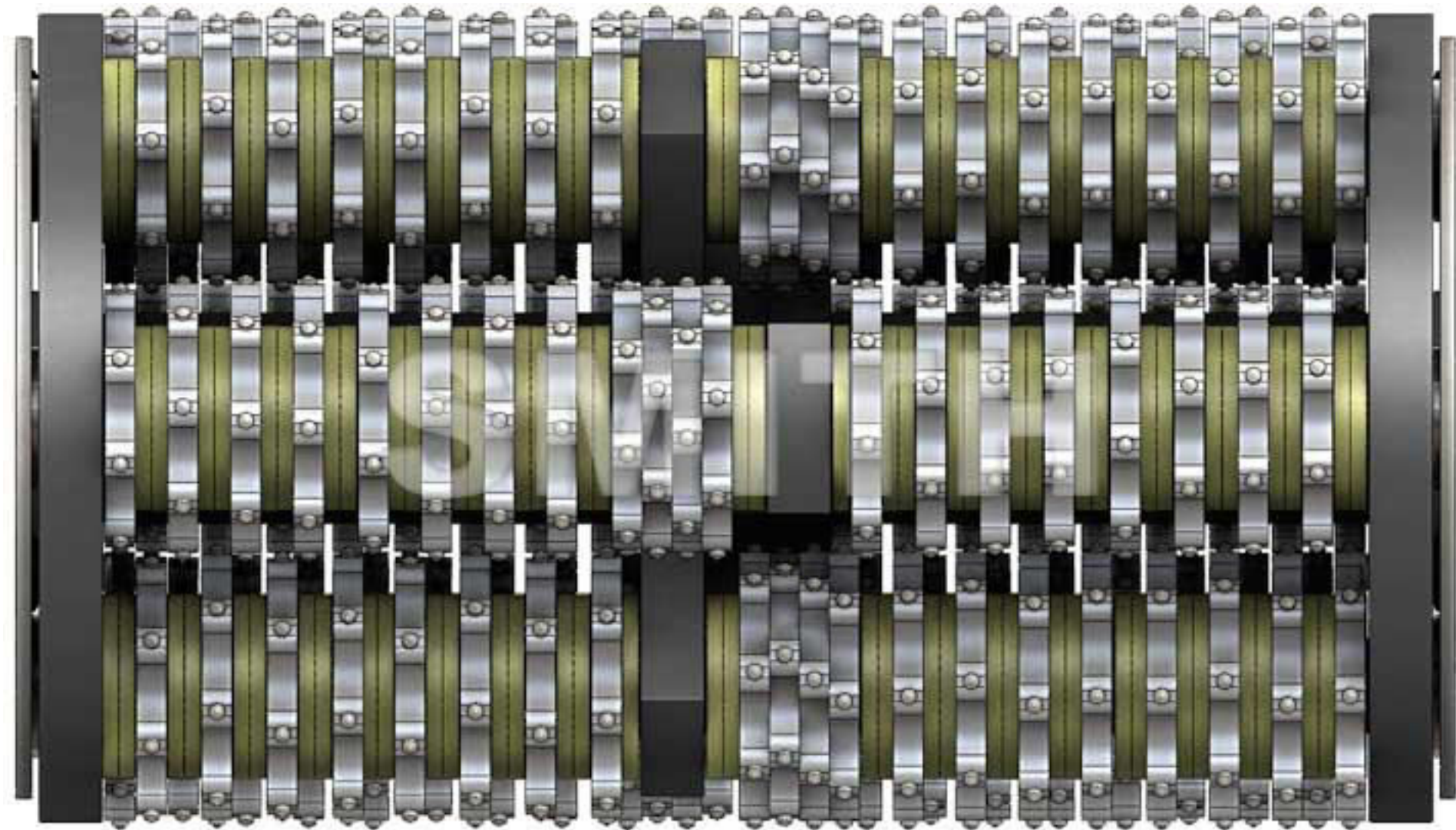
Horizontal hammer mill



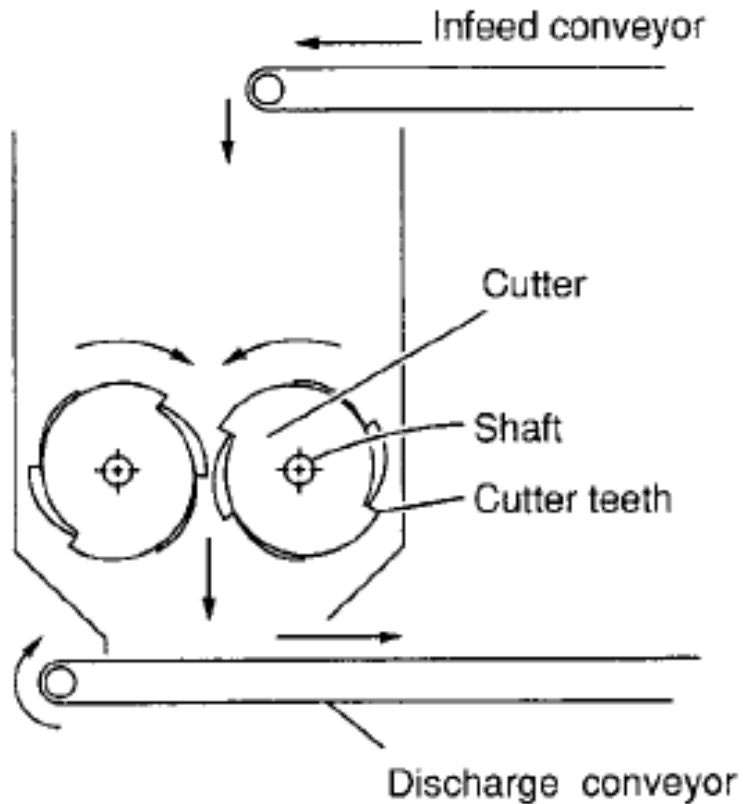
Vertical hammer mill



Flail mill



Shear Shredder



Επιλογή εξοπλισμού μείωσης μεγέθους

- Η απαιτούμενη κατανάλωση σε ενέργεια E (hp·h / ton) υπολογίζεται από τον νόμο του Kick:

$$E = C \cdot \ln \frac{l_1}{l_2}$$

όπου: C : σταθερά (hp·h / ton), l_1 : αρχικό μέγεθος, l_2 : τελικό μέγεθος

- Η επιλογή του εξοπλισμού γίνεται με βάση τις απαιτήσεις σε μέγεθος, τις ενεργειακές απαιτήσεις, τη παροχή απορριμμάτων, τη διαθεσιμότητα χώρου, και το κόστος.

Κόσκινα (πορώδη μέσα)

- Κόσκινα: διαχωρισμός μίγματος υλικών (διαφορετικά μεγέθη) σε δύο ή περισσότερα κλάσματα με οπές διαφορετικού μεγέθους.
- Εφαρμόζεται:
 - Για απομάκρυνση μεγάλων υλικών
 - Για απομάκρυνση μικρών υλικών
 - Διαχωρισμός ΑΣΑ σε καύσιμα και μη-καύσιμα υλικά

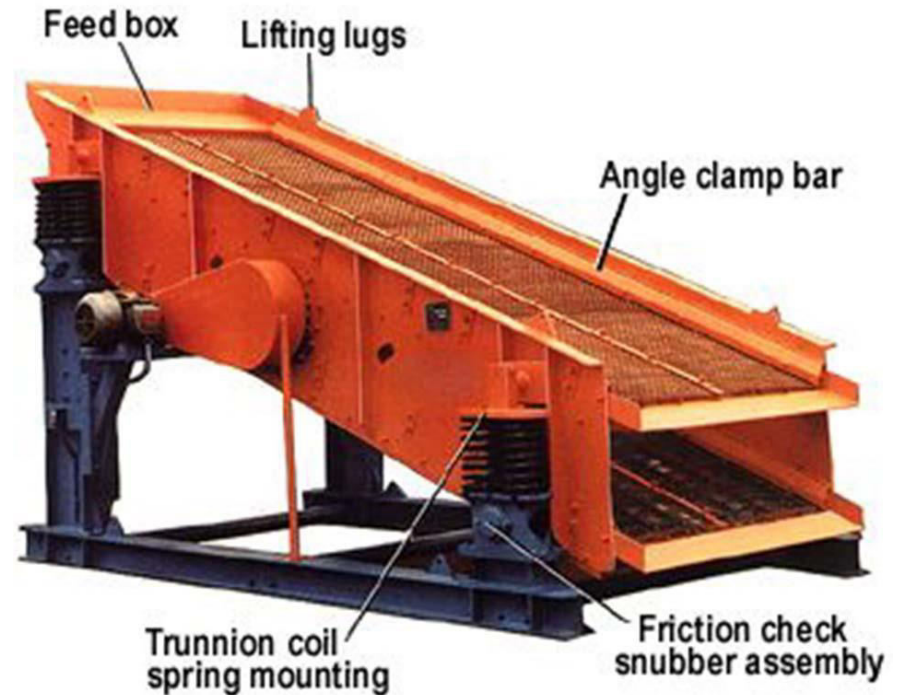
Κόσκινα

- Ανάκτηση χαρτιού, πλαστικών και άλλων ελαφρών υλικών από γυαλί και μέταλλο
- Διαχωρισμός γυαλιού και άλλων ανόργανων υλικών (άμμος) από καύσιμα υλικά
- Διαχωρισμός βράχων και μεγάλου μεγέθους υλικού κατεδαφίσεων από χώμα εκσκαφής (σε χώρους κατασκευών)
- Διαχωρισμός μεγάλου μεγέθους υλικών από τέφρα βάσης

Κόσκινα

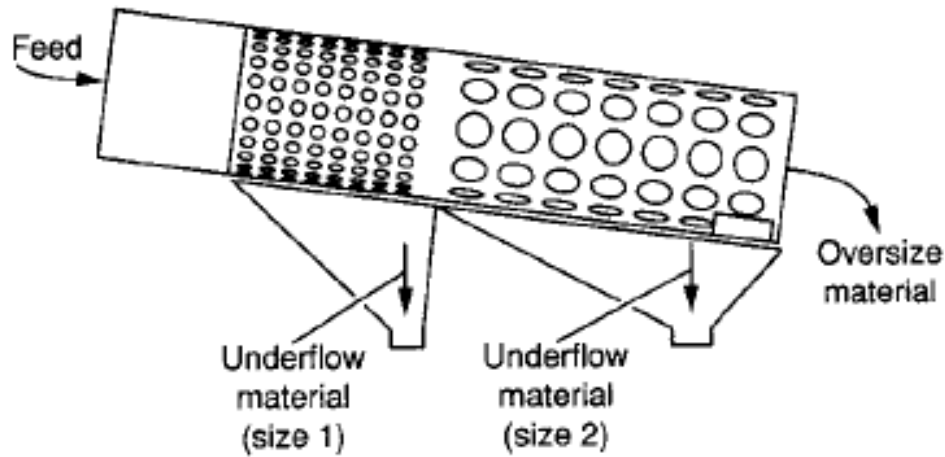
- Τύποι κόσκινων:
 - Δονούμενα κόσκινα (vibrating screens)
 - Περιστρεφόμενα κόσκινα (rotary screens)
 - Κόσκινα με δίσκους (disc screens)

Δονούμενα κόσκινα (Vibrating Screen)



- Χρήσιμο για ξηρά υλικά
- Απομάκρυνση σπασμένων γυαλιών και βρωμιάς

Περιστρεφόμενα κόσκινα (trommel)

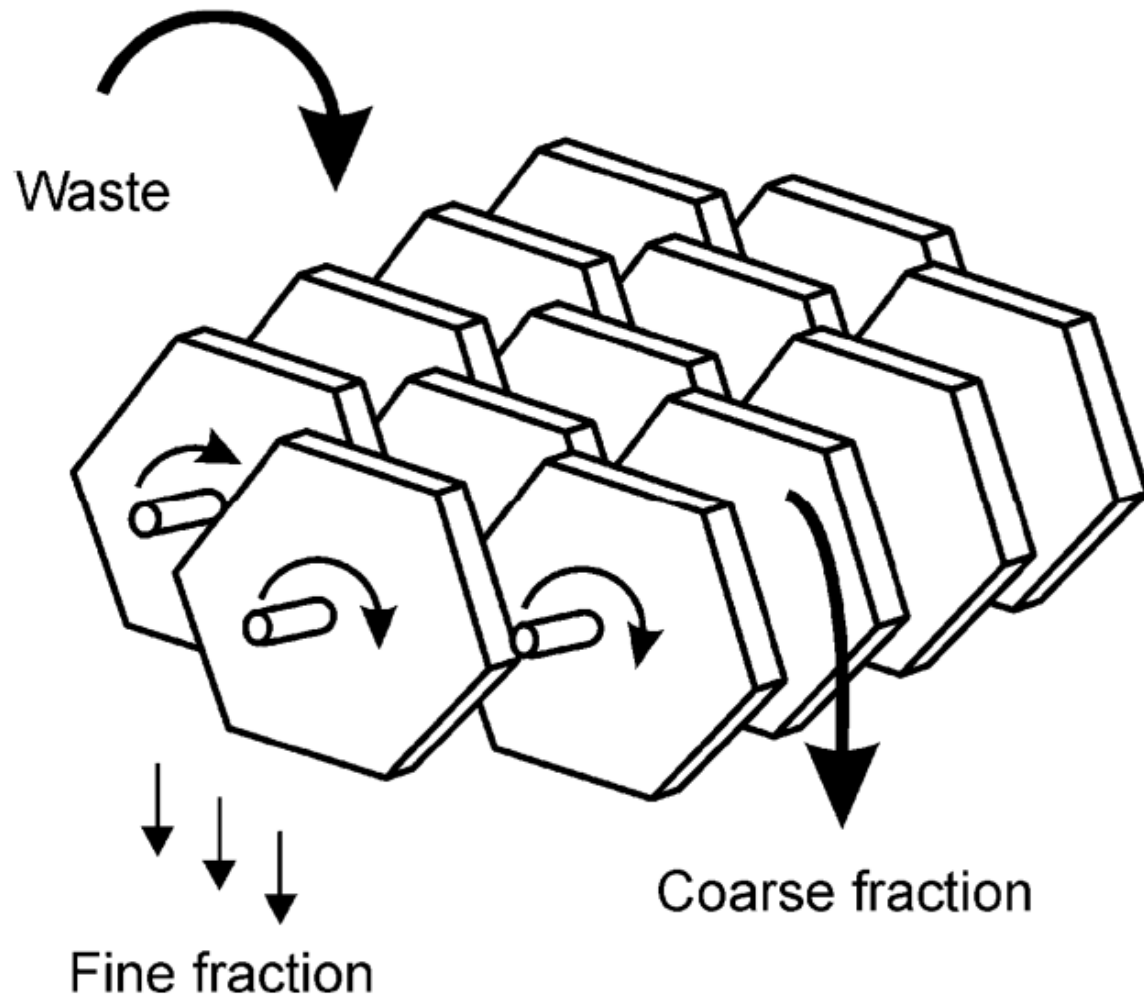






- Το κόσκινο πριν την εγκατάσταση
- Διαφορετικές οπές για απομάκρυνση διαφορετικού μεγέθους υλικών

Κόσκινα με δίσκους (Disc Screen)



Κόσκινα με δίσκους (Disc Screen)



Απόδοση κοσκίνων (δείκτες)

- Η απόδοση των κοσκίνων εκφράζεται με το ποσοστό ανάκτησης, τον βαθμό καθαρότητας και την αποδοτικότητα των κλασμάτων που πρέπει να διαχωριστούν. Με βάση τον κάτωθι διαχωρισμό:



- Στην είσοδο υπάρχει ένα μίγμα υλικών (σε tn/h ή m^3/h) x_0 και y_0 . Μετά τον διαχωρισμό με κόσκινα έχουν δημιουργηθεί δύο νέα ρεύματα:
 - $X_1 + Y_1$: ανακυκλωμένο υλικό, που μπορεί να αξιοποιηθεί χωρίς πρόβλημα
 - $X_2 + Y_2$: υπόλειμμα, που περιέχει χρήσιμα προς ανάκτηση υλικά και μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω.

Ποσοστό ανάκτησης (recovery)

Ποσοστό ανάκτησης του X είναι: $R(x_1) = \frac{x_1}{x_0} \cdot 100(\%)$

Βαθμός καθαρότητας (purity)

Βαθμός καθαρότητας του X είναι: $P(x_0) = \frac{x_1}{x_1 + y_1} \cdot 100(\%)$

Αποδοτικότητα διαχωρισμού (efficiency)

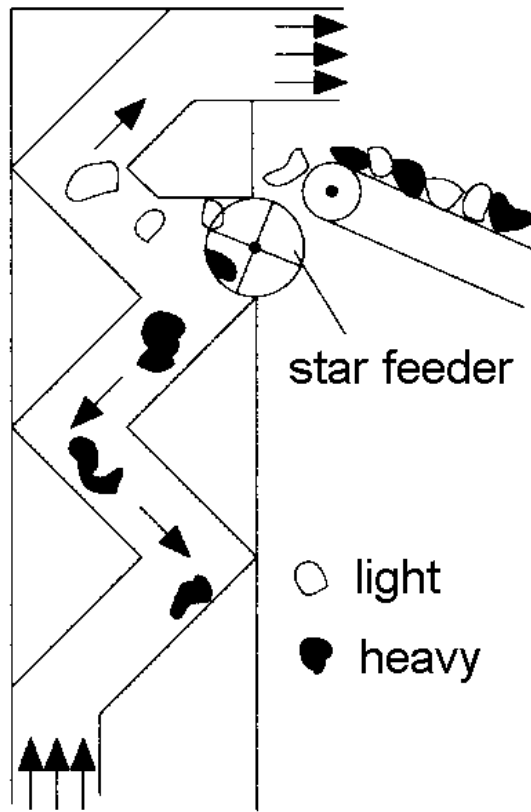
Αποδοτικότητα διαχωρισμού (προσμετράται τόσο η ανάκτηση όσο και η καθαρότητα):

$$E_{(X,Y)} = \left| \frac{X_1}{X_0} - \frac{Y_1}{Y_0} \right| * 100 = \left| \frac{X_2}{X_0} - \frac{Y_2}{Y_0} \right| * 100$$

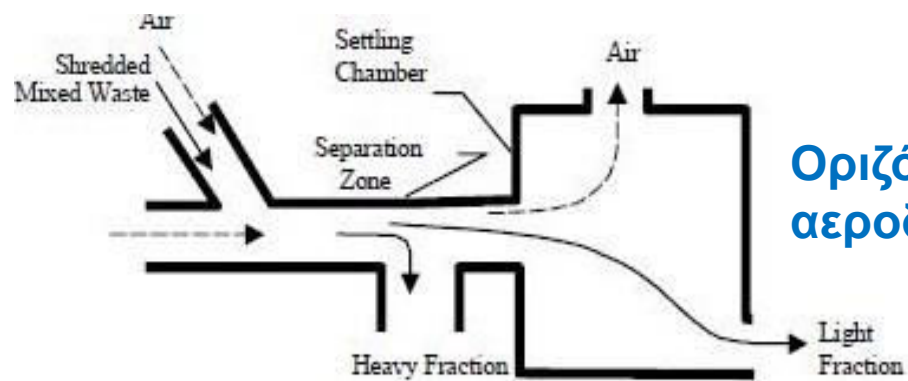
Αεροδιαχωριστές

- Διαχωρισμός με βάση τη πυκνότητα (air classification): χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό ελαφρών υλικών (χαρτί, πλαστικό) απο βαρύτερα υλικά (σιδηρούχα μέταλλα) με βάση τη διαφορά βαρών σε ρεύμα αέρα.

Τυπικό σύστημα αεροδιαχωριστή



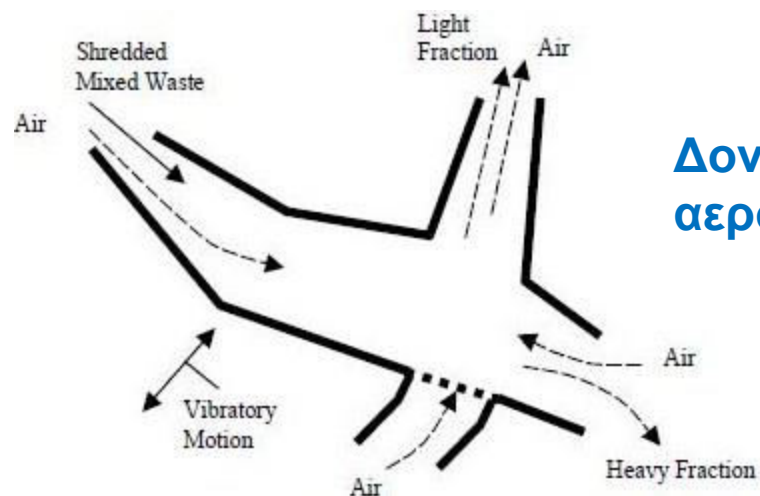
- Σε στήλη με σχήμα zig-zag, ο αέρας εισέρχεται από τη βάση προς τα πάνω.
- Ο διαχωρισμός επαναλαμβάνεται σε κάθε κλάσμα ξεχωριστά για να μειωθούν οι προσμίξεις.



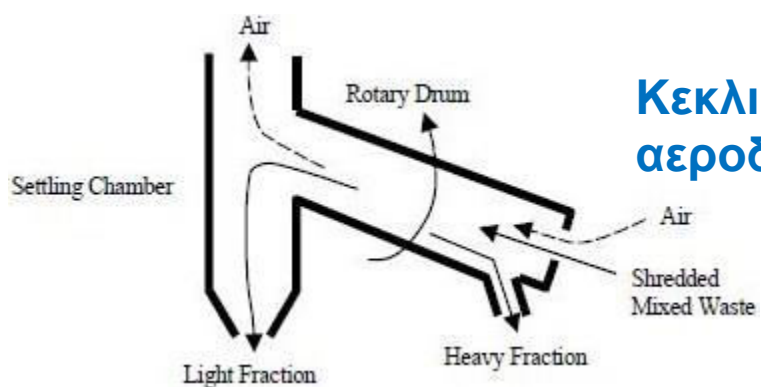
**Οριζόντιος
αεροδιαχωριστής**



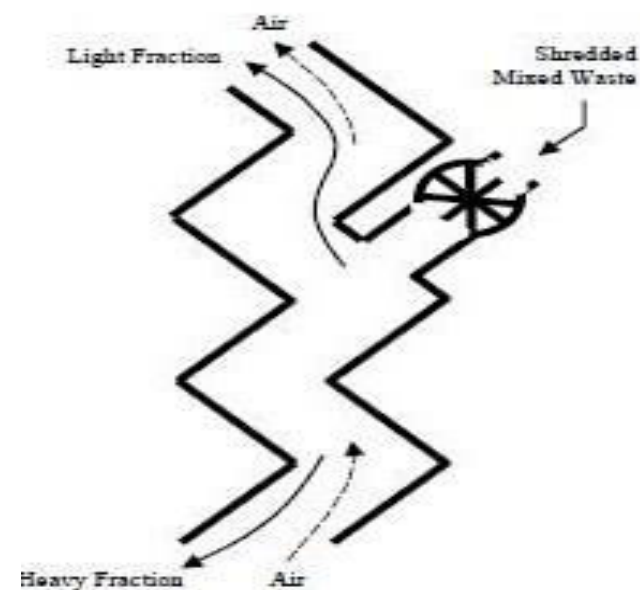
**Κάθετος
Αεροδιαχω-
ριστής**



**Δονούμενος
αεροδιαχωριστής**

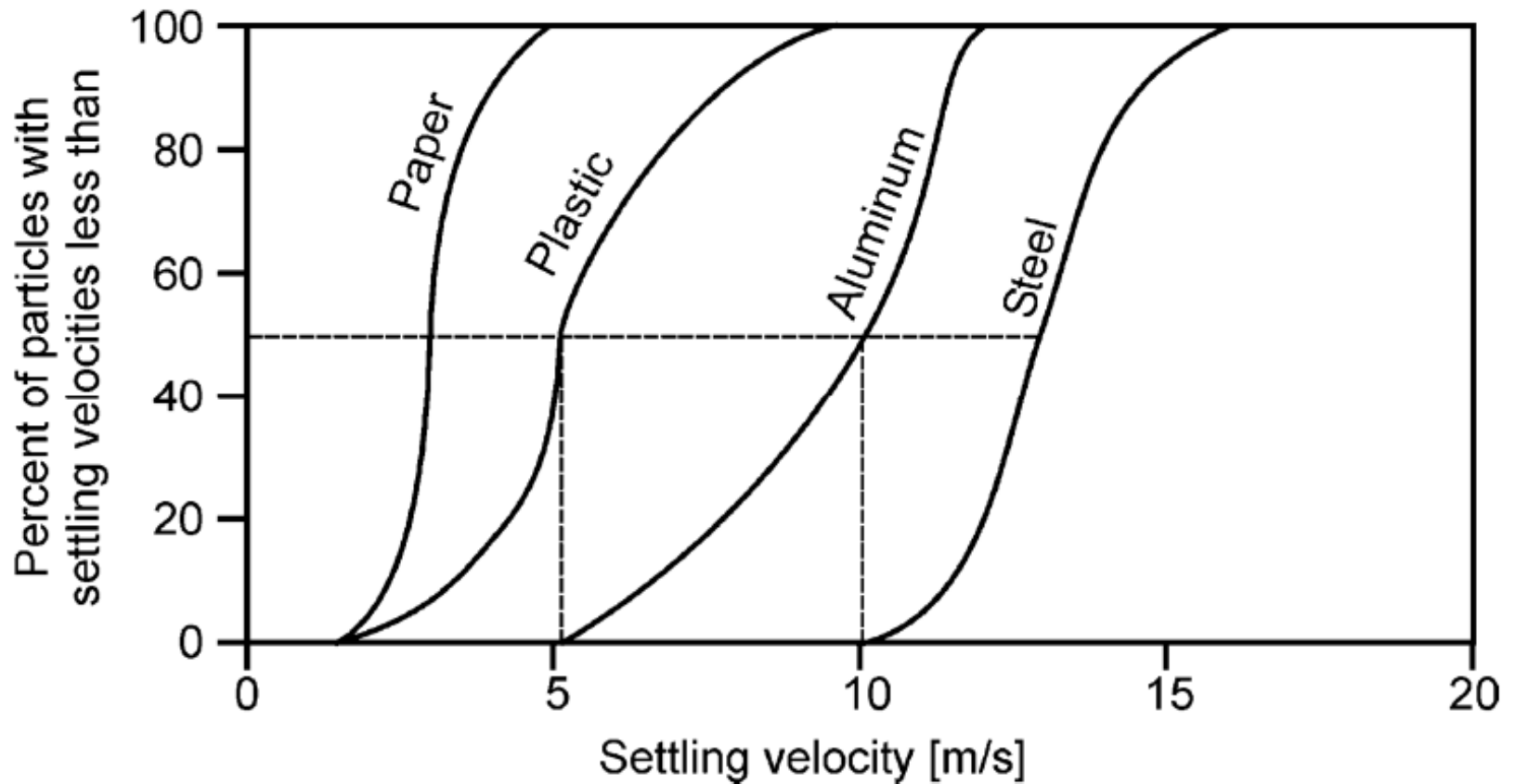


**Κεκλιμένος
αεροδιαχωριστής**



**Zig-zag
αεροδιαχωριστής**

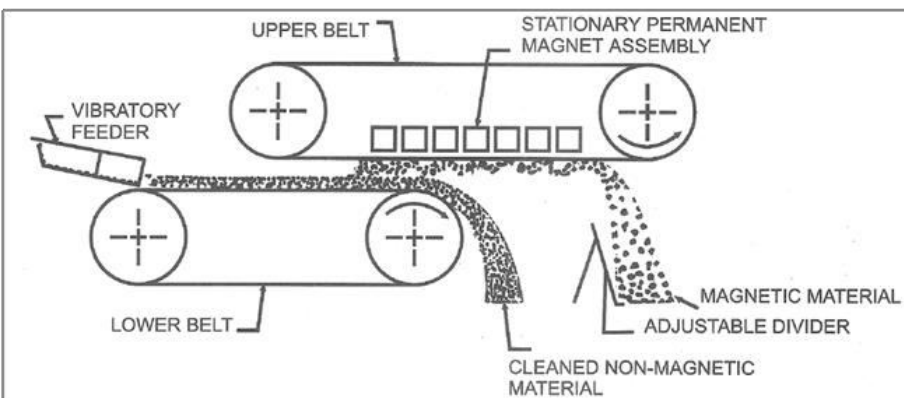
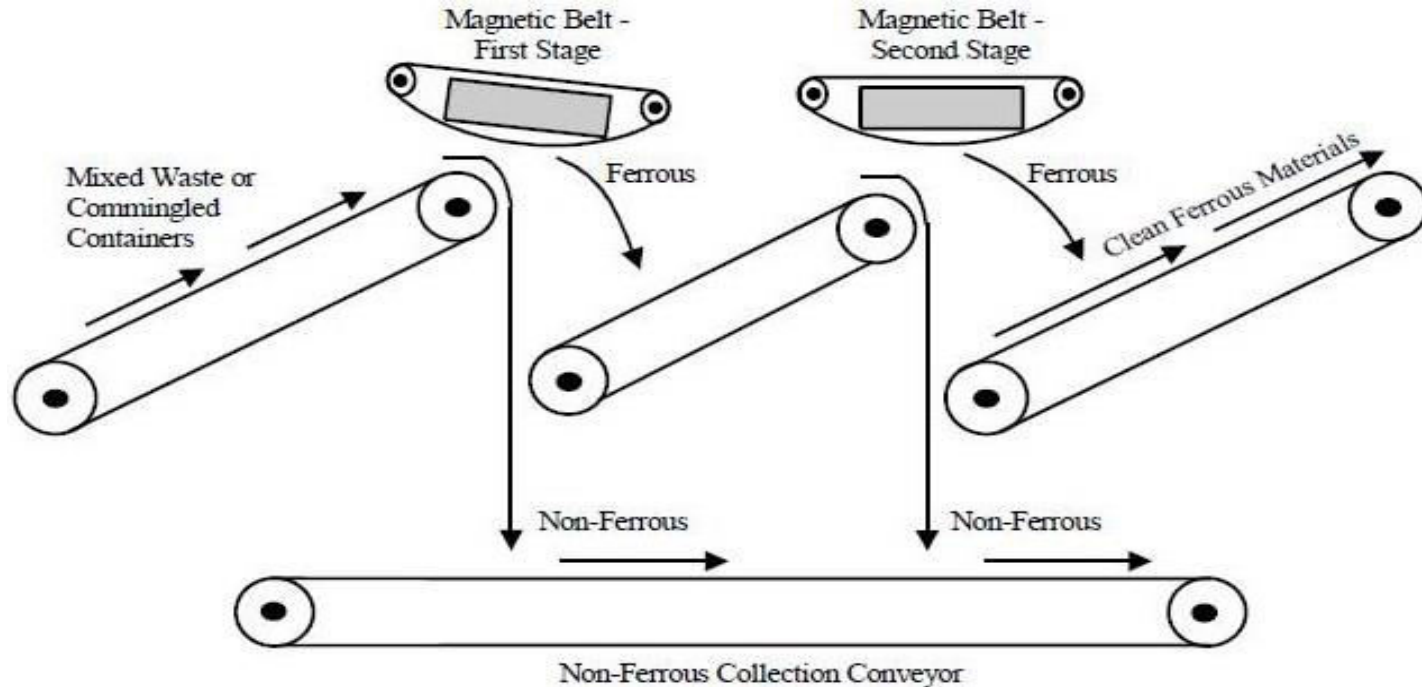
Ταχύτητα πτώσης υλικών



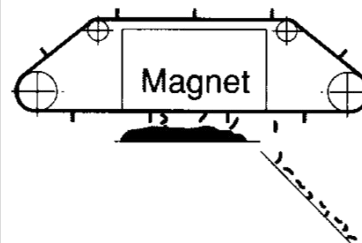
Μαγνητικοί διαχωριστές

- Μαγνητικοί διαχωριστές (magnet separation): για την ανάκτηση σιδηρούχων μετάλλων από σύμμεικτα απόβλητα με χρήση μαγνητών:
 - Μετά από τεμαχισμό/μείωση μεγέθους (shredding) και πριν τους αεροδιαχωριστές (air classification)
 - Μετά από τεμαχισμό και αεροδιαχωριστές

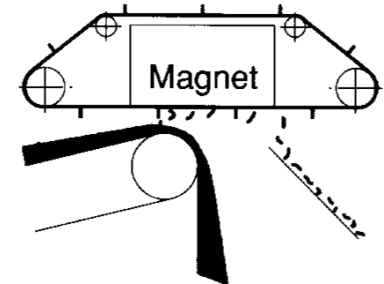
Μαγνητικοί διαχωριστές



top-mounted magnetic separator
Überband-Magnetscheider



lateral discharge



longitudinal discharge at conveyor end

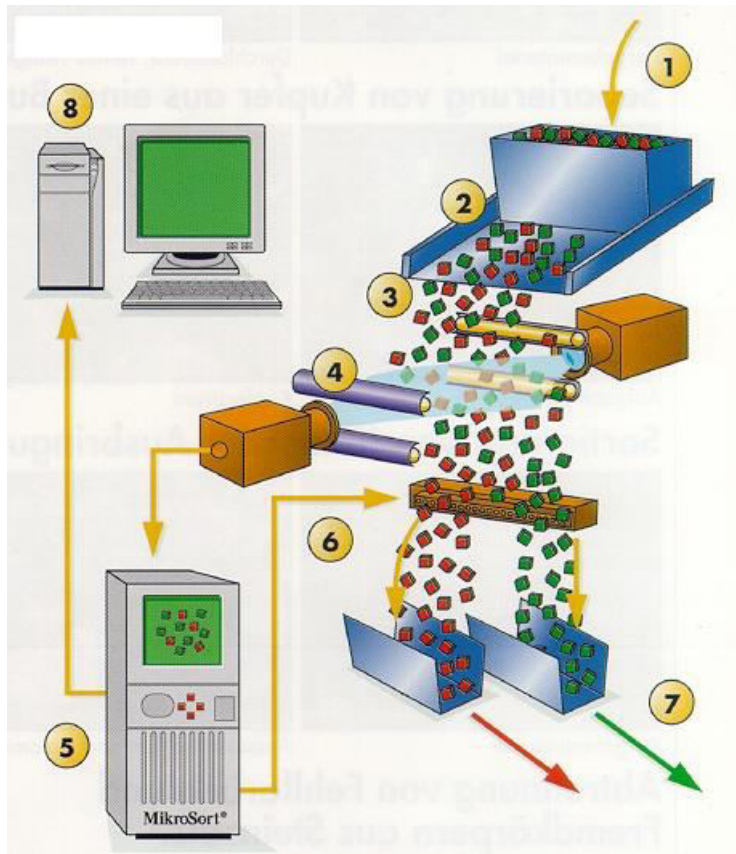


Οπτικοί διαχωριστές (NIR-Near Infrared Detection)



- Μερικά υλικά, όπως TetraPaks® και πολλά πλαστικά, μπορούν να ανιχνευθούν από το υπέρυθρο φάσμα τους.
- Ο διαχωρισμός είναι παρόμοιος με τους αεροδιαχωριστές.

Οπτικοί διαχωριστές



- Οι οπτικοί διαχωριστές αναγνωρίζουν το χρώμα των σωματιδίων και στη συνέχεια τα κατευθύνουν σε ξεχωριστούς κάδους με εκπομπές συμπιεσμένου αέρα.

Ρομποτικός βραχίονας

(Robotic arm sorting waste)



- Machine learning
- Robotic vision

Συμπιεστές (ή δεματοποιητές)

- Συμπιεστές: αυξάνουν την πυκνότητα των αποβλήτων, ώστε η αποθήκευση και μεταφορά τους να γίνεται πιο αποτελεσματικά και με μικρότερο κόστος
- Παρέχουν συμπιεσμένο RDF
 - πρέσες (balers)
 - can crushers

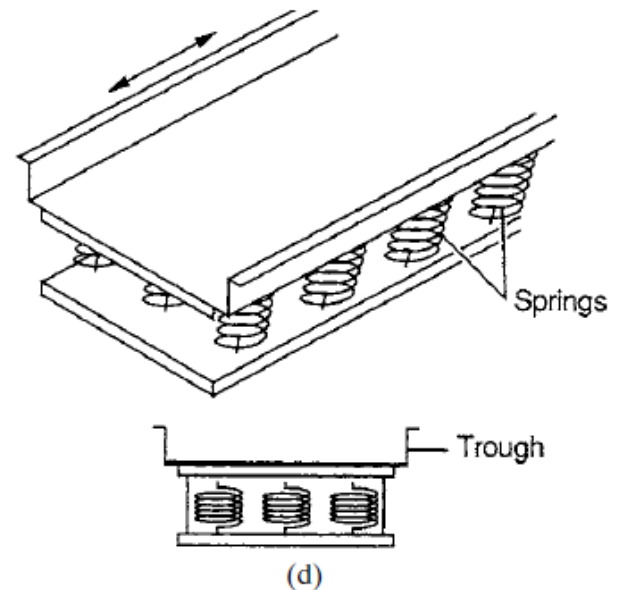
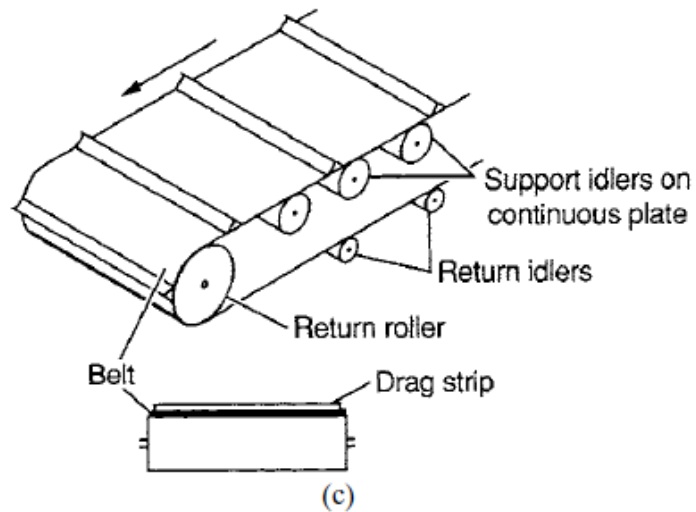
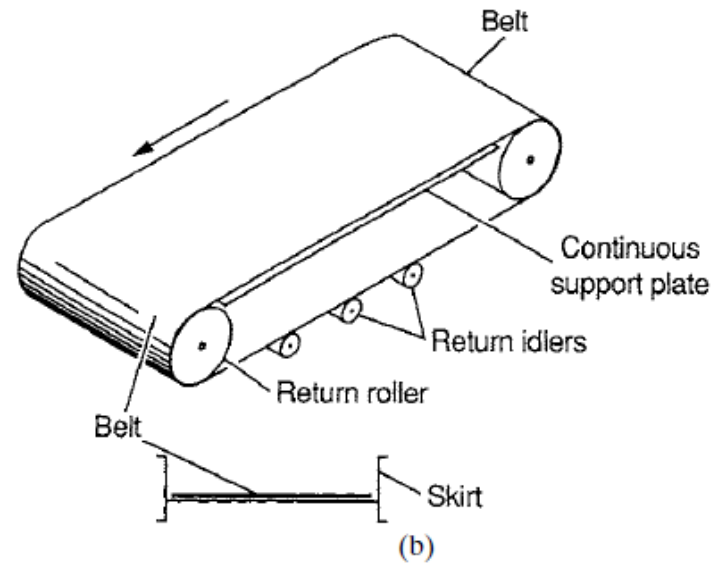
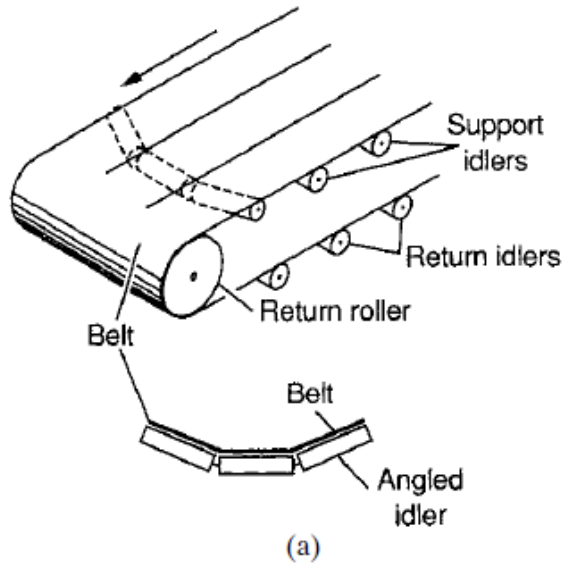
Συμπιεστές



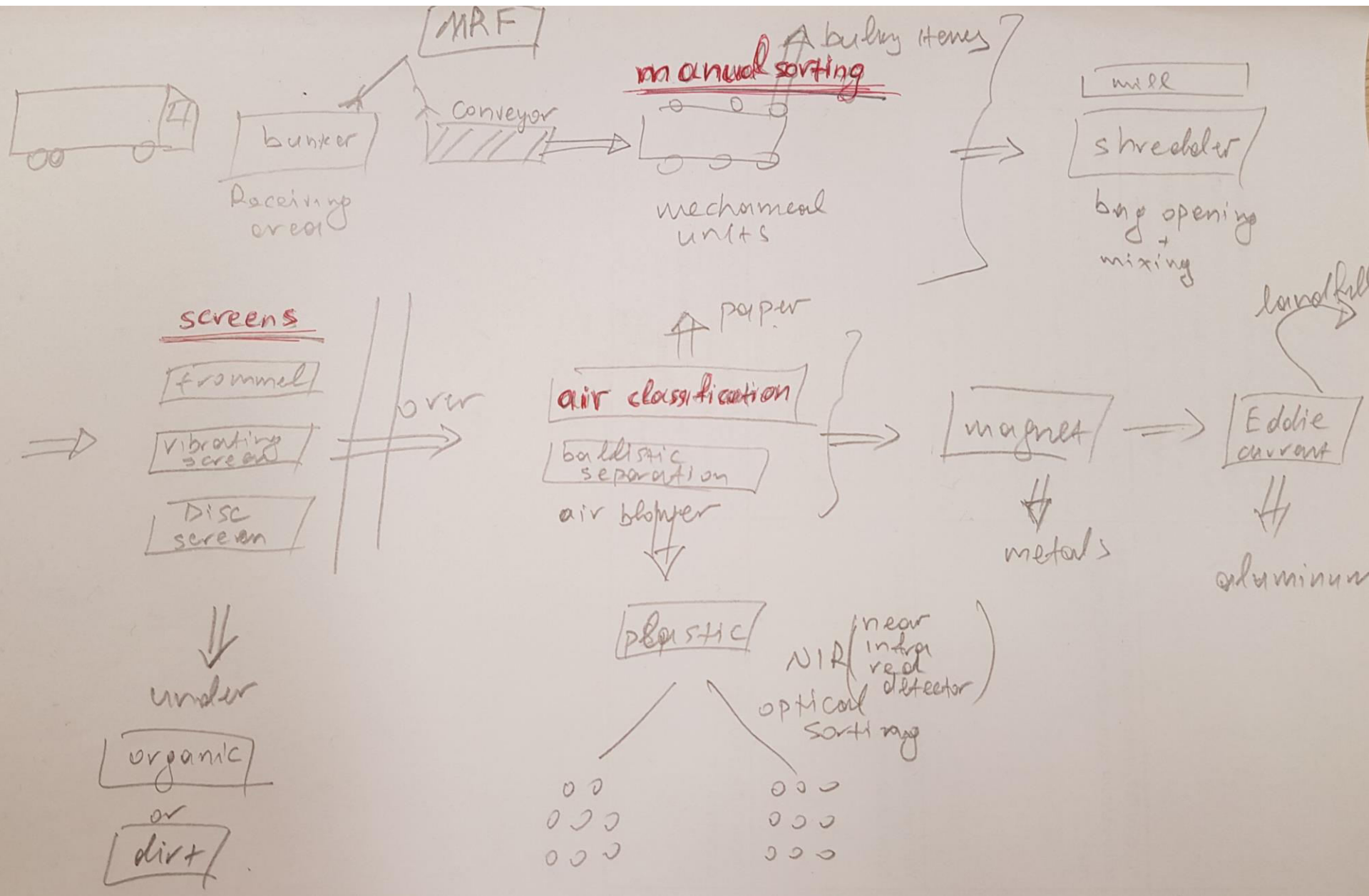
Μεταφορικές ταινίες

- Χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις για διαχείριση, μεταφορά και αποθήκευση αποβλήτων
- Επίσης, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την χειροδιαλογή των αποβλήτων

Μεταφορικές ταινίες



Μηχανική διαλογή ΑΣΑ



Questions

& **A**nswers

