



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

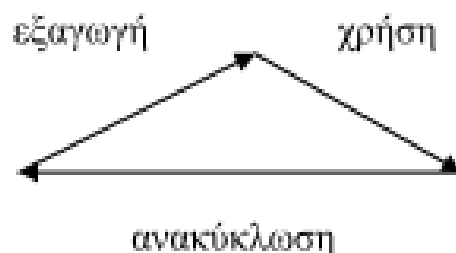
# Διαχείριση και Τεχνολογία Περιβάλλοντος

Ενότητα 2: Διαχείριση αποβλήτων

Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Χημείας

## 1. 2 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

Μέχρι πρόσφατα η παραδοσιακή άποψη για την 'χρήσιμη ζωή' ενός προϊόντος ήταν μονόδρομος: εξαγωγή  $\longrightarrow$  παραγωγή  $\longrightarrow$  χρήση  $\longrightarrow$  διάθεση στο περιβάλλον. Αυτή όμως η νοοτροπία αλλάζει στον σύγχρονο κόσμο έτσι ώστε μετά τη χρήση το προϊόν να χρησιμεύει ως πρώτη ύλη και να ανακυκλώνεται.



**Εικόνα1.** Ιδανικά η 'χρήσιμη ζωή' ενός προϊόντος πρέπει να διανύει ατέρμονα κύκλο.

Ιδανικά ένα προϊόν ή τα υλικά που το αποτελούν θα πρέπει να έχουν ατέρμονα κύκλο ζωής. Μετά το πέρας της χρήσιμης ζωής ενός προϊόντος αυτό θα πρέπει να ανακατασκευάζεται ή να μετατρέπεται σε κάποιο άλλο προϊόν. Στον σχεδιασμό προϊόντων 'φιλικών προς το περιβάλλον' ο πρώτος στόχος είναι η μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η χρησιμότητα ενός προϊόντος τόσο μικρότερες είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις της ανακύκλωσής του. Δεύτερος στόχος είναι η επιλογή υλικών που να ελαχιστοποιούν τα απόβλητα, να επαναχρησιμοποιούνται ή να ανακυκλώνονται. Ενώ τρίτος στόχος είναι οι εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής του προϊόντος. Αυτό που πρέπει να γίνει σαφές είναι ότι είναι προτιμότερο ένα προϊόν με μεγάλο κύκλο ζωής και μικρότερο βαθμό ανακύκλωσης παρά ένα προϊόν μίας χρήσεως πλήρως ανακυκλούμενο, καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις στην δεύτερη περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτερες.

## **Κατηγορίες προϊόντων με βάση τον χρόνο ζωής τους.**

Στην βιομηχανική οικολογία τα διαφορά καταναλωτικά προϊόντα διακρίνονται σε αναλώσιμα, ανακυκλώσιμα και σε μεγάλης διάρκειας.

**Αναλώσιμα** είναι τα προϊόντα που κατά τη χρήση τους διαχέονται στο περιβάλλον, όπως για παράδειγμα τα απορρυπαντικά, τα εντομοκτόνα, τα λιπάσματα, τα μελάνια κλπ., γι' αυτό πρέπει να είναι 'φιλικά προς το περιβάλλον'. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να είναι: α) Διασπάσιμα. Συνήθως εννοούμε βιοδιασπάσιμα ή χημικώς διασπάσιμα. β) Να μην Βιοσυσσωρεύονται. Ουσίες λιπόφιλες όπως το DDT και τα PCB's που βιοσυσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας θα πρέπει να αποφεύγονται. γ) Μη τοξικά, δηλαδή να μην δημιουργούν μεταλλάξεις, καρκινογενέσεις και τερατογενέσεις.

**Ανακυκλώσιμα** είναι τα προϊόντα που δεν αναλώνονται με την χρήση και συγχρόνως δεν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (HCFC's, Freon). Τα ανακυκλώσιμα προϊόντα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο τοξικά, εύφλεκτα και επικίνδυνα. Για να είναι ένα προϊόν ανακυκλώσιμο πρέπει να έχει προηγηθεί σχετικός σχεδιασμός.

Τα προϊόντα **μεγάλης διάρκειας** (τηλεοράσεις, ψυγεία, αυτοκίνητα, κλπ.) πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να διευκολύνεται η αποσυναρμολόγηση τους και η ανακύκλωση των εξαρτημάτων τους. Προκειμένου να γίνει εφικτή η ανακύκλωση αυτών των προϊόντων πρέπει να αναπτυχθεί ένας ολόκληρος τομέας υπηρεσιών συλλογής, αποσυναρμολόγησης και διάθεσης των διαφόρων υλικών προς ανακύκλωση, αλλιώς αυτά καταλήγουν σε χώρους ταφής απορριμμάτων.

## Σύμφωνα με τον Οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (Ο.Ο.Σ.Α.)

•Τα **αστικά απόβλητα ή απορρίμματα** συλλέγονται και επεξεργάζονται από τις Δημοτικές Αρχές. Σε αυτά περιλαμβάνονται απόβλητα κατοικιών, (είτε σύμμεικτα είτε διαχωρισμένα), εμπορικών καταστημάτων, μικρών επιχειρήσεων, γραφείων, κλαδέματα κήπων και δημόσιων πάρκων, απορρίμματα από τους καθαρισμούς και τα καλάθια απορριμμάτων των δρόμων καθώς και από καθαρισμούς δημόσιων αγορών.

•Τα **επικίνδυνα απόβλητα** δημιουργούνται κυρίως από βιομηχανικές δραστηριότητες και προέρχονται από συγκεκριμένες παραγωγικές διαδικασίες λόγω χρήσεως χημικών ουσιών. Αν δεν διαχειρισθούν σωστά είναι αιτία σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς οδηγούν σε ρύπανση του εδάφους, του αέρα, και των υδάτων.

•Τα **πυρηνικά (ραδιενεργά) απόβλητα** δημιουργούνται από τα διάφορα στάδια της παραγωγής πυρηνικών καυσίμων (εξόρυξη ουρανίου, θραύση, εμπλουτισμός καυσίμων, λειτουργία αντιδραστήρων, επεξεργασία χρησιμοποιημένου καυσίμου). Επίσης δημιουργούνται και από την απορρύπανση και αδρανοποίηση πυρηνικών εγκαταστάσεων, καθώς και από άλλες δραστηριότητες που γίνεται χρήση ισοτόπων, όπως η επιστημονική έρευνα και η ιατρική.

Όλα τα απόβλητα που περιγράφηκαν παραπάνω έχουν κάποιο βαθμό επικινδυνότητας. Για να χαρακτηριστεί ένα απόβλητο **επικίνδυνο** πρέπει να έχει τουλάχιστον ένα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Εύφλεκτα:** Μπορούν να προκαλέσουν φωτιές κάτω από ορισμένες συνθήκες ή και αυτόματα (αυτανάφλεξη). Π.χ. Πετρέλαιο και διαλύτες.
- **Δραστικά:** Πρόκειται για ασταθείς ουσίες κάτω από κανονικές συνθήκες. Μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις, ατμούς, ή τοξικά αέρια εφόσον αναμιχθούν με νερό. Π.χ. Μπαταρίες Li-S και εκρηκτικά.
- **Διαβρωτικά:** Πρόκειται για οξέα και βάσεις ικανά να διαβρώσουν μέταλλα, όπως δεξαμενές και βαρέλια. Π.χ. Υγρά μπαταριών.
- **Τοξικά:** Αυτά είναι επιβλαβή ή θανατηφόρα αν απορροφηθούν από τους οργανισμούς. Η διάθεσή τους στο έδαφος προκαλεί μέσω των στραγγισμάτων τους ρύπανση των υπογείων νερών.

**Νοσοκομειακά Απόβλητα** θεωρούνται αυτά που παράγονται από δραστηριότητες υγειονομικής περίθαλψης ανθρώπων ή ζώων σε υγειονομικές μονάδες, ερευνητικά εργαστήρια ή ερευνητικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη «φροντίδα υγείας», αλλά και από άλλες μικρότερες πηγές, όπως φροντίδα υγείας παρεχόμενη στο σπίτι.

**Εξορυκτικά Απόβλητα:** Μεταλλεία και ορυχεία αφήνουν πάντα πληγές στο φυσικό περιβάλλον καθώς για την εξόρυξη ενός μετάλλου χρειάζεται απομάκρυνση τόσο του υλικού πάνω από τη φλέβα του ορυκτού όσο και του ορυκτού. Για την παραγωγή 1 τόνου χαλκού για παράδειγμα, απαιτείται η εξόρυξη 125 τόνων μεταλλεύματος. Η εξορυκτική δραστηριότητα κάθε χρόνο απογυμνώνει την επιφάνεια της γης περισσότερο από την φυσική διάβρωση.

Τα τελευταία χρόνια η αυξημένη χρήση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών σε συνδυασμό με τον μικρό χρόνο ζωής τους οδήγησε σε μια νέα κατηγορία αποβλήτων τα **ηλεκτρονικά απόβλητα**. Η διαχείριση τους έχει αυξημένο βαθμό δυσκολίας λόγω της ποικιλίας οργανικών και ανόργανων τοξικών ουσιών που υπάρχουν σε αυτά καθώς και της απαίτησης για αποσυναρμολόγηση.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ).

**Ραδιενεργό απόβλητο** θεωρείται κάθε υλικό που περιέχει συγκέντρωση ραδιοϊσοτόπων μεγαλύτερη από αυτή που έχει νομοθετηθεί ως ασφαλής από τις αρχές κάθε χώρας και για το οποίο δεν έχει προβλεφθεί καμία χρήση. Λόγω του μεγάλου εύρους των πυρηνικών εφαρμογών, οι ποσότητες, το είδος και η μορφή των ραδιενεργών αποβλήτων διαφέρουν σημαντικά. Άλλα παραμένουν ραδιενεργά για εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια, ενώ άλλα απαιτούν αποθήκευση για μικρές περιόδους μέχρι την πλήρη αποσύνθεσή τους, οπότε διαχειρίζονται με συμβατικούς τρόπους.

### **Τύποι Ραδιενεργών Αποβλήτων**

**Υψηλού Κινδύνου** απόβλητα θεωρούνται τα χρησιμοποιημένα καύσιμα των αντιδραστήρων ή τα κατάλοιπα των επαναχρησιμοποιημένων καυσίμων. Ο στρατός επίσης παράγει υψηλού κινδύνου ραδιενεργά απόβλητα.

**Χαμηλού ή ενδιάμεσου κινδύνου** απόβλητα θεωρούνται αυτά που έχουν έρθει σε επαφή με κάποια ακτινοβολία. Μπορεί να προέρχονται από σταθμούς παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, νοσοκομεία, οδοντιατρεία, ερευνητικά εργαστήρια. Τόσο ο όγκος τους όσο και τα επίπεδα ακτινοβολίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη- μεγάλος όγκος αποβλήτων με χαμηλό επίπεδο ραδιενέργειας αντιστοιχεί σε μικρότερο κίνδυνο απ' ό,τι μικρός όγκος αποβλήτων με υψηλό επίπεδο ραδιενέργειας.

## Waste at every stage



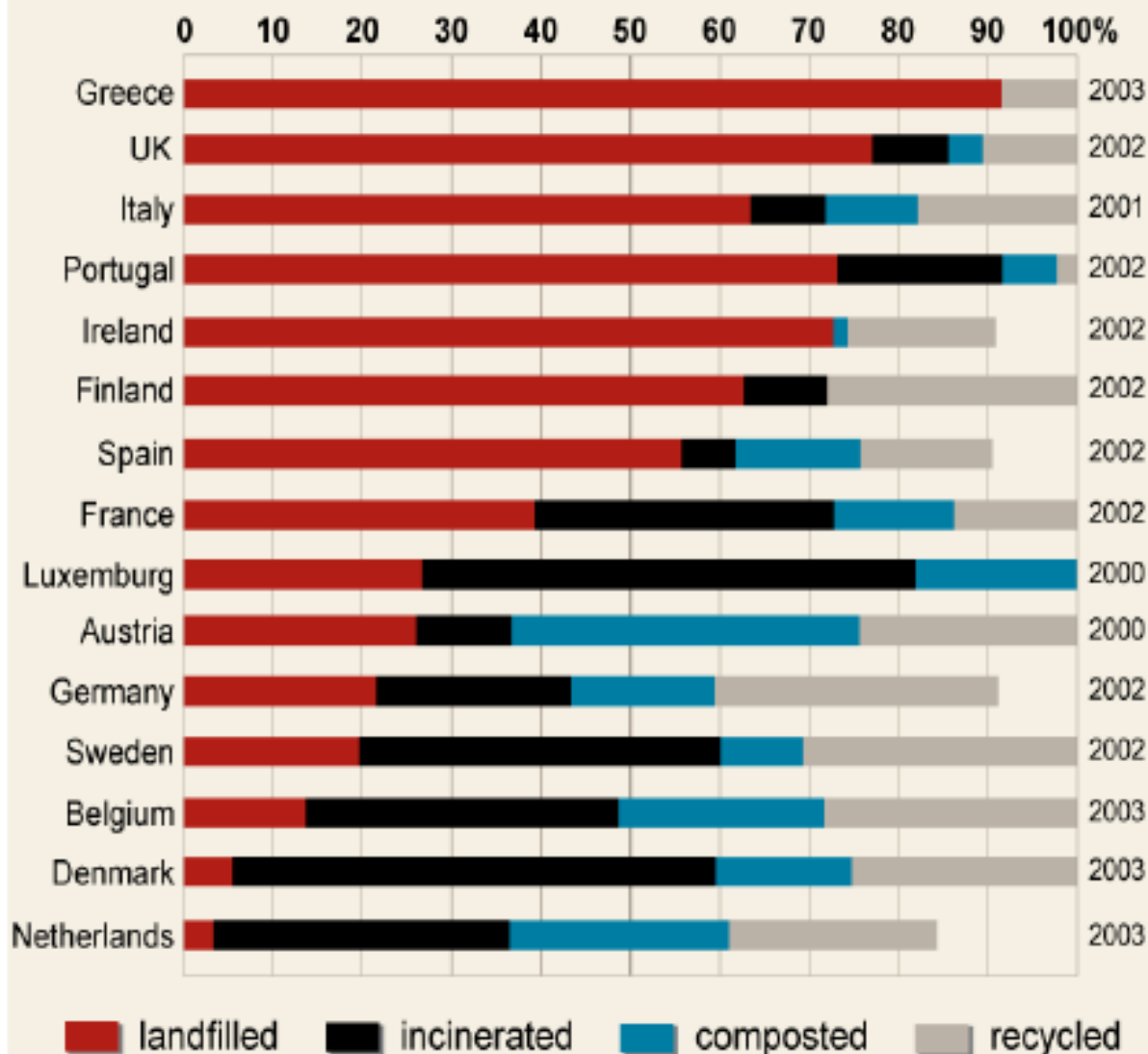
Source: OECD, 2006 (estimates for 2002).



Η Ευρωπαϊκή Νομοθεσία περιλαμβάνει αρκετές Οδηγίες και Αποφάσεις του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου κυρίως μετά το 2000. Το βασικό νομικό πλαίσιο περί χειρισμού των αποβλήτων περιγράφεται στην Οδηγία 'Περί στερεών αποβλήτων' 2006/12/ΕΚ από 5/4/2006, η οποία ουσιαστικά τροποποιεί την πρώτη οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα 75/442/ΕΚ. Η οδηγία ορίζει βασικές αρχές όπως τί είναι απόβλητο, ανάκτηση και διάθεση και θεσπίζει τις ουσιαστικές απαιτήσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων, ιδίως την υποχρέωση οργανισμού ή επιχείρησης που διεξάγει εργασίες διαχείρισης αποβλήτων να έχει άδεια ή να είναι καταχωρημένος και την υποχρέωση των κρατών μελών να καταρτίζουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων. Θεσπίζει επίσης βασικές αρχές, όπως η υποχρέωση διαχείρισης των αποβλήτων κατά τρόπο που να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, η ενθάρρυνση της εφαρμογής της ιεράρχησης των αποβλήτων και, σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η απαίτηση κατά την οποία το κόστος διάθεσης των αποβλήτων πρέπει να βαρύνει τον κάτοχο των αποβλήτων ή προηγούμενος κατόχους ή παραγωγούς του προϊόντος από το οποίο προέκυψαν τα απόβλητα.

# Waste management choices in Europe

in percentage of municipal waste generated



Source: European Topic Centre on Resource and Waste Management, 2006;  
OECD Environmental Data 2004.

## ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η πορεία που θα ακολουθήσουν τα απόβλητα από τη στιγμή που θα εισέλθουν στο φυσικό περιβάλλον καθώς και ο χρόνος παραμονής τους εξαρτώνται από τις φυσικές και τις χημικές τους ιδιότητες. Η πτητικότητα και η διαλυτότητα είναι δύο βασικές φυσικές ιδιότητες οι οποίες καθορίζουν την μεταφορά μιας ουσίας στην ατμόσφαιρα ή την υδρόσφαιρα. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν και οι φυσικές ιδιότητες του περιβάλλοντος που δέχεται τα απόβλητα καθώς και οι κλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα, υψηλές θερμοκρασίες και δυνατοί άνεμοι βοηθούν τις πτητικές ουσίες να μεταφέρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Η δραστηριότητά των αποβλήτων καθορίζεται από τις χημικές και βιοχημικές ιδιότητες τους. Ουσίες που δεν είναι χημικά ενεργές και βιοαποικοδομήσιμες μεταφέρονται μακρύτερα και παραμένουν για μεγαλύτερο διάστημα στο περιβάλλον.

## Στη Γεώσφαιρα

Η μεταφορά των αποβλήτων στην γεώσφαιρα συντελείται σε μεγάλο βαθμό μέσω του νερού που υπάρχει στα απόβλητα. Τα στραγγίσματα από τους χώρους ταφής των αποβλήτων αν δεν διαχειρισθούν σωστά αναμιγνύονται με τα υπόγεια νερά και μπορούν να ρυπάνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Το ίδιο ισχύει και για διαρροές αποβλήτων από αγωγούς ή δεξαμενές. Υδρολογικοί παράγοντες όπως η διαπερατότητα των εδαφών και η κλίση του πρηνούς επηρεάζουν την ταχύτητα της ροής των αποβλήτων. Συνήθως ο ρυθμός της ροής είναι χαμηλός και αντιστοιχεί σε μερικά εκατοστά ανά ημέρα. Ο πιο σημαντικός παράγοντας όμως που επηρεάζει την ρύπανση του εδάφους είναι ο βαθμός προσρόφησης των αποβλήτων από τα υπάρχοντα ορυκτά. Με τη βοήθεια του **συντελεστή κατανομής μιας ουσίας ( $K_d$ )** μεταξύ της υγρής και της στερεής φάσης μπορούμε να έχουμε ένα μέτρο της προσρόφησης.

$$K_d = C_s / C_w ,$$

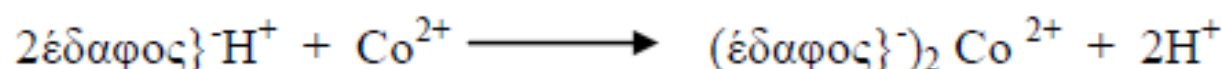
όπου  $C_s$  και  $C_w$  οι συγκεντρώσεις της ρυπογόνου ουσίας στη στερεή και στην υγρή φάση αντίστοιχα.

Ο βαθμός της προσρόφησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιφάνεια προσρόφησης και από την χημική σύσταση των ορυκτών, κυρίως από την παρουσία αργιλικών πετρωμάτων, οξειδίων μετάλλων και οργανικής ύλης.

Μεγάλη σημασία έχει η παρουσία χηλικών υποκαταστατών στα απόβλητα (π.χ. EDTA, DTPA, NTA), καθώς αυτά ευνοούν την δημιουργία ανιονικών χηλικών συμπλόκων μετάλλων με αυξημένη κινητικότητα. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να έχει και η παρουσία στη φυσικό υπόστρωμα οργανικών χουμικών οξέων.



Αντίθετα με τις ανιονικές μορφές, οι κατιονικές μορφές των μετάλλων που δημιουργούνται μέσω καταβύθισης ή ιονανταλλαγής συγκρατούνται πάνω στο γεωλογικό υπόστρωμα.



Η επίδραση των επικίνδυνων αποβλήτων στο έδαφος είναι καταστροφική διότι επιφέρουν αλλοιώσεις στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους οι οποίες με τη σειρά τους επιδρούν στην ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί τη βλάστηση.

## Στην Υδρόσφαιρα

Τα επικίνδυνα απόβλητα εισέρχονται στην υδρόσφαιρα με διάφορους τρόπους. Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως τα στραγγίσματα των χώρων ταφής, ή οι διαρροές αγωγών επιβαρύνουν τα υπόγεια νερά και ανάλογα με την φύση των αποβλήτων και τις συνθήκες που επικρατούν, οι ρύποι μπορούν να παραμείνουν ή όχι στην υδάτινη φάση. Επίσης μέσω της επιφανειακής απορροής μπορούν να καταλήξουν σε ένα υδάτινο αποδέκτη, ενώ δεν είναι καθόλου σπάνια η απευθείας διάθεση αποβλήτων σε θάλασσες, λίμνες, ποτάμια. Οι ουσίες ρύποι είτε βρίσκονται σε διαλυμένες μορφές είτε σε σωματιδιακές μπορούν να επιφέρουν μη αντιστρεπτές αλλοιώσεις στο περιβάλλον και να το καταστήσουν ακατάλληλο για την διαβίωση των οργανισμών.

Η υδρόσφαιρα είναι ένα δυναμικό σύστημα σε συνεχή κίνηση μέσα στο οποίο οι ουσίες ρύποι μπορούν να υποστούν ποικίλες φυσικές, χημικές και βιοχημικές διεργασίες, οι κυριότερες από τις οποίες περιγράφονται παρακάτω:

**Αντιδράσεις Υδρολύσης**, είναι αυτές κατά τις οποίες ένα μόριο διασπάται με την προσθήκη ενός μορίου  $H_2O$ . Οι ενώσεις που υδρολύονται είναι κυρίως αυτές που έχουν προέλθει από την ένωση 2 μορίων με την απομάκρυνση ενός μορίου  $H_2O$  (εστέρες και οξικοί ανυδρίτες).



Παράδειγμα η υδρολύση του δι-βρωμομεθυλ-αιθέρα.

**Αντιδράσεις Καταβύθισης**, όπως για παράδειγμα η δημιουργία δυσδιάλυτων σουλφιδίων μετάλλων σε περιοχές χαμηλού οξυγόνου.



Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η καταβύθιση των μετάλλων στους υδάτινους αποδέκτες, συντελείται συνήθως μετά από συσσωμάτωση κολλοειδών σωματιδίων. Η παρουσία  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$  στο νερό ευνοεί την δημιουργία συσσωματωμάτων και την συγκатаβύθιση μετάλλων.

**Αντιδράσεις Οξειδοαναγωγής**. Αυτές συντελούνται είτε σε ανοξικά νερά λόγω αλλαγής του δυναμικού οξειδοαναγωγής (pE), είτε με την μεσολάβηση μικροοργανισμών, όπως για παράδειγμα η οξείδωση της αμμωνίας στο τοξικό νιτρώδες ανιόν που γίνεται από το βακτήριο *Νιτροζομονάς*:



**Βιοχημικές Διεργασίες** οι οποίες συνήθως συμπεριλαμβάνουν αντιδράσεις υδρολύσης και οξειδοαναγωγής. Οργανικά οξέα και χηλικοί υποκαταστάτες που δημιουργούνται από βακτηριακή δράση μπορούν να αυξήσουν την κινητικότητα των μετάλλων (μέσω υποκατάστασης ή διαλυτοποίησης).

## Στην Βιόσφαιρα

Στη βιόσφαιρα το μεγαλύτερο ενδιαφέρον προκαλείται από την τοξική δράση των αποβλήτων στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Όλα τα επικίνδυνα απόβλητα έχουν τοξική δράση σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Η τοξικότητά τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως οι φυσικές και χημικές ιδιότητες τους, το περιβάλλον στο οποίο εισέρχονται, καθώς επίσης και από το είδος των οργανισμών που εκτίθενται στα απόβλητα, τον τρόπο και τέλος τον χρόνο έκθεσης.

Σε επίπεδο μικροοργανισμών οι έκθεση σε τοξικές ουσίες μπορεί να έχει αρνητικά (βιοσυσσώρευση) ή και θετικά (βιοαποικοδόμηση) αποτελέσματα.

*Βιοσυσσώρευση* συμβαίνει όταν οι ξένες ουσίες – ρύποι συγκεντρώνονται στους ιστούς των οργανισμών και έτσι εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα.

*Βιοαποικοδόμηση* συμβαίνει όταν οι ξένες ουσίες - ρύποι αποικοδομούνται μέσω της βιολογικής δράσης σε απλούστερα μόρια. Διάφοροι μικροοργανισμοί και βακτήρια έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν ‘ανθρωπογενείς - ξένες’ ουσίες προς το περιβάλλον οι οποίες πολλές φορές λέγονται και *ξενοβιοτικές*. Παρόλο ότι οι ουσίες αυτές από τη φύση τους αντιστέκονται στη βιοαποικοδόμηση (αλογονομένοι υδρογονάνθρακες, αλογονομένα και μη αλογονομένα βενζολικά παράγωγα, φαινόλες, πολυχλωριομένα διφαινύλια, φθαλικοί εστέρες, εντομοκτόνα), μπορούν να αποικοδομηθούν έστω και μερικώς από κάποιους μικροοργανισμούς. Η πλήρης μετατροπή των οργανικών ουσιών σε απλά ανόργανα μόρια ή ιόντα (π.χ.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^-$ ) λέγεται *ανοργανοποίηση*, ενώ η παραγωγή λιγότερο τοξικών ουσιών μέσω βιοχημικών αντιδράσεων λέγεται *μείωση της τοξικής δράσης* (detoxification).



Η δράση των μικροοργανισμών γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους:

**Αερόβια**, παρουσία δηλαδή μοριακού οξυγόνου ( $O_2$ ) ως δέκτη ηλεκτρονίων,

ή

**αναερόβια**, όπου το οξειδωτικό είναι κάποιο άλλο μόριο π.χ.  $SO_4^{2-}$  το οποίο μετατρέπεται σε  $H_2S$ .

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα ξενοβιοτικά μόρια αντιστέκονται πολύ περισσότερο από τα φυσικά μόρια στη βιοαποικοδόμηση. Ορισμένοι μικροοργανισμοί όμως έχουν αναπτύξει ειδικά ένζυμα τα οποία δρουν απ ευθείας πάνω στα ξενοβιοτικά μόρια κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού. Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα είναι αυτό του μύκητα *Phanerochaete chrysosporium* ο οποίος αναπτύσσεται στα νεκρά δέντρα και μέσω ενός ενζύμου αποικοδομεί την λιγνίνη. Έχει βρεθεί ότι κάτω από κατάλληλες συνθήκες, το ένζυμο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διάσπαση μορίων όπως PCBs, DDT και TCDD (τετραχλωρο-διβενζο-διοξίνες).

Όπως ειπώθηκε η μετακίνηση/απελευθέρωση των ρύπων από τα απόβλητα στο περιβάλλον (γεώσφαιρα, ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα, βιόσφαιρα) συμβαίνει μέσω της κίνησης (του κύκλου) του νερού. Ως εκ τούτου, η μελέτη του μηχανισμού απελευθέρωσης ρύπων από τα απόβλητα μέσω της διαβροχής αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τον προσδιορισμό του δυναμικού ρύπανσης από απόβλητα. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε, ότι τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες, χρησιμοποιούνται απόβλητα επεξεργασμένα με συγκεκριμένο τρόπο (στερεοποίηση-τσιμεντοποίηση) ως οικοδομικά υλικά, οπότε και σε αυτή τη περίπτωση έχει μεγάλη σημασία το θέμα της απελευθέρωσης ρύπων μέσω του νερού. Αντιλαμβάνεται κανείς ότι το ζήτημα της απελευθέρωσης των ρύπων από τα απόβλητα είναι καθοριστικό και στη σύσταση και επιβολή σχετικών κανονισμών και μέτρων.

Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα χαρακτηρισμού αποβλήτων καλύπτουν τρία στάδια: (1) δειγματοληψία αποβλήτων, (2) δοκιμές έκπλυσης, (3) χημική ανάλυση αποβλήτων και εκπλυμάτων. Επίσης δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην χρήση κοινής ορολογίας ώστε να εξασφαλίζεται η σύγκριση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Τα πρότυπα στοχεύουν στην εκτίμηση της ρύπανσης τόσο σε μικρές όσο και σε μεγάλες χρονικές κλίμακες.

διαχείριση των αποβλήτων στοχεύει στα ακόλουθα:

- Μηδενική παραγωγή αποβλήτων.
- Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε ελαχιστοποίηση των ποσοτήτων τους.
- Ανακύκλωση
- Αν δεν είναι εφικτή η ανακύκλωση, τότε είναι επιθυμητή η μετατροπή τους σε μη επικίνδυνες μορφές.
- Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε διάθεση τους με ασφαλή τρόπο.
- Εφόσον διατεθούν στο περιβάλλον, είναι απαραίτητος ο συστηματικός περιβαλλοντικός έλεγχος.

Είναι γενικά επιθυμητό η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση να γίνονται στο σημείο παραγωγής των αποβλήτων και να αποφεύγεται η μεταφορά τους. Οι τέσσερις τρόποι εκμετάλλευσης της αξίας των αποβλήτων είναι:

- Απευθείας ανακύκλωση ως πρώτη ύλη στην ίδια διαδικασία παραγωγής.
- Μεταφορά ως πρώτη ύλη σε άλλη διαδικασία. Μια ουσία απόβλητο μιας διαδικασίας μπορεί να χρησιμεύσει ως πρώτη ύλη σε μια εντελώς διαφορετική βιομηχανική μονάδα.
- Χρήση μιας απόβλητης ουσίας για την αντιμετώπιση της ρύπανσης. Π.χ. χρήση ενός βασικού αποβλήτου για την εξουδετέρωση οξίνων αποβλήτων.
- Ανάκτηση ενέργειας, όπως για παράδειγμα από την καύση αστικών απορριμμάτων.

Οι μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων είναι φυσικές, χημικές, θερμικής επεξεργασίας και βιοχημικές, ενώ τα στάδια επεξεργασίας συνήθως είναι μέχρι τρία, - πρωτογενής, δευτερογενής, τριτογενής (ή στάδιο εξευγενισμού). Σε κάθε στάδιο χρησιμοποιούνται μία ή περισσότερες μέθοδοι επεξεργασίας ανάλογα με τη φύση των αποβλήτων. Η πρωτογενής επεξεργασία συνήθως αποσκοπεί στην προετοιμασία για το επόμενο στάδιο, στην απομάκρυνση παραπροϊόντων ή στη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων. Με την δευτερογενή επεξεργασία μειώνεται η τοξικότητα των αποβλήτων με απομάκρυνση ή καταστροφή των τοξικών ουσιών. Η

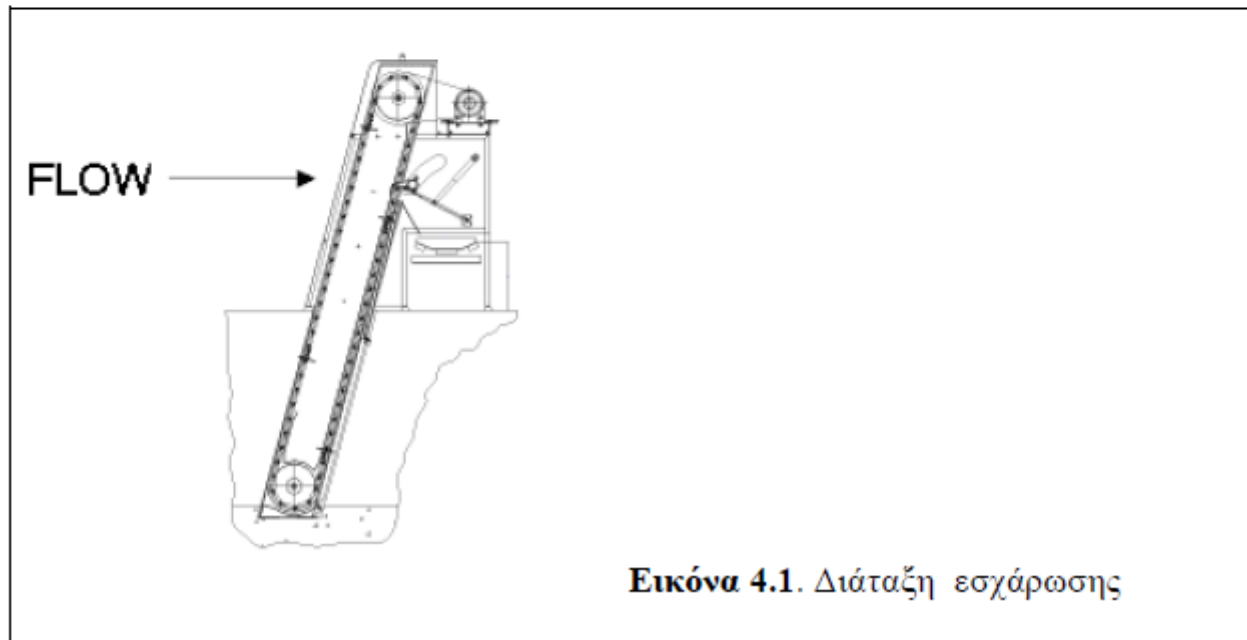
τριτογενής επεξεργασία συνήθως αντιστοιχεί στην τελική επεξεργασία του νερού που απομακρύνεται από τα απόβλητα ώστε να διατεθεί με ασφάλεια στο περιβάλλον ή να χρησιμοποιηθεί (π.χ. σε αρδεύσεις). Επίσης μπορεί να εφαρμοσθεί και σε άλλα προϊόντα επεξεργασίας με σκοπό πάντα την ασφαλή διάθεση τους ή χρήση τους.

Στις φυσικές μεθόδους διαχωρισμού συγκαταλέγονται:

### 1. Διαχωρισμός Φάσεων (Διαχωρισμός υγρών –στερεών)

Εφόσον πρόκειται για μείγμα αποβλήτων που βρίσκονται ήδη σε δύο φάσεις (υγρό – στερεό), τότε ο πιο προφανής τρόπος επεξεργασίας τους είναι ο διαχωρισμός των συστατικών του μείγματος.

Ένας προκαταρκτικός διαχωρισμός σωματιδίων μεγάλου σχετικά μεγέθους επιτυγχάνεται με την **εσχάρωση**. Η σχάρα η οποία αποτελείται είτε από παράλληλες μεταλλικές μπάρες είτε από ένα μεταλλικό πλέγμα με σχετικά μεγάλο μέγεθος οπών, τοποθετείται εγκάρσια και με μικρή κλίση ( $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) στη ροή του υγρού. Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται σχηματικά μια διάταξη εσχάρωσης. Σε αυτή τη περίπτωση η σχάρα μεταφέρεται εντός και εκτός του προς διαχωρισμό μείγματος στερεού-υγρού με τη βοήθεια περιστρεφόμενων κυλίνδρων. Τα σωματίδια που κατακρατούνται στη σχάρα μεταφέρονται με την κίνηση της εκτός του υγρού ενώ με την αλλαγή του κεκλιμένου επιπέδου απομακρύνονται οριστικά.



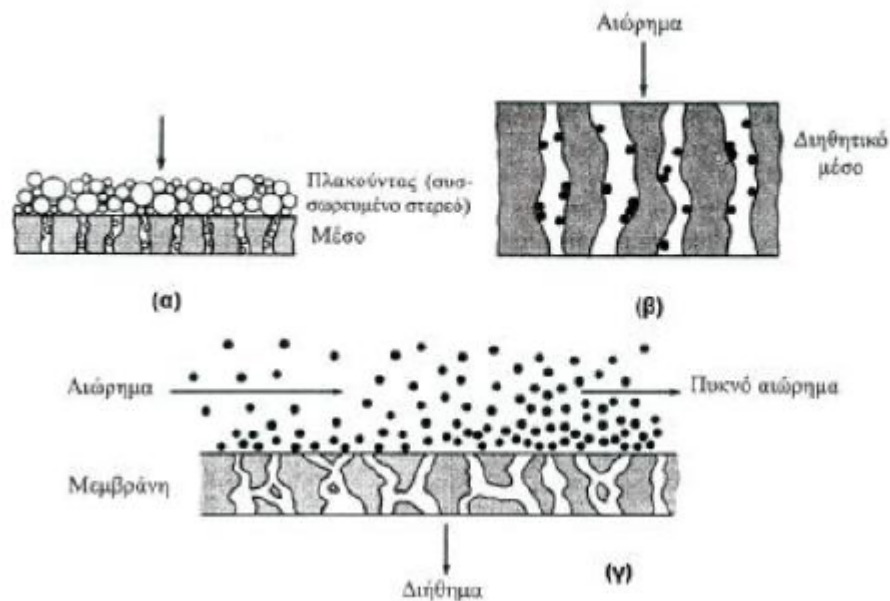
Εικόνα 4.1. Διάταξη εσχάρωσης

Η **καταβύθιση** με τη βαρύτητα και η **υπερχείλιση** είναι πολύ απλές επεξεργασίες.

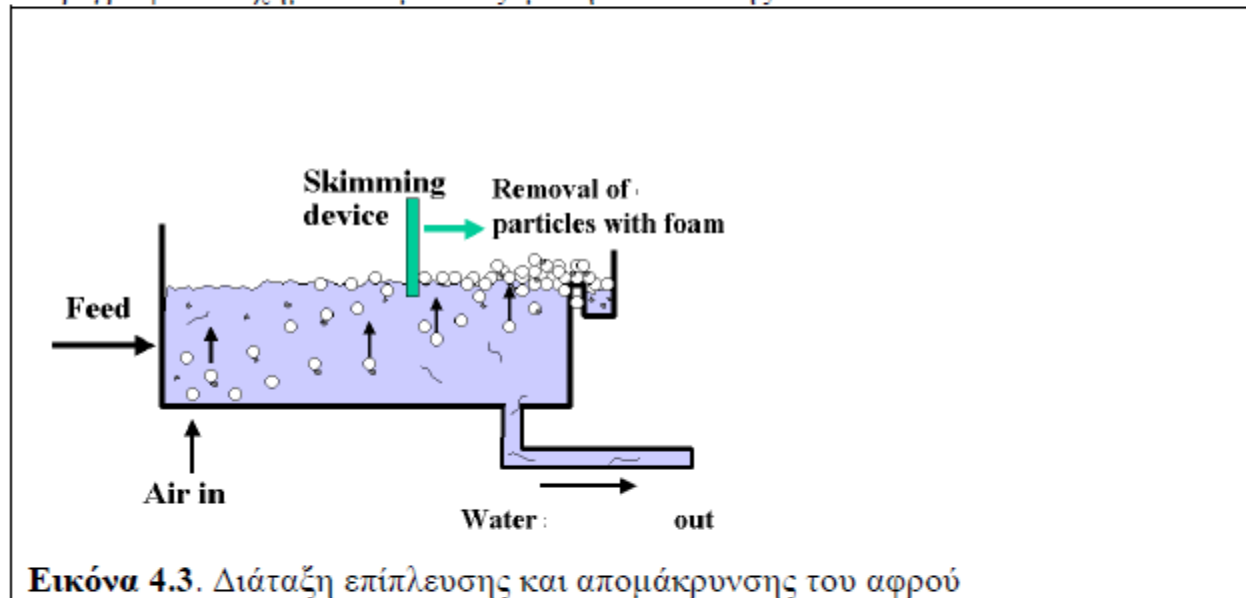
Η καταβύθιση γίνεται μέσα σε κατάλληλες δεξαμενές καθίζησης, όπου τα στερεά σωματίδια που βρίσκονται μέσα σε ένα υγρό εν ηρεμία οδηγούνται στον πυθμένα της δεξαμενής υπό την επίδραση της συνισταμένης των δυνάμεων βάρους-άνωσης. Οι δεξαμενές είναι συνεχούς λειτουργίας και η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που ο όγκος των αιωρουμένων σωματιδίων είναι πολύ μεγάλος όπως για παράδειγμα στις μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Το στρώμα των σωματιδίων υπό μορφή ιλύος απομακρύνεται από το πυθμένα της δεξαμενής με τη βοήθεια ξέστρων, ενώ το διαυγές υγρό υπερχειλίζει από την επιφάνεια.

Η **φυγοκεντρική καταβύθιση** πλεονεκτεί της καταβύθισης με τη βαρύτητα καθώς απαιτεί μικρότερους χρόνους διαχωρισμού και διαχωρίζει μικρότερου μεγέθους σωματίδια. Δεν μπορεί όμως να εφαρμοσθεί για τον διαχωρισμό μεγάλων όγκων αιωρουμένων σωματιδίων. Η μέθοδος στηρίζεται στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ των σωματιδίων και του υγρού.

Με την **διήθηση** επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός στερεών-υγρών με τη βοήθεια διεπιφάνειας από πορώδες διηθητικό μέσο (φίλτρο). Το μίγμα στερεού-υγρού διαπερνά το πορώδες διηθητικό μέσο το οποίο συγκρατεί τα στερεά σωματίδια ενώ το υγρό διέρχεται διανυγές. Η διήθηση συντελείται υπό την επίδραση μιας διαφοράς πίεσης (βαρύτητα, αντλία πίεσης, αντλία κενού). Στις μονάδες καθαρισμού αποβλήτων χρησιμοποιούνται κυρίως δύο τύποι διήθησης: α) η διήθηση από πλακούντα και β) η διήθηση βάθους (Εικόνα 4.2). Στη διήθηση από πλακούντα χρησιμοποιείται ως φίλτρο κάποιο πορώδες μέσο (π.χ. ύφασμα) στην επιφάνεια του οποίου συσσωρεύονται τα στερεά σωματίδια και δημιουργείται πλακούντας ο οποίος πρέπει να απομακρύνεται από το φίλτρο συστηματικά. Αυτός ο τρόπος διήθησης ενδείκνυται για υγρά με περιεκτικότητα στερεών >3% κ.β. Οι συσκευές διήθησης που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως φιλτρόπρεςσες, φίλτρα περιστρεφόμενου τυμπάνου, περιστροφικό φίλτρο δίσκων, φυγοκεντρική διήθηση κ.α. Αντίθετα η διήθηση βάθους χρησιμοποιείται για υγρά με χαμηλή περιεκτικότητα στερεών (π.χ.<0.1% κ.β.) συνήθως στο τριτογενές στάδιο επεξεργασίας. Τα εν αιωρήσει στερεά κατακρατούνται στο εσωτερικό των πόρων των φίλτρων και αφού έχουν διανύσει μια απόσταση σε βάθος του φίλτρου. Ως φίλτρα χρησιμοποιούνται στρώματα άμμου, ενεργού άνθρακα, κ.α.



Η **επίπλευση** χρησιμοποιείται για να φέρει την αιωρούμενη ύλη, συνήθως οργανικής φύσεως, στην επιφάνεια ενός υγρού. Κατά την διαδικασία της επίπλευσης με διαλυμένο αέρα εισάγεται αέρας υπό πίεση ο οποίος κατά την εκτόνωση δημιουργεί φυσαλίδες που ανεβαίνουν στην επιφάνεια του υγρού και πάνω στις οποίες συγκολλούνται τα σωματίδια προς απομάκρυνση. Η επίπλευση διαχωρίζει τις υδρόφοβες ουσίες οι οποίες έχουν μεγαλύτερη τάση να συγκρατηθούν στις φυσαλίδες. Ο αφρός που δημιουργείται απομακρύνεται με τη βοήθεια ειδικής διάταξης. Πολλές φορές η δημιουργία αφρού υποβοηθείται με την προσθήκη κροκιδωτικού μέσου όπως  $\text{FeCl}_2$  ή  $\text{AlSO}_4$ . Στην Εικόνα 4.3 περιγράφεται σχηματικά μια δεξαμενή επίπλευσης.



**Εικόνα 4.3.** Διάταξη επίπλευσης και απομάκρυνσης του αφρού

Ένα άλλο στάδιο επεξεργασίας είναι η **διάσπαση γαλακτωμάτων**, κατά το οποίο τα γαλακτώματα κολλοειδούς μορφής συσσωματώνονται και καθιζάνουν. Για το σκοπό αυτό γίνεται ανάδευση, θέρμανση, οξίνιση και προσθήκη κροκιδωτικών μέσων. Συνήθη κροκιδωτικά είναι οργανικοί πολυ-ηλεκτρολύτες ή άλατα του αργιλίου.



## 2. Αλλαγή Φάσης

Με αυτές τις μεθόδους πετυχαίνεται αλλαγή της φάσης μιας ουσίας σε μία άλλη. Ένας πολύ συνηθισμένος τρόπος είναι η **απόσταξη**, η οποία στηρίζεται στο διαχωρισμό των συστατικών υγρών μειγμάτων με βάση το διαφορετικό σημείο ζέσεως κάθε συστατικού. Χρησιμοποιείται συνήθως για την ανάκτηση οργανικών διαλυτών, καθαρισμό αποβλήτων λιπαντικών ελαίων, διαχωρισμό φαινολών από απόβλητα, καθαρισμό αποβλήτων ελαιουργίων κλπ. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι η απόσταξη αφήνει πάντα υπόλειμμα υψηλής τοξικότητας (still bottoms).

Η **εξάτμιση** χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του νερού από υδατικά απόβλητα, την συγκέντρωση των αποβλήτων. Εφόσον οι συνθήκες είναι ελεγχόμενες και η εξάτμιση δεν γίνεται σε δεξαμενές, το νερό που εξατμίζεται μπορεί να συμπυκνωθεί για περαιτέρω χρήση. Με την **ξήρανση** επίσης πετυχαίνεται η απομάκρυνση του νερού ή άλλου διαλύτη.

Άλλη μέθοδος διαχωρισμού είναι η **απογύμνωση** η οποία αφορά τον διαχωρισμό πτητικών ενώσεων υγρών μειγμάτων από άλλες μη πτητικές. Αυτό πετυχαίνεται με την διαβίβαση ενός αερίου από το διάλυμα στο οποίο μεταφέρονται οι πτητικές ενώσεις και διαχωρίζονται. Τα δύο προϊόντα του διαχωρισμού είναι συμπυκνωμένοι ατμοί και το απογυμνωμένο υπόλειμμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα απογύμνωσης είναι ο διαχωρισμός βενζενίου και διχλωρομεθανίου.

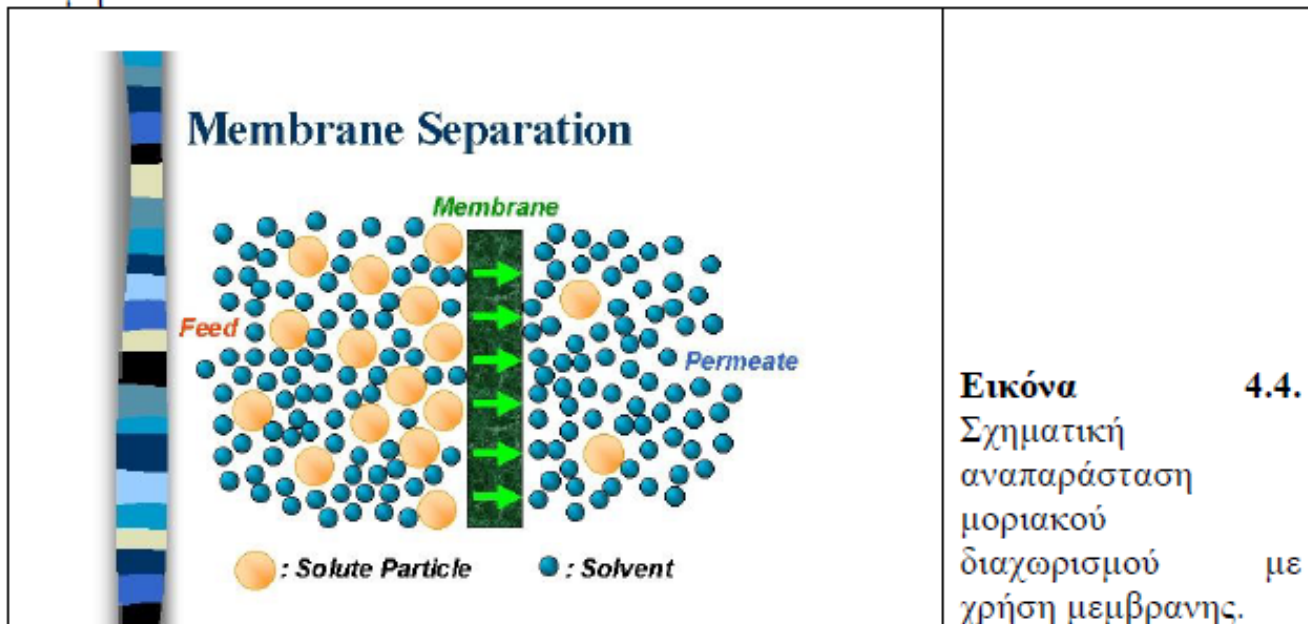
Τέλος, στις μεθόδους αλλαγής φάσης συγκαταλέγεται και η **φυσική κατακρήμνιση**. Με αυτό το τρόπο δημιουργούνται στερεά σωματίδια σε ένα διάλυμα λόγω αλλαγής στις φυσικές συνθήκες (π.χ. ψύξη, εξάτμιση, αλλαγή της διαλυτότητας της διαλυμένης ουσίας).

### 3. Μεταφορά σε άλλη Φάση

Μεταφορά μιας ουσίας σε άλλη φάση συμβαίνει με την **εκχύλιση** μιας ουσίας από ένα υδατικό διάλυμα σε ένα οργανικό διαλύτη. Όταν οι διαλύτες χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό συγκεκριμένων ουσιών από στερεά ή ημιστερεά μείγματα τότε η διαδικασία λέγεται **έκπλυση**. Αντίθετα η εκλεκτική απομάκρυνση μιας διαλυμένης ουσίας με τη βοήθεια ενός στερεού υποστρώματος λέγεται **προσρόφιση**. Το πλέον χρησιμοποιούμενο προσροφητικό μέσο στην επεξεργασία αποβλήτων είναι ο ενεργός άνθρακας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση μη πολικών, υδρόφοβων ενώσεων (π.χ. ξυλένιο, ναφθαλένιο, κυκλοεξάνιο, φαινόλη, ανιλίνη, βαφές, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες).

#### 4. Μοριακός Διαχωρισμός

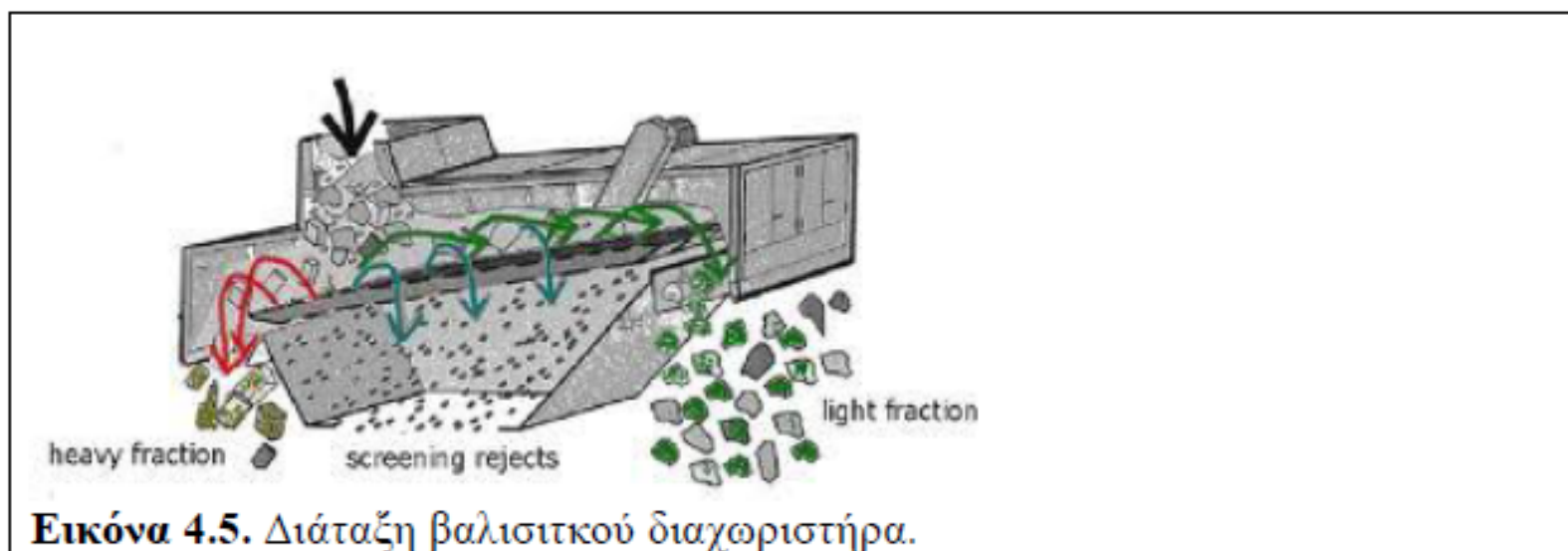
Η τρίτη κατηγορία φυσικών μεθόδων διαχωρισμού είναι ο μοριακός διαχωρισμός που στηρίζεται στη χρήση μεμβρανών σε υψηλή πίεση (Εικόνα 4.4). Η **υπερδιήθηση** βασίζεται στον διαχωρισμό των ενώσεων που υπάρχουν σε ένα υδατικό διάλυμα με βάση το μοριακό τους βάρος. Συνήθως διαχωρίζονται από ημιπερατές μεμβράνες, ενώσεις με μάζες από 500 έως 1,000,000 Dalton και δημιουργούνται δυο διαλύματα ένα πυκνό σε μεγαλομόρια και ένα αραιό. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό μεγάλων οργανικών μορίων ή συμπλόκων μετάλλων από υδατικά διαλύματα. Μια άλλη μέθοδος μοριακού διαχωρισμού είναι η **αντίστροφη όσμωση** κατά την οποία η μεμβράνη διαχωρισμού επιτρέπει την διέλευση των μορίων νερού και αποτρέπει την διέλευση ιόντων. Η αντίστροφη όσμωση δημιουργεί καθαρό νερό και ένα προϊόν άλμης. Τέλος η **ηλεκτροδιάλυση** η οποία λειτουργεί σε συνδυασμό με την ηλεκτρόλυση χρησιμοποιεί μεμβράνες οι οποίες διαχωρίζουν είτε τα κατιόντα είτε τα ανιόντα. Και σε αυτή τη περίπτωση η μέθοδος δημιουργεί καθαρό νερό και άλμη.



**Εικόνα 4.4.**  
Σχηματική αναπαράσταση μοριακού διαχωρισμού με χρήση μεμβράνης.

## 5. Διαχωρισμός στερεών από στερεά.

Οι μέθοδοι διαχωρισμού στερεών από στερεά στηρίζονται κυρίως στις διαφορές του μεγέθους (διαστάσεις) και του ειδικού βάρους των υλικών. Τέτοιες είναι η κοσκίνιση, ο βαλλιστικός διαχωρισμός και ο διαχωρισμός με τη βοήθεια ρεύματος αέρα. Η **κοσκίνιση** στηρίζεται στις διαφορές του μεγέθους και γίνεται με διαφόρων τύπων κόσκινα. Ο **βαλλιστικός διαχωρισμός** και ο **διαχωρισμός με ρεύμα αέρα** στηρίζονται στις διαφορές του ειδικού βάρους των προς διαχωρισμό υλικών. Οι βαλλιστικοί διαχωριστήρες συνήθως είναι κεκλιμένα επίπεδα τα οποία δονούνται σε συγκεκριμένη συχνότητα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των στερεών με βάση το ειδικό τους βάρος (Εικόνα 4.5). Οι μέθοδοι αυτές βρίσκουν εφαρμογή στον διαχωρισμό του μίγματος των αστικών στερεών αποβλήτων με σκοπό την ανακύκλωσή τους.



**Εικόνα 4.5.** Διάταξη βαλλιστικού διαχωριστήρα.

Οι χημικές μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων στηρίζονται στις χημικές ιδιότητες των αποβλήτων και συνοψίζονται στις εξής: Εξουδετέρωση οξέων-βάσεων, χημική εκχύλιση και έκλυση, ιονανταλλαγή, χημική καταβύθιση, οξείδωση/αναγωγή.

### **1. Εξουδετέρωση Οξέων - Βάσεων**

Όταν τα απόβλητα περιέχουν οξέα ή βάσεις αυτά εξουδετερώνονται με χρήση βάσης ή οξέως αντίστοιχα. Παρόλον ότι η μέθοδος είναι πολύ απλή στη θεωρία, δημιουργεί προβλήματα στη πράξη. Σε αυτά συγκαταλέγονται η έκλυση πτητικών ουσιών, η έκλυση θερμότητας, η διάβρωση του εξοπλισμού. Για την εξουδετέρωση αποβλήτων χαμηλού pH χρησιμοποιείται υδράσβεστος  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Λόγω της σχετικά χαμηλής διαλυτότητας της υδρασβέστου η προσθήκη περίσσειας δεν επιτρέπει την άνοδο του pH σε ψηλές τιμές. Για την εξουδετέρωση αλκαλικών αποβλήτων χρησιμοποιείται συνήθως  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ή  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Η χρήση του θεικού οξέως πρέπει να γίνεται με προσοχή καθώς η προσθήκη μεγάλης ποσότητας μπορεί να μειώσει το pH σε πολύ χαμηλές τιμές. Αντίθετα το οξικό οξύ είναι ασθενές οξύ, είναι φυσικό προϊόν και βιοαποικοδομήσιμο.

Η εξουδετέρωση συνήθως προηγείται άλλων διαδικασιών επεξεργασίας όπως η οξειδοαναγωγή, η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, η βιοχημική επεξεργασία.

## 2. Χημική Καταβύθιση

Η χημική καταβύθιση χρησιμοποιείται στην επεξεργασία αποβλήτων κυρίως για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων και γίνεται με δύο τρόπους. Είτε με απ' ευθείας καταβύθιση των μετάλλων, είτε με συγκαταβύθιση τους με άλλα υποστρώματα.

Η καταβύθιση των μετάλλων γίνεται με την δημιουργία υδροξειδίων των μετάλλων ή ανθρακικών ή θειούχων αλάτων.

Ως δότες υδροξυλίων συνήθως χρησιμοποιούνται οι βάσεις NaOH ή Ca(OH)<sub>2</sub>. Οι διαλυτότητες των περισσοτέρων μετάλλων φθάνουν σε ελάχιστη τιμή σε pH 9-11, ενώ για τιμές pH >11 αυξάνονται. Το πρόβλημα αυτό ξεπερνιέται με τη χρήση του ανθρακικού νατρίου Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> που οδηγεί στη δημιουργία βασικών ανθρακικών αλάτων (π.χ. 2PbCO<sub>3</sub> Pb(OH)<sub>2</sub>). Το ανθρακικό ανιόν δημιουργεί υδροξύλια καθώς υδρολύεται στο νερό, ενώ συγχρόνως δεν ανεβάζει τις τιμές του pH (ρυθμιστικό διάλυμα).



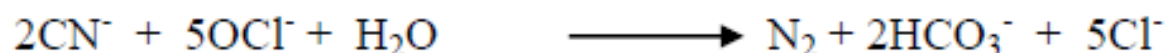
Για την καταβύθιση των δυσδιάλυτων σουλφιδίων των μετάλλων χρησιμοποιείται θειούχος σίδηρος (FeS) ως δότης θειούχων και αποφεύγεται η χρήση του τοξικού υδρόθειου. Η καταβύθιση των σουλφιδίων χρειάζεται προσοχή καθώς μπορεί να δημιουργηθούν ατμοί H<sub>2</sub>S εάν αυτά έλθουν σε επαφή με οξέα.

Τέλος ορισμένα μέταλλα μπορούν να καταβυθισθούν από κάποιο διάλυμα σε στοιχειακή μορφή με χρήση ισχυρού αναγωγικού όπως το βοροϋδρίδιο του νατρίου (NaBH<sub>4</sub>).



### 3. Οξειδοαναγωγή

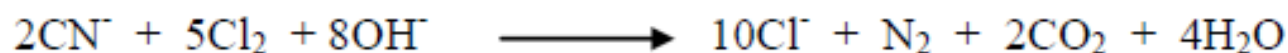
Για την οξείδωση οργανικών και ανόργανων ενώσεων στα απόβλητα χρησιμοποιείται κυρίως το οξυγόνο. Ειδικά για κάποια ανόργανα συστατικά π.χ.  $\text{CN}^-$ , χρησιμοποιείται το υποχλωριώδες ανιόν.



Επίσης το όζον ( $\text{O}_3$ ) είναι ισχυρό οξειδωτικό, παράγεται από το οξυγόνο και αέρα στις εγκαταστάσεις αποβλήτων και χρησιμοποιείται για την οξείδωση πολλών τύπων αποβλήτων.

### 6. Ηλεκτρόλυση

Η ηλεκτρόλυση ως μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάκτηση μετάλλων και συγκεκριμένα των: Cd, Cu, Au, Pb, Ag, Zn. Η παρουσία  $\text{CN}^-$  στα απόβλητα παρεμποδίζει την ανάκτηση λόγω δημιουργίας κυανιούχων συμπλόκων μετάλλων. Το πρόβλημα ξεπερνιέται με χρήση ιόντων χλωρίου στην άνοδο. Το χλώριο που δημιουργείται διασπά τα κυανιούχα.



## 7. Χημική Εκχύλιση και Έκπλυση

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται απομάκρυνση μιας επικίνδυνης ουσίας από κάποιο στερεό απόβλητο και μεταφορά της στη διαλυτή φάση λόγω χημικών αντιδράσεων διαλυτοποίησης. Συνήθως για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται μη τοξικά ασθενή οξέα (π.χ.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ή  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ). Επίσης χηλικοί υποκαταστάτες όπως το EDTA μπορούν να διαλυτοποιήσουν αδιάλυτες μορφές μετάλλων και να δημιουργήσουν διαλυτά σύμπλοκα. Σε άλλες περιπτώσεις ενδείκνυται η χρήση αναγωγικών μέσων όπως η υδροχλωρική υδροξυλαμίνη. Για παράδειγμα, αποκατάσταση εδαφών μπορεί να γίνει με αναγωγή των οξειδίων και υδροξειδίων σιδήρου και μαγγανίου και παράλληλη απελευθέρωση και απομάκρυνση των τοξικών μετάλλων τα οποία έχουν συγκαταβυθισθεί.

## 8. Ιονανταλλαγή

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση μικρών ποσοτήτων μετάλλων από υγρά απόβλητα. Βρίσκει εφαρμογή κυρίως στις βιομηχανίες επιμεταλλώσεων.

## 9. Φωτολυτικές αντιδράσεις

Οι φωτολυτικές αντιδράσεις διάσπασης σύνθετων οργανικών μορίων είναι μια από της πιο 'καθαρές' μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει διάσπαση των χλωροδιοξινών (TCDD), των PCB's, του TNT και παρασιτοκτόνων.

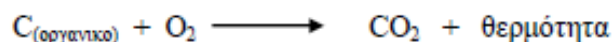


### 4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η θερμική επεξεργασία των αποβλήτων ικανοποιεί πολλές από τις απαιτήσεις της διαχείρισης – μείωση του όγκου, καταστροφή επικίνδυνων και τοξικών οργανικών ουσιών, καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών – προκαλεί όμως δευτερογενή προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και διάθεσης της τέφρας.

#### Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση των αποβλήτων γίνεται σε οξειδωτικές συνθήκες και θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 900°C. Η θερμότητα που απαιτείται για να διατηρηθεί η αποτέφρωση προέρχεται από την οξείδωση των οργανικών ουσιών που υπάρχουν στα απόβλητα ή/και από συμπληρωματικά καύσιμα.



Οι αντιδράσεις αυτές καταστρέφουν την οργανική ύλη και προσφέρουν ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται από τις ενδόθερμες αντιδράσεις που επίσης λαμβάνουν χώρα, όπως το σπάσιμο του δεσμού C-Cl των οργανοχλωριωμένων ενώσεων.

Για να έχει νόημα η αποτέφρωση τα απόβλητα πρέπει να περιέχουν σημαντικές ποσότητες οργανικής ύλης και να έχουν θερμογόνο δύναμη τουλάχιστον 14 MJ/kg και κατά προτίμηση πάνω από 18 MJ/kg. Για κάποιες όμως οργανικές ενώσεις οι οποίες δεν είναι καύσιμες (π.χ. οργανοχλωριωμένοι υδρογονάνθρακες) χρειάζεται όπως είπαμε συμπληρωματικό καύσιμο.

Καθώς ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων έχουν υψηλή θερμογόνο δύναμη, η αποτέφρωσή τους οδηγεί και σε ανάκτηση ενέργειας. Σε κατάλληλα σχεδιασμένες βιομηχανικές μονάδες μπορούν τα απόβλητα να **συναποτεφρωθούν** με άλλα καύσιμα και να συνεισφέρουν στις ενεργειακές απαιτήσεις της βιομηχανίας. (Π.χ. χρήση ιλύος αστικών λημμάτων ή χαρτο-πλαστικό αστικών απορριμμάτων ως καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία).

Οι αποτεφρωτήρες αποβλήτων συνήθως αποτελούνται από τέσσερα τμήματα: α) το τμήμα προετοιμασίας και εισαγωγής των αποβλήτων, β) τον ή τους θαλάμους καύσης όπου γίνεται παράλληλη εισαγωγή αέρα ή καυσίμου, γ) την παραλαβή της καθιζάνουσας τέφρας μετά από ψύξη με νερό και δ) το σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων και παραλαβής της ιπτάμενης τέφρας. Το τελευταίο τμήμα είναι και το πιο πολύπλοκο λόγω των πολλών σταδίων εξουδετέρωσης και πλύσης των αερίων καύσης που απαιτούνται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της ρύπανσης.

#### 4.4 ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Με τον όρο **βιοαποικοδόμηση** ή **βιοεξυγίανση των αποβλήτων** περιγράφεται η μετατροπή οργανικών αποβλήτων σε απλά ανόργανα μόρια (ανοργανοποίηση) ή αδρανή προϊόντα μέσω **ενζυματικών διεργασιών**. Οι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες) που είναι υπεύθυνοι για την έκκριση των ενζύμων συνήθως έχουν ήδη αναπτυχθεί και προσαρμοσθεί στο περιβάλλον των αποβλήτων (ενδογενείς). Η βιοαποικοδόμηση είναι μια μέθοδος διαχείρισης με πολλά πλεονεκτήματα και μπορεί αν χρησιμοποιηθεί για τη **μείωση της τοξικής δράσης** μιας ουσίας. Παράγοντες όπως η αργή ανάδευση των αποβλήτων ή αργή παροχή οξυγόνου μπορούν να εμποδίσουν την αποδοτική βιοαποικοδόμηση. Επίσης οι χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε χαμηλές ταχύτητες αντιδράσεων, ενώ η παρουσία τοξικών συστατικών όπως τα βαρέα μέταλλα εμποδίζουν την ενζυμική δράση.

Ο βαθμός βιοαποικοδόμησης μιας ουσίας εξαρτάται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της ουσίας, όπως είναι η διαλυτότητα στο νερό και η πίεση των ατμών, το μοριακό βάρος της ουσίας, η μοριακή δομή και η παρουσία δραστικών ομάδων. Ορισμένες οργανικές ενώσεις αντιστέκονται στη βιοαποικοδόμηση και συσσωρεύονται στο περιβάλλον, χωρίς να σημαίνει ότι είναι οπωσδήποτε τοξικές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι πολλοί μικροοργανισμοί μετά από κατάλληλη προσαρμογή μπορούν τελικά να αποικοδομήσουν πολλά ανθεκτικά μόρια. Έχει βρεθεί ότι ο μικροοργανισμός *Pseudomonas* μετά από κατάλληλη προσαρμογή, πετυχαίνει την αποικοδόμησή του DDT το οποίο είναι μια τοξική ένωση που δεν βιοαποικοδομείται εύκολα και συσσωρεύεται.

Προκειμένου να αυξηθεί ο βαθμός βιοαποικοδόμησης πολλές φορές απαιτείται κάποια προκατεργασία στα απόβλητα, όπως ρύθμιση της θερμοκρασίας, του pH (σε τιμές 6-8), ανάδευση και ρύθμιση παροχής οξυγόνου.

Η βιοαποικοδόμηση ως μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, όπως συμβαίνει και στη φύση, αερόβια και αναερόβια.

Στην **αερόβια επεξεργασία** γίνεται χρήση αερόβιων μικροοργανισμών που χρησιμοποιούν μοριακό οξυγόνο ενώ παράλληλα γίνεται έκλυση θερμότητας. Ένα παράδειγμα αερόβιας επεξεργασίας είναι η μέθοδος της ενεργού ιλύος που εφαρμόζεται στις μονάδες επεξεργασίας αστικών λημμάτων.

Κατά την **αναερόβια επεξεργασία** οι μικροοργανισμοί αποικοδομούν τα απόβλητα απουσία οξυγόνου. Σε σύγκριση με την αερόβια επεξεργασία, ή αναερόβια απαιτεί μικρότερη ενέργεια, δημιουργεί μικρότερη ποσότητα ιλύος, ενώ παράγει τοξικό  $H_2S$  που όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δέσμευση βαρέων μετάλλων. Παράλληλα παράγεται και αέριο  $CH_4$  που χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Στην πραγματικότητα οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην αναερόβια επεξεργασία είναι πολύπλοκες μικροβιακές αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής που περιγράφονται πολύ συνοπτικά ως εξής:



## **Κομποστοποίηση**

Η κομποστοποίηση αφορά κυρίως το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, και ουσιαστικά είναι μία μέθοδος βιοαποικοδόμησης τους που οδηγεί στην παραγωγή ενός προϊόντος με χαρακτηριστικά **εδαφοβελτιωτικού**.

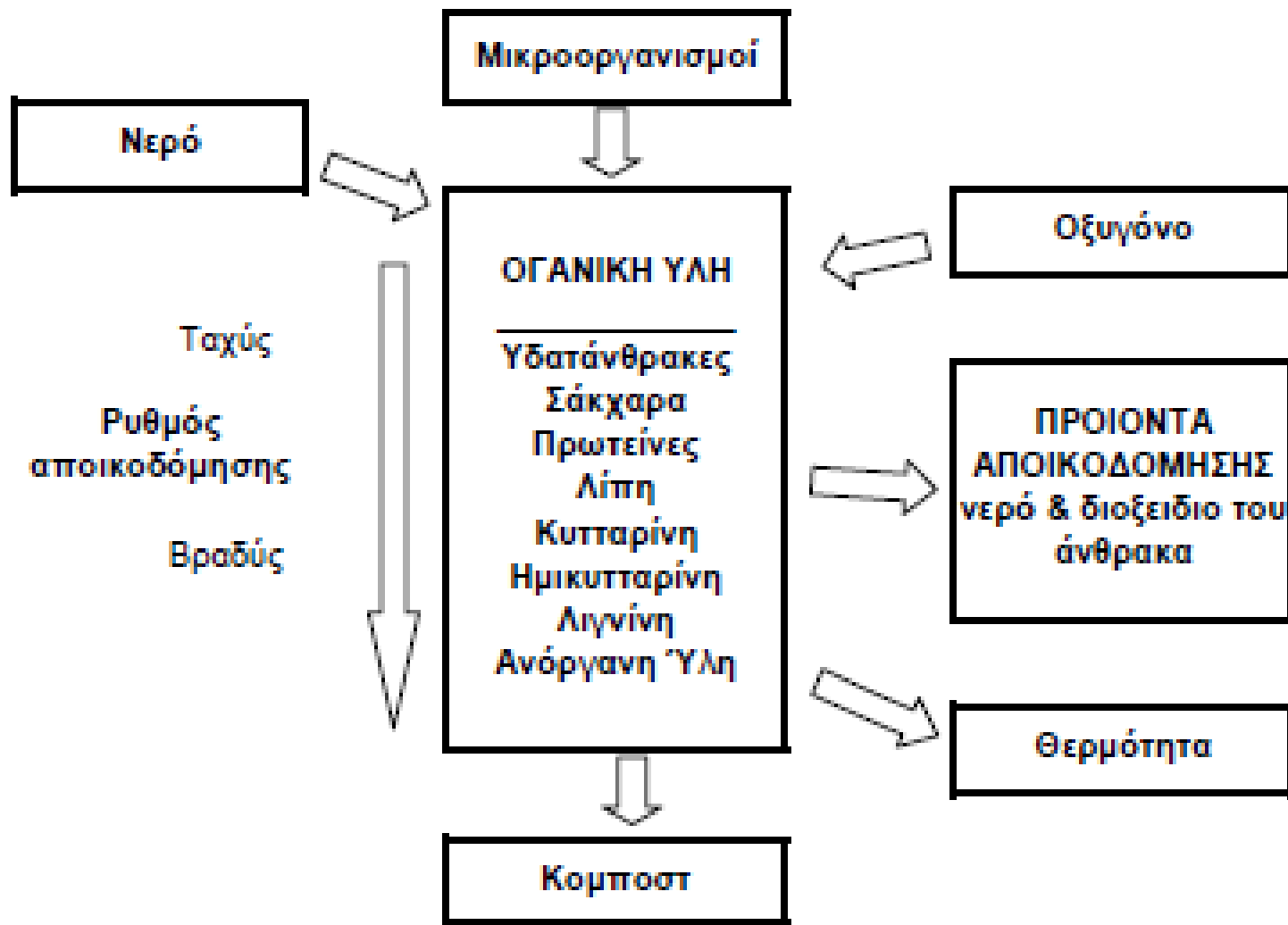
Η κομποστοποίηση βαίνει και σαν αερόβια αλλά και σαν αναερόβια διαδικασία, η αερόβια όμως εκδοχή της είναι η πλέον αποτελεσματική και ταχεία. Για το λόγο αυτό, με τον όρο κομποστοποίηση εφ' εξής θα αναφερόμαστε μόνο στην αερόβια διαδικασία.

Σαν *κομπόστ* μπορούμε να ορίσουμε το σταθεροποιημένο και εξυγιασμένο κύριο προϊόν της διαδικασίας κομποστοποίησης, το οποίο προσομοιάζει την οργανική ύλη του εδάφους και είναι συμβατό και ωφέλιμο για την ανάπτυξη των φυτών.

Οι αντικειμενικοί *στόχοι της κομποστοποίησης* είναι:

1. να μετατρέψουμε τα υποκείμενα σε αποσύνθεση οργανικά υλικά σε βιολογικά σταθερά, μειώνοντας ταυτόχρονα τον όγκο τους
2. να μειώσουμε τους πληθυσμούς των παθογόνων παραγόντων (ιοί, βακτήρια, μύκητες, αυγά εντόμων, παράσιτα) και να αντιπαρέλθουμε τη πιθανή φυτοτοξικότητα του ακατέργαστου οργανικού υλικού
3. να διατηρήσουμε, κατά το δυνατόν, το μέγιστο περιεχόμενο σε φυτοθρεπτικά συστατικά (N, P, K)
4. να παραλάβουμε ένα προϊόν το οποίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό ή /και σαν λίπασμα.

Τα θεμελιωδώς απαιτούμενα «συστατικά» για τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης είναι: νωπό οργανικό *υπόστρωμα*, ποικίλοι *μικροβιακοί πληθυσμοί* σε κατάλληλες *συνθήκες*. Οι συνθήκες αφορούν τον επαρκή αερισμό, την υγρασία και άλλες φυσικοχημικές παραμέτρους.



: Η διαδικασία της κομποστοποίησης

# ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ

## **Αδρανοποίηση**

Αυτή συντελείται με φυσικές και χημικές μεθόδους με σκοπό την μείωση της εκτεθειμένης επιφάνειας. Τα απόβλητα απομονώνονται και αδρανοποιούνται με την δημιουργία εξωτερικής επιφάνειας που εμποδίζει την διαβροχή.

## **Σταθεροποίηση**

Γίνεται μετατροπή των αποβλήτων σε πιο σταθερές μορφές έτσι ώστε να μειώνεται η κινητικότητά και τοξικότητά τους. Συγχρόνως διευκολύνεται η μεταφορά και η ταφή τους.

## **Στερεοποίηση**

Κατά την στερεοποίηση τα απόβλητα αντιδρούν χημικά με το μέσο στερεοποίησης και παράλληλα απομονώνονται μέσα σε ένα προστατευτικό μέσο. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι στερεοποίησης οι οποίοι περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

### 1. Προσρόφηση σε στερεό υπόστρωμα

Αφορά υγρά ή ημι-στερεά τα οποία σταθεροποιούνται σε στερεές μορφές. Με αυτό το τρόπο μειώνεται η διαλυτότητά τους και βελτιώνεται η μεταφορά τους. Επίσης πολλές φορές προηγείται της τσιμεντοποίησης. Η προσρόφηση μπορεί να γίνει με μηχανική συγκράτηση των αποβλήτων στο προσροφητικό μέσο, με φυσική προσρόφηση ή με χημική αντίδραση. Είναι σημαντικό το προσροφητικό μέσο να παρουσιάζει συγγένεια με τα συστατικά των αποβλήτων.

### 2. Θερμοπλαστικά και οργανικά πολυμερή

Τα θερμοπλαστικά είναι στερεά ή ημι-στερεά τα οποία υγροποιούνται σε ψηλές θερμοκρασίες. Τα απόβλητα αναμιγνύονται με τα θερμοπλαστικά σε υγρή μορφή και στη συνέχεια κατά την ψύξη τους ενσωματώνονται και στερεοποιούνται. Τα πιο συνηθισμένα θερμοπλαστικά υλικά είναι τα ασφαλικά και η πίσσα, ενώ η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως για απόβλητα πλούσια σε βαρέα μέταλλα.

### 3. Υαλοποίηση

Με αυτή τη μέθοδο γίνεται ενσωμάτωση των αποβλήτων σε οξείδια πυριτίου και ασβεστίου και σε ανθρακικό νάτριο. Είναι αντίστοιχη της μεθόδου των θερμοπλαστικών, με ανόργανο υπόστρωμα. Η μέθοδος δεν βρίσκει ευρεία εφαρμογή λόγω του υψηλού κόστους. Έχει προταθεί για την στερεοποίηση ραδιενεργών αποβλήτων, αν και τα ψηλά ποσά ραδιενέργειας μειώνουν την ποιότητα του γυαλιού και αυξάνουν την εκπλυσιμότητα του.

### 4. Τσιμεντοποίηση

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος στερεοποίησης είναι η χημική και φυσική δέσμευση των αποβλήτων με τσιμέντο. Ενδείκνυται για ιλύες πλούσιες σε βαρέα μέταλλα και για ιπτάμενες τέφρες. Ο μηχανισμός της στερεοποίησης γίνεται μέσω της δημιουργίας αδιάλυτων βάσεων και ανθρακικών αλάτων των μετάλλων. Η επιτυχία της τσιμεντοποίησης εξαρτάται από την αντίδραση του αποβλήτου στη τελική συνοχή και αντοχή του τσιμέντου.

### 5. Στερεοποίηση με πυριτικά υλικά

Κατά τη κατεργασία αυτή χρησιμοποιούνται αδιάλυτα πυριτικά υποστρώματα που περιέχουν  $\text{SiO}_3^{2-}$  σε συνδυασμό με την τσιμεντοποίηση. Η μέθοδος είναι κατάλληλη τόσο για ανόργανα όσο και για οργανικά απόβλητα.

Τέλος Ενότητας



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



**ΣΗΜΕΙΩΜΑΤΑ**

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστήμιων Αθηνών, Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης 2015. Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης. «Διαχείριση και Τεχνολογία Περιβάλλοντος. Διαχείριση αποβλήτων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/CHEM1>.

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: [Διαφάνεια 8] Waste at every stage. Copyrighted. Σύνδεσμος: [http://www.grida.no/graphicslib/detail/waste-at-every-stage\\_d6e3#](http://www.grida.no/graphicslib/detail/waste-at-every-stage_d6e3#). Πηγή: UNEP/GRID-Arendal (2006).

Εικόνα 2: [Διαφάνεια 10] Waste management choices in Europe. Copyrighted. Σύνδεσμος: [http://www.grida.no/graphicslib/detail/waste-management-choices-in-europe\\_6540](http://www.grida.no/graphicslib/detail/waste-management-choices-in-europe_6540). Πηγή: European Topic Centre on Resource and Waste Management, 2006; OECD Environmental Data 2004.

Εικόνα 3: [Διαφάνεια 21] Διάταξη εσχάρωσης. Copyrighted.

Εικόνα 4: [Διαφάνεια 23] Μηχανισμός φιλτραρίσματος. Copyrighted.

Εικόνα 5: [Διαφάνεια 24] Διάταξη επίπλευσης και απομάκρυνσης του αφρού. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/DEIN.htm>. Πηγή: [www4.ncsu.edu](http://www4.ncsu.edu).

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Εικόνα 6: [Διαφάνεια 27] Membrane separation. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.slideserve.com/erwin/membrane-separation-processes>. Πηγή: [www.slideserve.com](http://www.slideserve.com).

Εικόνα 7: [Διαφάνεια 28] Διάταξη βαλλιστικού διαχωρισμού. Copyrighted.