



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΜΠ 438**

# **Επεξεργασία και Διαχείριση Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων**

**Επ. Καθηγητής Απόστολος Γιαννής**

E-mail: [agiannis@chenveng.tuc.gr](mailto:agiannis@chenveng.tuc.gr)

# **Κεφάλαιο 5**

## **Φυσικο-Χημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Επικινδύνων Αποβλήτων**

# Φυσικο-χημικές Διεργασίες

- Οι φυσικές διεργασίες επιτρέπουν τα διαφορετικά συστατικά των επικινδύνων αποβλήτων να διαχωριστούν ή να απομονωθούν για επαναχρησιμοποίηση ή κατάλληλη επεξεργασία ή διάθεση
- Οι χημικές διεργασίες χρησιμοποιούν χημικές αντιδράσεις για να μετατρέψουν τα επικίνδυνα απόβλητα σε λιγότερο επικίνδυνα συστατικά (μείωση πιθανού κινδύνου)
- Μεγάλο εύρος από τεχνολογίες επεξεργασίας
- Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό για να βελτιστοποιήσουν την επεξεργασία των επικινδύνων αποβλήτων

# Εγκαταστάσεις φυσικο-χημικής επεξεργασίας

- **On-site vs off-site σε κεντρική μονάδα επεξεργασίας**
  - Μερικές φυσικές διεργασίες πραγματοποιούνται on-site π.χ. καθίζηση (sedimentation)
  - Κάποιες διεργασίες επεξεργασίας μπορούν να συμπεριληφθούν στην βιομηχανική γραμμή παραγωγής
- **On-site επεξεργασία μειώνει:**
  - Όγκους αποβλήτων που χρειάζονται μεταφορά
  - Κόστος μεταφοράς αποβλήτων

# Φυσικο-χημική επεξεργασία σε κεντρική μονάδα επεξεργασίας

- Η **off-site** επεξεργασία επιτρέπει μια πιο εξειδικευμένη διαχείριση των επικινδύνων αποβλήτων με συγκεκριμένα συστήματα
- Η **κεντρική μονάδα επεξεργασίας** πρέπει να παρέχει:
  - Σταθμό υποδοχής των αποβλήτων
  - Εγκαταστάσεις αποθήκευσης μέχρις ότου επεξεργαστούν τα ΕΑ
  - Χώρους εγκατάστασης διαφόρων διεργασιών
  - Αποθήκευση και διάθεση των υπολειμμάτων  
π.χ. αντιδραστήρια, ιλύς, υγρά απόβλητα
  - Υπηρεσίες εργαστηρίου
  - Εξειδικευμένο προσωπικό

# Υπολείμματα

Οι φυσικο-χημικές διεργασίες παράγουν υπολείμματα, τα οποία μπορεί:

- Να είναι επικίνδυνα απόβλητα
- Να είναι περισσότερο συγκεντρωμένα από τα αρχικά απόβλητα
- Να είναι κατάλληλα για ανακύκλωση
- Να απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία
- Να χρειάζεται να διατεθούν σε ΧΥΤΕΑ



Ιλύς μετά από πρέσα  
(cake)

# Φυσικές διεργασίες

- Πολλές διαφορετικές φυσικές διεργασίες
- Οι περισσότερες είναι απλές και χαμηλού κόστους
- Η επιλογή της φυσικής διεργασίας εξαρτάται από τη μορφή του αποβλήτου και τα χαρακτηριστικά του

## Επιλογές περιλαμβάνουν:

- Διαχωρισμός
- Καθίζηση
- Επίπλευση
- Ξήρανση
- Εξάτμιση
- Αφυδάτωση ιλύος
- Διήθηση (μεμβράνες)



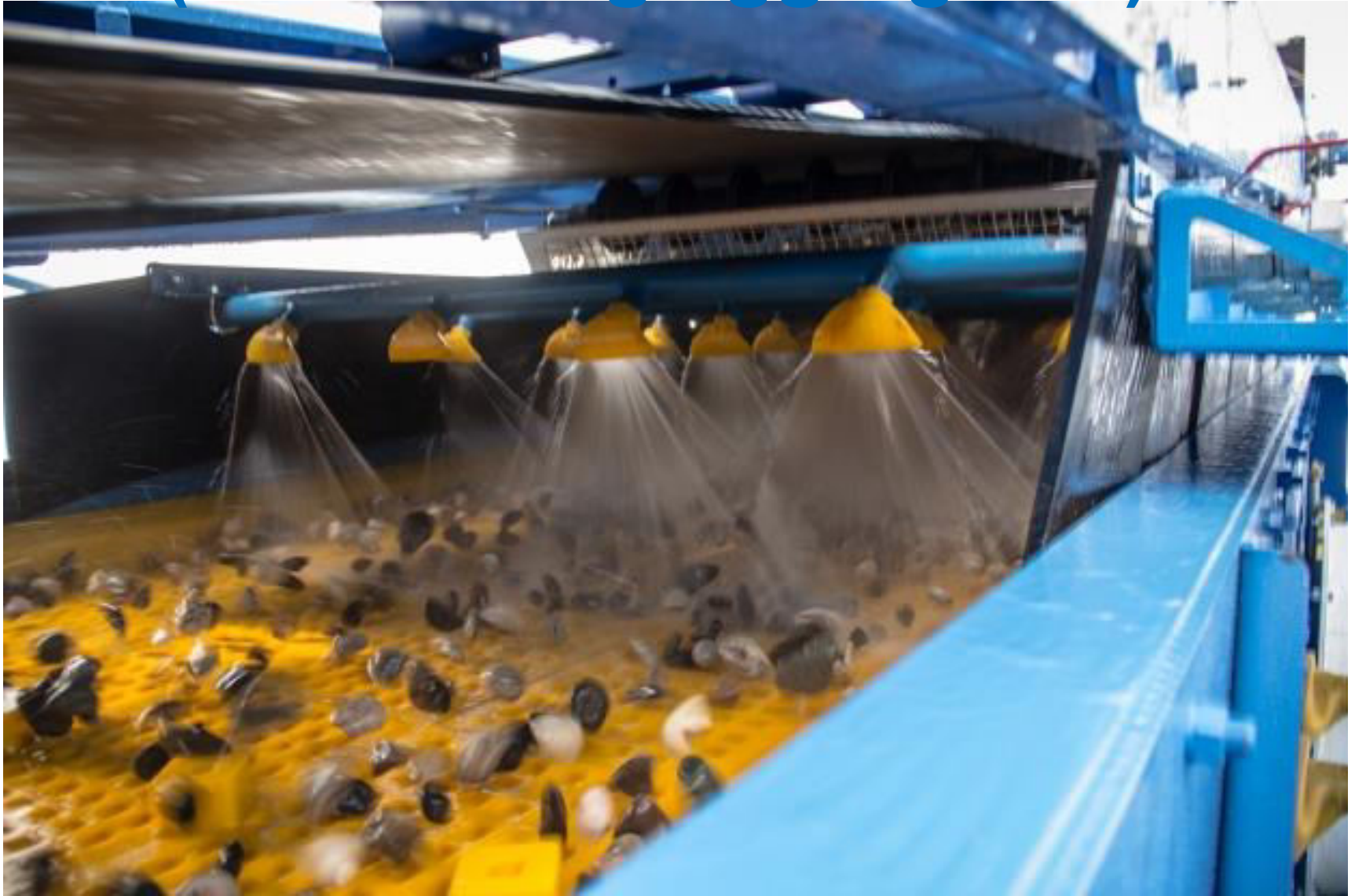
Φιλτρόπρεσα

# Διαχωρισμός (Separation)

## Παραδείγματα τεχνολογιών διαχωρισμού:

- **Κόσκινα (Sieving and screening)**
  - Για ξηρά υλικά με διαφορετικό μέγεθος κόκκου
- **Απόσταξη (Distillation)**
  - Για τον διαχωρισμό υγρών
- **Εκφύσηση (Air/steam stripping)**
  - Για τον διαχωρισμό διαλυτών αερίων από υγρά
- **Πλύση (Washing)**
  - Για την εκχύλιση ρύπων από ρυπασμένα εδάφη ή διαλυτών συστατικών από στερεά απόβλητα

# Υγρός διαχωρισμός (Wet sieving aggregates)



# IBA – περιστρεφόμενα κόσκινα (dry screening)



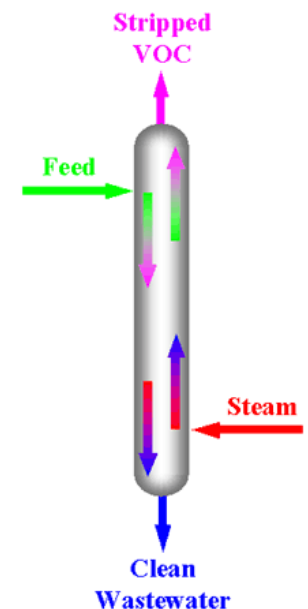
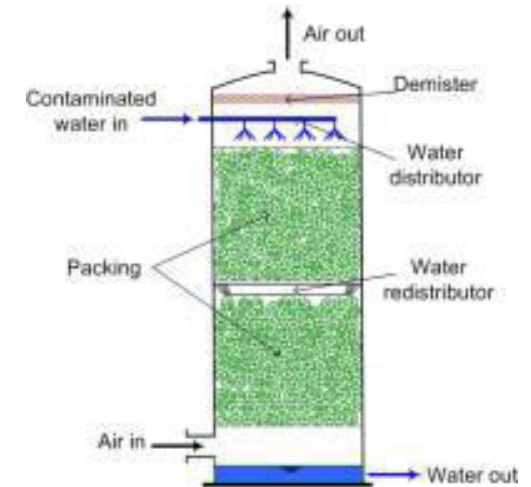
# Απόσταξη

## (Distillation – Solvent recovery)



- Απόσταξη είναι η διαδικασία διαχωρισμού ενός συστατικού ή ουσιών από υγρό μίγμα
- Επιλεγμένη εξάτμιση και συμπύκνωση

# Εκφύσηση (Air/steam stripping)



- Διαδικασία μεταφορά μάζας
- Μια οικονομική τεχνική για μεταφορά VOCs από υγρά απόβλητα

# Πλύση εδάφους (Soil washing)



# Προσρόφηση (Adsorption)

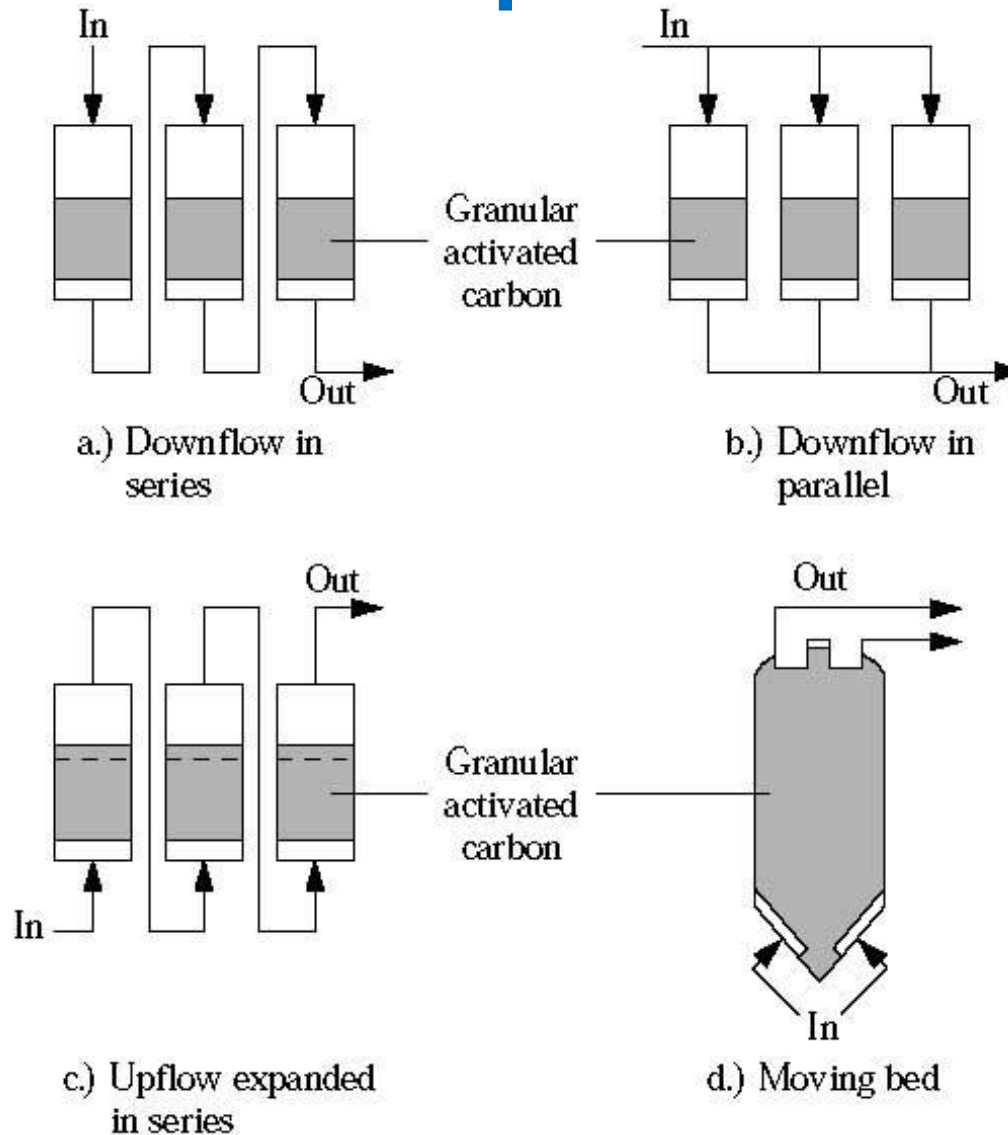
- Προσρόφηση είναι η διεργασία στην οποία ένα συστατικό μεταφέρεται από μία φάση σε μια άλλη.
- Το πιο ευρέως προσροφητικό υλικό είναι ο ενεργός άνθρακας επειδή έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια

| Adsorbents       | Application                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Activated carbon | Solvent recovery<br>Elimination of odours<br>Gases purification |
| Alumina          | Drying of gases and liquids                                     |
| Bauxite          | Treatment of petroleum fractions<br>Drying of gases and liquids |
| Molecular sieves | Selective removal of contaminants from hydrocarbons             |
| Silica gel       | Drying and purifying gases                                      |

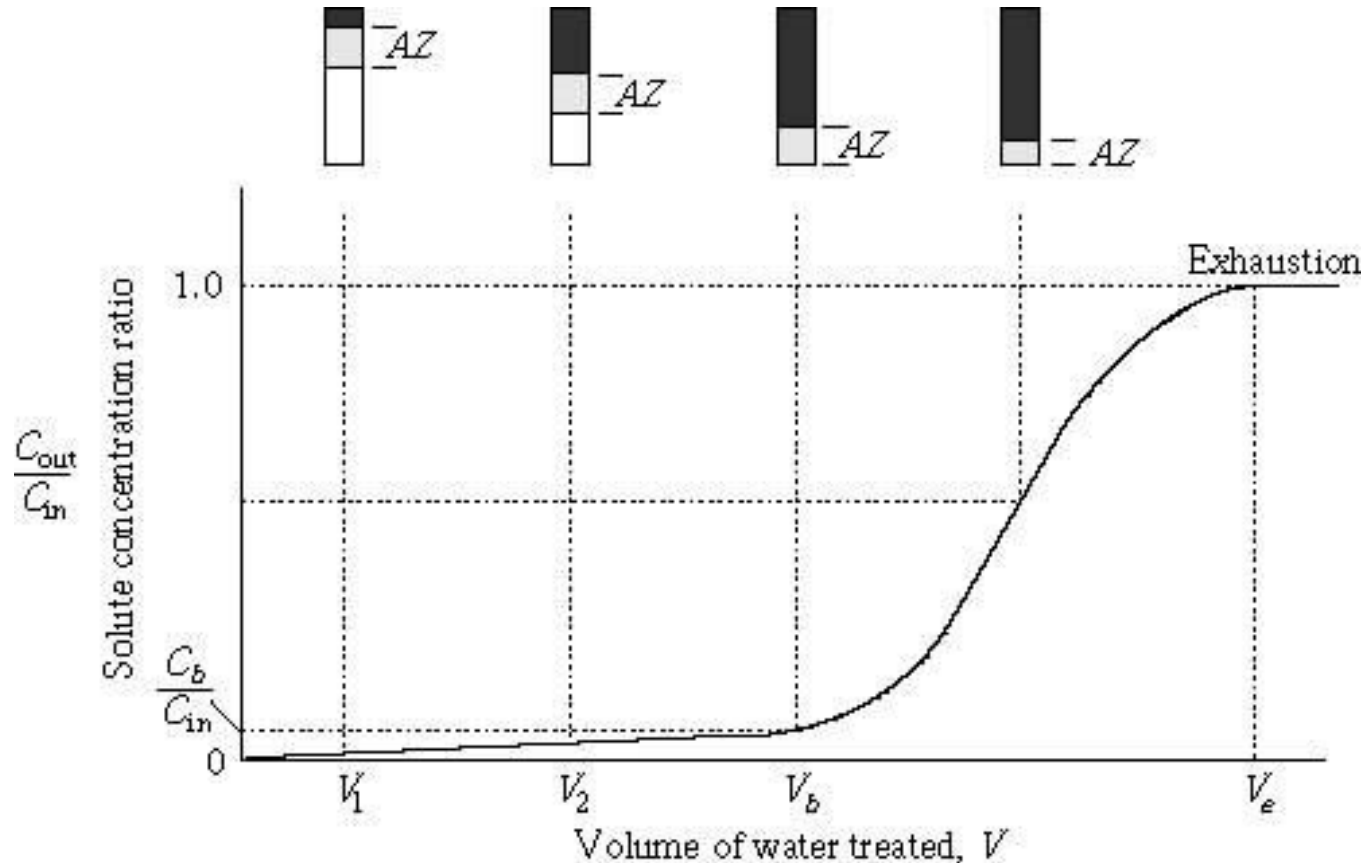
# Σύστημα προσρόφησης ενεργού άνθρακα



# Συστήματα προσρόφησης με ενεργό άνθρακα



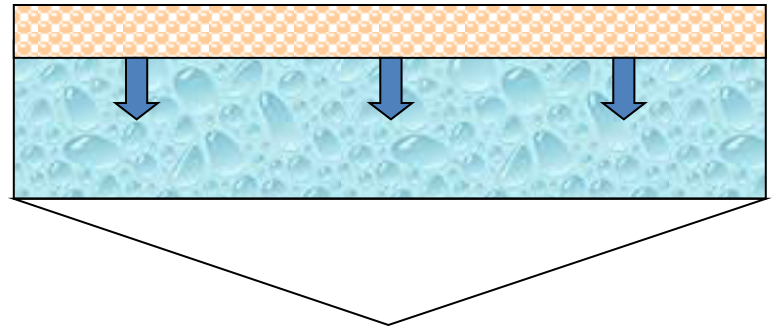
# Προσρόφηση με άνθρακα



Τυπική καμπύλη προσρόφησης ενεργού άνθρακα  
[Carbon adsorption breakthrough curve showing movement of an  
adsorption zone (AZ)]

# Καθίζηση (Sedimentation)

- Φυσική διεργασία απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων σε ένα υγρό
- Επίδραση της βαρύτητας



- Κατάλληλη για ένα μεγάλο εύρος επικινδύνων αποβλήτων
  - Μέταλλα που έχουν καθιζάνει
  - Εξουδετέρωση οξέων και παραγωγή υδροξειδίων
- Οι λάσπες ίσως απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. κόσκινα, ξήρανση, αφυδάτωση)
- Τα διαχωρισμένα υγρά ίσως χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία

# Εγκατάσταση καθίζησης



# Επίπλευση (Flotation)

- Βασίζεται στη φυσική συμπεριφορά των σωματιδίων (στερεά μικρής πυκνότητας, στερεά υδρογονανθράκων), των οποίων η καθίζηση είναι ιδιαίτερα δύσκολη
- Είναι κατάλληλη για ένα εύρος αποβλήτων π.χ. διαχωρισμός ελαίων/νερού
- Επιταχύνεται με τη προσθήκη αέρα μέσω του υγρού
  - Το μέγεθος των φυσαλίδων σχετίζεται με τον τύπο του αποβλήτου

# Εγκατάσταση επίπλευσης



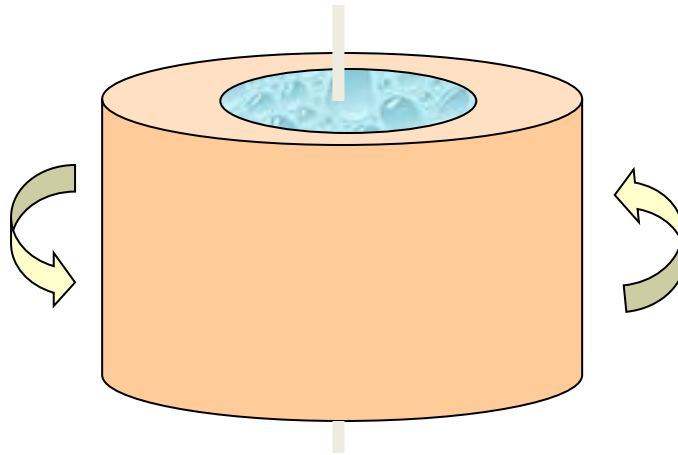
# Αφυδάτωση (Dewatering)

- Χρειάζεται μετά την καθίζηση (για το ακατέργαστο ρευστό)
- Περιλαμβάνει:
  - ✓ Κλίνες ξήρανσης (Sludge drying beds)
  - ✓ Φυγοκεντρικός διαχωρισμός (Centrifugal separation)
  - ✓ Φίλτρα και πρέσες (Filtering and pressing)

# Κλίνες ξήρανσης ιλύος (Sludge drying beds)

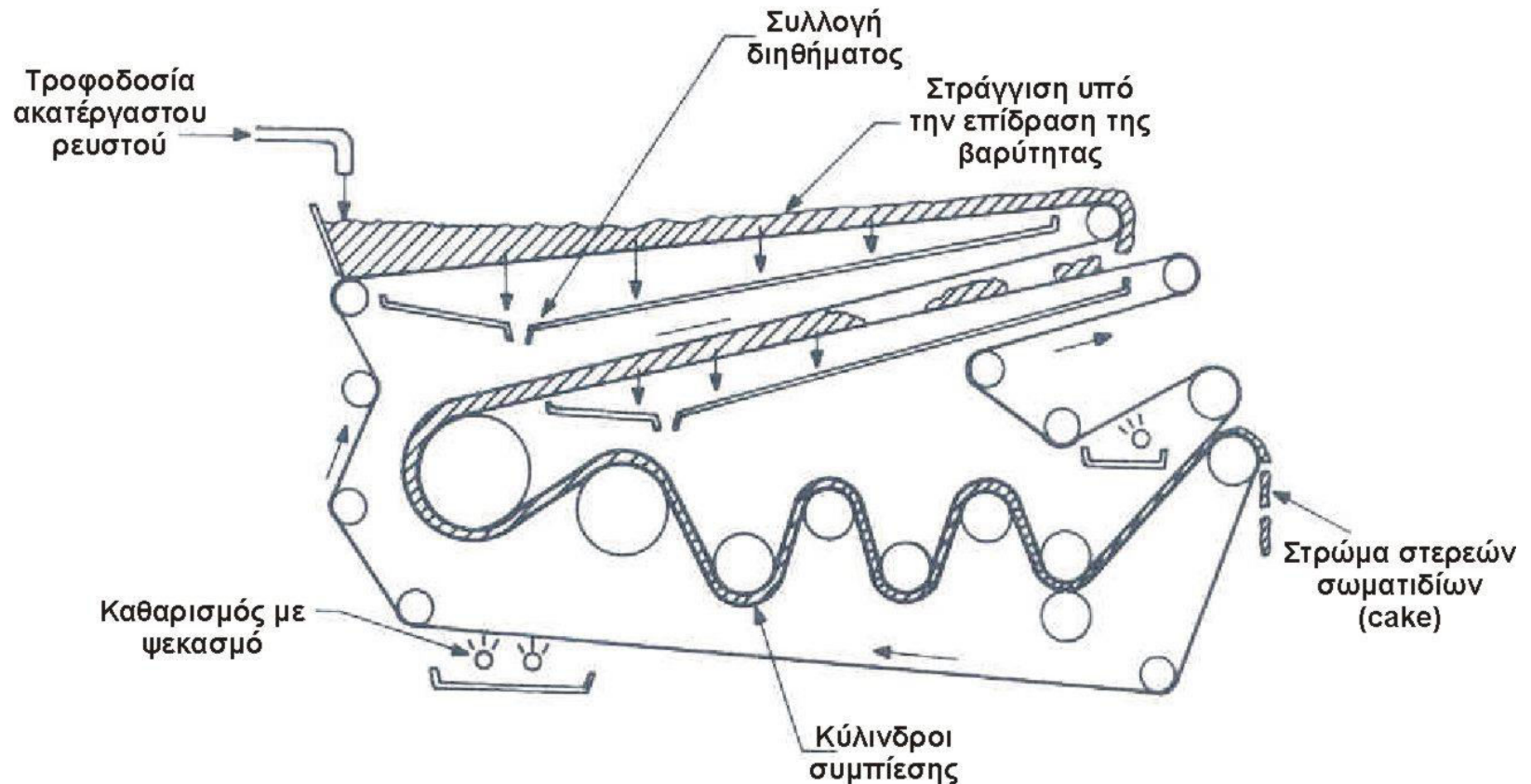


# Φυγοκεντρικός διαχωρισμός (Centrifugal separation)



- Χρήση κροκιδωτικών (για λάσπες δύσκολες στην αφυδάτωση)
- TS ~ +/- 30 %

# Ταινιοφιλτρόπρεσσα (belt filter press)



Ταινιοφιλτρόπρεσσα – συνεχής διαδικασία για την  
αφυδάτωση λασπών

Dewatering Capacity: 15 – 20 %TS

# Χημικές διεργασίες

- Αλλαγή των χημικών ιδιοτήτων του αποβλήτου/υγρού αποβλήτου
- Χρήση ενός χημικού για την επεξεργασία ενός χημικού
- Χρειάζεται λεπτομερής σύσταση του αποβλήτου, όσο και της αντιδραστικότητάς του
- Εξειδικευμένο προσωπικό για επίβλεψη των χημικών αντιδράσεων και αποτελεσμάτων

## Περιλαμβάνει:

- ✓ Χημική οξείδωση / Αναγωγή (Oxidation / reduction)
- ✓ Εξουδετέρωση (Neutralization)
- ✓ Κατακρήμνιση (Precipitation)
- ✓ Προηγμένες διεργασίες οξείδωσης (AOPs)

# Οξείδωση / Αναγωγή (Oxidation / Reduction)

Συνήθη οξειδωτικά / αναγωγικά αντιδραστήρια

## Οξειδωτικά αντιδραστήρια

- Υποχλωριώδες νάτριο ή ασβέστιο
- Υπεροξειδίο του υδρογόνου
- Χλώριο
- Υπερμαγγανικό κάλιο
- Οξυγόνο
- Όζον

## Αναγωγικά αντιδραστήρια

- Θειικός σίδηρος
- Θειώδες νάτριο
- Θειικό οξύ
- Σίδηρος
- Αλουμίνιο
- Ψευδάργυρος

# Οξείδωση (Oxidation)

- ✓ Εφαρμόζονται με στόχο να καταστήσουν τα προς επεξεργασία απόβλητα λιγότερο ή και καθόλου επικίνδυνα
- ✓ Απαιτείται εξειδικευμένος σχεδιασμός, και ασφαλής λειτουργία για αποφυγή επικινδύνων αντιδράσεων
- ✓ Είναι μία οικονομική διεργασία
- ✓ Χρησιμοποιείται για επεξεργασία κυανιούχων ενώσεων (μετά το ατύχημα στο λιμάνι της Tianjin)

# Οξείδωση (Oxidation)

- Οι αντιδράσεις χημικής οξείδωσης πραγματοποιούνται σε αντιδραστήρες πλήρους ανάδευσης και αντιδραστήρες εμβολικής ροής
- Το οξειδωτικό αντιδραστήριο προστίθεται στο επικίνδυνο απόβλητο είτε ακριβώς πριν εισέλθει στον αντιδραστήρα είτε προστίθεται εντός του αντιδραστήρα
- Πρέπει να παρέχεται καλή ανάμιξη μεταξύ αποβλήτου και αντιδραστηρίου

# Αναγωγή (Reduction)

- Κυρίως χρησιμοποιείται για επεξεργασία χρωμιούχων ενώσεων από βιομηχανικά απόβλητα επικαλύψεων και βυρσοδεψιών
  - Το Cr(VI) ανάγεται σε Cr(III)
  - Στη συνέχεια απομακρύνεται με κατακρήμνιση
- Κυριότερα αναγωγικά αντιδραστήρια:
  - Θειικός σίδηρος
  - Θειώδες νάτριο/Θειικό οξύ

# Εξουδετέρωση (Neutralization)

- Διεργασία σε δεξαμενή διαλείποντος έργου
- Χρησιμοποιείται για μια ποικιλία όξινων και βασικών αποβλήτων
- Τα όξινα απόβλητα εξουδετερώνονται με βάσεις και αντίστροφα
- Χρησιμοποιείται για επεξεργασία υγρών αποβλήτων, λασπών και αερίων
- Οι αντιδράσεις παρακολουθούνται εύκολα με μέτρηση του pH

# Κατακρήμνιση (Precipitation)

- Είναι μια φυσικο-χημική διεργασία
- Μετατρέπει τις διαλυτές ενώσεις σε λιγότερο διαλυτές ή αδιάλυτες
- Συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες διεργασίες επεξεργασίας π.χ. αναγωγή, εξουδετέρωση
- Αποτελεσματική επεξεργασία υγρών αποβλήτων που περιέχουν τοξικά μέταλλα π.χ. απόβλητα από επιμετάλλωση, απόβλητα ορυχείων
- Υδροξείδιο του ασβεστίου (lime) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιημένο αντιδραστήριο

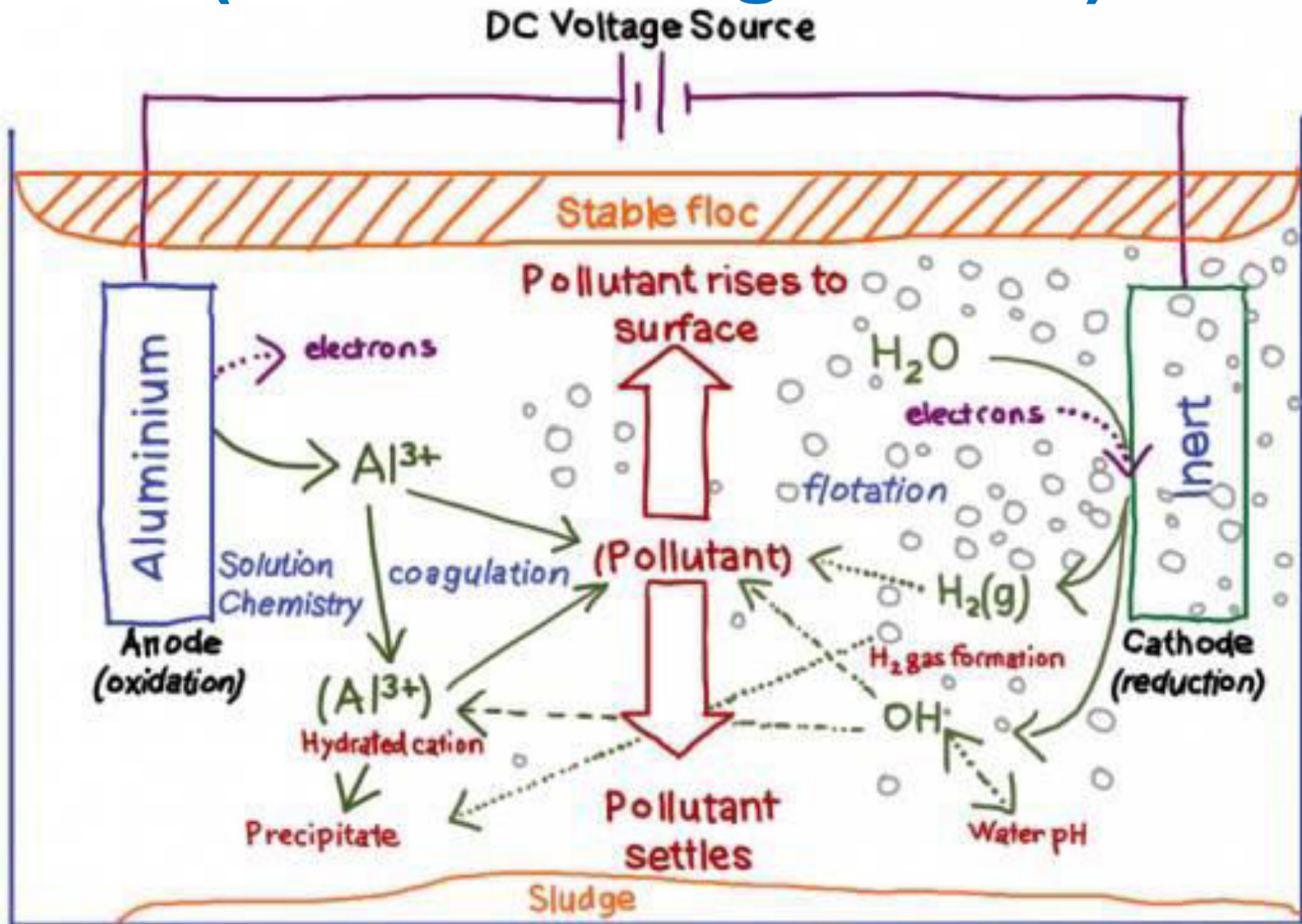
# Προηγμένες διεργασίες οξείδωσης (AOPs)

- Διεργασίες οι οποίες παράγουν ενεργές ρίζες υδροξυλίου ( $\cdot\text{OH}$ ) σε αρκετά μεγάλη ποσότητα και προκαλούν αποδόμηση των οργανικών ενώσεων
- Όζον ( $\text{O}_3$ )
- UV/ $\text{O}_3$
- UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$
- $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$
- Fenton's reagent
- Electrolysis

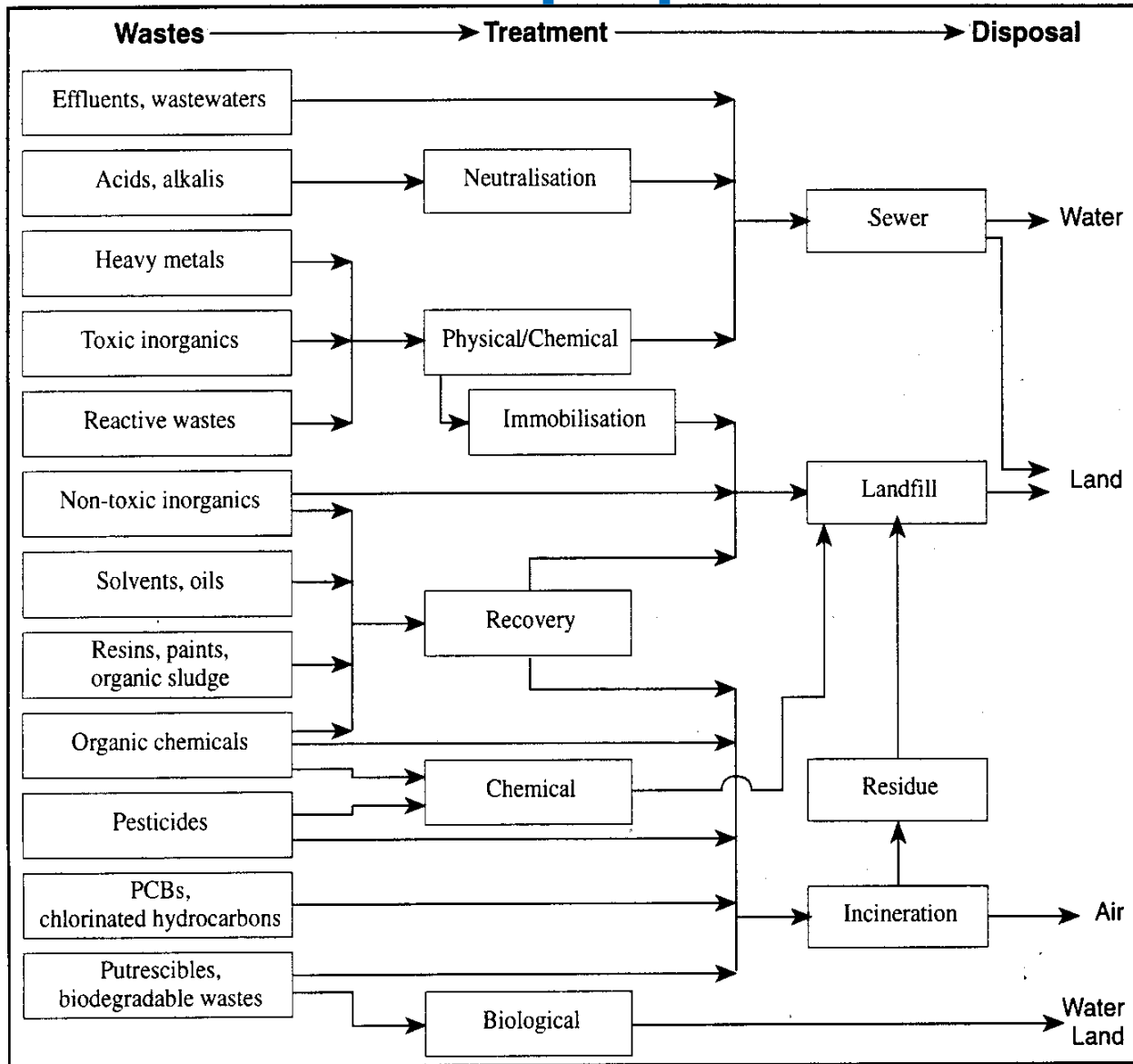
# Άλλες χημικές διεργασίες

- Υδρόλυση (Hydrolysis) π.χ. για φυτοφάρμακα
- Ηλεκτρόλυση (Electrolysis) π.χ. για βιομηχανικά απόβλητα
- Αποχλωρίωση (Dechlorination) π.χ. για διαλύτες
- Χλωρόλυση (Chlorolysis) π.χ. για υπολείμματα από παρασκευή χλωριωμένων υδρογονανθράκων

# Ηλεκτρο-κροκίδωση (Electro-coagulation)



# Επεξεργασία και διάθεση επικινδύνων αποβλήτων



Based on: Draft Industrial Waste Strategy for Victoria, EPA of Victoria—Australia, 1985.

# Questions & Answers

