



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Χημεία Περιβάλλοντος

Ενότητα 5: Επεξεργασία Πόσιμου Νερού

Χρυσή Κ. Καραπαναγιώτη  
Τμήμα Χημείας

Τι θέλουμε να απομακρύνουμε  
από το νερό για να το πιούμε;

Ανάλογα από πού παίρνουμε  
νερό!

Νομοθεσία ΚΥΑ Υ2/2600/2001

- ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01,

**ΦΕΚ 630/2007**

Παράμετροι και παραμετρικές  
τιμές

## Χοντρικά

- Πάντα
  - Μικρόβια
- Επιφανειακό νερό
  - Σωματίδια (ίζημα, άλγη)
- Υπόγειο νερό
  - Σκληρότητα
  - Σίδηρο, μαγγάνιο
- Θαλασσινό νερό
  - Άλατα (εκτός από χλωριούχο νάτριο και άλλα όπως βόριο)

## Μέθοδοι Επεξεργασίας Νερού

- Φυσικές Διεργασίες
  - Διήθηση
  - Καθίζηση
  - Συσσωμάτωση
- Χημικές Διεργασίες
  - Κροκίδωση
  - Χημική Καθίζηση
  - Χημική Οξειδωση – Απολύμανση

Εντοπίστε τις διαφορές!!



## Διαγράμματα Ροής

- Για επιφανειακό νερό (προηγούμενη διαφάνεια)
  - Σχάρες (αφαιρούν τα χοντρόκοκκα)
  - Δεξαμενή κροκίδωσης και συσσωμάτωσης (αφαιρούν τα σταθερά σωματίδια)
  - Δεξαμενή καθίζησης (αφαιρούν τα συσσωματώματα)
  - Φίλτρα άμμου (διήθηση) (αφαιρούν ό,τι ξέφυγε)
  - Αερισμός για την απομάκρυνση οργανικών (για την αποφυγή παραπροϊόντων)
  - Χλωρίωση (αφαιρεί τους μικροοργανισμούς)
  - Δεξαμενή φύλαξης
  - Δίκτυο

## ΔΕΥΑΠ



## Διαγράμματα Ροής

- Για υπόγειο νερό
  - Χημική καθίζηση (αφαιρεί το Fe και Mn)
  - Αποσκλήρυνση (αφαιρεί την παροδική σκληρότητα, ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου)
  - **Χλωρίωση (αφαιρεί τους μικροοργανισμούς)**
  - **Δεξαμενή φύλαξης**
  - **Δίκτυο**
- **Συνήθως μόνο χλωρίωση**

## Διαγράμματα Ροής

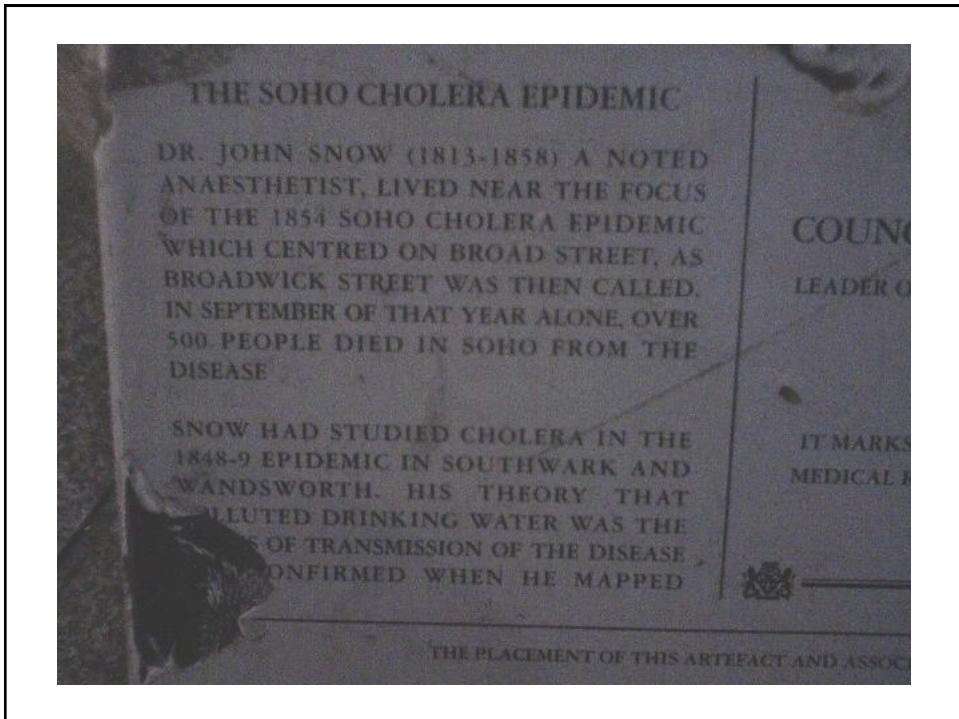
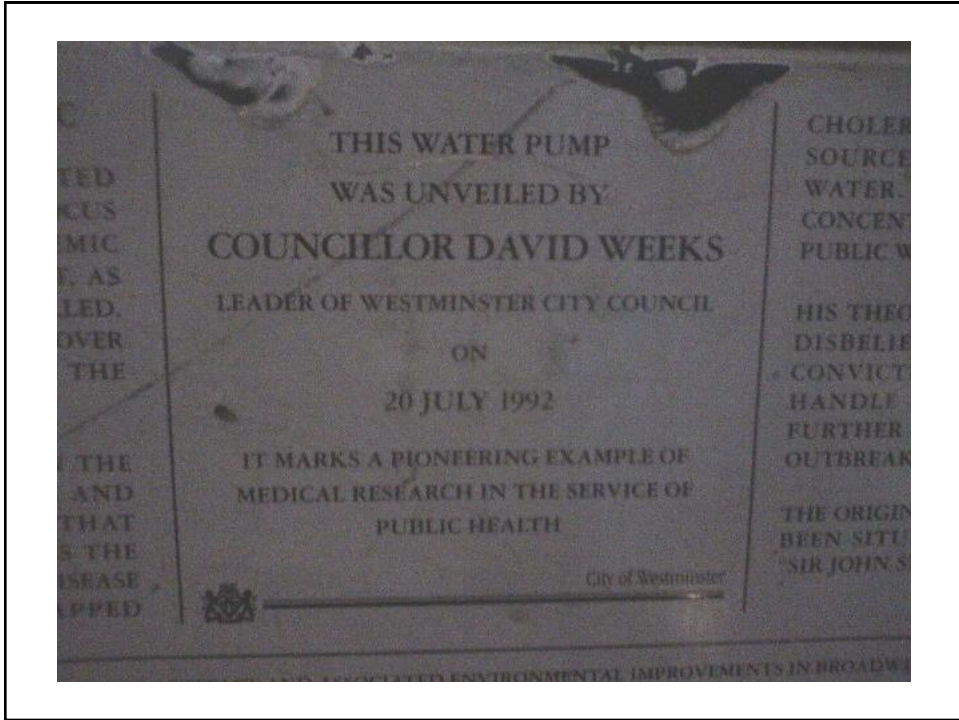
- Για θαλασσινό νερό
  - Προσθήκη κροκιδωτικού
  - Διήθηση, χαλικόφιλτρα και άνθρακας (αφαιρούνται τα σταθερά σωματίδια και οι οργανικές ενώσεις)
  - Μembrάνες αντίστροφης όσμωσης (αφαιρούν τα άλατα)
  - Ρύθμιση του pH
  - Προσθήκη γεύσης (άλατα ασβεστίου και μαγνησίου)
  - Χλωρίωση (αφαιρεί τους μικροοργανισμούς)
  - Δεξαμενή φύλαξης
  - Δίκτυο

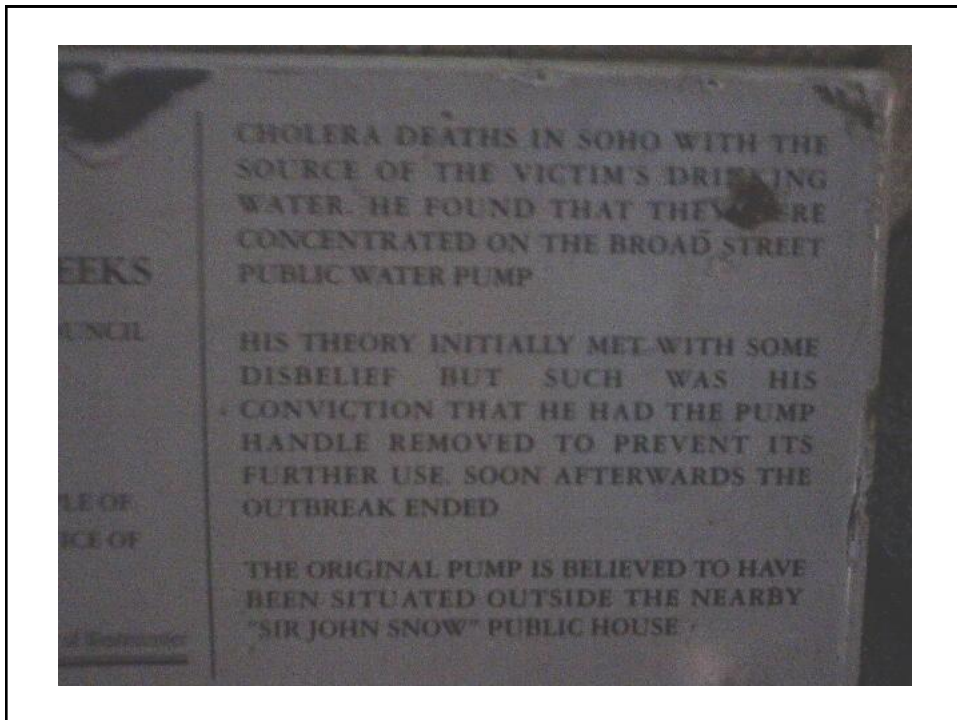
## Broad Street - John Snow



## Σόχο – Λονδίνο 2008







## Απολύμανση

- Παθογόνοι μικροοργανισμοί
  - Καταστρέφονται ή
  - Αδρανοποιούνται
- Συνώνυμη με χλωρίωση
- $\neq$  αποστείρωση
- Δεν αντιμετωπίζει όλους τους ιούς
- Η πιο σημαντική διεργασία – υγεία
- Μερικές φορές και η μοναδική (π.χ. Μυτιλήνη)



## ΦΕΚ 630/2007

- *Escherichia Coli* (*E. coli*) 0/100 ml
- Εντερόκοκκοι 0/100 ml

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

#### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

##### ΜΕΡΟΣ Α

Μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml)
<i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> )	0
Εντερό	0

Για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία, ισχύουν τα ακόλουθα:

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή
<i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> )	0/250 ml
Εντερό	0/250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 ml
Αριθμός αποικιών σε 22 °C	100/ml
Αριθμός αποικιών σε 37 °C	20/ml

Ποια είναι τα χαρακτηριστικά  
της ιδανικής μεθόδου  
απολύμανσης;

## Ιδανική μέθοδος

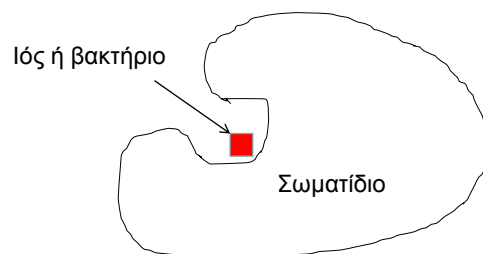
- Τοξική για τα παθογόνα
- Μη τοξική για τον άνθρωπο
- Γρήγορη
- Φθηνή
- Άγευστη, άοσμη, και αόρατη
- Δεν παράγει παραπροϊόντα
- Παραμένει στο σύστημα μέχρι το νερό να φτάσει στον καταναλωτή
- Έχει καταναλωθεί μόλις το νερό φθάνει στον καταναλωτή

## Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται:

- Χλωρίωση
  - Φθινό
  - Αποτελεσματικό σε μικρές συγκεντρώσεις
  - Διάφορες μορφές
  - Υπολειμματικό χλώριο στο δίκτυο
  - Παραγωγή βλαβερών προϊόντων
- Όζον
  - Χρειάζεται χλώριο για το δίκτυο
- Φυσικές διεργασίες π.χ. UV, θέρμανση

## Διήθηση

- 1η μέθοδος απολύμανσης ➤
- Για επιφανειακά νερά στις ΗΠΑ επιβάλλεται πριν την απολύμανση



## Χλωρίωση

- Χρησιμοποιείται από το 1903 για πόσιμο νερό
- Αποτελεσματικό αλλά και τοξικό αν δεν χρησιμοποιηθεί σωστά
- Προστίθεται ως αέριο ανοιχτό πράσινο χρώμα (φτάνει στους σταθμούς επεξεργασίας ως υγρό, π.χ. Μυτιλήνη)
- Cl → αλλάζει μορφές ανάλογα με το pH

## Ελεύθερο Χλώριο

- Μοριακό χλώριο
- Υποχλωριώδες οξύ
- Υποχλωριώδες ανιόν
- Αλλάζει η αποτελεσματικότητά του
  - HOCl πολύ πιο ισχυρό
  - 40-80 φορές πιο ισχυρό το HOCl από το OCl<sup>-</sup>
  - [HOCl] + [OCl<sup>-</sup>] ονομάζεται ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο

- $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$  (υδρόλυση)
- @ pH > 8 →
- $\text{HOCl} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OCl}^-$  (ιονισμός)
- @ pH << 7 δεν συμβαίνει
- Αν υπάρχει αμμωνία στο νερό ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) → χλωραμίνες
  - Δυνατές κατά των βακτηριδίων όχι όμως κατά των ιών
  - Απαιτούν προσθήκη περίσσειας χλωρίου

## Χλωραμίνες

- @ pH = 4.5 – 8.5
- $\text{NH}_3 + \text{HOCl} \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NH}_2\text{Cl} + 2\text{HOCl} \rightarrow \text{NHCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- @ pH < 4.5
- $\text{NHCl}_2 + 3\text{HOCl} \rightarrow \text{NHCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- Δυνατές κατά των βακτηριδίων όχι όμως κατά των ιών
- Απαιτούν προσθήκη περίσσειας χλωρίου

- $2\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}^+ + 3\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$
- Μείωση της ποσότητας των χλωραμινών
- Οξειδωση προς μοριακό άζωτο (απομάκρυνση αμμωνίας)
- Απώλεια χλωρίου προς χλωριόντα
- Μείωση του pH
- Δημιουργία ισχυρού HOCl

## 4 ζώνες

### Συνδεδεμένο διαθέσιμο χλώριο

- Ζώνη I: το προστιθέμενο χλώριο δεσμεύεται λόγω οξειδωσης Fe, Mn, HS, και οργανικής ύλης
- Ζώνη II: σχηματίζονται χλωραμίνες και χλωροοργανικές ενώσεις
- Ζώνη III: οι χλωραμίνες οξειδώνονται μειώνοντας το χρήσιμο χλώριο για απολύμανση

### Ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο

- Ζώνη IV: Υπάρχει το σημείο θραύσης και περαιτέρω προσθήκη χλωρίου δεν δεσμεύεται αλλά οδηγεί σε ελεύθερο χλώριο

## Δημιουργία οργανικών παραπροϊόντων

- 1974 τριαλογονοπαράγωγα του μεθανίου (TAM, THM)
- Χλωροφόρμιο  $\text{CHCl}_3$  – καρκινογόνο
- $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ,  $\text{CHClBr}_2$ ,  $\text{CHBr}_3$
- Υπατοτοξικά, νεφροτοξικά
- Πρόδρομες ενώσεις: οργανικές χουμικές ενώσεις, μεγαλομόρια
- pH, θερμοκρασία, συγκέντρωση χλωρίου, ύπαρξη βρωμίου, χρόνος επαφής

## Σχηματισμός των TAM

- Συγκέντρωση TOC: 1ης τάξης
- ↑ pH αυξάνεται ο σχηματισμός
- ↑ θερμοκρασίας >>>
- Παρουσία βρωμιούχων >>>
- Στις ΗΠΑ < 80  $\mu\text{g/L}$
- Στην Ελλάδα 150  $\mu\text{g/L}$  – 2008 – 100  $\mu\text{g/L}$

## Αντιμετώπιση

- Αλλαγή απολυμαντικού ή του τρόπου χρήσης του
- Αλλαγή διεργασιών επεξεργασίας π.χ. μείωση των οργανικών πριν τη χλωρίωση
- Αφαίρεση TAM

## Χλωραμίνες

- Πλεονεκτήματα
  - Χαμηλό κόστος επένδυσης
  - Αντέχει στο δίκτυο
- Μειονεκτήματα
  - Ασθενές απολυμαντικό
  - Χρειάζεται περισσότερο χρόνο επαφής



## Διοξειδίο του χλωρίου

- Πιο δυνατό από το χλώριο (*Giardia*, *Cryptosporidium*)
- Δεν αντιδρά με οργανικές ενώσεις για την παραγωγή τοξικών προϊόντων
- Τοξικά παραπροϊόντα ClO<sub>2</sub>- ClO<sub>3</sub>- επηρεάζουν τη χημεία του αίματος

## Παράγεται επί τόπου

- Χλώριο και NaClO<sub>2</sub>
- Συγκεκριμένα ποσοστά για τις δύο ενώσεις
- Συγκεκριμένη ροή Νερού
- Υψηλό κόστος → το κύριο μειονέκτημα
- Cl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O --> HOCl + HCl  
HOCl + HCl + 2NaClO<sub>2</sub> --> 2ClO<sub>2</sub> + 2NaCl + H<sub>2</sub>O

## Προ-χλωρίωση

- Επιφανειακά νερά
- Μείωση της ανάπτυξης αλγών
- Προβλήματα στις μετέπειτα διεργασίες π.χ. διήθηση
- Άλγη → προβλήματα γεύσης και οσμής του τελικού νερού

Στην Πάτρα δεν γίνεται προχλωρίωση



## Τελική Χλωρίωση

- Πάντα
- Διοξείδιο του χλωρίου ή χλωραμίνες
- Μεγάλος χρόνος παραμονής
- Σκοτώνει τους μικροοργανισμούς που άντεξαν τις προηγούμενες διεργασίες
- → σε δεξαμενές φύλαξης

## Υπολειμματικό Χλώριο

- Ελέγχεται ηλεκτρονικά
- Ελάχιστη τιμή για τον έλεγχο του δικτύου
- Μέγιστη τιμή για
  - Γεύση
  - Οσμή
  - Ανθρώπινη Υγεία
- Δεν δίνεται τιμή στο ΦΕΚ

## Χλωρίωση

- Στο τέλος για απομάκρυνση των παθογόνων που επέζησαν
- Δεξαμενή χλωρίωσης



## Από-χλωρίωση

- Πριν την επιστροφή σε υδάτινη μάζα
- Χλώριο τοξικό για το οικοσύστημα
- Διοξείδιο του θείου
- $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HCl}$

## Απολύμανση με όζον

- 1893 – τόσο παλιό όσο και το χλώριο
- > 2000 σταθμοί επεξεργασίας στον κόσμο
- Πολύ δυνατό οξειδωτικό
- Έχει ιδιαίτερη οσμή
- Είναι ασταθές (το υγρό όζον είναι εκρηκτικό)
- 12.5 φορές πιο διαλυτό στο νερό από το οξυγόνο

## Παραγωγή

- Επί τόπου παραγωγή
- Αλλάζει γρήγορα σε μοριακό οξυγόνο
- O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>
- Ηλεκτρικό πεδίο υψηλής τάσης (ορατό)
- UV ακτινοβολία

## Πρώτη ύλη

- Ατμοσφαιρικός αέρας
- Ξηρός αέρας
- Οξυγόνο
- Το οξυγόνο οδηγεί σε καλύτερη απόδοση
- Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απαιτούν και μεγαλύτερο κόστος
- Αέρας → απαιτεί
  - Συμπύεση → αύξηση της συγκέντρωσης
  - Καθαρισμό → αφαίρεση σωματιδίων
  - Ξήρανση → αφαίρεση της υγρασίας

## Παραγωγή

- Αύξηση του ποσού που παράγεται
  - Δυναμικό του ρεύματος
  - Ροή του αερίου
- Διαλυτότητα στο νερό
  - Θερμοκρασία ↓ (διαλυτότητα ↑)
  - pH
- Στο νερό διασπάται σε ρίζες υδροξυλίου,
  - λιγότερο εκλεκτικές
  - Πιο δραστικές

## Οξειδώνει τα οργανικά

- Οξειδώνει τα οργανικά
- → CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O
- TAM – δεν υπάρχουν πρόδρομες ενώσεις
- Πρόβλημα οσμών δεν υπάρχει
- Καταστρέφει την κυτταρική μεμβράνη των βακτηριδίων

## Κόστος

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης
- Υψηλό κόστος λειτουργίας
- 75% του κόστους σε ηλεκτρισμό
- 8 φορές πιο ακριβό από την απολύμανση αλλά συμμετέχει και σε άλλες διεργασίες

## Πλεονεκτήματα

- Αποδοτικό οξειδωτικό
- Γρήγορο
- Δεν υπάρχουν παραπροϊόντα με οργανικά
- Δεν επηρεάζει το pH του νερού
- Απομακρύνει γεύση και οσμές
- Δρα ως κροκιδωτικό
- Επηρεάζει την απομάκρυνση του σιδήρου και του μαγγανίου
- Φιλικό στο περιβάλλον μετατρέπεται γρήγορα σε οξυγόνο



## Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος – έρευνα για μείωση του κόστους και αύξηση της απόδοσης
- Δεν παραμένει στο σύστημα – συνδυασμός με άλλο απολυμαντικό απαραίτητο
- Υποπροϊόν
  - νιτρικό οξύ → σκουριά
  - Βρωμικά ιόντα → καρκινογόνα για τον άνθρωπο

## Προβλήματα

- Ετερογενής πληθυσμός παθογόνων
- Παθογόνα αναπτύσσουν αντιστάσεις
- Εξάρτηση από την ποιότητα του νερού

## Φθορίωση

- Φυσικό ιχνοστοιχείο
- Επίδραση στην υγεία των δοντιών
  - Θετική σε μικρές συγκεντρώσεις
  - Αρνητική σε συγκεντρώσεις  $> 1.5 \text{ mg/L}$  (φθορίαση στα δόντια και το σκελετό)

## Ελλάδα

- Δεν γίνεται φθορίωση στο πόσιμο νερό
- ΦΕΚ 630/2007  $1.5 \text{ mg/L}$  (Φθοριούχα)

## ΣΤΟ ΝΕΡΟ

- Στη φύση ως ορυκτό
  - Φθορίτης ( $\text{CaF}_2$ )
  - Κρυόλιθος ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )
  - Απατίτης (φωσφορικό ασβέστιο, φθοριούχο ασβέστιο, ανθρακικό ασβέστιο)
- Προσθετικά
  - $\text{NaF}$
  - $\text{Na}_2\text{SiF}_6$
  - $\text{H}_2\text{SiF}_6$  (υγρό)

## Προσθήκη

- Ξηρά τροφοδοσία
- Τροφοδοσία διαλύματος φθοριούχου ένωσης
- Κορεστής φθοριόντων
  - Νερό μέσα από στρώμα φθοριούχου νατρίου

## Απομάκρυνση

- Κροκίδωση
- Ιονανταλλαγή
- Συναπομάκρυνση με το μαγνήσιο
- Συνδυασμός

## Jar Test

- Βέλτιστη δόση κροκιδωτικού
  - Σε δεδομένο pH
  - Για δεδομένο νερό (είδος σωματιδίων)
- Κροκιδωτικό
  - Αργίλιο
    - Διαλυτά αρνητικά δεν προσροφούνται
    - Μερικές φορές το pH μικραίνει
    - Διαλυτά θετικά προσροφούνται και εξουδετερώνουν το φορτίο

## Παρασυρμός από ίζημα

- Χρήση αλάτων Al και Fe
- → Ιζήματα των υδροξειδίων των μετάλλων
- Κολλοειδή εγκλωβίζονται στα ιζήματα
- → συγκαθιζάνουν
- Υπερδόση – δεν είναι πρόβλημα
- Ελαφριά ιζήματα που αργούν να κατακαθίσουν → μεγαλύτερη ποσότητα ιλύς

## Γεφύρωση

- Προσθήκη
  - Πολυμερών
  - Φυσικών κροκιδωτικών π.χ. άμυλο, πολυσακχαρίτες
- Προσροφόνται από πολλά σωματίδια την ίδια στιγμή
- Περίσσεια → επανασταθεροποίηση
- Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα προηγούμενα

## Επεξεργασία νερού

- Προσρόφηση με εξουδετέρωση φορτίου + καταβύθιση με το ίζημα
- Συγκέντρωση του κολλοειδούς και δόση κροκιδωτικού → προσρόφηση και εξουδετέρωση
- Υπερδόση → αντιστροφή του φορτίου/ επανασταθεροποίηση
- pH → επηρεάζει την προσρόφηση

## Κροκιδωτικά

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{FeCl}_3$
- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- Πούδρα, κόκκοι, διάλυμα
- Καφέ, πράσινο, γκρι

## Συγκέντρωση των κολλοειδών

- Χαμηλή συγκέντρωση
- Μικρή πιθανότητα να συναντηθούν μεταξύ τους τα σωματίδια – μη σταθερά
- Απευθείας διήθηση των μη σταθερών σωματιδίων
- Ανακύκλωση του ιζήματος → αύξηση του αιωρούμενου ιζήματος

## Αλκαλικότητα

- Μείωση του pH από Al(III) και Fe(III)
- → εκτός του επιθυμητού εύρους pH
- Πρέπει να υπάρχει ρυθμιστική ικανότητα στο διάλυμα
- Προσθήκη ανθρακικών
- Χρήση σιδηρούχων οξειδίων αντί αργιλικών (εξαρτώνται λιγότερο από το pH)
- Χρήση κατιονικού πολυμερούς για προσρόφηση δεν επηρεάζεται από το pH

Διάλεξη για το μάθημα  
Υγρή Ρύπανση  
με θέμα  
«Χρώμα, Γεύση, Οσμή,  
Σκληρότητα»

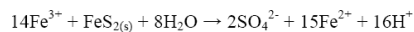
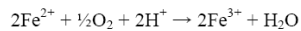
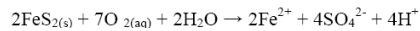
Χρυσή Κ. Καραπαναγιώτη  
Τμήμα Χημείας

## Χρώμα στο νερό

- Διαφορετική συμπεριφορά από την άργιλο
- ΦΕΚ 630/2007
- «Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής»



Τι έχουν μέσα με βάση το χρώμα;



## Χρώμα στο νερό

- Διαφορετική συμπεριφορά από την άργιλο
- Αποσταθεροποίηση: σε χαμηλό pH
- Alum – pH = 5
- Fe – pH = 4
- Αν το νερό είναι αλκαλικό δεν συμφέρει
- Τελικά απαιτείται αύξηση του pH
- pH πόσιμου νερού 6.5-9.5

## Προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών

- Δόση κροκιδωτικού, pH, γρήγορη ανάμειξη
- Jar tests –Πως ελέγχουμε τα συστήματα συνεχούς ροής
- Περίπλοκα, πιλοτική κλίμακα ή πραγματική κλίμακα

## Γεύση και Οσμή

- Πρόβλημα αισθητικής
- ΦΕΚ 630/2007
- «Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής»

## Πηγές

- Γεύση
  - Ανόργανα (π.χ. Fe, Mn)
  - Χλώριο
- Οσμές
  - Υπόγεια νερά (μέταλλα, ορυκτά, υδρόθειο)
  - Μόλυνση υδροφόρου
  - Επιφανειακά νερά (μικροοργανισμοί)
  - Ανάπτυξη και αποσύνθεση (αλγών)

## Μετρήσεις

- Υποκειμενικές εργαστηριακές μετρήσεις
- Διάλυμα με νερό
- Κλίμακα
- Συσχέτιση οσμής με πηγή
- Ανιχνευτές ατμών
- Μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητες

## Έλεγχος

- Οξειδωση
  - Χλώριο (μπορεί να αυξήσει τα προβλήματα)
  - Υπερμαγγανικό κάλιο (αν δημιουργηθεί διοξείδιο του μαγγανίου → μαύρο νερό)
  - Όζον, διοξείδιο του χλωρίου (ακριβά)
- Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
- Αερισμός

Διάλεξη για το μάθημα Χημεία  
Περιβάλλοντος II με έμφαση στην  
Υγρή Ρύπανση με θέμα  
«Αποσκλήρυνση»

Χρυσή Κ. Καραπαναγιώτη  
Τμήμα Χημείας

## Σκληρότητα

- Απαιτεί τη χρήση πρόσθετου σαπουνιού
  - Τα δισθενή κατιόντα δημιουργούν ιζήματα με τα σαπούνια (Mg αντικαθιστά το Na<sup>+</sup> στο σαπούνι → ίζημα)
- Δημιουργεί αποθέσεις ιζημάτων σε σωλήνες νερού, σε βραστήρες, θερμοσίφωνες, πλυντήρια

## Πως δημιουργείται;

- Νερό της βροχής (pH = 5.5)
- +Βακτηριακή δράση στο έδαφος → CO<sub>2</sub>
- +Ορυκτά
- → διάλυση στο νερό

## Ταξινόμηση του νερού

Σκληρότητα mg/L CaCO <sub>3</sub>	Νερό
0-75	Μαλακό
75-150	Ήπια σκληρό
150-300	Σκληρό
> 300	Πολύ σκληρό

Υπάρχουν και άλλες κλίμακες μέτρησης με βαθμούς

## Είδη σκληρότητας

- Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> (δισθενή κατιόντα)
- Ανθρακική σκληρότητα – παροδική σκληρότητα
- Μη ανθρακική – μόνιμη σκληρότητα
- Ψευδο-σκληρότητα υπερβολική συγκέντρωση μονοσθενών κατιόντων (π.χ. Na<sup>+</sup>)

## Ορολογία

- Σκληρότητα (σχετίζεται με τα δισθενή κατιόντα Ca, Mg)
- Αλκαλικότητα (σχετίζεται με τα ανιόντα: υδροξυλιόντα, όξινα ανθρακικά και ανθρακικά)
- Οξύτητα (σχετίζεται με την ύπαρξη ανιόντων ισχυρού οξέως)

## Αλκαλικότητα

- Μέτρο της κατανάλωσης οξέως
- $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$

$$\text{Alkalinity (moles/L)} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (3-65)\text{B}$$

## Γιατί μας ενδιαφέρει η αλκαλικότητα του διαλύματος;

### Αλκαλικότητα και Σκληρότητα

- TH: ολική σκληρότητα
- TAC: αλκαλικότητα
- $TH > TAC$ 
  - Αλκαλικότητα = ανθρακική σκληρότητα
  - Μόνιμη σκληρότητα =  $TH - TAC$
- $TH = TAC$ 
  - Όλη η σκληρότητα είναι ανθρακική
- $TH < TAC$ 
  - Και άλλα κατιόντα εκτός των Ca, Mg
- Διαγράμματα κατιόντων ανιόντων



## Υπολογισμός σκληρότητας

- Ολικά κατιόντα = άθροισμα
- Ελεύθερα ιόντα
- Υδροξείδια
- Όξινα ανθρακικά
- Ανθρακικά
- Θεϊικά

## Γραμμοϊσοδύναμο (eq)

Είναι το τυπικό βάρος μοριακό, ή ατομικό όταν διαιρείται με έναν καθαρό αριθμό που εξαρτάται από τον τύπο αντίδρασης από την οποία προέκυψε το ιόν (για τυπικά ιόντα είναι συνήθως ίσο με το σθένος του ιόντος). Για την περίπτωση χημικών ενώσεων αυτός ο αριθμός εξαρτάται από τον τύπο αντίδρασης στην οποία λαμβάνει μέρος η ένωση.

## Αλκαλικότητα και Σκληρότητα

- TH: ολική σκληρότητα
- TAC: αλκαλικότητα
- $TH > TAC$ 
  - Αλκαλικότητα = ανθρακική σκληρότητα
  - Μόνιμη σκληρότητα =  $TH - TAC$
- $TH = TAC$ 
  - Όλη η σκληρότητα είναι ανθρακική
- $TH < TAC$ 
  - Και άλλα κατιόντα εκτός των Ca, Mg
- Διαγράμματα κατιόντων ανιόντων

## Αποσκλήρυνση

- Απομάκρυνση ανθρακικής σκληρότητας
- TH: ολική σκληρότητα (άθροισμα  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )
- TAC: πλήρης αλκαλικότητα = ανθρακική σκληρότητα, παροδική σκληρότητα
- Μόνιμη σκληρότητα:  $TH - TAC$

## Ποιότητα νερού

- Αποσκλήρυνση → υψηλή αλκαλικότητα
- → δυσάρεστη γεύση + αποθέσεις
- Επανθράκωση απαραίτητη διεργασία για την ολοκλήρωση της αποσκλήρυνσης
- CO<sub>2</sub>
  - Σε υγρή μορφή

## Απομάκρυνση Ασβεστίου

- Προσθήκη Υδράσβεστου
- Δεν επηρεάζει τη μόνιμη σκληρότητα
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow 2 \text{CaCO}_3 \downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$
- Αντιδρά γενικά με τα ανθρακικά → CaCO<sub>3</sub>
- Με αύξηση του pH μετακινούμαστε προς τα αριστερά με την αύξηση των CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>
- $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$

## Απομάκρυνση Μαγνησίου

- Προσθήκη Υδράσβεστου
- Διαφορετικός μηχανισμός
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(HCO}_3)_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{MgCO}_3$  ευδιάλυτο
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{MgCO}_3 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2\downarrow + \text{CaCO}_3$   
↓
- $\text{Mg(OH)}_2$  αδιάλυτο

## Μη ανθρακική σκληρότητα

- Προσθήκη ανθρακικής σόδας
- $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3\downarrow$
- $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{CaCO}_3\downarrow$
- Τελική Σκληρότητα > 30 mg/L  $\text{CaCO}_3$
- Υδράσβεστος και ιονταλλακτικές ρητίνες

## Προσθήκη καυστικού νατρίου

- Καυστική σόδα NaOH
- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- → αντίδραση με τη μόνιμη σκληρότητα

## Επανθράκωση

- Δεν χρησιμοποιείται όλος ο υδράσβεστος
- Απομάκρυνση της περίσσειας
- Δεν είναι επιθυμητό στις επόμενες διεργασίες
- + CO<sub>2</sub>
- → όξινα ανθρακικά

## Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων Αποσκλήρυνσης

- Προσθήκη χημικού
- Γρήγορη ανάμιξη
- Αργή ανάμιξη → δημιουργία ιζήματος
- Καθίζηση → διαχωρισμός
- Προσθήκη υδράσβεστου προ της κροκίδωσης γιατί αργεί να διαλυθεί
- Αερισμός του νερού ↓ CO<sub>2</sub> ↓ δόση

## Γινόμενο Διαλυτότητας

- Ισορροπία διαλυτότητας για το σχηματισμό και τη διάλυση των ιζημάτων
- $AB (s) \leftrightarrow AB \leftrightarrow A^+ + B^-$
- $K_{sp} = [A^+] [B^-]$
- $A_xB_y(s) \leftrightarrow x A^{y+} + y B^{x-}$
- $K_{sp} = [A^{y+}]^x [B^{x-}]^y$

Τι γίνεται όμως όταν  
υπάρχουν πολλές ενώσεις στο  
νερό;

## Απομάκρυνση Διαλυμένων Μετάλλων

- M= μέταλλο
- $\text{MOH}_x \leftrightarrow \text{M}^{x+} + x\text{OH}^-$
- $K_{\text{sp}} = [\text{M}^{x+}] [\text{OH}^-]^x$
- $[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}^+]$
- $\text{Log} [\text{M}^{x+}] = \text{log} K_{\text{sp}} - x \text{log} K_w - x \text{pH}$
- Μονότονη  $\downarrow [\text{M}^{x+}] \uparrow \text{pH}$

- Περισσότερα από ένα είδη για κάθε ιόν
- Η διαλυτότητα του καθενός εξαρτάται από το pH
- Η ολική συγκέντρωση ενός δισθενές μετάλλου:
- $M_t = M_2^+ + M(OH)^+ + M(OH)_2 + M(OH)^{3-} + \dots$

Για ορισμένα μέταλλα: Υπάρχει ένα βέλτιστο pH όπου η ολική συγκέντρωση έχει μία ελάχιστη τιμή



το στερεό: συνάρτηση του pH και  
της συγκέντρωσης

## Κριτήρια επιλογής οξειδωτικού

- Απόδοση στην επεξεργασία
- Κόστος
- Εύκολος χειρισμός
- Συμβατότητα με τις διεργασίες που
  - Προηγούνται
  - Ακολουθούν
- Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά

## Συνήθη οξειδωτικά

- Οξυγόνο
- Χλώριο ή υποχλωριώδες (++++)
- Όζον (+++)
- Υπεροξείδιο του υδρογόνου (όχι για επεξ. νερού)
- Υπερμαγγανικό κάλιο (+)
- Διοξείδιο του χλωρίου (++)

## Οξυγόνο

- Αερισμός
  - Χαμηλό κόστος
  - Άφθονο στον αέρα
  - + απομάκρυνση πτητικών  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$
  - + απομάκρυνση Fe, Mn (στην πράξη)
- Μέθοδοι εισαγωγής
  - Πίδακας νερού
  - Δεξαμενή αερισμού
  - Πύργος αερισμού με πληρωτικό υλικό
  - Υδατόπτωση

## Υπερμαγγανικό Κάλιο

- Χημική καθίζηση
- Καταλύτης -- απαιτεί λιγότερη ποσότητα
- Εξαρτάται από το pH

## Εμφάνιση σιδήρου

- Μεταλλική γεύση στο νερό
- Δίνει το χρώμα της σκουριάς σε
  - Είδη υγιεινής
  - Ρούχα
- Μπουκώνουν σωλήνες
- → ανάπτυξη βακτηρίων σιδήρου
- → άσχημες οσμές και γεύση

## Εμφάνιση μαγγανίου

- Άσχημη γεύση σε μεγάλες συγκεντρώσεις
- Δίνει άσχημο χρώμα σε
  - Είδη υγιεινής (καφέ ή μαύρο)
  - Ρούχα (γκρι)

Αν ο καφές ιριδίζει τότε σίδηρος ή μαγγάνιο από το νερό  
Έχει αντιδράσει με τις ταννίνες ή τα οξέα  
που υπάρχουν στον καφέ.

## ΦΕΚ 892/2001

- Σίδηρος 200  $\mu\text{g/L}$
- Μαγγάνιο 50  $\mu\text{g/L}$

## Οξειδωση

- Δημιουργία λιγότερο διαλυτών μορφών, π.χ.
  - $\text{Fe (II)} \rightarrow \text{Fe (III)}$ ,
  - $\text{Mn (II)} \rightarrow \text{Mn (IV)}$
- Οξειδωτικά
  - Οξυγόνο
  - Χλώριο
  - Υπερμαγγανικό κάλιο

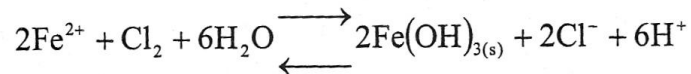
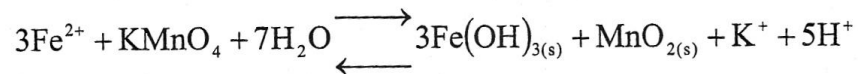
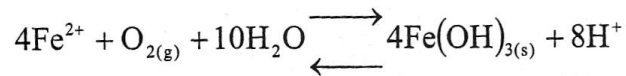
## Οξείδωση

- Πρόσληψη οξυγόνου
- Απώλεια υδρογόνου
- Απώλεια ηλεκτρονίων
- Αύξηση της οξειδωτικής βαθμίδας
- Αύξηση του θετικού σθένους
- Μείωση του αρνητικού
- Αναγωγή είναι το αντίθετο

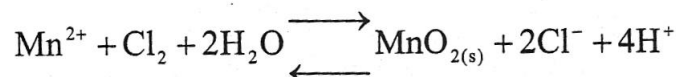
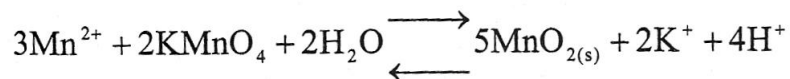
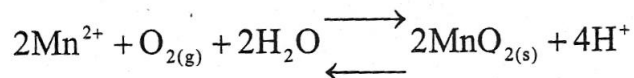
## Οξειδοαναγωγή

- Πάντα υπάρχουν και οι δύο αντιδράσεις
- Οξείδωση και αναγωγή
- Ένα στοιχείο είναι
  - Οξειδωτικό (δέκτης ηλεκτρονίων)
  - $2\text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{Fe}(\text{OH})_3$
  - Αναγωγικό (δότης ηλεκτρονίων)
  - $\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MnO}_2$

## Σίδηρος



## Μαγγάνιο



## Κινητική

- Η ταχύτητα οξείδωσης του σιδήρου  

$$d\text{Fe(II)}/dt = K p\text{O}_2 [\text{OH}^-]^2 [\text{Fe(II)}]$$
- Απλοποιείται για τον προσδιορισμό του μεγέθους της δεξαμενής οξείδωσης σε
- $d\text{Fe(II)}/dt = K [\text{Fe(II)}]$
- Το K εξαρτάται από το pH
- pH= 6 πολύ αργή
- pH> 7.5 πολύ γρήγορη

## Mn - Με μοριακό οξυγόνο

- Διεργασία αυτοκαταλυτική
- $\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 (\text{g}) \leftrightarrow \text{MnO}_2 (\text{s})$
- $\text{Mn}^{2+} + \text{MnO}_2 (\text{s}) \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{MnO}_2 (\text{s})$
- $\text{Mn}^{2+} + \text{MnO}_2 (\text{s}) \leftrightarrow 2 \text{MnO}_2 (\text{s})$
- Πολύ γρήγορη
- pH > 8.5



## Με υπερμαγγανικό κάλιο και χλώριο

- Υπερμαγγανικό κάλιο
  - Απλή διαδικασία σε pH 6-9
  - Άμεση σε pH >7
- Χλώριο
  - Απλή διαδικασία
  - Άμεση σε pH > 8.5
  - Ανεπιθύμητοι χλωριομένοι υδρογονάνθρακες

## Εγκαταστάσεις

- Σε συνδυασμό με άλλες διεργασίες
- Επιφανειακά νερά
  - Στις εγκαταστάσεις κροκίδωσης
  - Οποιοδήποτε οξειδωτικό
- Υπόγεια νερά
  - Αν γίνεται αερισμός για απομάκρυνση CO<sub>2</sub>, το οξυγόνο αρκεί
  - Μη μεγάλο pH και ροή μέσα από το ίζημα
- Μετά την οξείδωση → διήθηση

## Απομάκρυνση άλλων ρύπων

- Μέταλλα + οξείδωση → αδιάλυτα υδροξείδια
- Συγκαθιζάνουν με την κροκίδωση

- ◆ Επεξεργασία ιόντων Καδμίου
  - Σχηματίζονται οι ενώσεις  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  και  $\text{CdS}$
  - Εφαρμόζεται περιοχή pH 8-10 και στα δύο συστήματα
  - Επιτυγχάνονται ικανοποιητικές αποδόσεις:
    - Μετά από διήθηση επιτυγχάνονται επίπεδα Cd από 1 έως κάτω από 0.01 mg/l, για αρχικά επίπεδα μέχρι και 58 mg/l.
- ◆ Επεξεργασία ιόντων (τρισθενούς) Χρωμίου
  - Χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η καταβύθιση ως  $\text{Cr}(\text{OH})_3$
  - Εφαρμόζεται περιοχή pH 7.8-12.2
  - Επιτυγχάνονται επίσης ικανοποιητικές αποδόσεις:
    - Τελικά επίπεδα της τάξης του ppm για αρχικά επίπεδα 7400 mg/l.
- ◆ Επεξεργασία ιόντων χρωμίου
  - Συναντώνται είτε ως εξασθενή ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) είτε ως τρισθενή ( $\text{Cr}^{3+}$ ). Τοξικά είναι τα πρώτα και μετά από αναγωγή καταβυθίζονται ως  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .
- ◆ Επεξεργασία ιόντων αρσενικού
  - Συναντώνται σε δυο μορφές ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{AsO}_3^{2-}$ ) στο αλκαλικό όμως pH καταβύθισης (12) η πρώτη είναι η κυρίαρχη μορφή.
  - Καταβυθίζονται ως υδροξείδιο με ασβέστη και επιτυγχάνονται επίπεδα κάτω του 1 ppm. Επειδή όμως η προδιαγραφή είναι αυστηρή, ακολουθεί ιοντοεναλλαγή ή εφαρμόζεται συγκαταβύθιση.

## Πλεονεκτήματα

- – Είναι χαμηλού κόστους
- – Υπάρχει μακρά επιτυχής εμπειρία
- – Δεν απαιτεί ακριβές νέες εγκαταστάσεις
- – Μπορεί να αντιμετωπίσει ευρύ φάσμα μετάλλων
- – Σε κατάλληλες συνθήκες (έλεγχο) επιτυγχάνει εξαιρετικές απομακρύνσεις
- – Αντιδραστήρια καταβύθισης είναι διαθέσιμα στο εμπόριο.

## Μειονεκτήματα

- – Όξινα απόβλητα είναι δύσκολα επεξεργάσιμα
- – Δεν είναι εκλεκτική: παράγει μια υδαρή λάσπη που περιέχει μίγμα τοξικών και μη τοξικών στερεών, με ενδεχομένως μεγάλο κόστος διάθεσης
- – Επηρεάζεται από την παρουσία οργανικών και ανόργανων ενώσεων
- – Δεν είναι εφαρμόσιμη σε χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων
- – Μερικά υδροξείδια καταβυθίζονται δύσκολα (κολλοειδή)
- – Είναι ευαίσθητη σε μεταβολές παροχής
- – Απαιτεί την προσθήκη χημικών.
- – Δεν θεωρείται ως η βέλτιστη υπάρχουσα τεχνολογία αλλά ως η βέλτιστη υπάρχουσα τεχνολογία σε λογικό κόστος.

## Όσμωση

- Το νερό ρέει από μία περιοχή με μικρή συγκέντρωση σε μία περιοχή με μεγάλη συγκέντρωση

## Ποια είναι η θερμοδυναμική εξήγηση για το φαινόμενο της ώσμωσης;

- με βάση την έννοια του **χημικού δυναμικού**
- Χημικό δυναμικό ενός συστατικού σε ένα διάλυμα ονομάζεται η μερική γραμμομοριακή ελεύθερη ενέργεια του συστατικού αυτού στο διάλυμα. Το χημικό δυναμικό αποτελεί μέτρο χημικής σταθερότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη και ερμηνεία των αλλαγών φάσεων και των χημικών αντιδράσεων. Ουσίες με υψηλότερο δυναμικό θα αντιδράσουν ή θα μετατραπούν από τη μια φάση στην άλλη με σκοπό να μειώσουν τη συνολική ελεύθερη ενέργεια Gibbs του συστήματος.

## Ποια είναι η θερμοδυναμική εξήγηση για το φαινόμενο της ώσμωσης;

- Έστω  $\mu_A$  το χημικό δυναμικό του καθαρού διαλύτη (πλευρά A). Τότε το χημικό δυναμικό  $\mu_B$  του διαλύτη στο διάλυμα (πλευρά B) θα είναι :
- $\mu_B = \mu_A + RT \ln NB$
- όπου :
- $R$  = η παγκόσμια σταθερά των αερίων.
- $T$  = η απόλυτη θερμοκρασία.
- $NB$  = το γραμμομοριακό **κλάσμα** του διαλύτη στο διάλυμα (πλευρά B). Ο όρος  $\ln$  υποδηλώνει το νεπερίο λογάριθμο.
- Εφόσον σε ένα διάλυμα ισχύει πάντα  $NB < 1$  θα είναι και  $\ln NB < 0$ , οπότε αφού πάντα ισχύει  $RT > 0$  συμπεραίνουμε ότι  $RT \ln NB < 0$  και επομένως :
- $\mu_B < \mu_A$
- Άρα για να υπάρξει εξίσωση των χημικών δυναμικών και κατά συνέπεια θερμοδυναμική σταθερότητα, πρέπει να υπάρξει ροή μορίων νερού από την πλευρά A (περιοχή υψηλού δυναμικού) προς την πλευρά B (περιοχή χαμηλού δυναμικού).

## Οσμωτική Πίεση

- Η ροή του νερού αλλάζει τον όγκο από τη μία πλευρά και έτσι δημιουργείται πίεση
- Οσμωτική Πίεση – είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο διαλυμάτων

# Εργοστάσιο Αφαλάτωσης

Σήμερα είναι τόσο ακριβό που σκέφτονται να προτιμήσουν την ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων

## Ηλιακή Αφαλάτωση



Στην Ιορδανία έχει απόδοση 25 λίτρα νερού την ημέρα!

# 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.



# Σημειώματα

## Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0.0**.





## Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,  
 Καραπαναγιώτη Χρυσή. «Χημεία Περιβάλλοντος. Επεξεργασία  
 Πόσιμου Νερού». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη  
 δικτυακή διεύθυνση:  
<https://eclass.upatras.gr/courses/CHEM2003/index.php>



## 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.

