



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

**Διάλεξη 6η: Επεξεργασία Πόσιμου
Νερού (...Συνέχεια)**

Νικόλαος Γ. Σαββάκης

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΛΜΕΠΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2024-2025

Απολύμανση-χλωρίωση

Κατά την απολύμανση του νερού, ιδιαίτερα με χλώριο, παράγονται επιβλαβή παραπροϊόντα. Μικρότερη εφαρμογή βρίσκει και η χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας ως μέσου απολύμανσης.

Η χλωρίωση γίνεται με χλώριο ή με ενώσεις του χλωρίου (υποχλωριώδες νάτριο, NaClO , υποχλωριώδες ασβέστιο, Ca(OCl)_2 διοξείδιο του χλωρίου ClO_2).

Το υποχλωριώδες ασβέστιο διατίθεται σε στερεά μορφή, διαλύεται εύκολα στο νερό και περιέχει περίπου 70% διαθέσιμο χλώριο.

Στις μεγάλες μονάδες επεξεργασίας χρησιμοποιείται κυρίως αέριο χλώριο.

Χρησιμοποιούνται μικρές συσκευές που ονομάζονται χλωριωτές.

Απολύμανση-χλωρίωση

- Η απολυμαντική δράση του χλωρίου στο νερό εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως το pH, ο χρόνος επαφής, η θερμοκρασία και η δόση.
- Κατά την απολύμανση του νερού προστίθεται πάντα ποσότητα χλωρίου μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται ώστε να υπάρχει μία ποσότητα υπολειμματικού χλωρίου.
- Το υπολειμματικό χλώριο προστίθεται για την πρόληψη πιθανής μόλυνσης του νερού στο δίκτυο ύδρευσης.

Χλωρίωση – Χημεία Χλωρίωσης

- Η απολυμαντική δράση του χλωρίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι εκ' των οποίων είναι:
 - i. η μικροβιοκτόνος δράση του υπολειμματικού χλωρίου,
 - ii. οι μορφές του υπολειμματικού χλωρίου,
 - iii. η αρχική ανάμιξη του χλωρίου με νερό,
 - iv. ο χρόνος επαφής,
 - v. η γεωμετρία της δεξαμενής χλωρίωσης
- Κατά την προσθήκη αερίου χλωρίου στο νερό αυτό υδρολύεται σε υποχλωριώδες οξύ (HOCl) ενώ στη συνέχεια το υποχλωριώδες οξύ δίνει την υποχλωριώδη ρίζα (OCl⁻):



Χημεία χλωρίωσης

- Το υποχλωριώδες οξύ (HOCl) και η υποχλωριώδης ρίζα (OCl) αποτελούν το ελεύθερο χλώριο. Η κατανομή του ελεύθερου χλωρίου μεταξύ των δύο ενώσεων έχει ιδιαίτερη σημασία δεδομένου ότι το υποχλωριώδες οξύ έχει από 60 έως 100 φορές ισχυρότερη μικροβιοκτόνο δράση από την υποχλωριώδη ρίζα.
- Αύξηση του pH έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού του υποχλωριώδους οξέος, με συνέπεια την αντίστοιχη μείωση της απολυμαντικής δράσης της χλωρίωσης. Π.χ. η αύξηση του pH διαλύματος από 6 σε 7,5 , 8,5 και 9,5 έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της μικροβιοκτόνου δράσης κατά 50%, 90% και 99%, αντίστοιχα.
- Τα υποχλωριώδη άλατα όταν προστίθενται στο νερό υδρολύονται προς υποχλωριώδη ιόντα.



- Η πιο διαδεδομένη μέθοδος απολύμανσης είναι η χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο.

Παραπροϊόντα χλωρίωσης

- Παρά τα σοβαρά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χλωρίωση, έχει το βασικό μειονέκτημα της δυσμενούς επίδρασης του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον.
- Η δυσμενής αυτή επίδραση εκδηλώνεται είτε άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής, όπως στα ψάρια, λόγω της τοξικότητας του χλωρίου, ή έμμεσα με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων από την αντίδραση του χλωρίου με οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο νερό ή τα απόβλητα, που θεωρείται ότι είναι καρκινογόνες.
- Γίνονται σήμερα πολλές προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης της χλωρίωσης, ώστε να αποφεύγεται η αλόγιστη χρήση και σπατάλη του χλωρίου (χρησιμοποίηση μετρητή υπολειμματικού χλωρίου, αποχλωρίωση, παράλειψη της χλωρίωσης εάν βέβαια αυτό είναι εφικτό).

Παράγοντες που επηρεάζουν την χλωρίωση

- Η απολυμαντική δράση του χλωρίου στο νερό εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως το pH, ο χρόνος επαφής, η θερμοκρασία και η δόση.
- Το pH ρυθμίζει τη θέση ισορροπίας μεταξύ υποχλωριώδους οξέος (HOCl) και υποχλωριώδους ρίζας (OCl⁻).
- Η διατήρηση του pH σε τιμές <7 ευνοεί την παρουσία αδιάστατων μορίων HOCl, τα οποία έχουν μεγαλύτερη απολυμαντική δράση.
- Η θανάτωση των μικροοργανισμών σχετίζεται με τον χρόνο επαφής με το ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο. Ακολουθεί μία κινητική η οποία περιγράφεται από την σχέση:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k \cdot t^v$$

- Η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης την κινητική θανάτωσης των μικροοργανισμών.

Υπολειμματικό χλώριο

- Η δόση του προστιθέμενου χλωρίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε μετά την θανάτωση των μικροοργανισμών και την δέσμευση χλωρίου για την χλωρίωση οργανικών ουσιών που πιθανόν να περιέχονται, να παραμένει στο νερό συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου.
- Το υπολειμματικό χλώριο πρέπει να υπάρχει στο νερό προληπτικά ώστε να αντιμετωπίζεται μία τυχαία μόλυνση ή ρύπανση του νερού κατά την μεταφορά στον καταναλωτή.
- Η χλωρίωση θεωρείται αποτελεσματική, αν μετά από χρόνο επαφής 20 min στο δίκτυο ανιχνεύεται υπολειμματικό χλώριο 0.2 mg/L.
- Το υπολειμματικό χλώριο οξειδώνει επίσης το υδρόθειο που δημιουργείται στο δίκτυο ύδρευσης κατά την αναερόβια διάσπαση οργανικών ενώσεων και εξαφανίζει την οσμή που οφείλεται στο υδρόθειο.

Υπολειμματικό χλώριο

- Το υπολειμματικό χλώριο μπορεί να έχει σοβαρές παρενέργειες. Με την μακροχρόνια παραμονή σε ποσότητα νερού αντιδρά με τις οργανικές ενώσεις και σχηματίζει χλωριωμένους υδρογονάνθρακες.
- Εκτός από την συνεχή χλωρίωση νερού με την απαιτούμενη δόση ώστε να προστατεύεται ο καταναλωτής, μεγάλη σημασία πρέπει να δίνεται στην απολύμανση των νέων δεξαμενών και αγωγών πριν από την χρησιμοποίησή τους.
- Οι νέες δεξαμενές πρέπει να έρχονται σε επαφή με πυκνό διάλυμα χλωρίου περιεκτικότητας 200-300 mg/L για διάρκεια 3-24h.
- Οι αγωγοί πρέπει να απολυμαίνονται με διάλυμα χλωρίου 50 mg/L για 24h.

Απολύμανση με Όζον

- Το όζον παράγεται από ατμοσφαιρικό αέρα που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ή από καθαρό οξυγόνο. Το αέριο όζον παράγεται με ηλεκτρική εκκένωση ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια τάσης έως 10-20 kV.
- Το όζον έχει πολύ ισχυρή και γρήγορη απολυμαντική δράση επιτυγχάνοντας ταυτόχρονη καταστροφή των ιών.
- Η οζόνωση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος για την απολύμανση του πόσιμου νερού.
- Απαιτεί μικρούς χρόνους εφαρμογής (περίπου 10min), ενώ έχει μικρότερη ευαισθησία σε pH και θερμοκρασία.
- Το υπολειμματικό όζον είναι εξίσου τοξικό με το υπολειμματικό χλώριο αλλά αποσυντίθεται πολύ γρήγορα, οπότε δεν δημιουργεί προβλήματα στον υδάτινο αποδέκτη.
- Η μέθοδος παρουσιάζει όμως υψηλό πάγιο και λειτουργικό κόστος, ενώ δύναται να σχηματιστούν ενώσεις επικίνδυνες για την υγεία όπως εποξειδία, βρωμικά και βρωμιωμένες οργανικές ενώσεις.

Απολύμανση με ακτινοβολία UV

- Η υπεριώδης ακτινοβολία διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη των μ/ο και απορροφάται από τα κυτταρικά συστατικά τους (DNA και RNA) καταστρέφοντάς τους ή καθιστώντας τους ανίκανους να πολλαπλασιαστούν.
- Η ακτινοβολία με UV αποτελεί ένα φυσικό τρόπο απολύμανσης χωρίς ιδιαίτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Μέτρο της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία αποτελεί η ποσότητα-δόσητης ενέργειας που απορροφάται από τους μ/ο.
- Γενικά, ο χρόνος και η ένταση της ακτινοβολίας είναι οι παράμετροι που καθορίζουν το αποτέλεσμα της ακτινοβολίας στην απολύμανση των νερών. Η δόση της ακτινοβολίας ορίζεται ως εξής: $D=[mW/cm^2] \times t$, όπου t η διάρκεια της ακτινοβολίας σε sec.



Απολύμανση με ακτινοβολία UV

Μία διάταξη απολύμανσης με UV αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- **Πηγή παραγωγής ακτινοβολίας UV:** Αυτή είναι συνήθως μια συστοιχία λυχνιών υδραργύρου χαμηλής πίεσης που εκπέμπουν μονοχρωματική ακτινοβολία με $\lambda \sim 254\text{nm}$, που ανήκει στη βέλτιστη περιοχή για την καταστροφή των παθογόνων μ/ο. Οι λυχνίες υδραργύρου έχουν συνήθως μήκος 0.75-1m και διάμετρο 15-20mm.
- **Χώρος επαφής:** Ο απαιτούμενος χρόνος επαφής της ακτινοβολίας με τους μ/ο είναι συνήθως μικρότερος από 1 min. Στο χώρο επαφής τοποθετούνται οι λυχνίες Hg που προστατεύονται με κυλινδρικά περιβλήματα. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην ύπαρξη διάταξης καθαρισμού της επιφάνειας των λυχνιών, ώστε να μη μειώνεται η απόδοσή τους από ακαθαρσίες και λίπη που επικαθονται σε αυτές.
- **Συστήματα ελέγχου και ρύθμισης της παραγόμενης ακτινοβολίας UV,** με βάση το σήμα από το μετρητή παροχής.

Απολύμανση με J_2 - Br_2 - H_2O_2 / Εξισορρόπηση pH-Αερισμός

- Το ιώδιο και το βρώμιο έχουν ισχυρή απολυμαντική δράση, αλλά δεν χρησιμοποιούνται στα συστήματα ύδρευσης. Βρίσκουν όμως εφαρμογή στην απολύμανση πισινών κολύμβησης.
- Το υπεροξείδιο του υδρογόνου απελευθερώνει ατομικό οξυγόνο και ως εκ τούτου έχει απολυμαντική και οξειδωτική δράση. Χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές και εργαστηριακές εφαρμογές.
- Ο αερισμός χρησιμοποιείται ως φυσικοχημική κατεργασία του νερού αφενός για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων αερίων, αφετέρου για την οξείδωση ουσιών ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν και να απομακρυνθούν ευκολότερα.
- Ο αερισμός γίνεται εντός δεξαμενής με σύστημα διαχυτών στον πυθμένα της, που διοχετεύουν τον αέρα στο νερό με τη μορφή φυσαλίδων.

Άσκηση 1

Ένας νέος αγωγός ύδρευσης πρέπει να απολυμανθεί με δόση χλωρίου 50 mg/l. Για την απολύμανση του αγωγού θα χρησιμοποιηθεί διάλυμα με διαθέσιμο χλώριο 3% κ.ο

1. Πόσα kg σκόνης υποχλωριώδους ασβεστίου ή υγρού υποχλωριώδους νατρίου ή αερίουχλωρίου πρέπει να διαλύσουμε σε 100 L νερού για την προετοιμασία του πυκνού διαλύματος ;
2. Με ποια αναλογία ή ρυθμό πρέπει να τροφοδοτείται το πυκνό διάλυμα στον αγωγό ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη δόση των 50 mg/l;
3. Αν για το γέμισμα του αγωγού απαιτούνται 50 m³ νερού, πόσα λίτρα του πυκνού διαλύματος χλωρίου θα χρησιμοποιηθούν;

Άσκηση 1 - Λύση

1.1 Υπολογισμός της ποσότητας του στερεού υποχλωριώδους ασβεστίου:

Το υποχλωριώδες ασβέστιο αποδίδει 70% ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο →

Άρα το 1 kg υποχλωριώδους ασβεστίου αποδίδει 0.7 kg χλωρίου.

Για το πυκνό διάλυμα 3% κ.ο. που θέλουμε να παρασκευάσουμε απαιτούνται:

$$3 \text{ g /100 ml} \rightarrow 30 \text{ g/l} \rightarrow 3 \text{ kg/100 l}$$

Συνεπώς η ποσότητα σκόνης που πρέπει να προσθέσουμε στα 100 l νερού είναι:

$$(3/0.7) = 4.3 \text{ kg/100 l}$$

Άσκηση 1 - Λύση

1.2 Υπολογισμός της ποσότητας του υγρού υποχλωριώδους νατρίου:

Το υποχλωριώδες νάτριο αποδίδει 15% κ.β. χλώριο → Το 1 kg υποχλωριώδους νατρίου αποδίδει 0.15 kg χλωρίου.

Συνεπώς η ποσότητα υγρού υποχλωριώδους νατρίου που πρέπει να προσθέσουμε στα 100L νερού είναι:

$$(3/0.15) = 20 \text{ kg/100 l}$$

1.3 Η ποσότητα του αερίου χλωρίου είναι 3 kg/ 100 l.

2. Αναλογία τροφοδοσίας πυκνού διαλύματος:

$$\frac{1 \text{ όγκος διαλύματος } 3\%}{x \text{ όγκοι νερού}} = \frac{50 \text{ mg/l}}{30,000 \text{ mg/l}} \rightarrow x = 600 \text{ όγκοι νερού}$$

3. Όγκος πυκνού διαλύματος για την πλήρωση του αγωγού:

$$\frac{50 \text{ mg/l}}{30,000 \text{ mg/l}} = \frac{x}{50,000 \text{ l}} \rightarrow x = 83.3 \text{ l}$$

Άσκηση 2

- Για την απολύμανση δεξαμενής αποθήκευσης νερού απαιτείται διάλυμα χλωρίου 300 mg/L. Να υπολογίσετε την ποσότητα υποχλωριώδους ασβεστίου που πρέπει να προστεθεί ανά m^3 δεξαμενής.

Το 1 kg υποχλωριώδους ασβεστίου αποδίδει 0.7 kg χλωρίου

$$300 \text{ mg/l} \rightarrow 300,000 \text{ mg} / 1 \text{ m}^3 \rightarrow 0.3 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$$

Συνεπώς ανά 1 m^3 πρέπει να προστεθούν $(0.3/0.7)=0.43\text{kg}$ υποχλωριώδους ασβεστίου.

Άσκηση 3

- Για την απολύμανση νερού 50,000 m³/day χρησιμοποιείται δόση 30kg χλωρίου. Η δόση επιτρέπει ανίχνευση υπολειμματικού χλωρίου στα όρια του συστήματος μετά από επαφή 20min, 0.2mg/L .Να υπολογίσετε τη δόση σε mg/L και τη συνολική ποσότητα χλωρίου η οποία δαπανάται για τη θανάτωση των μικροοργανισμών και την αντίδραση με υπάρχουσες στο νερό χημικές ενώσεις.

➔ Υπολογισμός δόσης 30 kg/day → $30 \cdot 10^6$ mg/day

➔ Ημερήσια παροχή 50·10³ m³/day → 50·10⁶ l/day

➔ Συνεπώς η δόση σε mg/l θα είναι $(30 \cdot 10^6 / 50 \cdot 10^6) = 0.6$ mg/L

➔ Η δαπανώμενη ποσότητα χλωρίου θα είναι $(0.6 - 0.2) = 0.4$ mg/L

Άσκηση 4

- Για την απολύμανση 20000 m³/d νερού χρησιμοποιείται 9 kg/d χλώριο. Εάν το ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο που παραμένει στο νερό μετά από 15 min ανάμιξης είναι 0,25 mg/l, να βρεθεί η προστιθέμενη δόση χλωρίου και η ολική ζήτηση του χλωρίου σε mg/l.

→ Η προστιθέμενη δόση είναι: $\Delta\text{όση} = \left(\frac{9 \text{ kg/d}}{20000 \text{ m}^3/\text{d}}\right) \cdot \left(\frac{1000000 \text{ mg}}{\text{kg}}\right) \cdot \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}}\right) = 0,45 \text{ mg/l}$

→ Η ολική ζήτηση του χλωρίου είναι η διαφορά μεταξύ της προστιθέμενης δόσης και του ελεύθερου διαθέσιμου χλωρίου:

$$\text{Ολική ζήτηση χλωρίου} = 0,45 \text{ mg/l} - 0,25 \text{ mg/l} = 0,20 \text{ mg/l}$$

Ερωτήσεις Απολύμανση

- 1.Απολύμανση είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού :
 - α) Που έχει ως σκοπό την πλήρη καταστροφή όλων των μικροοργανισμών ενός ανοικτού ή κλειστού δικτύου νερού.
 - β) Που έχει ως σκοπό την εκλεκτική ελάττωση σε ανεκτά επίπεδα των μικροοργανισμών.
 - γ) Που έχει ως σκοπό την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών που τυχόν περιέχει, ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία.
- Η απολυμαντική δράση του χλωρίου είναι καλύτερη σε χαμηλές τιμές pH, διότι :
 - α) Αρχίζει η διάσταση του HOCl.
 - β) Υπερισχύουν τα υποχλωριώδη ιόντα.
 - γ) Το χλώριο υπάρχει ως αέριο.
 - δ) Υπερισχύει το HOCl.
- Το όζον παράγεται βιομηχανικά :
 - α) Με θερμική ενεργοποίηση αέριου οξυγόνου.
 - β) Με την ενεργοποίηση του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα σε ηλεκτρικό πεδίο.
 - γ) Με χημική ενεργοποίηση του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα.
 - δ) Με την ενεργοποίηση του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα με υπεριώδη ακτινοβολία.



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

Διάλεξη 7η: Επεξεργασία Νερού στην Βιομηχανία

Νικόλαος Γ. Σαββάκης

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΛΜΕΠΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2024-2025

Γενικά

- Το νερό πριν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία υποβάλλεται σε επεξεργασία που αποσκοπούν να το καταστήσουν κατάλληλο για την χρήση για την οποία προορίζεται. Οι κυριότερες από αυτές τις επεξεργασίες είναι :
 - Απομάκρυνση κολλοειδών σωματιδίων με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για το πόσιμο νερό. Η επεξεργασία αυτή είναι απαραίτητη όταν η βιομηχανία δεν χρησιμοποιεί νερό του δικτύου ύδρευσης.
 - Αποσκλήρυνση.
 - Απιονισμός.
 - Εξουδετέρωση.

Αποσκλήρυνση

- Είναι η διεργασία απομάκρυνσης των αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου που προκαλούν τη σκληρότητα.
- Γίνεται συνήθως με προσθήκη ασβέστη $[Ca(OH)_2]$ και σόδας (Na_2CO_3). Τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου μετατρέπονται σε δυσδιάλυτες ενώσεις που καθιζάνουν και απομακρύνονται .
- Ο ασβέστης απομακρύνει από το νερό την παροδική σκληρότητα και το σίδηρο
- Η σόδα απομακρύνει τη μόνιμη σκληρότητα
- Το νερό αποκτά έτσι σκληρότητα 3 – 4 °F ως προς τα ιόντα ασβεστίου και 1 °F ως προς τα ιόντα μαγνησίου.
- Η αποσκλήρυνση του νερού γίνεται επίσης με την προσθήκη φωσφορικού νατρίου Na_3PO_4 .
- Η μέθοδος είναι εξαιρετικά αποτελεσματική λόγω της μικρής διαλυτότητας των φωσφορικών αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου.
- Η σκληρότητα του νερού περιορίζεται σε 0.3 °F

Αποσκλήρυνση και απιονισμός με ανταλλαγή ιόντων

- Η μέθοδος χαρακτηρίζεται σαν φυσικοχημική και συνίσταται στην απομάκρυνση των ιόντων που υπάρχουν στο νερό με χρήση ουσιών που έχουν την ιδιότητα να ανταλλάσσουν τα ιόντα τους με τα ιόντα που υπάρχουν στο νερό.
- Για την ανταλλαγή ιόντων χρησιμοποιούνται ανόργανες ή οργανικές ρητίνες.
- Οι ρητίνες ή ανταλλάκτες ιόντων ονομάζονται κατιοντικές (Cationic) αν ανταλλάσσουν θετικά ιόντα και ανιοντικές αν ανταλλάσσουν αρνητικά ιόντα.
- Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται στον απιονισμό του νερού είναι πολυμερικές με τρισδιάστατη πορώδη δομή (π.χ. ρητίνη με συμπολυμερισμό στυρενίου – διβινυλοβενζολίου).
- Το προϊόν του πολυμερισμού με σούλφωση μετατρέπεται σε κατιοντική ρητίνη ($R-SO_3^- H^+$) και με αμίνωση σε ανιοντική ρητίνη ($RN(H_3)^+Cl^-$).

Αποσκλήρυνση και απιονισμός με ανταλλαγή ιόντων

- Η χωρητικότητά ή δυναμικότητα μιας ρητίνης καθορίζεται από το μέγιστο αριθμό ανταλλάξιμων ιόντων τα οποία διαθέτει ανά μονάδα μάζας της.
- Σημαντικό ρόλο στην εκμετάλλευση της μεγαλύτερης δυνατής δυναμικότητα μιας ρητίνης σε μια διεργασία ανταλλαγής παίζει ο χρόνος επαφής ρητίνης-νερού.
- Η δυναμικότητα ιοντοανταλλαγής της ρητίνης που επιτυγχάνεται σε ορισμένο χρόνο επαφής ονομάζεται δυναμική χωρητικότητα.
- Η ανταλλαγή των ιόντων γίνεται σε κυλινδρικές στήλες, οι οποίες είναι γεμάτες με κατάλληλο υλικό που επιτρέπει την ανταλλαγή των ιόντων.

Προβλήματα από τη χρήση σκληρού νερού

- Η τροφοδοσία των λεβήτων παραγωγής ζεστού νερού ή ατμού με νερό μεγάλης σκληρότητας χωρίς να έχει προηγηθεί αποσκλήρυνση δημιουργεί πολλά προβλήματα με σημαντικότερο την απόθεση αλάτων.
- Οι αποθέσεις των αλάτων γίνονται είτε υπό μορφή ιλύος (λάσπης) είτε υπό μορφή πέτρας (πουρί).
- Η λάσπη των αλάτων σχηματίζεται από απόθεση ευδιάλυτων αλάτων $MgCl_2, MgCO_3, MgSO_4, CaCl_2$ στα ψυχρά μέρη της εγκατάστασης. Δεν προσκολλάται. Απόμακρύνεται εύκολα.

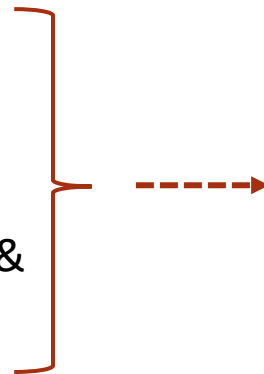
- Απόθεση πέτρας που οφείλεται:

→ Στην καθίζηση $CaCO_3$

→ Στην καθίζηση $CaSO_4$

→ Στην καθίζηση $Mg(OH)_2$

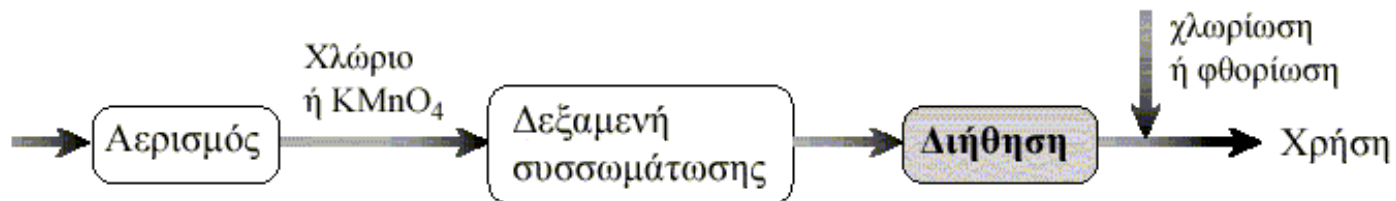
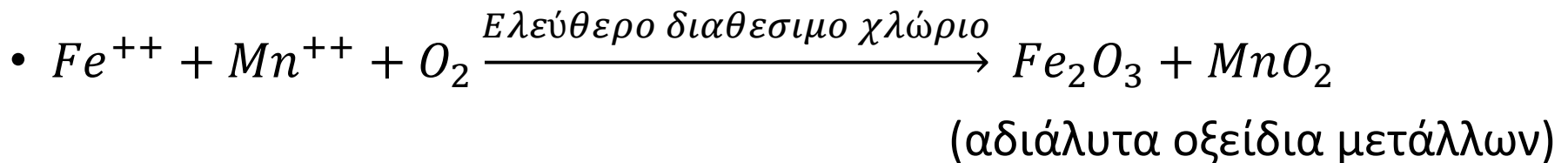
→ Στην καθίζηση πυριτικού ασβεστίου & πυριτικού μαγνησίου $CaSiO_3-MgSiO_3$



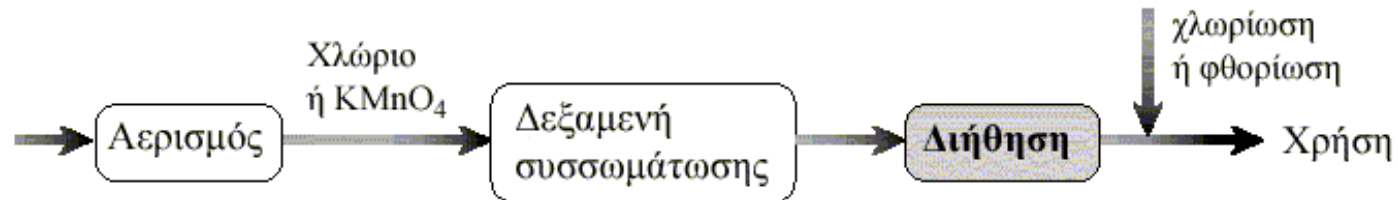
- Έμφραξη σωληνώσεων
- Λειτουργικά προβλήματα στους λέβητες και τις συσκευές

Απομάκρυνση σιδήρου και μαγγανίου

- Τα ιόντα αυτά σχηματίζουν δυσδιάλυτες χημικές ενώσεις οι οποίες προσδίδουν στο νερό χαρακτηριστικό χρώμα.
- Για την απομάκρυνσή τους χρησιμοποιούνται οι τεχνικές
 - Αερισμός και χλωρίωση.
 - Αερισμός και προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου [KMnO₄].



Απομάκρυνση σιδήρου και μαγγανίου



- Η διήθηση γίνεται μέσα από στρώματα 2 υλικών.
- Το 2^ο στρώμα ονομάζεται ζεόλιθος μαγγανίου. Είναι φυσική πράσινη άμμος, η οποία έχει κατεργαστεί και καλυφθεί επιφανειακά με MnO₂. Στο στρώμα αυτό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των ευδιάλυτων ιόντων Fe⁺⁺ + Mn⁺⁺ που δεν οξειδώθηκαν και συνεπώς δεν κατακρατήθηκαν στο πρώτο στρώμα του φίλτρου, το οποίο συνήθως είναι ανθρακίτης.

Επεξεργασία και αφαλάτωση του νερού με χρήση μεμβρανών

Γιατί να κάνουμε αφαλάτωση;

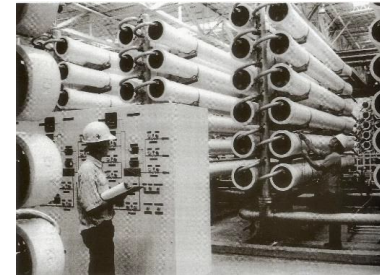
- Γιατί αφαλάτωση;
 - Έλλειμμα σε υδάτινους πόρους
 - Επιδείνωση της ποιότητας του φρέσκου νερού
 - Μείωση του κόστους του νερού που παράγεται από τις τεχνολογίες αφαλάτωσης
 - Εξασφάλιση αδιάλειπτης τροφοδοσίας
- Πηγές νερού για αφαλάτωση
 - Υφάλμυρο νερό (αλατότητα <math><10000\text{ppm}</math>)
 - Θαλασσινό νερό (αλατότητα >math>>10000\text{ppm}</math>)
- Η διάδοση της αφαλάτωσης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ελάττωση του κόστους του παραγόμενου νερού λόγω (α) της ωριμότητας των τεχνολογιών αφαλάτωσης και (β) της μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων (kWh/m^3)

Τεχνολογίες αφαλάτωσης

- Γενικά οι βιομηχανικές τεχνολογίες αφαλάτωσης χωρίζονται σε:
 - Θερμικές (με αλλαγή φάσης από υγρό σε ατμό) - απαιτούν θερμική και ηλεκτρική ενέργεια
 - Μηχανικές (χρήση ημιπερατών μεμβρανών υπό πίεση για το διαχωρισμό του αλατούχου διαλύματος νερού) - απαιτούν μόνο μηχανικό έργο δηλ. ηλεκτρική ενέργεια
 - Όλες οι τεχνολογίες απαιτούν προεπεξεργασία
 - Είναι επίσης όλες ενεργοβόρες: Το ενεργειακό κόστος αντιπροσωπεύει το 40-75% του λειτουργικού κόστους.

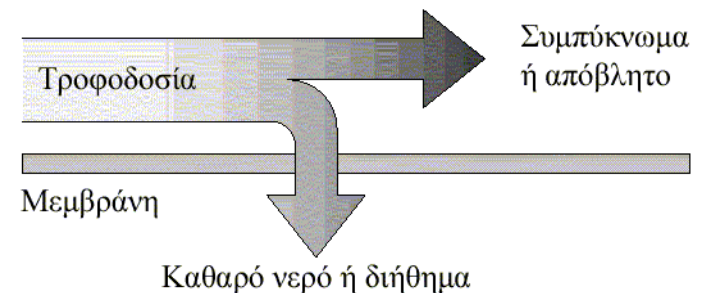
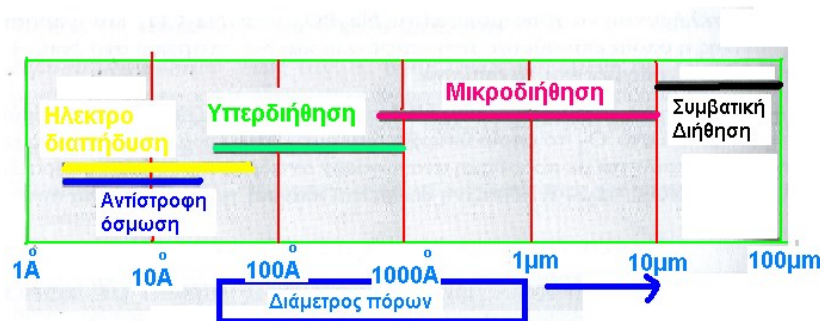
Μηχανικές μέθοδοι αφαλάτωσης του νερού

- Βασίζονται γενικά στην χρήση μεμβρανών.
- Η διήθηση ή διέλευση διαμέσου μεμβρανών περιλαμβάνει διάφορες διεργασίες όπως η συμβατική διήθηση, η μικροδιήθηση, η υπερδιήθηση, η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιαπίδυση.
- Οι μεμβράνες είναι πορώδη μέσα. Το μέγεθος των πόρων κυμαίνεται μεταξύ 10^{-1} και 10^4 nm. Η απόδοση διαχωρισμού εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ του μεγέθους των πόρων και του μεγέθους των σωματιδίων τα οποία πρέπει να διαχωριστούν.
- Οι μεμβράνες αρχικά κατασκευάζονταν από οξική κυτταρίνη. Η οξική κυτταρίνη έχει πολύ καλή απόδοση διαχωρισμού, όμως έχει το μειονέκτημα ότι υδρολύεται εύκολα σε μικρές ή μεγάλες τιμές pH.
- Σήμερα έχει αντικατασταθεί σε πολλές εφαρμογές από πολυαμίδια, πολυσουλφόνες, πολυεστέρες και άλλα πιο σύγχρονα συνθετικά πολυμερή υλικά.
- Τα συνθετικά πολυμερή υλικά έχουν καλύτερη χημική σταθερότητα και αντοχή στη μικροβιακή αποικοδόμηση.



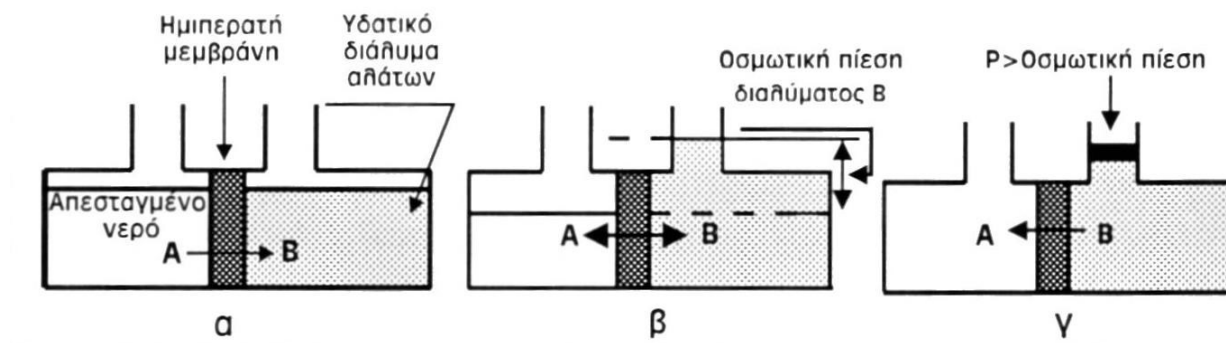
Μηχανικές μέθοδοι αφαλάτωσης του νερού

- Προβλήματα: η σταδιακή απόφραξη των πόρων, η σταδιακή αποδόμηση των μεμβρανών
- Για μεγαλύτερη απόδοση και αποφυγή απόφραξης η ροή είναι παράλληλη προς τη μεμβράνη
- Η ροή είναι τυρβώδης ($Re > 2000$)
- Η προεπεξεργασία με καθίζηση είναι απαραίτητη



Αντίστροφη όσμωση

- Είναι η διεργασία διαχωρισμού του διαλύτη από ένα διάλυμα διαμέσου ημιπερατής μεμβράνης με **εφαρμογή εξωτερικής μηχανικής πίεσης**.
- Οι ημιπερατές μεμβράνες έχουν πόρους μοριακών διαστάσεων, συγκρατούν τα ιόντα και πολλά μόρια και επιτρέπουν τη διέλευση των μορίων του διαλύτη (νερού).
- Η **ΑΟ απαιτεί μηχανικό έργο ή ηλεκτρική ενέργεια** για να κινήσει μια αντλία υψηλής πίεσης, η οποία **αυξάνει την πίεση του αλατούχου διαλύματος** σε τιμές που είναι εφικτή η πραγματοποίηση της διεργασίας της αντίστροφης όσμωσης. **Η τιμή της πίεσης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη συγκέντρωση του αλατιού στο διάλυμα**. Μια χαρακτηριστική τιμή μπορεί να θεωρηθεί αυτή των 65 bar.



Αντίστροφη όσμωση

- Η **οσμωτική πίεση** είναι μία προσθετική ιδιότητα των διαλυμάτων, η οποία παρατηρείται μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες. Για να εκδηλωθεί, δηλαδή, **απαιτείται μια ημιπερατή μεμβράνη**, φυσική ή συνθετική, που **διαχωρίζει π.χ. ένα διάλυμα από τον διαλύτη, ή ένα πυκνό διάλυμα από ένα αραιό διάλυμα και επιτρέπει να περνούν μόρια του διαλύτη.**
- Επιτρέπει δηλαδή κάποιες ουσίες να περνούν και κάποιες όχι (**δρα δηλαδή σαν ένα είδος μοριακού κόσκινου**).
- Όσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της διέλευσης περισσότερων μορίων διαλύτη, μέσω ημιπερατής μεμβράνης, από τον διαλύτη στο διάλυμα ή από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (αραιότερο) προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε διαλυμένη ουσία (πυκνότερο).
- Οσμωτική πίεση διαλύματος, που διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη απ' τον καθαρό διαλύτη του, **ονομάζεται η ελάχιστη πίεση που πρέπει να ασκηθεί εξωτερικά στο διάλυμα, ώστε να εμποδίσουμε το φαινόμενο της όσμωσης, χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος του διαλύματος.**

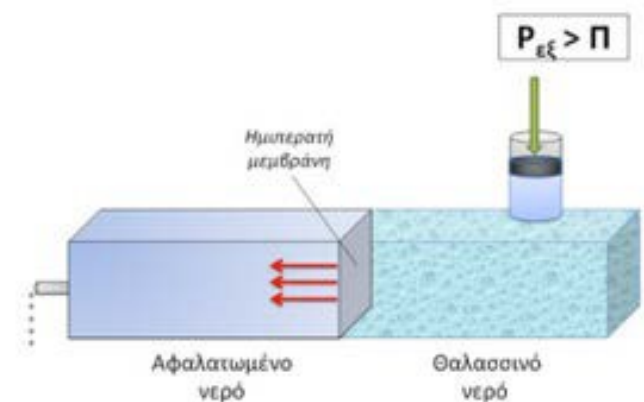
Αντίστροφη όσμωση

- Για να μη συμβεί όσμωση μπορούμε να ασκήσουμε εξωτερική πίεση ($P_{εξ}$) ίση με την όσμωτική δηλ. $P_{εξ} = \Pi$

$\Pi V = n RT$	όπου :
Επειδή $n/V = c$	Π = όσμωτική πίεση (Atm) C = συγκέντρωση του διαλύματος (mol/L) R = σταθερά των αερίων = 0.082 L.Atm/mol.K T = απόλυτη θερμοκρασία (K)
$\Pi = c RT$	V = όγκος του διαλύματος (L)
Επειδή $n = m/M_r$	n = αριθμός moles διαλυμένης ουσίας (mol) m = μάζα διαλυμένης ουσίας (g) M_r = σχετική μοριακή μάζα (g/mol)
$\Pi V = mRT/M_r$	

Αντίστροφη όσμωση

- Όταν στο διάλυμα ασκηθεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος (δηλ. $P_{εξ} > \Pi$), τότε το φαινόμενο αντιστρέφεται και μόρια διαλύτη θα εξέρχονται από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη (ή από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα).
- Το φαινόμενο αυτό λέγεται αντίστροφη ώσμωση. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος, αφού απομακρύνεται μέρος από την ποσότητα του διαλύτη.
- Σε συνθήκες σταθερής κατάστασης η διαπερατότητα της μεμβράνης στα μόρια του διαλύτη δίνεται από τη σχέση: $J = K_m(P - \Pi)$
- Το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης βρίσκει εφαρμογή στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας.



Αντίστροφη όσμωση

- Οι ημιπερατές μεμβράνες κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη ή από πολυαμίδια με τη μορφή μικροσκοπικών διάτρητων ινών. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας εισάγεται υπό πίεση στις ίνες και εξέρχεται αφαλατωμένο. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης στον κόσμο βρίσκεται στη Σαουδική Αραβία όπου παράγεται το 50 % του νερού που καταναλίσκεται, με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

