



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Τεχνολογία Πόσιμου Νερού

Επαναληπτική Διάλεξη

Διδάσκων: Ανέστης Βλυσίδης
E-mail: anestisvlysidis@gmail.com



Διάλεξη 2

Ρυπαντικές Παράμετροι - Δείκτες Ποιότητας Νερού

Οργανοληπτικές

- Χρώμα
- Θολερότητα
- Οσμή
- Γεύση

Φυσικοχημικές

- Σκληρότητα
- Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)
- Αγωγιμότητα – Αλατότητα
- Σχέση Προσοφημένου Νατρίου (SAR)
- Οξύτητα – Αλκαλικότητα (pH)

Χημικές

- Διάφορα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+)
- Διάφορα ανιόντα (NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^-)
- Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si)
- Αέρια (Υδροθείο, Μεθάνιο, Αμμωνία)
- Ιχνοστοιχεία
- Βαριά μέταλλα
- Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ανεπιθύμητες & Τοξικές ουσίες

- Παρασιτοκτόνα
- Εντομοκτόνα
- Ζιζανιοκτόνα
- Διοξίνες
- Χλωριωμένοι HC
- Φαινόλες – Χλωροφαινόλες
- Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB)
- Πολυκυκλικοί Αρωματικοί HC (PAH)

Διάλεξη 3

Μικροοργανισμοί – δείκτες μόλυνσης νερού

Η απομόνωση και ο προσδιορισμός των παθογόνων μικροοργανισμών που βρίσκονται στο νερό αποτελεί τον κύριο σκοπό των διαφόρων μικροβιολογικών αναλύσεων.

Επειδή:

- i. η αναγνώριση του κάθε μικροοργανισμού παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες και,
- ii. ο αριθμός των παθογόνων οργανισμών είναι πολύ μικρός σε σχέση με άλλους μικροοργανισμούς

Για τον προσδιορισμό της πιθανότητας μετάδοσης ασθενειών του νερού χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί που ονομάζονται **δείκτες**.

Δείκτες:

- Είναι μικροοργανισμοί η ύπαρξη των οποίων επιβεβαιώνει τη μόλυνση του νερού.

Μικροοργανισμοί – δείκτες μόλυνσης νερού

Απαιτούμενα χαρακτηριστικά μικροοργανισμών δεικτών

- ✓ Να είναι εφαρμόσιμοι σε όλα τα νερά.
- ✓ Να συνυπάρχουν με τα παθογόνα είδη των μικροοργανισμών.
- ✓ Η συγκέντρωσή τους να είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με τα παθογόνα είδη.
- ✓ Να είναι εύκολα ανιχνεύσιμοι.
- ✓ η συγκέντρωσή του να είναι ανάλογη με το βαθμό μόλυνσης
- ✓ Να έχουν χρόνο ζωής παραπλήσιο με αυτόν των παθογόνων ειδών.
- ✓ Να μην υπάρχουν στα καθαρά νερά.
- ✓ Να έχουν σταθερά βιοχημικά χαρακτηριστικά για ανίχνευση.
- ✓ Να είναι αβλαβείς.

Τα κριτήρια αυτά ικανοποιούνται καλύτερα από τα **κολοβακτηρίδια** αλλά με ένα βασικό μειονέκτημα:

Σε ενδεχόμενη ανάπτυξη και ενσωμάτωσή τους στην πανίδα του νερού, η ανίχνευση τους θα δώσει ψευδή θετικά τεστ.

Διάλεξη 4

Απαιτούμενη Επεξεργασία Καθαρισμού

Επιπλέοντα στερεά: Σχάρες
Αιωρούμενα στερεά: Μικροκόσκινα
Άμμος: Αμμοσυλλέκτες – Κόσκινα
Φύκια: Μικροκόσκινα - προχλωρίωση



Προεπεξεργασία

Θολότητα: Κροκίδωση, Καθίζηση, Υστεροχλωρίωση
Χρώμα: Κροκίδωση, Συσσωμάτωση, Διήθηση
Οσμή, Γεύση: Ενεργός άνθρακας
Σκληρότητα: Συσσωμάτωση, Διήθηση
Σίδηρος, Μαγγάνιο: Προχλωρίωση, Συσσωμάτωση, Διήθηση
Παθογόνοι μικροοργανισμοί: Προχλωρίωση, Συσσωμάτωση,
Διήθηση, Υστεροχλωρίωση



**Κύρια
επεξεργασία**

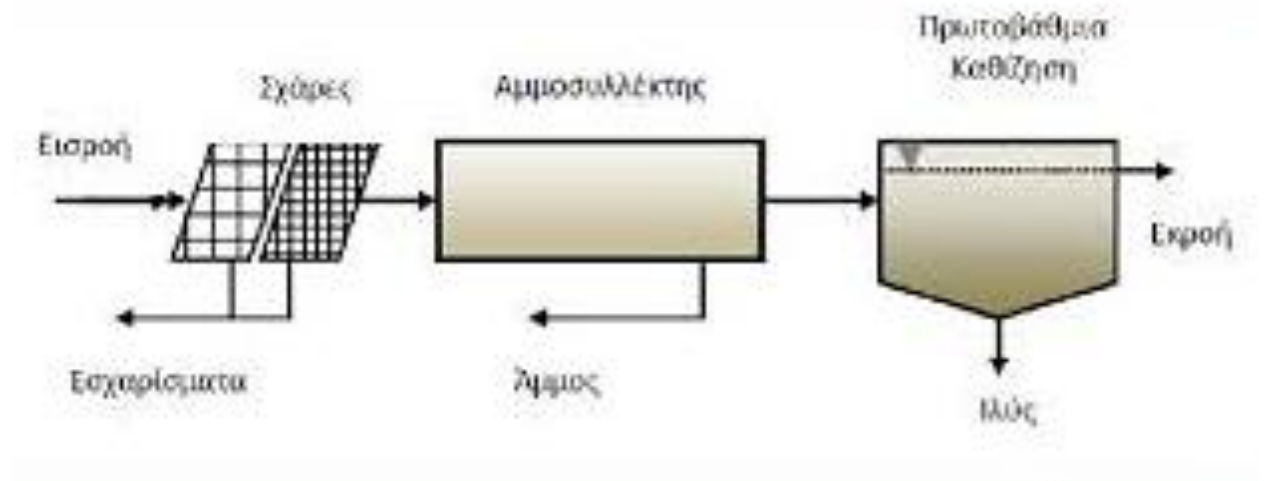
Προεπεξεργασία νερού

Με τον όρο αυτό ονομάζουμε εκείνες τις διεργασίες που εφαρμόζονται για την **προετοιμασία του νερού** πριν την κύρια επεξεργασία καθαρισμού του.

Οι διεργασίες προεπεξεργασίας του πόσιμου νερού επιλέγονται ανάλογα με **την ποιότητα & την πηγή** προέλευσης του ακατέργαστου νερού.

Βασικές διεργασίες προεπεξεργασίας:

- Εσχαρισμός
- Εξάμμωση
- Μικροκοσκίνισμα
- Προχλωρίωση



Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Η κροκίδωση και η συσσωμάτωση είναι από τις πιο σημαντικές διεργασίες επεξεργασίας του νερού για την παραγωγή νερού κατάλληλου για χρήση από τον άνθρωπο.

Στόχος: Η απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών σωματιδίων από το νερό μέσω διεργασιών που απαιτούν συνδυασμό φυσικών και χημικών φαινομένων/τεχνολογιών

Προσφέρει καθαρισμό του νερού με χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος



Δεξαμενή
Κροκίδωσης –
Καθίζησης

Απομάκρυνση σωματιδίων

Απομάκρυνση στερεών σωματιδίων μικρού μεγέθους (< 10 μm)
Πραγματοποιείται η συνένωση μικρών σωματιδίων σε μεγαλύτερα, τα
οποία απομακρύνονται στη συνέχεια από το νερό με καθίζηση ή
επίπλευση ή διήθηση

Τα σωματίδια

- Τα σωματίδια είναι συστατικά της γης ή της ατμόσφαιρας, όπως άργιλοι, ιλύς, προϊόντα γήινης αποσάθρωσης, παθογόνοι μικροοργανισμοί και ίνες αμίαντου, ενώ άλλα παράγονται από χημικές ή βιολογικές διεργασίες στο νερό.
- Παραμένουν αιωρούμενα για μεγάλο χρονικό διάστημα, δεν καθιζάνουν και δεν απομακρύνονται εύκολα με τις συμβατικές φυσικές διεργασίες επεξεργασίας του νερού (καθίζηση-διήθηση).
- Το μέγεθός τους κυμαίνεται από λίγα nm, (πχ. Ιοί), έως μερικές εκατοντάδες μm , (πχ. Ζωοπλαγκτόν).

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Κροκιδωτικά: Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την αποσταθεροποίηση των σωματιδίων:

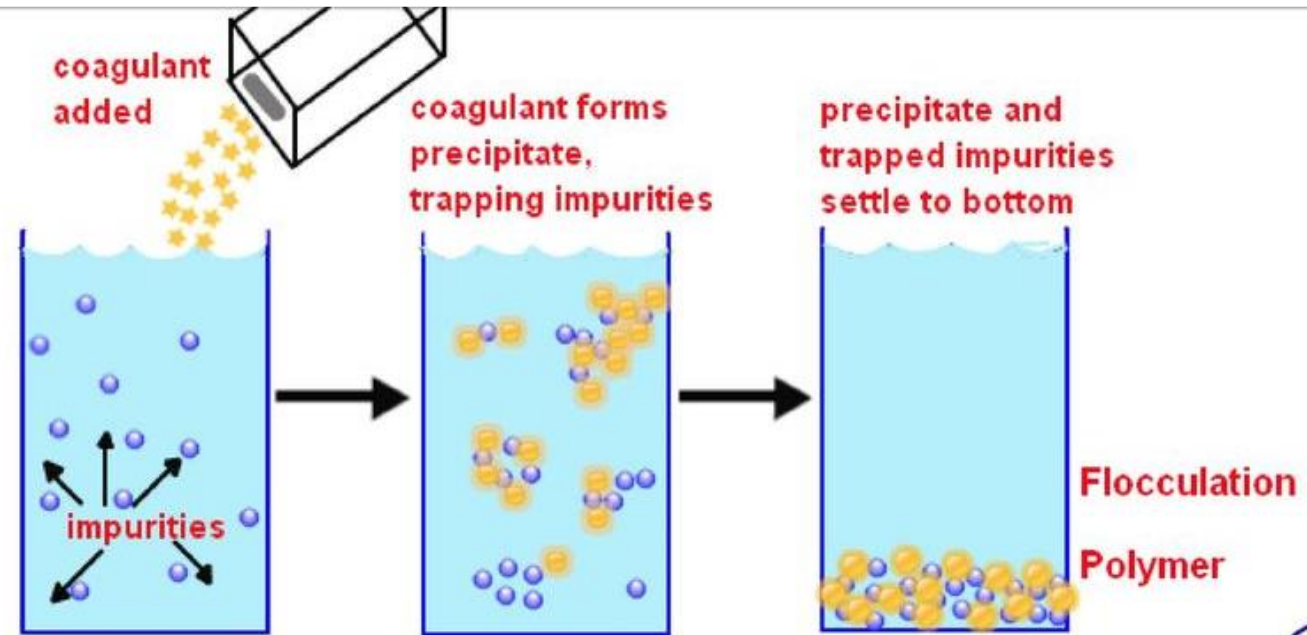
Στα στερεά σωματίδια αναπτύσσονται σταθεροποιητικές δυνάμεις (απωθητικές δυνάμεις) με αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται η συσσωμάτωσή τους. Με την κροκίδωση, μέσω χημικών διεργασιών, πετυχαίνουμε την αποσταθεροποίηση των δυνάμεων αυτών με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ευκολότερα η συσσωμάτωση, δηλαδή ο σχηματισμός μεγαλύτερων αιωρούμενων στερεών σωματιδίων.

Θρόμβωση Σωματιδίων

Προσθήκη
Κροκιδωτικών

Δημιουργία
συσσωμαμάτων

Καθίζηση σωματιδίων



Μηχανισμοί σταθερότητας συστημάτων διασποράς

Κύριος Μηχανισμός: Ηλεκτροστατική απώθηση (απόωση)

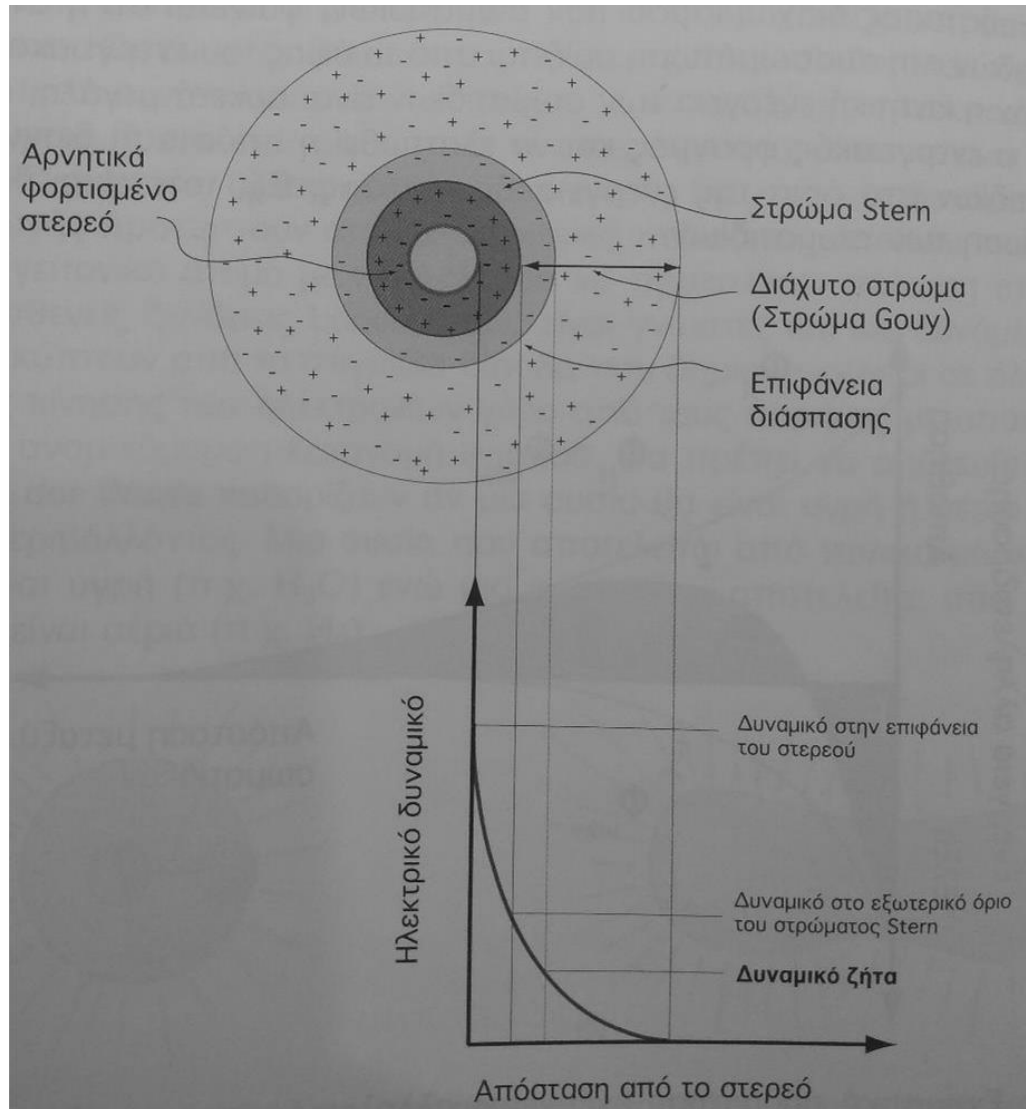
Τα ηλεκτρικά φορτία που συναντώνται στην επιφάνεια των σωματιδίων οφείλονται σε:

- Κρυσταλλικές ατέλειες: Δημιουργία αρνητικών φορτίων στην επιφάνεια των ορυκτών
- Εκλεκτική προσρόφηση ορισμένων ιόντων: Ένα αρνητικά φορτισμένο πολυμερές μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια ενός θετικά φορτισμένου σωματιδίου.
- Ειδικές χημικές αντιδράσεις ιονογόνων ομάδων στην επιφάνεια των σωματιδίων.
- Πολλές άλλες αιτίες

Ηλεκτρική διπλοστοιβάδα:

Ένα διαχεόμενο σύννεφο ιόντων, το οποίο περιβάλλει τα σωματίδια σε ένα διάλυμα και επεκτείνεται έως και 300 nm προς το διάλυμα.

Ηλεκτροστατικές δυνάμεις γύρω από ένα σωματίδιο



- Ηλεκτροστατικά στρώματα και ηλεκτροστατικές δυνάμεις γύρω από ένα σωματίδιο

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Αποσταθεροποίηση σωματιδίων (Κροκίδωση)

Για να μειωθεί ο χρόνος καθίζησης

Πρέπει
να

δημιουργηθούν σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους

Πρέπει
να

δημιουργηθούν συσσωματώματα

Πρέπει
να

αποσταθεροποιηθούν τα σωματίδια

=

ΚΡΟΚΙΔΩΣΗ

Μηχανισμοί

Αποσταθεροποίησης

1. Συμπύεση ηλεκτρικής διπλοστοιβάδας
2. Ηλεκτροστατική έλξη
3. Σχηματισμός εσωτερικών μοριακών γεφυρών
4. Παγίδευση σωματιδίων (ή σάρωση θρόμβων)

Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης (κροκίδωσης)

1. Συμπύεση ηλεκτρικής διπλοστοιβάδας

Προκαλείται με την προσθήκη στο διάλυμα ιόντων αντίθετου φορτίου από το φορτίο των σωματιδίων.

- Με αυτήν την αύξηση ιοντικής ισχύος έχουμε “συμπύεση” της ηλεκτρικής διπλοστοιβάδας προς την επιφάνεια του σωματιδίου άρα,
 - Μείωση πάχους στιβάδας και άρα,
 - Αποσταθεροποίηση (κροκίδωση)

Ο αριθμός των ιόντων (συγκέντρωση) που προκαλεί τη συμπύεση της διπλοστοιβάδας ονομάζεται **Κρίσιμη Συγκέντρωση Κροκίδωσης** (CCC, Critical Coagulation Concentration)

Για τα υδρόφοβα σωματίδια η τιμή CCC είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την 6^η δύναμη του φορτίου του ιόντος (Νόμος Schulze - Hardy).

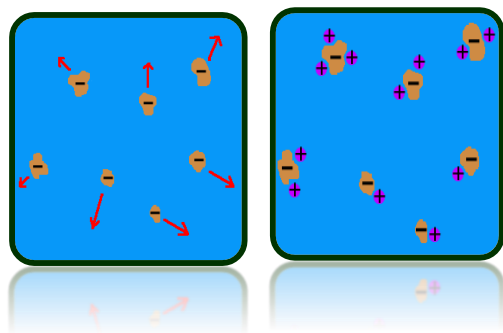
Επομένως οι τιμές CCC για μονοσθενή, δισθενή και τρισθενή ιόντα θα είναι αντίστοιχα (meq/L):

$$1/1^6 : 1/2^6 : 1/3^6$$

Για παράδειγμα, αν 3000 mg/L NaCl προκαλούν ταχεία κροκίδωση ενός συστήματος υδρόφοβων σωματιδίων, τότε τα ίδια αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με 44 mg/L CaCl₂

➔ Κροκίδωση

- ✓ Διεργασία κατά την οποία ένα σταθερό διάλυμα αποσταθεροποιείται.
- ✓ Πραγματοποιείται υπό ταχεία ανάδευση.



Δεξαμενή κροκίδωσης

Χρόνος παραμονής 1-5 min

Συνθήκες ισχυρής ανάμιξης ($>50 \text{ W/m}^3$)

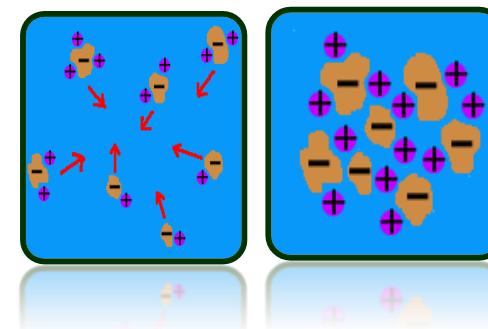
Δεξαμενή συσσωμάτωσης

Χρόνος παραμονής 10-20 min

Συνθήκες ήπιας ανάμιξης ($<30 \text{ W/m}^3$)

➔ Συσσωμάτωση

- ✓ Διεργασία κατά την οποία γίνεται σύγκρουση – συνένωση των συστατικών του αποσταθεροποιημένου διαλύματος ώστε να προκληθεί ο σχηματισμός μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων.
- ✓ Πραγματοποιείται υπό βραδεία ανάδευση.



Άσκηση

Μια δεξαμενή ταχείας ανάμιξης έχει μήκος 1,2 m, πλάτος 1,2 m και βάθος υγρού 1,1 m. Η ισχύς που καταναλώνεται για την ανάμιξη του περιεχομένου της δεξαμενής είναι ίση με 1 hp.

Να υπολογισθεί η βαθμίδα ταχύτητας **G**.

(Η θερμοκρασία του τροφοδοτούμενου νερού είναι ίση με 15 °C με δυναμικό ιξώδες ίσο με 1,14 cp).

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} = \sqrt{\frac{C_D A_p \rho v p^3}{2 \mu V}}$$

Λύση

Στους 15°C το δυναμικό ιξώδες του νερού μ είναι ίσο με 1,14 cp ή $1,14 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

Ο όγκος του νερού στη δεξαμενή είναι: $V = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 1,584 \text{ m}^3$

Η προσδιδόμενη ισχύς είναι $P = 1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$

$$\text{Άρα η βαθμίδα ταχύτητας είναι: } G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} = \sqrt{\frac{746 \text{ W}}{(1,14 \cdot \frac{10^{-3} \text{ Kg}}{\text{m}} \cdot \text{s})(1,584 \text{ m}^3)}} = 643 \text{ s}^{-1}$$

Άσκηση 2

Μια εγκατάσταση καθαρισμού νερού είναι σχεδιασμένη για να επεξεργάζεται $150000 \text{ m}^3/\text{d}$. Η δεξαμενή θρόμβωσης έχει μήκος 30 m, πλάτος 15 m και το βάθος υγρού είναι ίσο με 5 m. Η δεξαμενή θρόμβωσης είναι εξοπλισμένη με περιστρεφόμενα κουπιά τα οποία είναι τοποθετημένα σε τέσσερις οριζόντιους άξονες που περιστρέφονται με 2 rpm. Κάθε άξονας φέρει τέσσερα κουπιά. Κάθε κουπί έχει πλάτος 0,2 m, μήκος 14 m και απέχει 2,0 m από τον άξονα περιστροφής του.

Υποθέτουμε ότι η μέση ταχύτητα του νερού είναι το 30% της ταχύτητας των κουπιών, ότι η θερμοκρασία του νερού είναι 15°C και ότι ο συντελεστής οπισθέλκουσας είναι $C_D = 1,9$. (η πυκνότητα του νερού στους 15°C ($\rho = 999 \text{ kg/m}^3$) και μ το δυναμικό ιξώδες του νερού στους 15°C ($1,14 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$)

Ζητούνται:

1. η διαφορά ταχύτητας μεταξύ των κουπιών και του νερού
2. η τιμή της βαθμίδας ταχύτητας (G)
3. ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή θρόμβωσης (T)

Λύση

1. Η ταχύτητα περιστροφής των κουπιών (στο μέσο του πλάτους της σανίδας που αντιστοιχεί σε κάθε κουπί) είναι:

$$v_{\pi} = \frac{2 \pi r n}{60} = \frac{2 * \pi * 2 * 2}{60} = 0,419 \frac{m}{s}$$

όπου $r = 2$ m η ακτίνα περιστροφής (η απόσταση του κέντρου του άξονα περιστροφής από το μέσο του πλάτους του κουπιού) και $n = 2$ οι περιστροφές κάθε κουπιού per min (= 60 s).

Άρα η διαφορά ταχύτητας μεταξύ των κουπιών και του νερού είναι:

$$v_p = v_{\pi} * 70\% = 0,419 \frac{m}{s} * 0,7 = 0,293 \frac{m}{s}$$

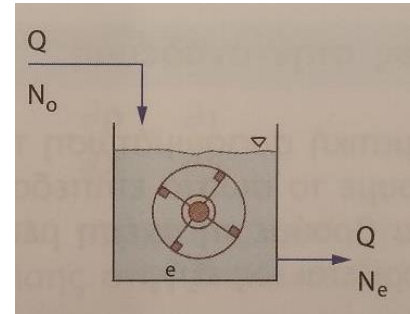
2. Η επιφάνεια των κουπιών θα είναι:

$$A_p = \text{άξονες} * \text{κουπιά ανά άξονα} * \text{διαστάσεις κουπιού} = 4 * 4 * 0,2 \text{ m} * 14 \text{ m} = 44,8 \text{ m}^2$$

Ο όγκος της δεξαμενής θρόμβωσης είναι:

$$V = 30 * 15 * 5 = 2250 \text{ m}^3$$

$$\text{Άρα } G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} = \sqrt{\frac{C_D A_p \rho v_p^3}{2 \mu V}} = \sqrt{\frac{1,9 * 44,8 * 999 * 0,293^3}{2 * 2250 * 1,14 * 10^{-3}}} = 37,7 \text{ s}^{-1}$$



Λύση

3. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή θρόμβωσης είναι ο λόγος του όγκου της δεξαμενής προς την τροφοδοτούμενη παροχή νερού:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{2250 \text{ m}^3}{100000 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,0225 \text{ days} \rightarrow 32,4 \text{ min}$$

Άσκηση

- Υπολογίστε το χρόνο που απαιτείται για **ορθοκινητική συσσωμάτωση** κολλοειδών σωματιδίων σε ποσοστό 50%, μέσα σε δεξαμενή ανάδευσης νερού χωρίς ή με τη χρήση κροκιδωτικού (θειικό αργίλιο).
- Υποθέστε ότι ο αριθμός των κολλοειδών σωματιδίων στο νερό είναι 10000/mL, η κλίση της ταχύτητας **G** είναι 60 s^{-1} και ο **συντελεστής αποδοτικότητας** που αντιπροσωπεύει το ποσοστό των συγκρούσεων μεταξύ των κολλοειδών που καταλήγουν σε συσσωμάτωση είναι $n=1$. Η διάμετρος των κολλοειδών είναι $d_p=10^{-4}\text{cm}$. Μετά την προσθήκη θειικού αργιλίου η διάμετρος των κολλοειδών είναι $d_p=0,5*10^{-2}\text{cm}$.

Λύση

- Η ορθοκινητική συσσωμάτωση κολλοειδών περιγράφεται από τη σχέση:

$$\bullet \frac{dN_T}{dt} = - \frac{4 G \alpha \varphi N_T}{\pi}$$

$$\bullet \varphi = \frac{\pi d_p^3 N_0}{6} = \frac{\pi (10^{-4} \text{ cm})^3}{6} * \left(\frac{10000}{\text{mL}} \right) = 5,2 * 10^{-9}$$

N_T : η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων (σωματίδια / m^3)

φ : ο όγκος των αρχικών κολλοειδών σωματιδίων ($N=N_0$) ανά μονάδα στοιχειώδους όγκου του υγρού

α : ο συντελεστής αποτελεσματικότητας των συγκρούσεων και αντιπροσωπεύει το κλάσμα των επαφών (συγκρούσεων) μεταξύ κολλοειδών σωματιδίων που κατέληξαν σε συσσωμάτωση

G : η κλίση (**βαθμίδα ταχύτητας**) της ταχύτητας μεταξύ δύο διαφορετικών στοιχειωδών όγκων υγρού (1/s)

- Ολοκληρώνουμε τη διαφορική εξίσωση

$$\bullet \ln\left[\frac{N_0}{N_T}\right] = - \frac{4 G \alpha \varphi}{\pi} t$$

- Και λύνουμε ως προς t

$$\bullet t = - \frac{\pi}{4 G \alpha \varphi} \ln\left[\frac{N_T}{N_0}\right] \Leftrightarrow t_{1/2} = - \frac{\pi}{4 G \alpha \varphi} \ln\left[\frac{0,5 N_0}{N_0}\right] = 1744860,6 \text{ s} = 20,2 \text{ days}$$

Λύση (συνέχεια)

- Για την περίπτωση ορθοκινητικής συσσωμάτωσης των κολλοειδών σωματιδίων με προσθήκη κροκιδωτικού ισχύουν τα εξής:

- $$\varphi = \frac{\pi d_p^3 N_0}{6} = \frac{\pi (0,5 * 10^{-2} \text{ cm})^3}{6} * \left(\frac{10000}{\text{mL}} \right) = 6,5 * 10^{-4}$$

- Αντικαθιστώ στην:

- $$t = - \frac{\pi}{4 G \alpha \varphi} \ln \left[\frac{N_T}{N_0} \right]$$
 και υπολογίζω το $t_{1/2}$

Διάλεξη 5

Γενικά περί Ιζηματοποίησης

Ιζηματοποίηση είναι η διεργασία σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων (αδιαλυτοποίηση) κάποιων συστατικών του νερού, των οποίων συνήθως επιδιώκεται στη συνέχεια η απομάκρυνσή τους.

Συνδυάζεται κατά σειρά με τις εξής διεργασίες :

- Κροκίδωση → Συσσωμάτωση → Καθίζηση ή επίπλευση (όταν ίζημα > 50 mg/L)
- Διήθηση (όταν ίζημα < 50 mg/L)

Το μέγεθος της διαλυτότητας εξαρτάται από:

- 1. Θερμοκρασία**
- 2. pH**
- 3. Επίδραση κοινού ιόντος:**
- 4. Επίδραση μη κοινού ιόντος:**
- 5. Οξειδωτική βαθμίδα των στοιχείων**



**Μονάδα επεξεργασίας νερού:
Ιζηματοποίηση, (www.123rf.com)**

Χημεία Ιζηματοποίησης

Η χημεία ιζηματοποίησης περιγράφει χημικές ισορροπίες ετερογενών συστημάτων που προέρχονται από δυσδιάλυτους ηλεκτρολύτες και τα αντίστοιχα ιόντα σε κορεσμένα διαλύματά τους.

Ο νόμος της χημικής ισορροπίας:

αρχή του νόμου του γινομένου διαλυτότητας και η σταθερά ισορροπίας είναι η K_{sp} .

Για δυσδιάλυτη ένωση $M_m A_n$ που βρίσκεται σε ισορροπία σε διάλυμα με ιόντα $M^{n+} + A^{m-}$ η σταθερά του γινομένου διαλυτότητας δίνεται από τη σχέση (Αλεξιάδης, 1981):



Δυσδιάλυτος
ηλεκτρολύτης

Ιόντα

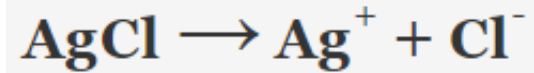
$$K_{sp} = [M^{n+}]^m [A^{m-}]^n,$$

όπου $[M^{n+}]$ και $[A^{m-}]$ μοριακές συγκεντρώσεις

Η εξίσωση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διαλυτότητας δυσδιάλυτων ηλεκτρολυτών σε ισορροπία με την αδιάλυτη μορφή τους.

Πως βγαίνει η προηγούμενη σχέση

- Δυσδιάλυτος χλωριούχος άργυρος αναμιχθεί με νερό:



- Στην επιφάνεια του στερεού ιζήματος τα ιόντα Ag^+ και Cl^- βρίσκονται σε μια συνεχή μετακίνηση αλλά και μια χημική ισορροπία.
- Η χημική αυτή ισορροπία μπορεί να περιγραφεί με τον νόμο δράσης των μαζών:
 - $K_{eq} = \frac{[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl}_{(s)}]}$
 - Εισάγουμε μία άλλη σταθερά $K_{sp} = K_{eq}[\text{AgCl}_{(s)}] \Rightarrow K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$
 - K_{sp} : Σταθερά γινομένου διαλυτότητας (solubility product)
- Εξαρτάται από την T
- Είναι γνωστές για διάφορες ιοντικές ενώσεις



$$K_{sp} = [\text{M}^{n+}]^m [\text{A}^{m-}]^n$$

Άσκηση 1:

Να υπολογισθεί η διαλυτότητα του CaCO_3 στους 25°C καθώς και οι συγκεντρώσεις ισορροπίας $[\text{Ca}^{2+}]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$.

Λύση:

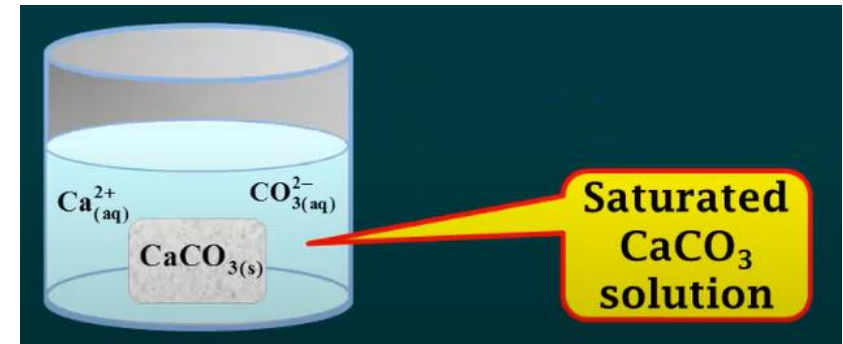
Εξίσωση σε ισορροπία: $\text{CaCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + \text{CO}_3^{2-}_{(aq)}$,

Η μεταβλητή s χρησιμοποιείται εδώ για να μας δείξει την μοριακή διαλυτότητα του $\text{CaCO}_3 \rightarrow$ κάθε ένα μόριο CaCO_3 μας δίνει ένα Ca^{2+} ιόν και ένα CO_3^{2-} ιόν. Οπότε οι συγκεντρώσεις ισορροπίας για κάθε ιόν είναι ίσες με $s \rightarrow$ άρα $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}] = s$

Από πίνακες γνωρίζουμε για το CaCO_3 : $K_{sp} = 4,5 \cdot 10^{-9} = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = s^2 \Rightarrow S = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ M}$

Άρα οι ζητούμενες διαλυτότητες είναι:

- $[\text{Ca}^{2+}] = (6,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}) \times 40 \text{ g/mol} \times 1000 \text{ mg/g} = 2,68 \text{ mg/L}$
- $[\text{CO}_3^{2-}] = (6,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}) \times 60 \text{ g/mol} \times 1000 \text{ mg/g} = 4,02 \text{ mg/L}$
- Αντίστοιχα $\rightarrow [\text{CaCO}_3] = 6,7 \text{ mg/L}$
- Έτσι, η μέγιστη ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου που μπορεί να διαλυθεί σε 1 λίτρο νερού στους 25°C είναι $6,7 \times 10^{-3}$ γραμμάρια.



$$K_{sp} = [M^{n+}]^m [A^{m-}]^n,$$

Εξάρτηση της διαλυτότητας από το pH

Άσκηση 3:

Να υπολογισθεί η διαλυτότητα του i) Fe^{2+} και του ii) Fe^{3+} σε $\text{pH} = 7$

Λύση:

$$\text{pH} = 7 \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-7}$$

Αφού $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$, θα ισχύει: $[\text{OH}^-] = 10^{-7}$

Έτσι θα έχουμε:

$$\text{i. } K_{\text{sp}} [\text{Fe}(\text{OH})_2] = [\text{Fe}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = [\text{Fe}^{2+}][10^{-7}]^2 = 1,8 \cdot 10^{-15} \Rightarrow [\text{Fe}^{2+}] = 0,18 \text{ M ή } 10,1 \text{ g/L}$$

$$\text{ii. } K_{\text{sp}} = [\text{Fe}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = [\text{Fe}^{3+}][10^{-7}]^3 = 6 \cdot 10^{-38} \Rightarrow [\text{Fe}^{3+}] = 6 \cdot 10^{-17} \text{ M ή } 3,36 \cdot 10^{-9} \text{ } \mu\text{g/L}$$



$$K_{\text{sp}} = [\text{M}^{n+}]^m [\text{A}^{m-}]^n,$$

Εξάρτηση της διαλυτότητας από το pH

Άσκηση 4:

Να υπολογισθεί η διαλυτότητα του Fe^{2+} σε $\text{pH} = 10$

Λύση:

$$\text{pH} = 10 \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-10}$$

Αφού $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$, θα ισχύει: $[\text{OH}^-] = 10^{-4}$

Έτσι θα έχουμε:

$$= [\text{Fe}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = [\text{Fe}^{2+}][10^{-7}]^2 \Rightarrow$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ M ή } 0,01 \text{ mg/L}$$



$$K_{\text{sp}} = [\text{M}^{n+}]^m [\text{A}^{m-}]^n,$$

Συμπέρασμα:

Με την αύξηση του pH παρουσιάζεται μείωση της διαλυτότητας s των υδροξειδίων.

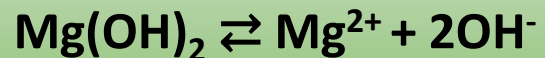
Απομάκρυνση ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}) κ' όξινων ανθρακικών (HCO_3^-)

- ✓ Η ελάττωση της σκληρότητας και των όξινων ανθρακικών του νερού για **περιορισμένες απαιτήσεις** επιτυγχάνεται συνήθως με ιοντοεναλλακτικές ρητίνες ή αντίστροφη όσμωση.
- ✓ Για μεγάλες όμως παροχές είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστική και η **απομάκρυνση** των ιόντων αυτών με **χημική ιζηματοποίηση**.
- ✓ Το Μαγνήσιο απομακρύνεται με τη μορφή **υδροξειδίου του μαγνησίου ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)**, ενώ το ασβέστιο και τα (HCO_3^-) με μορφή **ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3)**.

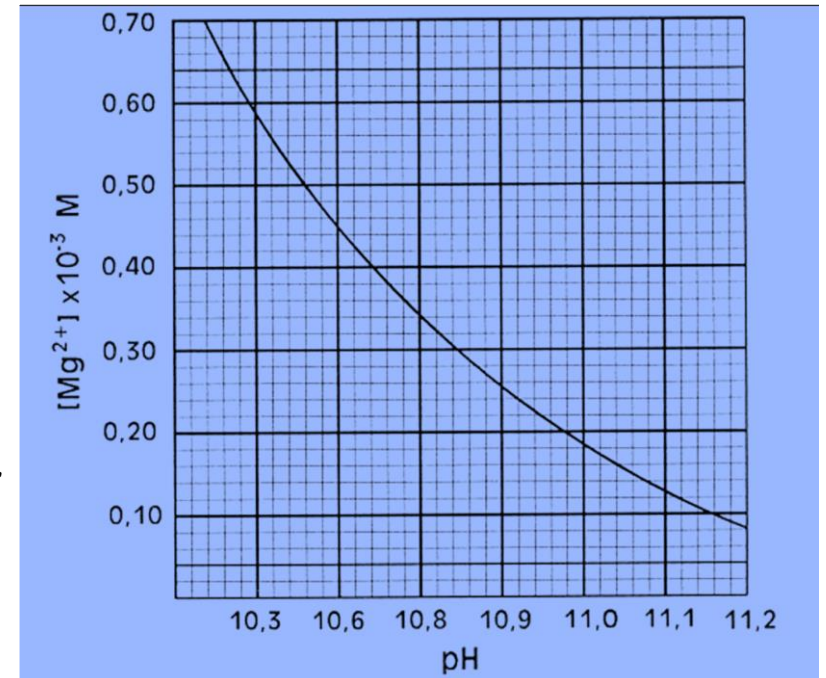
Ιζηματοποίηση Mg^{2+}

Η ελάττωση της συγκέντρωσης μαγνησίου επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του pH.

Η διαλυτότητα του $\text{Mg}(\text{OH})_2$ και του CaCO_3 ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.



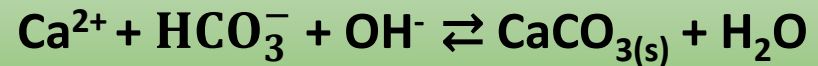
Μεταβολή της συγκέντρωσης του μαγνησίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σε σχέση με το pH (Krisher, 1978)



Απομάκρυνση ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}) κ' όξινων ανθρακικών (HCO_3^-)

Ιζηματοποίηση Ca^{2+} και HCO_3^-

Η καταβύθιση του ασβεστίου σε μορφή ανθρακικού ασβεστίου που περιγράφει και την καταβύθιση των όξινων ανθρακικών δίνεται από την χημική εξίσωση:



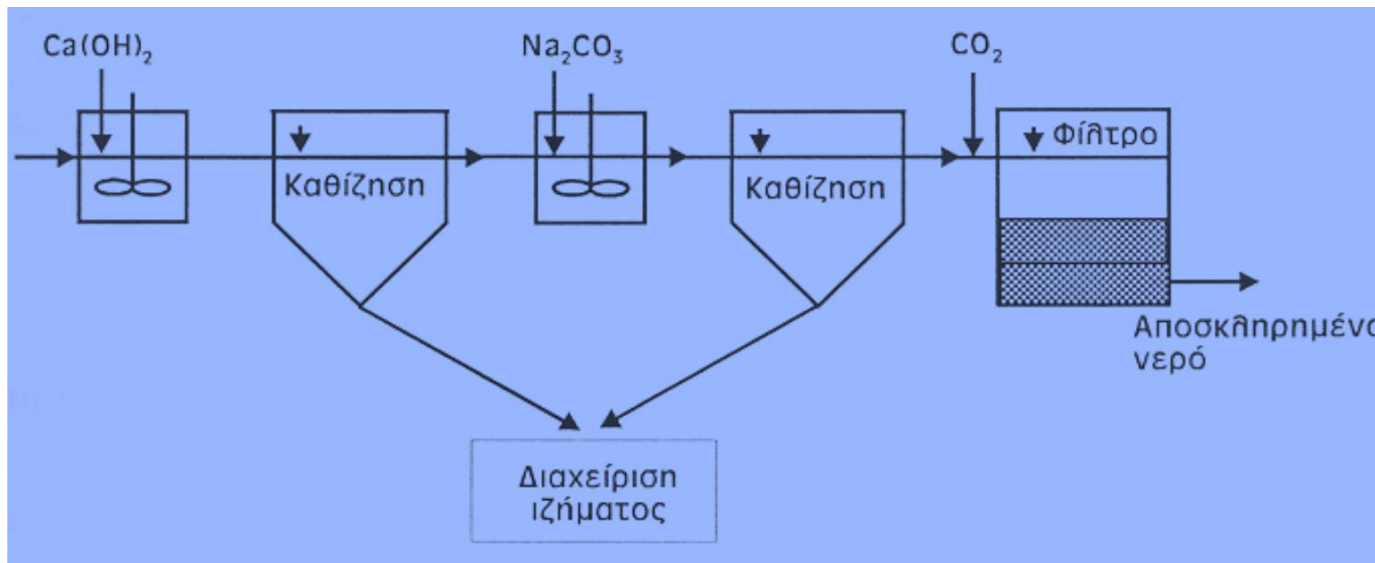
Το ασβέστιο και τα ανθρακικά που παραμένουν στο διάλυμα εξαρτώνται από την θερμοκρασία, το pH και την ιοντική ισχύ του διαλύματος.

Εγκατάσταση αποσκλήρυνσης νερού με ιζηματοποίηση δύο βαθμίδων

Στο σχήμα βλέπουμε ένα τυπικό διάγραμμα ροής εγκατάστασης αποσκλήρυνσης νερού με ιζηματοποίηση δύο βαθμίδων.

Ο σκοπός των δύο βαθμίδων και η ροή αναλύεται ως εξής:

- ✓ Στην 1^η βαθμίδα το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ χρησιμοποιείται για την αύξηση της τιμής του pH στο $10,6 (\pm 0,3)$ όπου ιζηματοποιείται ένα ποσοστό του Ca^{2+} με τα HCO_3^- του νερού και το Mg^{2+} ως $\text{Mg}(\text{OH})$.
- ✓ Στη 2^η βαθμίδα καταβυθίζεται το ποσοστό του Ca^{2+} που ενδεχομένως απομένει με την προσθήκη Na_2CO_3 .
- ✓ Ακολουθεί διήθηση σε αμμόφιλτρο για την πλήρη απομάκρυνση των σχηματιζόμενων ιζημάτων



Τυπικό διάγραμμα ροής μονάδας δύο βαθμίδων αποσκλήρυνσης νερού με χημική ιζηματοποίηση.

Μήτρακας Μ.

Διάλεξη 6

Καθίζηση και επίπλευση

Η καθίζηση και η επίπλευση είναι δυο φυσικοχημικές μέθοδοι διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό, οι οποίες στηρίζονται στη **βαρύτητα**.

- Τα σωματίδια με πυκνότητα $>H_2O$ τείνουν να καθιζάνουν, ενώ τα σωματίδια με πυκνότητα $<H_2O$ τείνουν να επιπλεύσουν.
- Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι η καθίζηση, καθώς η πυκνότητα των σωματιδίων είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή του νερού
- Η πυκνότητα των σωματιδίων είναι δυνατόν να γίνει μικρότερη του νερού με την προσκόλληση σε αυτά **φουσαλίδων αέρα**.

Η κατακρήμνιση των σωματιδίων είναι μια φυσική εξέλιξη, όπου από το **μέγεθος τους εξαρτάται ο χρόνος καθίζησης**.

Τα σωματίδια ακολουθούν τη **κίνηση Brown** (τυχαία κίνηση υπό την επίδραση της βαρύτητας)

Συνήθως η καθίζηση και η επίπλευση αποτελούν το πρώτο στάδιο κύριας απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό, ενώ για την πλήρη απομάκρυνσή τους ακολουθεί η **διήθηση**.

Θεωρία της καθίζησης

- Η διεργασία της καθίζησης είναι δύσκολο να περιγραφεί θεωρητικά γιατί τα σωματίδια έχουν ακανόνιστο σχήμα και ανομοιόμορφη πυκνότητα και μέγεθος.
- Για την καλύτερη μελέτη της καθίζησης των αιωρούμενων σωματιδίων η καθίζηση ταξινομείται σε ιδανικά συστήματα που εξετάζονται ώστε να ληφθούν χρήσιμες κατευθύνσεις για την κατανόηση της συμπεριφοράς περισσότερο σύνθετων καταστάσεων και χωρίζονται σε **4 κατηγορίες** (τύπους):

Κατηγορία 1: Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε αιώρημα **μικρής συγκέντρωσης**.

Π.χ. η καθίζηση της άμμου, όπου η **συσσωμάτωση μεταξύ των σωματιδίων είναι σχεδόν ανύπαρκτη**

Κατηγορία 2: Αιωρούμενα σωματίδια σε **μικρή συγκέντρωση** τα οποία **συσσωματώνονται προς μεγαλύτερου μεγέθους καθώς καθιζάνουν**.

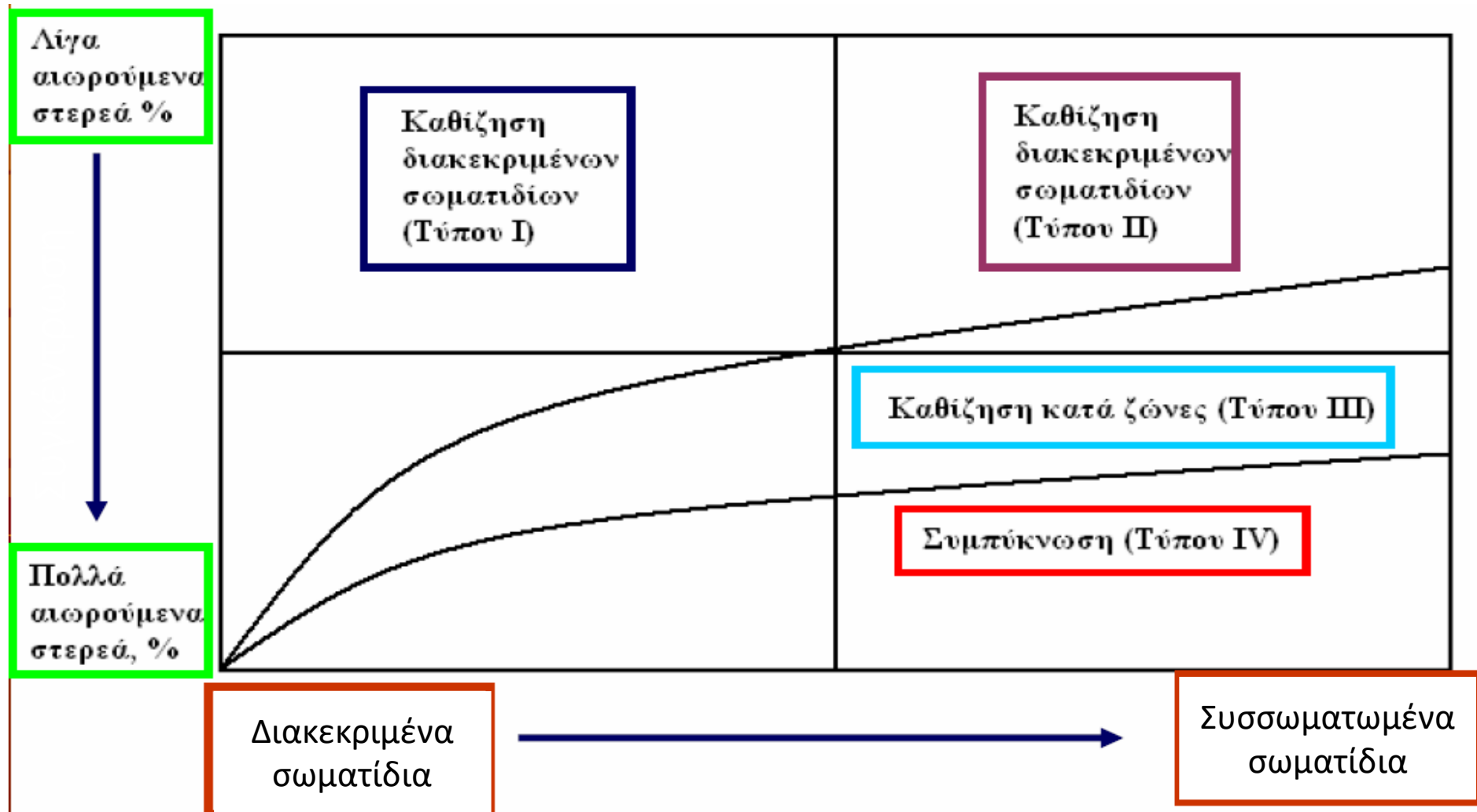
Π.χ. η καθίζηση αραιής διασποράς μετά από θρόμβωση με χημικές ενώσεις.

Κατηγορία 3: Είναι η **παρεμποδιζόμενη καθίζηση** ή καθίζηση σε ζώνες.

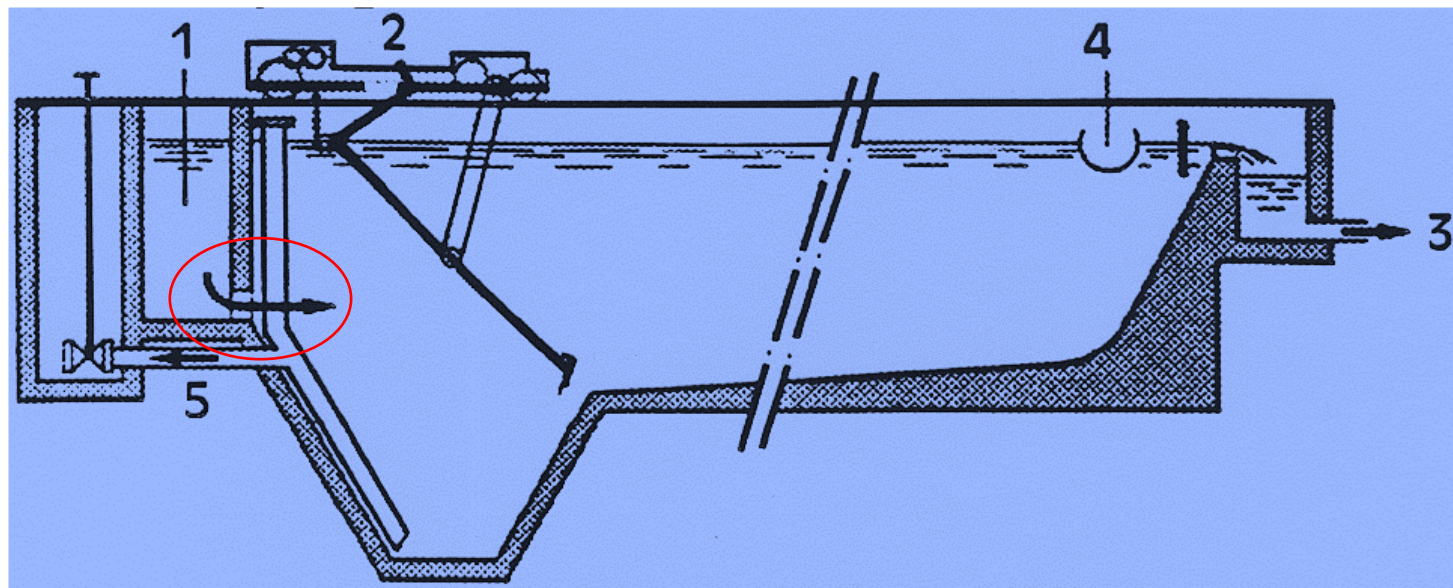
Παρατηρείται σε **υψηλές συγκεντρώσεις** αιωρούμενων στερεών τα οποία καθιζάνοντας **σχηματίζουν ζώνες (διαφορετικής συγκέντρωσης)** που εκτείνονται σε όλο το κατερχόμενο μέτωπο καθίζησης. πχ. καθίζηση βιολογικής λάσπης.

Κατηγορία 4: Τα **χαμηλά στρώματα** (ζώνες) της προηγούμενης κατηγορίας αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία καθίζησης λόγω της **υψηλής πυκνότητας** που παρουσιάζουν. πχ. **πύκνωση λάσπης**.

Συσχετισμός μεταξύ τύπων καθίζησης, συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων και βαθμού συσσωμάτωσης



Παραλληλόγραμμη δεξαμενή καθίζησης με ξέστρο



Παραλληλόγραμμη δεξαμενή καθίζησης με ξέστρο.

- 1) Φρεάτιο εισόδου,
- 2) Γέφυρα ξέστρου,
- 3) Επεξεργασμένο νερό,
- 4) Συλλέκτης επιπλεόντων,
- 5) Εξαγωγή λάσπης.

Μ. Μήτρακας

Το νερό συνήθως δεν εισέρχεται από την επιφάνεια της δεξαμενής άρα στην πραγματικότητα απαιτείται λιγότερος υδραυλικός χρόνος παραμονής t για την κάθοδο ενός σωματιδίου στον πυθμένα.

Οι δεξαμενές καθίζησης αυτού του είδους συνήθως πληρούν τις εξής απαιτήσεις:

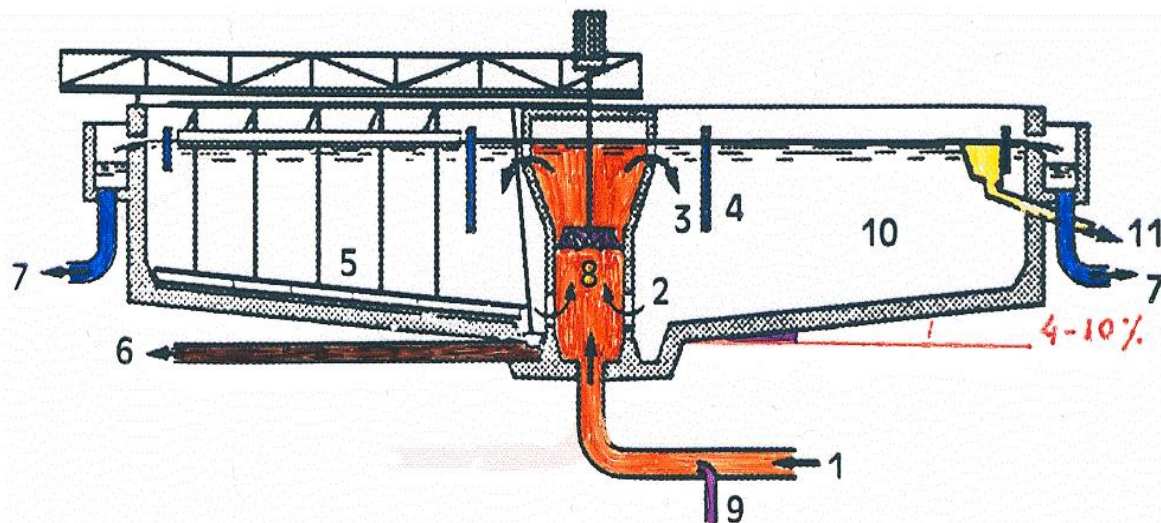
Παράμετρος σχεδιασμού	Περιοχή τιμών
Επιφανειακή φόρτιση (οριακή ταχύτητα) $V_E (= Q/A = Q/W*L)$	0,8 - 2,5 (m/h)
Βάθος νερού	3 - 5 (m)
Υδραυλικός χρόνος παραμονής	1,5 - 3 (h)

Είδη δεξαμενών καθίζησης - Κυκλικές

Επιλέγονται κυρίως λόγω:

- Χαμηλού κόστους κατασκευής ανά μονάδα επιφάνειας
- Απλής κατασκευής
- Λειτουργικότητα περιστροφικού ξέστρου απομάκρυνσης της λάσπης
- **Υψηλές αποδόσεις** διαχωρισμού και συγκράτησης των σωματιδίων διασποράς

Σχετικά χαμηλή ανοχή σε μεγάλες υδραυλικές φορτίσεις.



Κυκλική δεξαμενή καθίζησης με ανακύκλωση λάσπης και θρόμβωση.

1. Είσοδος νερού, 2. Εισαγωγή λάσπης, 3. Έξοδος θρόμβων, 4. Κατανομέας ροής, 5. Ξέστρο λάσπης, 6. Εξαγωγή λάσπης, 7. Επεξεργασμένο νερό, 8. Αναμικτήρας, 9. Εισαγωγή χημικών, 10. Περιοχή καθίζησης, 11. Απομάκρυνση επιπλέοντων. Μ. Μήτρακας, 2001

Είδη δεξαμενών καθίζησης – Με κεκλιμένες επιφάνειες

Η καθίζηση σωματιδίων μιας διασποράς μπορεί να επιταχυνθεί και με τη μείωση της διαδρομής καθίζησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή ρηχών δεξαμενών καθίζησης. (απαραίτητη η ύπαρξη μηχανισμού απομάκρυνσης της λάσπης).

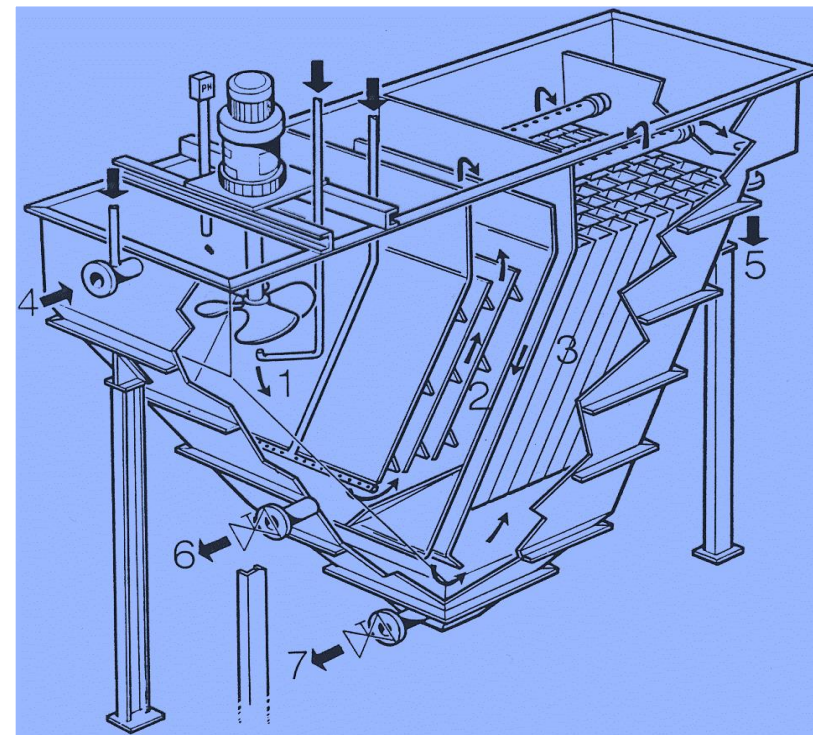
- Κλίση πλακών 50 - 60°
- Απόσταση πλακών ~ 5 cm
- Μήκος πλακών 1 – 2 cm
- Βάθος δεξαμενής 2,5 – 3 m
- Επιφανειακή φόρτιση 2–3 m³/m²h

Ή με τον διαχωρισμό του χώρου καθίζησης σε μικρότερα τμήματα με τη χρήση **κεκλιμένων επιφανειών**.

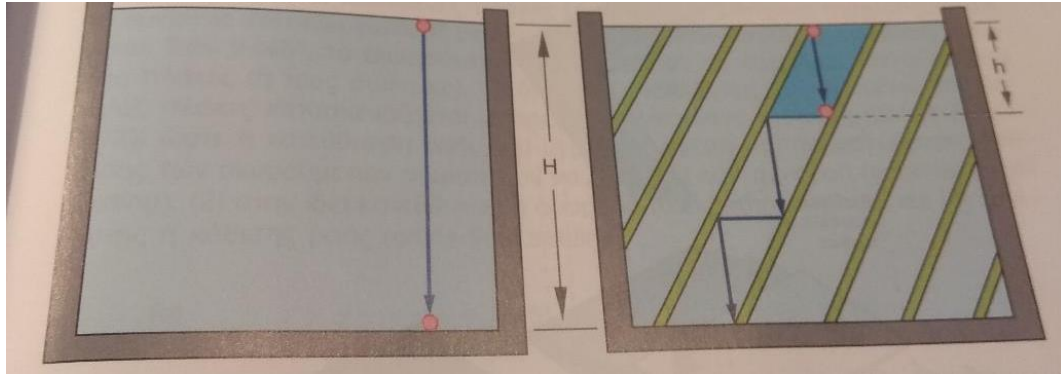
Αυτές έχουν το πλεονέκτημα της **διολίσθησης** ταυτόχρονα της σχηματιζόμενης λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής.

Απαίτηση ειδικού εξοπλισμού και δυσκολία καθαρισμού.

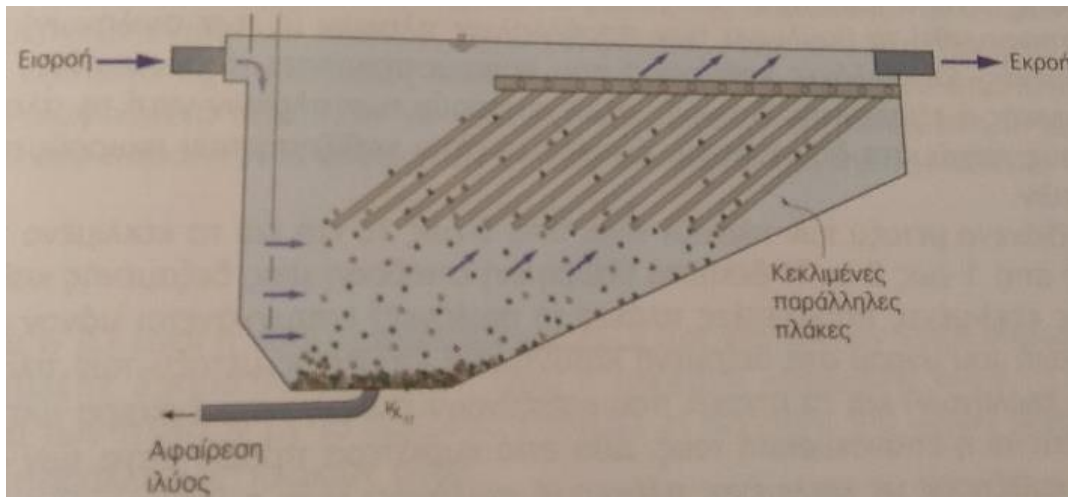
1. **Ανάμιξη**
 2. **Συσσωμάτωση**
 3. **Ζώνη**
 4. **Είσοδος νερού**
 5. **Έξοδος επεξεργασμένου νερού**
 6. **Αποχέτευση**
- Μ. Μήτρακας, 2001*



Είδη δεξαμενών καθίζησης – Με κεκλιμένες επιφάνειες



Ένα αιωρούμενο σωματίδιο καθιζάνει διανύοντας πολύ μικρότερη απόσταση από ότι σε μια δεξαμενή καθίζησης με συμβατική σχεδίαση ($H > h$)



- Επιτάχυνση της διεργασίας της καθίζησης
- Μέσα σε συμβατικές ορθογώνιες ή κυκλικές δεξαμενές καθίζησης
- Βασίζονται στη θεωρία ότι η διεργασία καθίζησης εξαρτάται από τη διαθέσιμη επιφάνεια καθίζησης και όχι τόσο από το χρόνο παραμονής του νερού.

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Άσκηση

- Να βρεθεί το **ελάχιστο μήκος L** μιας ορθογώνιας δεξαμενής καθίζησης με βάθος $H=3\text{m}$ και πλάτος $W=5,5\text{m}$ στην οποία αιωρούμενα στο νερό σφαιρικά σωματίδια με διάμετρο $d_p=35\ \mu\text{m}$ και πυκνότητα $\rho_p=2600\ \text{kg/m}^3$ αφαιρούνται σε ποσοστό 100%. Θεωρείστε ότι το δυναμικό ιξώδες του νερού είναι $\mu_w=10^{-3}\ \text{kg/m s}$, η πυκνότητα του νερού $998\ \text{kg/m}^3$ και η ογκομετρική παροχή του νερού $Q=0,1\ \text{m}^3/\text{s}$.
- Η οριζόντια ταχύτητα του νερού μέσα στην δεξαμενή είναι ομοιόμορφη και παράλληλη στον πυθμένα της δεξαμενής.

Λύση Άσκησης

- Θεωρούμε ότι η σχέση του *Stokes* ισχύει ($Re < 1$) και υπολογίζουμε την τιμή της **ταχύτητας καθίζησης**:

$$V_{\kappa} = \left[\frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu_w} \right] = 0.001m/s$$

- Εξετάζουμε αν η αρχική παραδοχή ($Re < 1$) είναι σωστή:

$$Re = \frac{V_{\kappa}\rho_w d_p}{\mu_w} = \frac{V_{\kappa} d_p}{\mu_w / \rho_w} = 0,035 < 1$$

- Το **μήκος της δεξαμενής** βρίσκεται από τον ορισμό της **οριακής ταχύτητας**:
- $V_{op} = \text{παροχή (Q)} / \text{Εμβαδόν ελεύθερης επιφάνειας υγρού (W*L)}$
- Για ελάχιστο μήκος: $V_{\kappa} = V_{op} \Leftrightarrow \frac{Q}{A_s} = V_{op} \Leftrightarrow \frac{0,1(m^3/s)}{5,5m * L} = 0,001m/s \Leftrightarrow L = 18,2m$

Άσκηση

- Νερό εισέρχεται σε δεξαμενή καθίζησης με βάθος $H=4\text{m}$, μήκος $L=30\text{m}$ και πλάτος $W=10\text{m}$. Το νερό περιέχει κόκκους άμμου με διάμετρο $12\ \mu\text{m}$ και πυκνότητα $2600\ \text{kg/m}^3$ στους 20°C . Η ογκομετρική παροχή του νερού στη δεξαμενή είναι $Q=2 \cdot 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$.
- Να υπολογιστεί ο **δείκτης αποδοτικότητας** καθίζησης.

Λύση Άσκησης

- Θεωρούμε ότι η σχέση του *Stokes* ισχύει ($Re < 1$) και υπολογίζουμε την τιμή της **ταχύτητας καθίζησης**:

$$V_{\kappa} = \left[\frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu_w} \right] = 1,26 * 10^{-4} m/s$$

- Εξετάζουμε αν η αρχική παραδοχή ($Re < 1$) είναι σωστή:

$$Re = \frac{V_{\kappa}\rho_w d_p}{\mu_w} = \frac{V_{\kappa} d_p}{\mu_w / \rho_w} = 0,0015 < 1$$

- Η **οριακή ταχύτητα** υπολογίζεται ως εξής:
- $V_{op} = \text{παροχή (Q)} / \text{Εμβαδόν ελεύθερης επιφάνειας υγρού (W*L)}$

$$V_{op} = \frac{Q}{A_s} \Leftrightarrow V_{op} = \frac{Q}{WL} = \frac{2 * 10^4 m^3 / d)(d / 86400s)}{10m * 30m} = 7,72 * 10^{-4} m/s$$

Λύση Άσκησης

- Ο δείκτης αποδοτικότητας καθίζησης βρίσκεται από το λόγο:

$$n_s = \frac{V_\kappa}{V_{op}} \quad V_\kappa = \left[\frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu_w} \right] = 1,26 * 10^{-4} m/s \quad V_{op} = 7,72 * 10^{-4} m/s$$

$$n_s = 0,16$$

- Επομένως 16% των κόκκων άμμου αφαιρούνται στη ζώνη ιλύος στον πυθμένα της δεξαμενής

Άσκηση

- Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης σε μια μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων είναι κυκλική και δέχεται λύματα με παροχή $6000 \text{ m}^3/\text{d}$. Να βρεθεί η **διάμετρος της δεξαμενής** εάν η κρίσιμη ή επιφανειακή ταχύτητα υπερχείλισης είναι $v_{op}=40 \text{ m/d}$.

Λύση Άσκησης

- Το εμβαδόν της κυκλικής δεξαμενής υπολογίζεται από:
- Εμβαδόν ελεύθερης επιφάνειας υγρού = $Q/V_{op} = 6000(m^3/d) / 40(m/d) = 150 m^2$
- Επομένως η διάμετρος της δεξαμενής είναι:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \Leftrightarrow d = 13,8m$$

Διάλεξη 7

Διήθηση

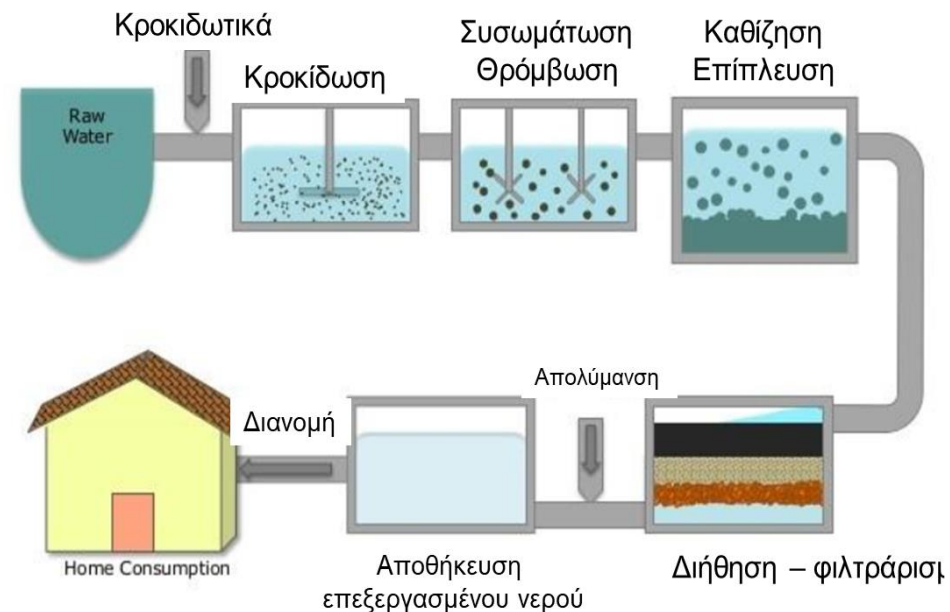
Η διεργασία απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό με συγκράτηση στην επιφάνεια ή στη μάζα του διηθητικού μέσου.

- Κατά τη διήθηση τα σωματίδια διέρχονται μέσα από ένα **μέσο διήθησης** και απομακρύνονται
 - είτε με συσσώρευση στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου,
 - είτε με συγκράτηση στη μάζα του.
- Σε **συνδυασμό** με τις άλλες διεργασίες νερού είναι δυνατόν να οδηγήσει στην απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων όλων των ειδών και μεγεθών.
- Αποτελεί το **τελικό στάδιο** της συνολικής διεργασίας καθαρισμού του νερού **πριν την απολύμανση**

Η χρήση της περιλαμβάνει τους εξής συνδυασμούς διεργασιών, ανάλογα με την κατάσταση των αιωρούμενων σωματιδίων:

- α) (Συγκέντρωση > 50 mg/L): Καθίζηση → Διήθηση → Απολύμανση
- β) (Συγκέντρωση < 50 mg/L): Θρόμβωση → Διήθηση → Απολύμανση
- γ) (Ευμεγέθη σωματίδια): Διήθηση → Απολύμανση

Διαδικασία επεξεργασίας νερού

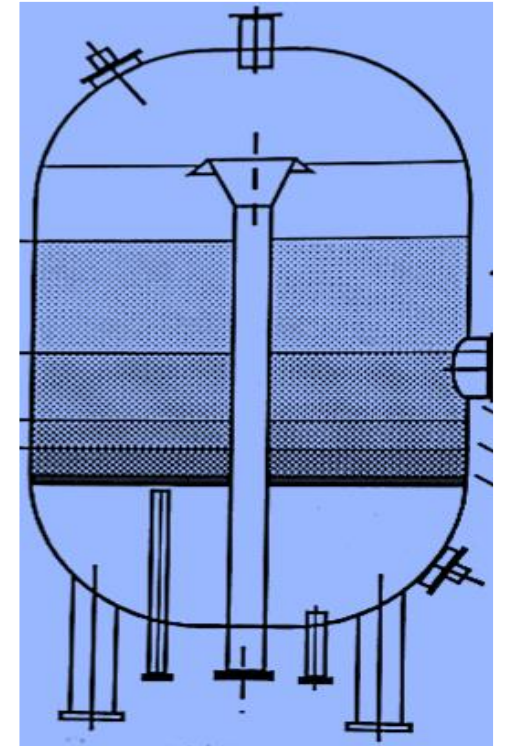


Άλλες ονομασίες εκτός από διήθηση: διύλιση ή φιλτράρισμα

Διήθηση Χώρου

Είναι η **σημαντικότερη μέθοδος** που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού με τη χρήση στρωμάτων διηθητικού μέσου **αρκετού ύψους**.

- Τα σωματίδια ρέουν διαμέσου της πορώδους κλίνης η οποία **τα συγκρατεί** στη μάζα της.
- Με τη διαδικασία της **αντίστροφης πλύσης** γίνεται απόρριψη των συγκρατούμενων σωματιδίων και έτσι **καθαρίζεται** η κλίνη.
- Η χρονική διάρκεια μεταξύ των πλύσεων ονομάζεται **κύκλος διήθησης**



Στη διήθηση χώρου τα αιωρούμενα σωματίδια ρέουν διαμέσου πορώδους κλίνης, η οποία τα συγκρατεί με τους εξής μηχανισμούς:

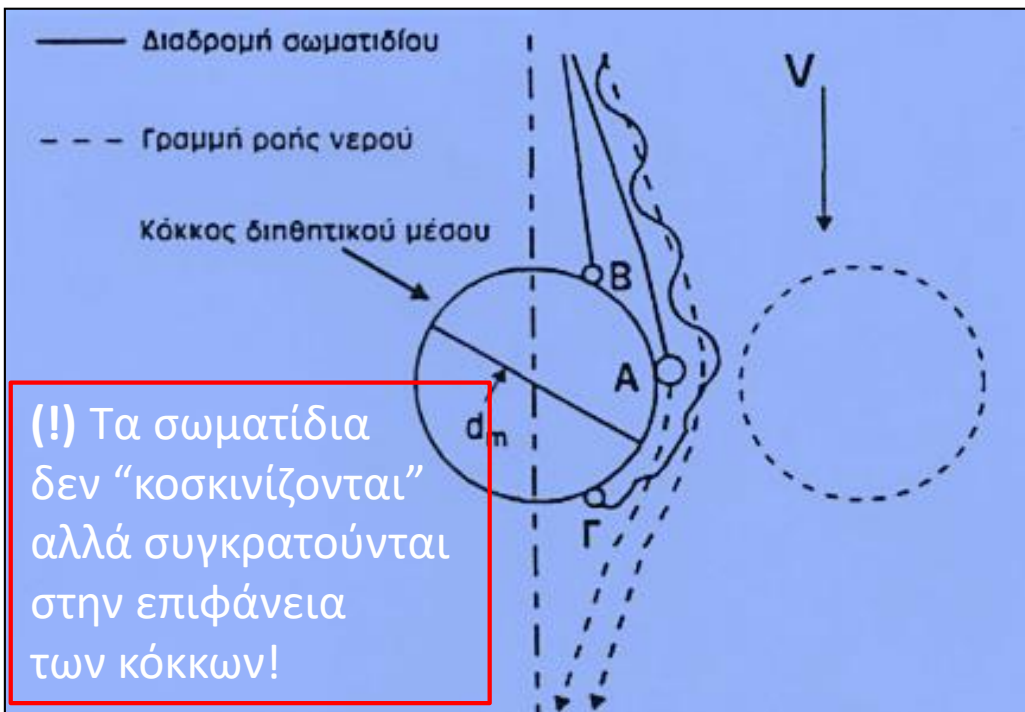
1. **Στάδιο μεταφοράς (φυσικά φαινόμενα):** τα σωματίδια παρεκκλίνουν από τη γραμμή ροής και μεταφέρονται στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου.
2. **Στάδιο συγκράτησης (χημικά φαινόμενα):** τα σωματίδια πλησιάζουν τόσο τον κόκκο, ώστε αναπτύσσονται δυνάμεις που επιτρέπουν ή όχι τη συγκράτηση τους στον κόκκο.
3. **Στάδιο αποκόλλησης:** συμπαρασυρμός από το νερό συγκρατημένων σωματιδίων εξαιτίας διατμητικών τάσεων.

Μηχανισμοί Συγκράτησης Στερεών: 1. Στάδιο μεταφοράς

Τα σωματίδια υπερνικούν τις ροϊκές γραμμές, παρεκκλίνουν από τη ροή του υγρού και μεταφέρονται στην επιφάνεια του κόκκου του διηθητικού μέσου για να συγκρατηθούν.

Μεταφορά με πρόσκρουση: Η αδράνεια των σωματιδίων είναι μεγαλύτερη από την υδροδυναμική δύναμη που τείνει να τα παρασύρει.

Μεταφορά με υδροδυναμικές δυνάμεις: λόγω ανομοιόμορφης κατανομής των διατμητικών δυνάμεων μέσα στα κενά των πόρων. Κυρίως όταν ο αριθμός Re είναι μικρός (στρωτή ροή).



Σχηματική αναπαράσταση των κυρίων μηχανισμών προσέγγισης των σωματιδίων κατά τη διήθηση.

A: Ανακοπή πορείας,

B: Καθίζηση,

Γ: Διάχυση.

Μήτρακας, 2001

Παράδειγμα: Σωματίδια μεγέθους 5 – 50 μm , από διηθητική κλίνη άμμου $d=1\text{mm}$, πορώδους 0,4 και διόδους νερού διαμέτρου 500 μm συγκρατούνται

Διήθηση Χώρου: Ποσότητα αιωρούμενων στερεών που συγκρατούνται

Η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών, που συγκρατούνται ανάμεσα στους κόκκους του διηθητικού μέσου, δεν πρέπει κατά μέσο όρο να καταλαμβάνει περισσότερο από το $1/4$ του κενού όγκου, ώστε να είναι δυνατή η ροή του νερού.

Ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων που συγκρατεί η κλίνη άμμου

Ανεξάρτητα από το μέγεθος των κόκκων της άμμου σε μια κλίνη θα έχουμε κενό χώρο = $450 \text{ L} / \text{m}^3$ άμμου. Άρα, ο όγκος που διατίθεται για τη συγκράτηση της διασποράς είναι το 25%, δηλ. έχουμε περίπου 110 L/m^3 μέγιστη έμφραξη.

Όταν η διασπορά:

- **Είναι κολλοειδούς μορφής** → συγκρατείται σε μορφή λάσπης. Όταν π.χ. έχουμε 10 g/L συγκέντρωση στερεών στην είσοδο => η μέγιστη ποσότητα σωματιδίων που μπορεί να συγκρατηθεί από 1 m^3 διηθητικού μέσου είναι $110 \text{ L/m}^3 * 10 \text{ g/L} = 1100 \text{ g}$ ανά m^3 .
- **Περιλαμβάνει σωματίδια μεγαλύτερης πυκνότητας στο νερό που θέλουμε να καθαρίσουμε (Άργιλοι, οξείδια Fe, CaCO_3)** → μπορεί να γίνει συγκράτηση 60 g/L στερεών. Άρα, η μέγιστη ποσότητα σωματιδίων που μπορεί να συγκρατηθεί από 1 m^3 διηθητικού μέσου είναι $110 \text{ L/m}^3 * 60 \text{ g/L} = 6600 \text{ g}$ ανά m^3 .

Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά

Πτώση πίεσης σε σταθερή κλίνη

Η πτώση πίεσης κατά τη διέλευση του νερού σε καθαρή κλίνη υπολογίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια. Η ροή διαμέσου καθαρής κλίνης, για τα συνήθη μεγέθη κόκκων 0,5 έως 1,0 mm και με τη συνήθη ταχύτητα κενού χώρου 5 έως 15 m/h, είναι στρωτή και η πτώση πίεσης υπολογίζεται από την **εξίσωση Kozeny**:

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1-\varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} \left(\frac{\alpha}{\nu}\right)^2 V$$

Ο αριθμός Reynolds, με βάση την ταχύτητα κενού χώρου V , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} < 6$$

h : Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης L_o

ε_o : Πορώδες της κλίνης

α/ν : Επιφάνεια κόκκου στη μονάδα όγκου του = ειδική επιφάνεια $S_v \Rightarrow$ για σφαίρες $\alpha/\nu=6/d$, για μη σφαιρικούς συλλέκτες $\alpha/\nu=6/\psi*d_{eq}$

d_{eq} : Ισοδύναμος διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με τον όγκο του κόκκου

V : Ταχύτητα ροής κενού χώρου

μ : Ιξώδες του νερού

ρ : Πυκνότητα του νερού

κ : Αδιάστατη σταθερά του Kozeny (~ 5 στις συνήθεις συνθήκες)

και στις περισσότερες περιπτώσεις διήθησης έχει τιμές μικρότερες από 3. Για το λόγο αυτό η εξίσωση του Kozeny περιγράφει ικανοποιητικά τη διήθηση, αφού αποδείχθηκε (Camp, 1964) ότι η ροή είναι στρωτή για τιμές της σταθεράς $Re < 6$.

Παράδειγμα

Να υπολογιστεί η υδραυλική απώλεια σε κλίνη διήθησης βάθους 82 cm. Η άμμος στην κλίνη έχει μέση διάμετρο $d_c=0,75$ mm με σφαιρικότητα $\psi=0,76$. Η επιφανειακή ταχύτητα ροής είναι $V=12$ m/h και το πορώδες $\varepsilon_o=0,4$, $\kappa = 6$ (αδιάστατη σταθερά του Kozeny)

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} < 6 \Rightarrow 0,75 * 10^{-3} m \frac{3,3 * 10^{-3} m/s}{10^{-6} m^2/s} = 2,475 < 6$$

Στρωτή ροή και η εξίσωση Kozeny-Carman ισχύει, για μη σφαιρικούς συλλέκτες $\alpha/u=6/\psi*d_{eq}$

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1-\varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} \left(\frac{6}{\psi d_c} \right)^2 V$$

$$V = 12 m/h = 3,3 * 10^{-3} m/s$$

$$\frac{\mu_w}{\rho_w} = 10^{-6} m^2/s$$

Λύνω ως προς $h_L = 1,03$ m

Άσκηση 1

Να υπολογισθούν τα χαρακτηριστικά κλίνης διήθησης που επεξεργάζεται $100 \text{ m}^3/\text{h}$ επιφανειακό νερό μετά από διεργασία θρόμβωσης καθίζησης.

Η διασπορά περιέχει 10 mg/L αιωρούμενα στερεά.

Λύση (1/7)

Με βάση τα στοιχεία του άνω Πίνακα επιλέγεται ταχεία διήθηση χώρου με:

- ✓ διηθητικό μέσο άμμο μεγέθους $0,45 - 0,55 \text{ mm}$, $d_{eq} = 0,50 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$

Με βάση τα στοιχεία του κάτω πίνακα επιλέγονται:

- ✓ πορώδες κλίνης $\epsilon_0 = 0,42$ και
- ✓ σφαιρικότητα κόκκων $\psi = 0,75$
- ✓ Οπότε η ειδική τους επιφάνεια θα είναι:

$$S_u = \frac{6}{\psi d_{eq}} = \frac{6}{0,75 \times 0,05} = 160 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$$

Ειδική επιφάνεια S_u : Επιφάνεια κόκκου στη μονάδα όγκου του
=> για σφαίρες $S_u = 6/d$, για μη σφαιρικούς συλλέκτες $S_u = 6/\psi * d_{eq}$

	Μέγεθος mm	Βάθος m
Άμμος για διήθηση μετά από θρόμβωση και καθίζηση	0,45 – 0,55	0,6 – 0,7
Άμμος για διήθηση Fe και Mn	<0,8	0,6 – 0,9
Άμμος χονδρή, που απαιτεί ταυτόχρονη χρήση νερού και αέρα κατά την πλύση, για διήθηση: Μετά από θρόμβωση και καθίζηση	0,9 – 1,0	0,9 – 1,2
Απευθείας	1,4 – 1,6	1 – 2
Απομάκρυνσης Fe και Mn	1 – 2	1,5 – 3

Πίνακας 8.3. Χαρακτηριστικά των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων υλικών διήθησης

Υλικό	Πυκνότητα κόκκου g/mL	Πορώδες κλίνης ϵ_0	Σφαιρικότητα ψ
Χαλαζιακή άμμος	2,65	0,42 – 0,47	0,70 – 0,80
Ανθρακίτης	1,4 – 1,7	0,56 – 0,60	0,46 – 0,60
Κοκκώδης εν. άνθρακας	1,3 – 1,5	0,48 – 0,52	0,72 – 0,78
Γρανίτης	3,6 – 4,2	0,45 – 0,55	0,58 – 0,62

Λύση (συνέχεια 2/7)

Υποθέτουμε Ταχεία Διήθηση (5 - 25 m/h)

- **Επιλέγεται** ταχύτητα διήθησης κενού χώρου:

$$V = 20 \text{ m/h.}$$

- Η **επιφάνεια** της κλίνης υπολογίζεται ως εξής:

$$E_k = (100 \text{ m}^3/\text{h}) / (20 \text{ m/h}) = 5 \text{ m}^2$$

- Ο **όγκος** του διηθητικού μέσου θα είναι:

$$\text{Όγκος} = E_k * L_o$$

- Επιλέγεται **βάθος** κλίνης $L_o = 0,7\text{m}$ (βλ. προηγ. Πίνακες)

$$\Rightarrow E_k L_o = 5 \text{ m}^2 * 0,7 \text{ m} = 3,5 \text{ m}^3$$

Διάρκεια κύκλου διήθησης:

Γνωρίζουμε ότι ο όγκος που μπορούν να καταλάβουν τα αιωρούμενα στερεά χωρίς να δημιουργούν υπερβολική πτώση πίεσης είναι το 1/4 (25%) του κενού χώρου της κλίνης. Επομένως:

$$v = 0,25 \varepsilon_o = 0,25 * 0,42 = 0,105 \text{ m}^3 \text{ στερεών}/\text{m}^3 \text{ κλίνης}$$

Ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων που συγκρατεί η κλίνη άμμου

Ανεξάρτητα από το μέγεθος των κόκκων της άμμου σε μια κλίνη θα έχουμε κενό χώρο = $450 \text{ L} / \text{m}^3$ άμμου.

Άρα, ο όγκος που διατίθεται για τη συγκράτηση της διασποράς είναι το 25%, δλδ. έχουμε περίπου $110 \text{ L}/\text{m}^3$ μέγιστη έμφραξη.

Λύση (συνέχεια 3/7)

Υπολογίζουμε την συνολική ποσότητα των σωματιδίων ανά ώρα που εισάγονται στην διήθηση:

$$100 \frac{m^3}{h} * 10 \frac{mg}{L} \frac{1g}{1000mg} \frac{1000L}{1m^3} = 1000 \frac{g}{h}$$

Ανάλογα τον τύπο της διασπορά έχουμε και διαφορετική μάζα σωματιδίων που μπορεί να συγκρατηθεί στην κλίνη διήθησης (1100 - 6600 g / m³)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα **για συγκράτηση θρόμβων μετά από καθίζηση** μία ρεαλιστική τιμή θεωρούνται τα 20 g/L. Επομένως η μέγιστη συγκράτηση αιωρούμενων στερεών από την κλίνη είναι:

$$m = 0,105 \frac{m^3 \text{ στερεών}}{m^3 \text{ κλινης}} * 20 \frac{g}{L} \frac{1000L}{1m^3} = 2100 \frac{g}{m^3 \text{ κλινης}}$$

$$m_{\kappa} = 2100 \frac{g}{m^3 \text{ κλινης}} * 3,5 m^3 \text{ κλινης} = 7350 g$$

Επομένως η διάρκεια του κύκλου διήθησης θα είναι:

$$t = m_{\kappa} / m = (7.350 g) / (1000 g/h) = 7,35 h$$

Για περιορισμό των απωλειών νερού εξαιτίας συχνών αντίστροφων πλύσεων, η επιθυμητή διάρκεια του κύκλου διήθησης είναι 8 – 48 h. Ο σχεδιασμός που προηγήθηκε καλύπτει οριακά αυτή την απαίτηση, επομένως είναι **δόκιμο να αυξηθεί ο όγκος του διηθητικού μέσου, γεγονός που οδηγεί ουσιαστικά σε μείωση της ταχύτητας κενού χώρου.**

Λύση (συνέχεια 4/7)

Επιλέγεται μία μικρότερη ταχύτητα διήθησης κενού χώρου: $V = 15 \text{ m/h}$

Η καινούργια επιφάνεια της κλίνης:

$$E_k = 100 \text{ (m}^3\text{/h)}/15 \text{ (m/h)} = 6,67 \text{ m}^2$$

Ο καινούργιος όγκος του διηθητικού μέσου:

$$(E_k L_o) = 6,67 * 0,7 = 4,67 \text{ m}^3$$

Τα στερεά που μπορεί να συγκρατήσει η κλίνη είναι:

$$m_k = 0,105 * 4,67 * 20 * 10^3 = 9,807 \text{ g}$$

και η διάρκεια του κύκλου διήθησης θα είναι:

$$t = m_k/m = 9,807/1000 = 9,8 \text{ h}$$

Υπολογισμός πτώσης πίεσης στην καθαρή κλίνη στους 20 °C.

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} = 2,08$$

$$\begin{aligned}d_{eq} &= 0,05 \text{ cm} \\ \mu/\rho &= 10^{-6} \text{ m}^2\text{/s} = 10^{-2} \text{ cm}^2\text{/s} \\ V &= 15 \text{ m/h} = 0,417 \text{ cm/s}\end{aligned}$$

Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά

Πτώση πίεσης σε σταθερή κλίση

Η πτώση πίεσης κατά τη διέλευση του νερού σε καθαρή κλίση υπολογίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια. Η ροή διαμέσου καθαρής κλίνης, για τα συνήθη μεγέθη κόκκων 0,5 έως 1,0 mm και με τη συνήθη ταχύτητα κενού χώρου 5 έως 15 m/h, είναι στρωτή και η πτώση πίεσης υπολογίζεται από την **εξίσωση Kozeny**:

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1-\varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} \left(\frac{\alpha}{\nu}\right)^2 V$$

Ο αριθμός Reynolds, με βάση την ταχύτητα κενού χώρου V , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} < 6$$

h : Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης L_o

ε_o : Πορώδες της κλίνης

α/ν : Επιφάνεια κόκκου στη μονάδα όγκου του = ειδική επιφάνεια $S_v \Rightarrow$ για σφαίρες $\alpha/\nu=6/d$, για μη σφαιρικούς συλλέκτες $\alpha/\nu=6/\psi*d_{eq}$

d_{eq} : Ισοδύναμος διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με τον όγκο του κόκκου

V : Ταχύτητα ροής κενού χώρου

μ : Ιξώδες του νερού

ρ : Πυκνότητα του νερού

κ : Αδιάστατη σταθερά του Kozeny (~ 5 στις συνήθεις συνθήκες)

και στις περισσότερες περιπτώσεις διήθησης έχει τιμές μικρότερες από 3. Για το λόγο αυτό η εξίσωση του Kozeny περιγράφει ικανοποιητικά τη διήθηση, αφού αποδείχθηκε (Camp, 1964) ότι η ροή είναι στρωτή για τιμές της σταθεράς $Re < 6$.

Λύση (συνέχεια 5/7)

Άρα για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης στην καθαρή κλίνη χρησιμοποιείται η εξίσωση Kozeny:

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1 - \varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} (S_u)^2 V$$

$$\Rightarrow h = 173,5 \text{ cm } \acute{\eta} \\ \Rightarrow h = 1,74 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \kappa &= 5 \\ \varepsilon_o &= 0,42 \\ \mu &= 0,010023 \text{ cm}^2/\text{s} \\ \mu/\rho &= 0,01003 \text{ cm}^2/\text{s} \\ S_u &= 160 \text{ cm}^2/\text{cm}^3 \\ g &= 981 \text{ cm}/\text{s}^2 \\ V &= 0,417 \text{ cm}/\text{s} \\ L_o &= 0,70 \text{ m} = 70 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης μετά την έμφραξη του 1/4 του κενού χώρου της κλίνης γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Inez:

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[1 + (2b+1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b+1)^2 \left(\frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

$$\text{οπότε } h_1 = 3,12 \text{ ΜΣΥ}$$

$$\begin{aligned} h &= 1,74 \text{ m} \\ L_o &= 0,70 \text{ m} \\ v &= 0,105 \text{ m}^3 \text{ στερεά}/\text{m}^3 \text{ κλίνης} \\ b &= \varepsilon_o/(1 - \varepsilon_o) = 0,724 \end{aligned}$$

v: ο όγκος συγκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης

Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε διηθητική κλίνη από έμφραξη

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης μιας καθαρής διηθητικής κλίνης είναι σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση της απαιτούμενης ελάχιστης πίεσης λειτουργίας.

Στην Ελάχιστη Πίεση Λειτουργίας πρέπει να προσθέσουμε τη σταδιακή αύξηση της απαίτησης πίεσης εξαιτίας της συσσώρευσης στερεών μέχρι την έμφραξή της.

Ο Ives (1982) πρότεινε την εξής εξίσωση για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης μετά από έμφραξη, όταν είναι γνωστή η πτώση πίεσης της καθαρής διηθητικής κλίνης:

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[1 + (2b+1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b+1)^2 \left(\frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

$$b = \frac{\varepsilon_o}{1 - \varepsilon_o}$$

Η παραπάνω εξίσωση βρίσκεται σε συμφωνία με πειραματικά δεδομένα. Το αδύνατο σημείο της όμως είναι ο υπολογισμός κάθε φορά του όγκου των συγκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης (v).

h : Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης L_o
 h_1 : Πτώση πίεσης μετά από έμφραξη
 v : ο όγκος συγκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης.

Λύση (συνέχεια 6/7)

Κατά την έμφραξη 1/2 του κενού χώρου της κλίνης (δλδ 50%), εξίσωσης του Ivez => $v = 0,5 * 0,42 = 0,21$, υπολογίζεται $h_1 = 5,16$ ΜΣΥ (Μέτρα Στήλης Ύδατος)

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[1 + (2b + 1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b + 1)^2 \left(\frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

Υπολογιζόμενες τιμές πτώσης πίεσης σε κλίνη άμμου, ως συνάρτηση του πορώδους της κλίνης, της ταχύτητας ροής και του βαθμού έμφραξης ($L_o = 0,7$ m, $T = 20$ °C). Μήτρακας 2001

Στον πίνακα δίνεται η πτώση πίεσης που υπολογίζεται για διάφορες τιμές των μεταβλητών που επηρεάζουν την τιμή της.

Πορώδες ε_o	Ταχύτητα κενού χώρου m/h	Πτώση πίεσης ΜΣΥ		
		Καθαρή κλίνη	Έμφραξη 25%	Έμφραξη 50%
0,42	10	1,16	2,08	3,45
	15	1,74	3,12	5,15
	20	2,31	4,15	6,85
0,45	10	0,38	0,71	1,19
	15	0,56	1,05	1,76
	20	0,75	1,40	2,36
0,47	10	0,17	0,33	0,56
	15	0,26	0,50	0,85
	20	0,35	0,67	1,15

Λύση (συνέχεια 7/7)

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης ταχύτητας ρευστοποίησης της κλίνης

Υπολογίζεται πρώτα ο αριθμός **Ga**:

$$Ga = d_{eq}^3 \frac{\rho(\rho_s - \rho)g}{\mu^2} \quad \boxed{d_{eq} = d_{90}}$$

Από την εξίσωση υπολογίζεται η **ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης**:

$$V_{mf} = \frac{\mu}{\rho d_{eq}} \left(33,7^2 + 0,0408Ga \right)^{0,5} - \frac{33,7\mu}{\rho d_{eq}}$$

Και η προτεινόμενη ταχύτητα ροής για αντίστροφη πλύση είναι **1,3 V_{mf}**

Πιν. 2. Υπολογιζόμενες τιμές ταχυτήτων ροής για αντίστροφη πλύση και διόγκωση κατά 20%, 50% και 100%, για διάφορα μεγέθη d_{eq} χαλαζιακής άμμου ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\psi = 0,75$).

Μήτρακας 2001

d_{90} cm	Πορώδες ϵ_0	Ga	V_{mf} cm/s	Ροή πλύσης $1,3 V_{mf}$, m/h	Ροή διόγκωσης, m/h		
					20%	50%	100%
0,03	0,41	435	0,09	4,1	5,4	13,5	27,9
0,04	0,41	1031	0,16	7,3	11,2	24,1	44,5
0,05	0,42	2014	0,24	11,2	19,1	36,5	62,5
0,06	0,43	3480	0,35	16,4	27,7	49,7	80,3
0,07	0,44	5526	0,46	21,5	37,8	63,5	98,3
0,08	0,45	8248	0,59	27,4	48,6	77,4	116,2
0,09	0,46	11744	0,72	33,8	59,4	91,5	133,9
0,10	0,47	16110	0,87	40,6	70,2	105,8	151,6
0,12	0,48	27837	1,17	54,7	86,7	128,2	179,7

Extra διαφάνεια

Υπολογισμός υδραυλικής απώλειας κατά τη διάρκεια ρευστοποίησης της κλίνης

Παράμετρος σχεδιασμού: Διόγκωση της στήλης κατά 20%

Όγκος στήλης κατά την πλύση = όγκος στήλης / 0,2 = 3,5/(1-0,2)=4,38 m³

Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε και το καινούργιο μήκος της στήλης κατά την πλύση: $V' = E_{\kappa} * L' \Rightarrow L' = V'/E_{\kappa} = 4,38 \text{ (m}^3\text{)} / 5 \text{ (m}^2\text{)} = 0,88 \text{ m}$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} \quad \varepsilon = 0,54$$

$$\Delta p = h \rho g = L (\rho_s - \rho) g (1 - \varepsilon) = L * (1 - \varepsilon) * ((\rho_s - \rho) / \rho)$$

$$\Delta p = 0,67 \text{ ΜΣΥ}$$

ρ_s : Η πυκνότητα των κόκκων (π.χ. άμμου)

L: βάθος διεσταλμένης κλίνης

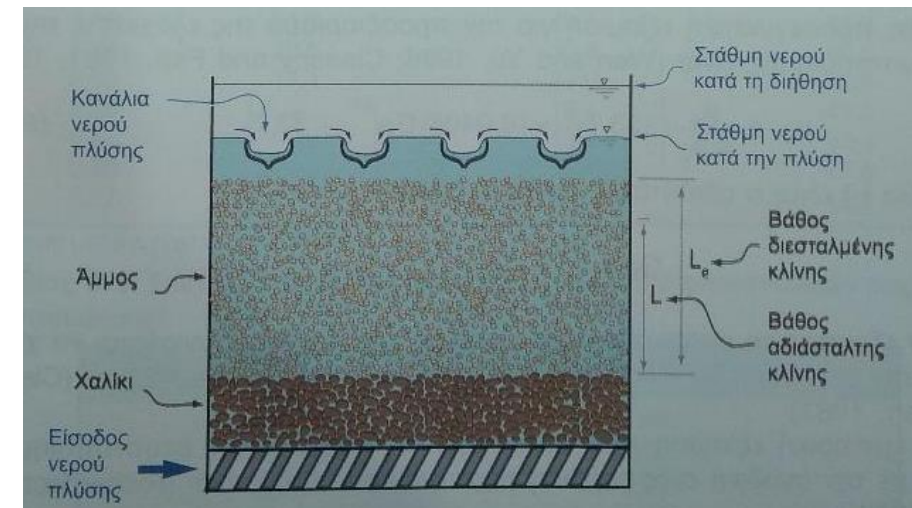
ρ : Η πυκνότητα του νερού

ε : Πορώδες της κλίνης

$$\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = 0,998 \text{ g/cm}^3$$

$$L_0 = 70 \text{ cm}$$



Διάλεξη 8

Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Ο ενεργός (κοκκώδης) άνθρακας χρησιμοποιείται:

- Για απο-χλωρίωση του νερού
- Για απομάκρυνση μικρο-ρυπαντών από το νερό
- Για απομάκρυνση τοξικών μετάλλων

Ο ενεργός άνθρακας αποτελεί σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση κάθε άλλης μεθόδου προσρόφησης οργανικών συστατικών



Κατά τα τελευταία στάδια της επεξεργασίας του νερού διέρχεται από **φίλτρα ενεργού άνθρακα** για την απομάκρυνση και των τελευταίων υπολειμμάτων των ουσιών και ιδιαίτερα **των οργανικών ενώσεων** και των προϊόντων διάσπασής τους.

- Ο ενεργός άνθρακας είναι παρόμοιος με τον απλό άνθρακα, επεξεργάζεται όμως με διαφορετικό τρόπο που του επιτρέπει να έχει μία **εξαιρετικά πορώδη επιφάνεια**.
- Οι πόροι αυτοί **αυξάνουν σημαντικά το εμβαδόν της επιφάνειας του**.
- Λόγω αυτής της επεξεργασίας **μπορεί και δεσμεύει διάφορες ουσίες που έρχονται σε επαφή με αυτόν και σε ποσότητες πολλαπλάσιες από το βάρος του**.

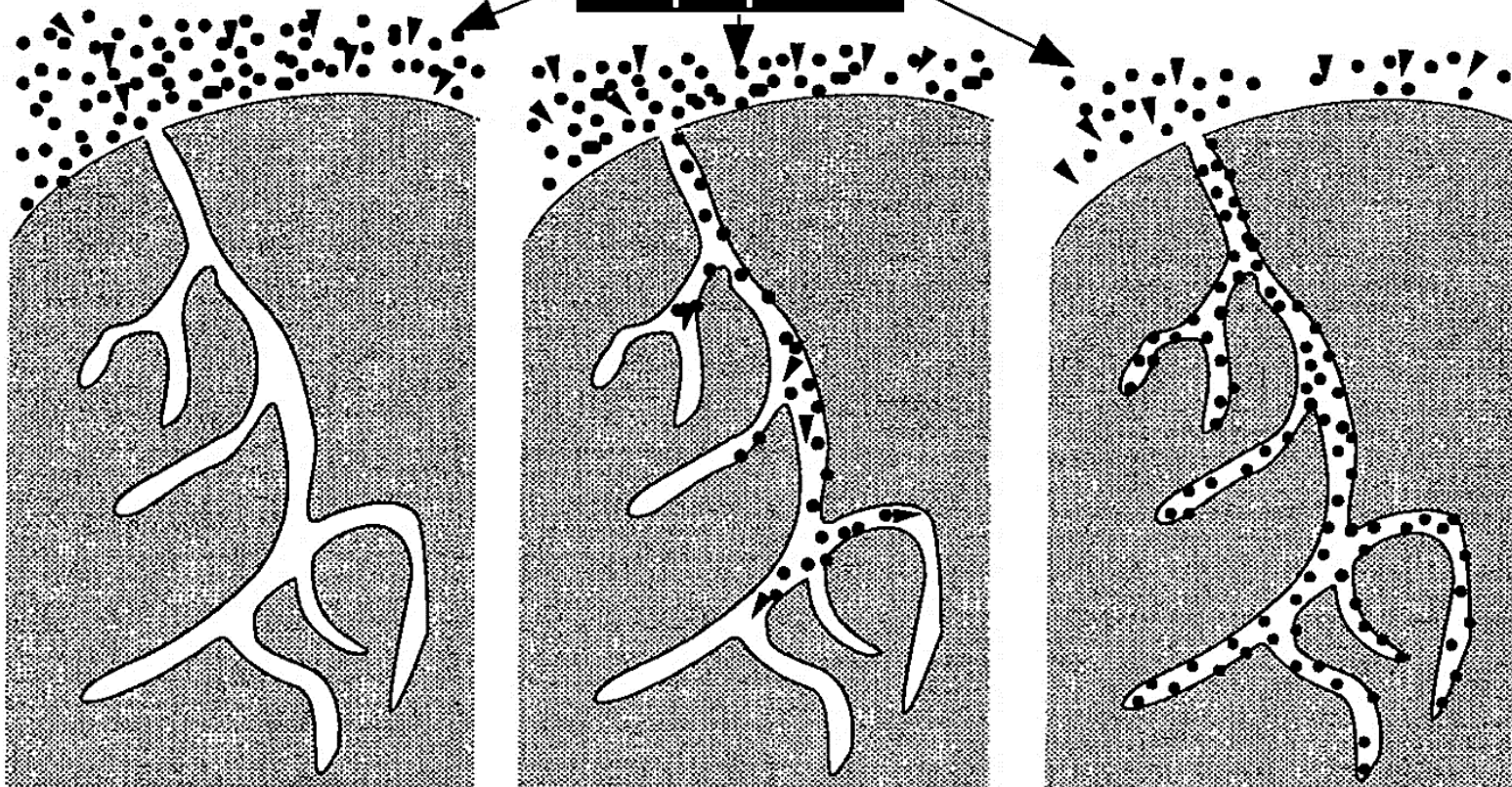
Μηχανισμοί Προσρόφησης

Στάδιο 1: Διάχυση στην επιφάνεια του προσροφητικού

Στάδιο 2: Μεταφορά στους πόρους του προσροφητικού

Στάδιο 3: Δημιουργία μονοστοιβάδας της προσροφημένης ουσίας

Μόρια ρύπων



Μηχανισμός προσρόφησης σωματιδίων ρύπων, Μήτρακας

Η απομάκρυνση των ρυπαντών από το ρεύμα επεξεργασίας συμβαίνει αρχικά με τη φυσική προσρόφηση τους στην επιφάνεια του άνθρακα

Η φυσική προσρόφηση αυξάνεται από την αδυναμία διάλυσης των ρυπαντών στο νερό. Οι οργανικοί διαλύτες προσροφούνται εύκολα εξαιτίας της χαμηλής τους διαλυτότητας στο νερό. Αντίθετα, υδατοδιαλυτές ενώσεις όπως οι αλκοόλες και οι αλδεΐδες προσροφούνται δυσκολότερα.

Μεγάλη διαλυτότητα στο νερό → Μικρή φυσική προσρόφηση

Σχεδιασμός συστημάτων προσρόφησης

Τα συστήματα προσρόφησης για την επεξεργασία νερού σχεδιάζονται κατά κανόνα γύρω από τρεις βασικούς τύπους προσροφητών:

1. Ο **προσροφητής ροής βαρύτητας**: (συνήθως χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν μικρούς χρόνους επαφής, όπως είναι η επεξεργασία επιφανειακών νερών για ύδρευση).
2. Η **κινούμενη κλίνη ανοδικής ροής**: για διεργασίες σε μεγάλες ζώνες μεταφοράς και χαμηλές ταχύτητες ροής.
3. Το **υπό πίεση σύστημα σταθερής κλίνης καθοδικής ροής**: όπου αποτελεί την πιο κοινή επιλογή προσρόφησης (λειτουργεί όπως τα αμμόφιλτρα).

Τα συστήματα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής έχουν τα εξής γνωρίσματα:

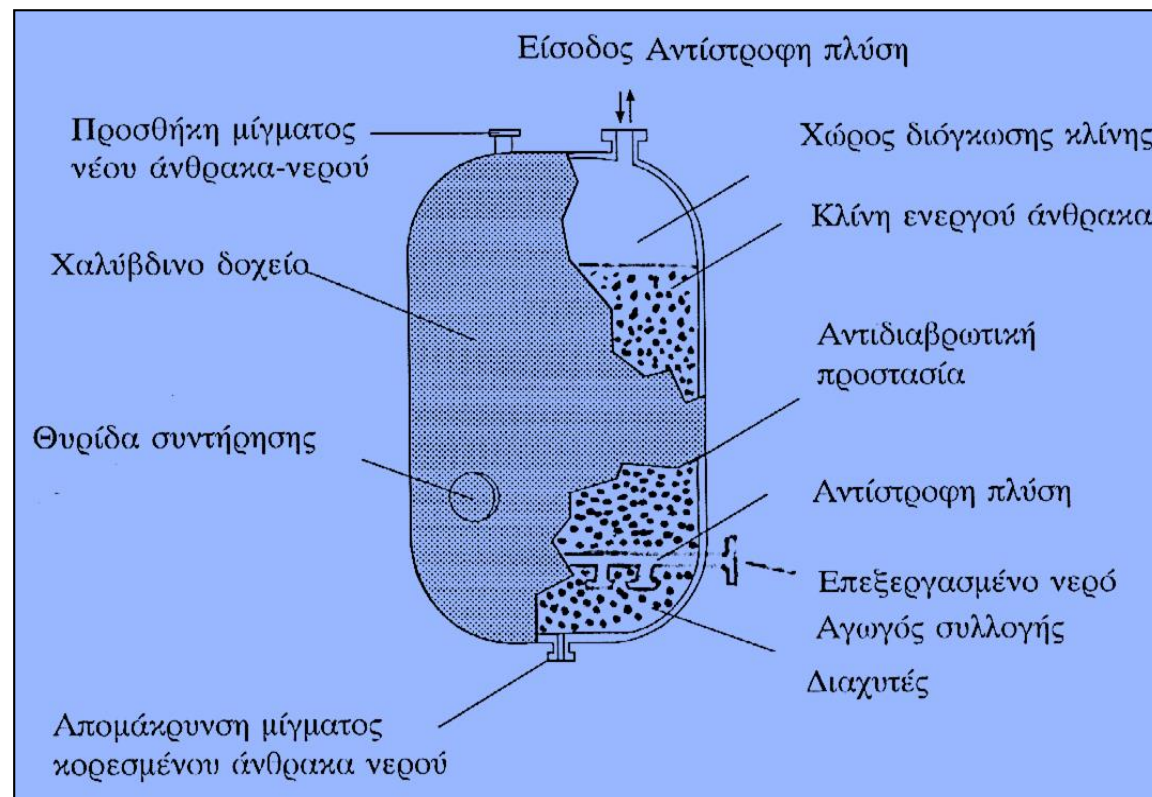
- ✓ Δυνατότητα αντίστροφης πλήσης.
- ✓ Εκκένωση με συμπαρασυρμό με νερό.
- ✓ Ελάχιστη συντήρηση και παρακολούθηση.
- ✓ Τοποθέτηση δύο δοχείων στη σειρά, με δυνατότητα λειτουργίας του ενός, έπειτα από κορεσμό του άλλου.

Σχεδιασμός συστημάτων προσρόφησης

Σύστημα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής

Σύστημα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής. Μήτρακας 2001

- ✓ Το νερό εισάγεται από πάνω από την κλίνη του άνθρακα που περιέχεται σε ένα δοχείο πίεσης.
- ✓ Το νερό ρέει προς τα κάτω ανάμεσα από την κλίνη.
- ✓ Το επεξεργασμένο νερό συλλέγεται στον πυθμένα της κλινής με ένα αποχετευτικό σύστημα (σχισμοειδής σαν κόσκινο συλλέκτες (διαχυτές) τοποθετημένους σε αγωγούς που καλύπτουν όλο τον πυθμένα του δοχείου.
- ✓ Οι διαχυτές κατακρατούν τον άνθρακα και επιτρέπουν τη διέλευση του καθαρού νερού



Διάλεξη 9

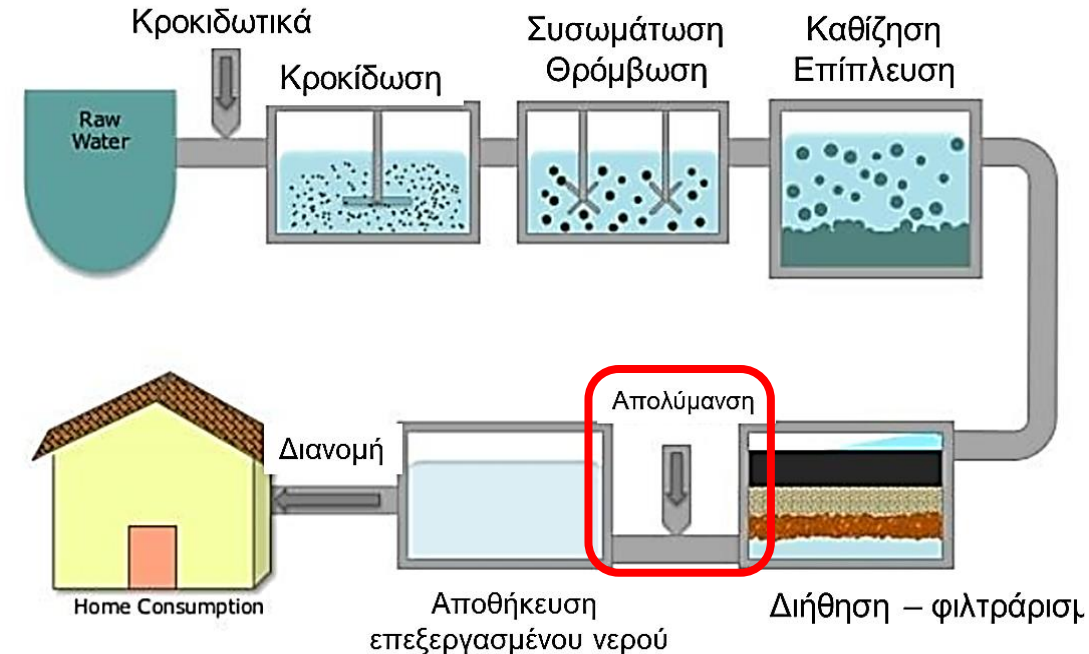
Απολύμανση

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό ευνοείται από ορισμένους παράγοντες, όπως είναι:

- το ουδέτερο pH,
- η παρουσία οργανικής ύλης που είναι η τροφή τους,
- η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών (N, P), τα οποία είναι απαραίτητα στη βιοσύνθεσή τους.

Εξαιτίας του **πολύ μικρού μεγέθους** τους οι μικροοργανισμοί είναι **δύσκολο να απομακρυνθούν πλήρως** από το νερό μόνο με φυσικοχημικές διεργασίες, όπως είναι η **καθίζηση** και η **διήθηση**, οπότε για να διασφαλισθεί η απουσία τους από το νερό **απαιτείται η απολύμανσή** του.

Διαδικασία επεξεργασίας νερού



Είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού η οποία έχει ως σκοπό την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών που τυχόν περιέχει, ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία.

(!) Να μην μπερδεύουμε τους παρακάτω όρους!

Αποστείρωση: Πλήρης καταστροφή όλων των μικροοργανισμών

Απολύμανση: Εκλεκτική ελάττωση σε ανεκτά (συνήθως πολύ μικρά) επίπεδα των μικροοργανισμών

Μηχανισμοί Απολύμανσης

Καταπολέμηση Των Μικροοργανισμών Του Νερού

- ✓ Οι μικροοργανισμοί υπάρχουν **παντού** στη φύση
- ✓ Διατηρούν τη φυσική ισορροπία του **κύκλου ζωής**
- ✓ Το νερό είναι δυνατόν να περιέχει: Βακτήρια, Ιούς, Άλγη και Μύκητες
- ✓ Αδύνατη η απομάκρυνση με φυσικά μέσα – γίνεται καταστροφή με **απολυμαντικά μέσα**

Η μικροβιοκτόνος δράση των απολυμαντικών μέσων επιτυγχάνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Καταστροφή ή εξασθένηση της **οργάνωσης** της κυτταρικής δομής
- Παρέμβαση στον **μεταβολισμό** που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ενέργειας
- Παρέμβαση στη **βιοσύνθεση** και την ανάπτυξη

Μηχανισμοί Απολυμάνσεως Παραδείγματα

- Φθορά ή καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος (πενικιλίνη)
- Αλλαγή της εκλεκτικής διαπερατότητας της κυτταρο-πλασματικής μεμβράνης (φαινολικές ουσίες, απορρυπαντικά)
- Αλλαγή της κολλοειδούς φύσεως του πρωτοπλάσματος (θέρμανση)

Απολύμανση

Τα οξειδωτικά μέσα, όπως είναι το χλώριο, μεταβάλλουν τη χημική σύνθεση των **ενζύμων** και τα αδρανοποιούν, με αποτέλεσμα να **παρεμποδίζεται** ο κανονικός ρυθμός μεταβολισμού.

Τα απαραίτητα για το μεταβολισμό ένζυμα βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες, γεγονός που εξηγεί τη **σημαντική μικροβιοκτόνο δράση του χλωρίου** ακόμα και σε πολύ μικρή συγκέντρωση (0,5-1 mg/L).

Επίσης, είναι δυνατόν το χλώριο να αντικαταστήσει ένα από τα υδρογόνα των **αμινοομάδων** των πρωτεϊνών των κυττάρων, οπότε η **χλωραμίνη** που σχηματίζεται είναι **τοξική** και επιφέρει το θάνατο.

Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης είναι μια σύνθετη συνάρτηση πολλών μεταβλητών:

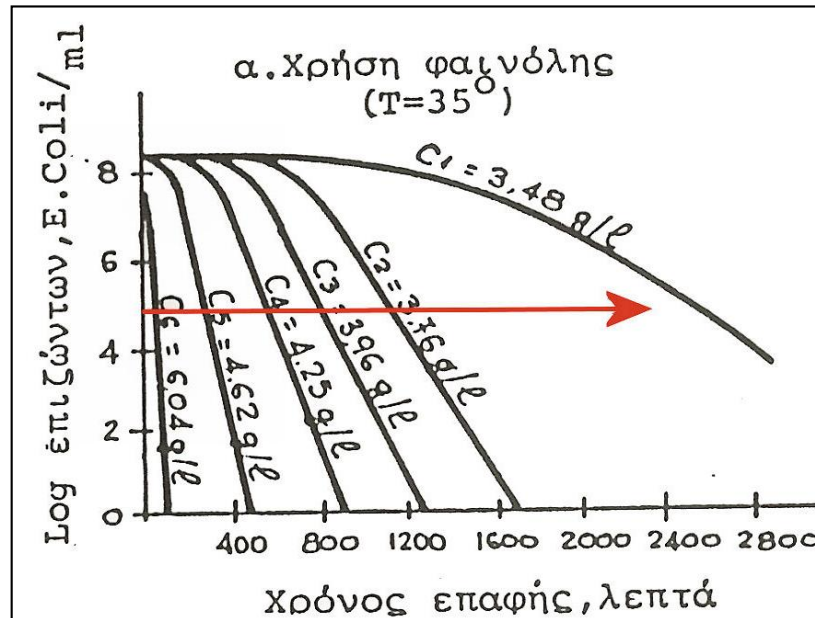
1. Χαρακτηριστικά μέσου απολύμανσης
2. Χρόνος επαφής
3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού
4. Άλλοι παράγοντες

Κινητική Της Απολυμαντικής Δράσεως

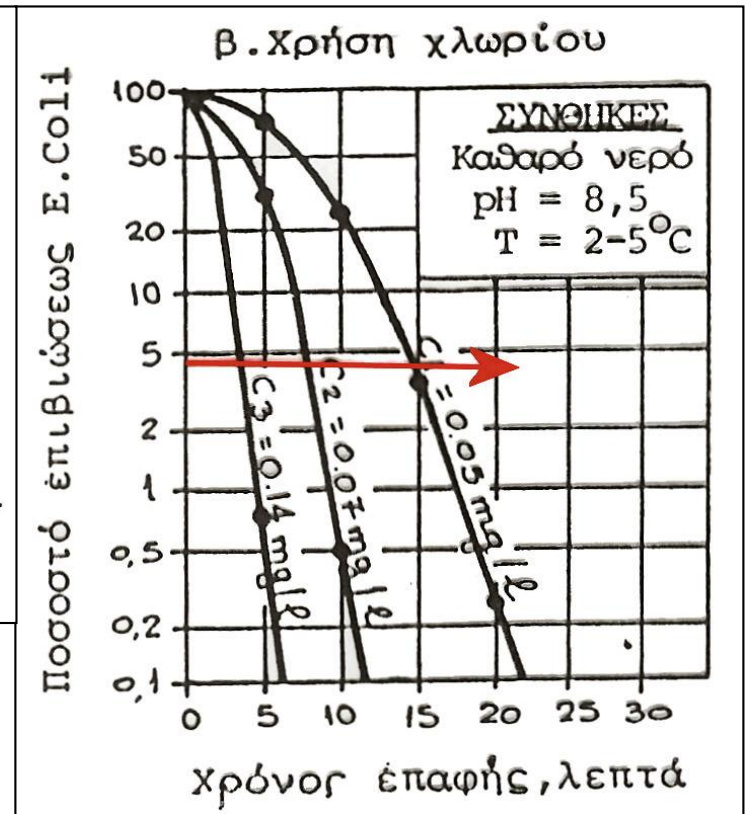
Για το σχεδιασμό μιας διεργασίας απολύμανσης απαιτείται η γνώση του ρυθμού καταστροφής των μικροοργανισμών δεικτών από το απολυμαντικό. Η απολύμανση είναι μια σύνθετη διεργασία και περιλαμβάνει μια σειρά από φυσικοχημικά και βιολογικά βήματα.

Ο ρυθμός της απολυμαντικής δράσεως εξαρτάται από:

- Το **χρόνο επαφής**
- Τη συγκέντρωση ή την ένταση και το είδος του **απολυμαντικού**
- Τη συγκέντρωση και το είδος των **μικροβίων**
- Τη **θερμοκρασία**
- Τη **φύση του υγρού**



Η απολυμαντική δράση κατά ενός μικροοργανισμού (E. Coli) εξαρτάται από διάφορους παράγοντες



Κινητική Της Απολύμανσης: Νόμος Chick-Watson

Για την περιγραφή της απολύμανσης επινοήθηκαν διάφορα κινητικά μοντέλα στηριζόμενα σε θεωρητικά και πειραματικά δεδομένα. Ο νόμος **Chick-Watson** εκφράζει την ταχύτητα καταστροφής των μικροοργανισμών με τη σχέση χημικής αντίδρασης πρώτης τάξης:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt$$

N : αριθμός μικροοργανισμών σε χρόνο t

N_0 : αριθμός μικροοργανισμών σε χρόνο $t=0$

t : χρόνος

k : σταθερά του ρυθμού καταστροφής, η οποία εξαρτάται από το είδος του απολυμαντικού και των μικροοργανισμών, καθώς επίσης από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού και τη θερμοκρασία (min^{-1} ή h^{-1})

Πειραματική εμπειρική σχέση Watson

Ο Watson (1908) πρότεινε, με βάση πειραματικά δεδομένα, μία εμπειρική σχέση, η οποία περιλαμβάνει και τις μεταβολές στη συγκέντρωση του απολυμαντικού:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\Lambda \cdot C^n \cdot t$$

C : συγκέντρωση απολυμαντικού

Λ : συντελεστής θνησιμότητας

n : συντελεστής διάχυσης – ενεργότητας. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του απολυμαντικού και από την τιμή του pH. Συνήθως παίρνει την τιμή 1.

Ταξινόμηση απολυμαντικών μέσων

Τα μέσα απολύμανσης με βάση τη φύση τους μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

➤ Μη χημικά μέσα απολύμανσης:

1. Υπεριώδης ακτινοβολία
2. Αποστειρωτική διήθηση
3. Θερμότητα
4. Ραδιενεργός ακτινοβολία

➤ Χημικά μέσα απολύμανσης

- **Μη οξειδωτικά:** Οργανικές κυρίως ενώσεις, όπως είναι το μεθυλενοδιθειοκυάνιο, το διβρωμονιτριλοπροπιοναμίδιο, οι ισοθειαζολόνες κ.α.
- **Οξειδωτικά μέσα απολύμανσης:** Ενώσεις με οξειδωτικό δυναμικό, όπως είναι το αέριο χλώριο, το υποχλωριώδες νάτριο, το διοξείδιο του χλωρίου, το βρώμιο, το ιώδιο, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και το όζον.

Όζον (O₃)

Η σπουδαιότερη ιδιότητα του όζοντος είναι η ισχυρή οξειδωτική του δράση, γεγονός που το καθιστά **πρώτη επιλογή** όταν απαιτείται η εκτέλεση ισχυρά οξειδωτικών αντιδράσεων.

Το όζον δρα πάνω στα αιωρούμενα ή στα διαλυμένα σωματίδια στο νερό με άμεση ή έμμεση οξείδωση, με οζονόλυση και με κατάλυση.

Το όζον παράγει αντιδράσεις άμεσης και έμμεσης οξείδωσης:

Οι αντιδράσεις **άμεσης οξείδωσης** του όζοντος, οι οποίες προκύπτουν από τη δράση ενός ατόμου ενεργού οξυγόνου, είναι συνήθως ακαριαίες.

Στις αντιδράσεις **έμμεσης οξείδωσης** ένα μέρος του όζοντος που διαλύεται στο νερό διασπάται και σχηματίζει ελεύθερες ρίζες (HO⁻), οι οποίες αντιδρούν πολύ γρήγορα κι οξειδώνουν οργανικές και ανόργανες ενώσεις διαλυμένες στο νερό.

Η διάσπαση αυτή του όζοντος επιταχύνεται σε υψηλές τιμές pH, οι οποίες ευνοούν το σχηματισμό των ελεύθερων ριζών (HO⁻).

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά του είναι ότι διασπάται δίνοντας οξυγόνο στο νερό, γεγονός κατά κανόνα ευπρόσδεκτο. Έτσι, αποτελεί ένα μέσο απολύμανσης που δεν έχει ανεπιθύμητες επιδράσεις στη γεύση, την οσμή και την εμφάνιση του νερού.

Σύγκριση συστημάτων απολύμανσης

Μέθοδος	Υπέρ	Κατά
Χλωρίωση	<ul style="list-style-type: none">• Αξιόπιστη• Φθηνή μέθοδος• Απλή τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none">• Χαμηλή αποτελεσματικότητα για τους ιούς• Προβλήματα οσμής και γεύσης• Παραπροϊόντα
Διοξείδιο του χλωρίου	<ul style="list-style-type: none">• Αποτελεσματική τεχνολογία για τα βακτήρια και τους ιούς• Δεν συμβάλλει στη δημιουργία τριαλομεθανίων (THM)	<ul style="list-style-type: none">• Ακριβή μέθοδος• Τοξικά παραπροϊόντα
Οζόνωση	<ul style="list-style-type: none">• Ισχυρό οξειδωτικό• Δεν δημιουργεί THMs• Αποτελεσματική τεχνολογία για τους ιούς	<ul style="list-style-type: none">• Ακριβή μέθοδος• Χαμηλή αποτελεσματικότητα για τα βακτήρια (<i>E. coli</i>)
UV	<ul style="list-style-type: none">• Αποτελεσματική τεχνολογία για τα βακτήρια και τους ιούς	<ul style="list-style-type: none">• Ακριβή μέθοδος• Μη-αποτελεσματική μέθοδος για μεγάλους μικροοργανισμούς (π.χ. πρωτόζωα)

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Άσκηση 1

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

Λύση

Η προστιθέμενη δόση είναι:

$$\text{Δόση} = \left(\frac{9 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{20000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}\right) \left(\frac{1000000 \text{mg}}{\text{kg}}\right) \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{L}}\right) = 0,45 \text{ mg/L}$$

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

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

Πραγματικό και διαθέσιμο χλώριο

Το ποσοστό του πραγματικού και του διαθέσιμου χλωρίου χρησιμοποιούνται για τη σωστή επιλογή χλωριούχων ουσιών για αποτελεσματική χλωρίωση.

Το ποσοστό του πραγματικού χλωρίου υπολογίζεται ως εξής:

$$(Cl_2)_{\text{πραγματικό}} = \frac{\text{Βάρος χλωρίου στην ουσία}}{\text{MB ουσίας}} \times 100 \%$$

Και το ποσοστό του διαθέσιμου χλωρίου δίνεται από τη σχέση:

$$(Cl_2)_{\text{διαθέσιμο}} = [(Cl_2)_{\text{ισοδύναμο}}] \times [(Cl_2)_{\text{πραγματικό}}]$$

Το διαθέσιμο χλώριο βασίζεται στην οξειδωτική ισχύ του χλωρίου (ή αντίστοιχα στον αριθμό ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται για να ληφθεί από την αρχική ένωση το ιόν του χλωρίου (Cl⁻))

Ο αριθμός ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται βρίσκεται από την αντίστοιχη ημιαντίδραση αναγωγής



Το ισοδύναμο χλώριο είναι 5 γιατί τα ηλεκτρόνια που ανταλλάχτηκαν ήταν 5.

Επίσης το πραγματικό ποσοστό χλωρίου είναι $[(35,5/67,5) \times 100] = 52,6$

Και το διαθέσιμο χλώριο είναι $(5 * 52,6\%) = 260\%$

Πραγματικό και διαθέσιμο χλώριο

Ουσία	Μοριακό βάρος	Ισοδύναμο χλώριο**	Πραγματικό χλώριο (%)	Διαθέσιμο χλώριο (%)
Cl ₂	71	1	100	100
Cl ₂ O	87	2	81,7	163,4
ClO ₂	67,5	5	52,6	263,2
CaClOCl	127	1	56	56
Ca(OCl) ₂	143	2	49,6	99,2
HOCl	52,5	2	67,7	135,4
NaClO ₂	90,5	4	39,2	156,8
NaOCl	74,5	2	47,7	95,4
NHCl ₂	86	2	82,5	165
NH ₂ Cl	51,5	2	69	138

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Άσκηση 2

Για την απολύμανση ενός δικτύου ύδρευσης με ογκομετρική παροχή $Q = 50000 \text{ L/d}$ απαιτείται 45 mg/L χλώριο. Εάν χρησιμοποιηθεί υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl) να βρεθεί:

α) η μάζα του NaOCl σε kg που πρέπει να διαλυθεί ανά 100 L νερό ώστε να παρασκευαστεί διάλυμα με συγκέντρωση 25000 mg/L Cl_2 και

β) ο όγκος του διαλύματος σε L που απαιτείται κάθε μέρα.

Για ευκολία χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό: $L_{(s)} = \text{L διάλυμα}$ και $L_{(w)} = \text{L νερό}$.

Λύση

NaOCl : Περιέχει $95,4\%$ διαθέσιμο χλώριο

$$\alpha: \left(25000 \frac{\text{mg Cl}_2}{L_{(s)}} \right) \left(\frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}} \right) \left(\frac{\text{NaOCl}}{0,954 \text{ Cl}_2} \right) = 0,0263 \text{ kg NaOCl} / L_{(s)} = 2,63 \text{ kg NaOCl} / 100 L_{(s)}$$

β. ο όγκος του NaOCl διαλύματος που απαιτείται ημερησίως είναι:

$$\left(50000 \frac{L_{(w)}}{d} \right) \left(\frac{45 \text{ mg Cl}_2}{L_{(w)}} \right) \left(\frac{L_{(s)}}{25000 \text{ mg Cl}_2} \right) = 90 L_{(s)}$$

Άσκηση 3

Πειράματα απολύμανσης ενός επιφανειακού νερού έδειξαν ότι 99% των βακτηρίων θανατώνονται σε 10 λεπτά με την προσθήκη χλωρίου όταν το ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο είναι σε συγκέντρωση 0,15 g/m³. Να βρεθεί ο απαιτούμενος χρόνος επαφής για να επιτευχθεί 99.9% θανάτωση των βακτηρίων με C=0,08 g/m³ ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο. Θεωρείστε ότι n = 1,1 από τον νόμο του Chick and Watson.

Λύση άσκησης 3

Η εξίσωση του ρυθμού θανάτου είναι:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -kt \Rightarrow \frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} \Rightarrow N_t = N_0 e^{-kt}$$

Για N ίσο με 1% of N_0 (δλδ 99% των βακτηρίων θανατώνονται): $N/N_0 = 0,01$

Λύνω ως προς k για $t = 10 \text{ min} \rightarrow k = 0,461 \text{ (1/min)}$

Από την εξίσωση Watson: $k = \Lambda C^n$

Για $C = 0,15 \text{ g/m}^3$ και για $n=1,1$ υπολογίζουμε το Λ

$\Lambda = 3,72$ (τι units έχει το Λ ;))

Για $C=0,08 \text{ g/m}^3$ από την εξίσωση $k = \Lambda C^n$ έχουμε:

$k = 3,72 * 0,08^{1,1} = 0,298 \text{ (1/min)}$

N_t : ο αριθμός των ζωντανών μικροοργανισμών

t : ο χρόνος επαφής

k : είναι η σταθερά του ειδικού ρυθμού θανάτου (min^{-1})

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\Lambda \cdot C^n \cdot t$$

C: συγκέντρωση απολυμαντικού

Λ : συντελεστής θνησιμότητας

n: συντελεστής διάχυσης – ενεργότητας.

Λύση άσκησης 3

Η νέα εξίσωση του ρυθμού θανάτου είναι:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt \quad \Rightarrow \quad \frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} \quad \Rightarrow \quad \ln(0,001) = -0.298(1/\text{min})t$$

N_t : ο αριθμός των ζωντανών
μικροοργανισμών
 t : ο χρόνος επαφής
 k : είναι η σταθερά του ειδικού
ρυθμού θανάτου (min^{-1})

Λύνω ως προς t και βρίσκω 23,2 min

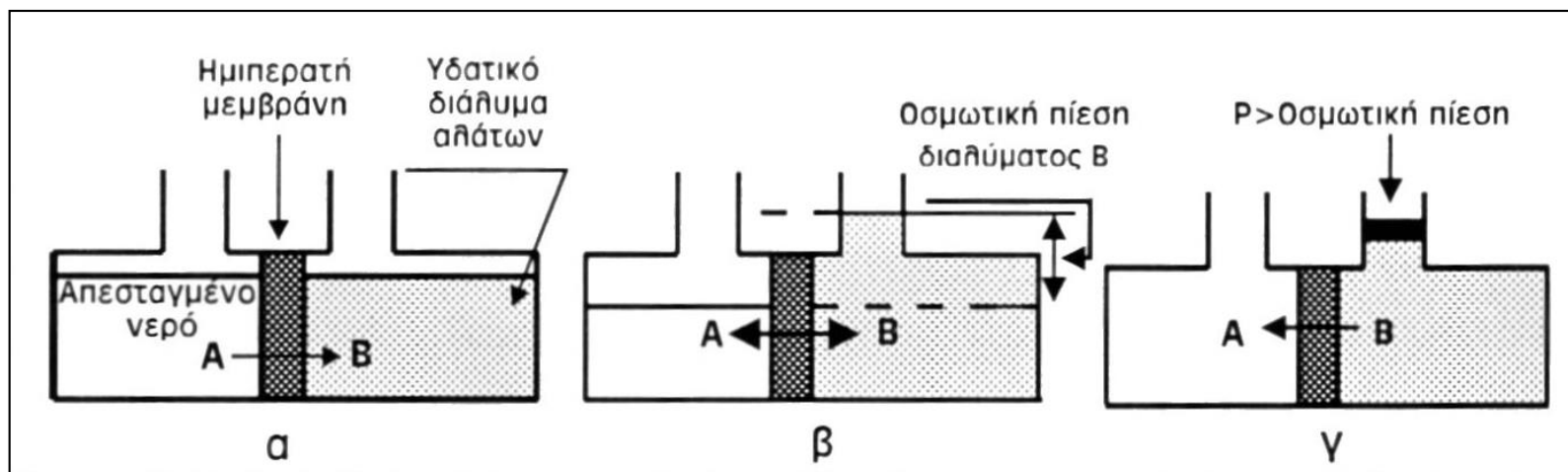
Διάλεξη 10

Αντίστροφη Όσμωση

(α): Όταν διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη τότε το καθαρό νερό από το διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης (A) διέρχεται μέσω της μεμβράνης προς το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης (B).

(β): Η οσμωτική ροή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μια κατάσταση ισορροπίας που χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος μεγαλύτερης συγκέντρωσης (B). Η κατάσταση ισορροπίας λέγεται οσμωτική. Η διαφορά στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση του συστήματός τους.

(γ): Εάν στο διάλυμα (B) εφαρμοστεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική, τότε διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης καθαρό νερό προς το διάλυμα (A). Έχουμε δηλ, αντίστροφη όσμωση.



Σχηματική παράσταση φαινομένου (α) όσμωσης, (β) οσμωτικής ισορροπίας και (γ) αντίστροφης όσμωσης.
Μήτρακας

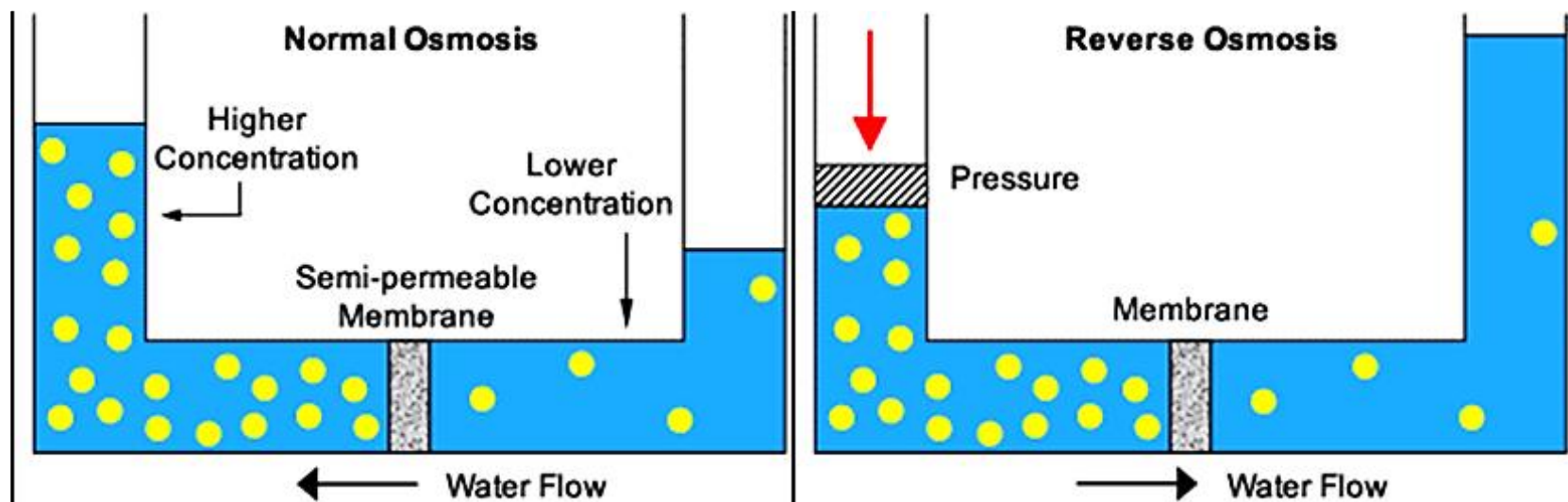
Μηχανισμοί μεταφοράς

Θεωρία Διάχυσης Των Διαλυμάτων:

Εκλεκτική προσρόφηση του νερού και των συστατικών του στην επιδερμίδα της μεμβράνης και εκρόφηση στην ενδοεπιφάνεια μεταξύ επιδερμίδας και πορώδους υποστρώματος

Συμπεράσματα:

- Η εκλεκτικότητα της μεμβράνης ως προς το νερό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια του έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες απορρόφησης, διάχυσης και εκρόφησης από τις αντίστοιχες ταχύτητες των διαλυτών συστατικών.
- Η ροή νερού μέσω της μεμβράνης είναι πολύ μεγαλύτερη από τη ροή των διαλυτών συστατικών του.



*Αρχή λειτουργίας
αντίστροφης
όσμωσης*

Παράγοντες ρύπανσης μεμβράνης

Παράγοντες ρύπανσης μεμβράνης:

1. Επικαθίσεις αλάτων
2. Επικάθιση υδροξειδίων των μετάλλων
3. Βιολογικές επικαθίσεις
4. Επικαθίσεις κolloειδών

1. Επικαθίσεις αλάτων

Αιτία:

- Υπέρβαση γινομένου διαλυτότητας αλάτων στο συμπύκνωμα απόρριψης
- Ιζηματοποίηση (σχηματισμός CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, BaSO_4 , SrSO_4 , SiO_2)

Πρόληψη:

- Αποσκλήρυνση (SrSO_4)
- Προσθήκη οξέος (CaCO_3)
- Αναστολείς
- Μείωση ανάκτησης (SiO_2 -άμορφο)
- Ιοντοεναλλαγή (Ca^{2+} , Mg^{2+})
- Έλεγχος με τον υπολογισμό λόγου γινομένου ιόντος & διαλυτότητας (< 1)

*Γινόμενο διαλυτότητας
συνήθων περιοριστικών
αλάτων. Μήτρακας*

Άλας	pK_{sp} 25°C
CaCO_3	8.3
CaSO_4	4.7
BaSO_4	9.7
SrSO_4	6.2
SiO_2	2.7

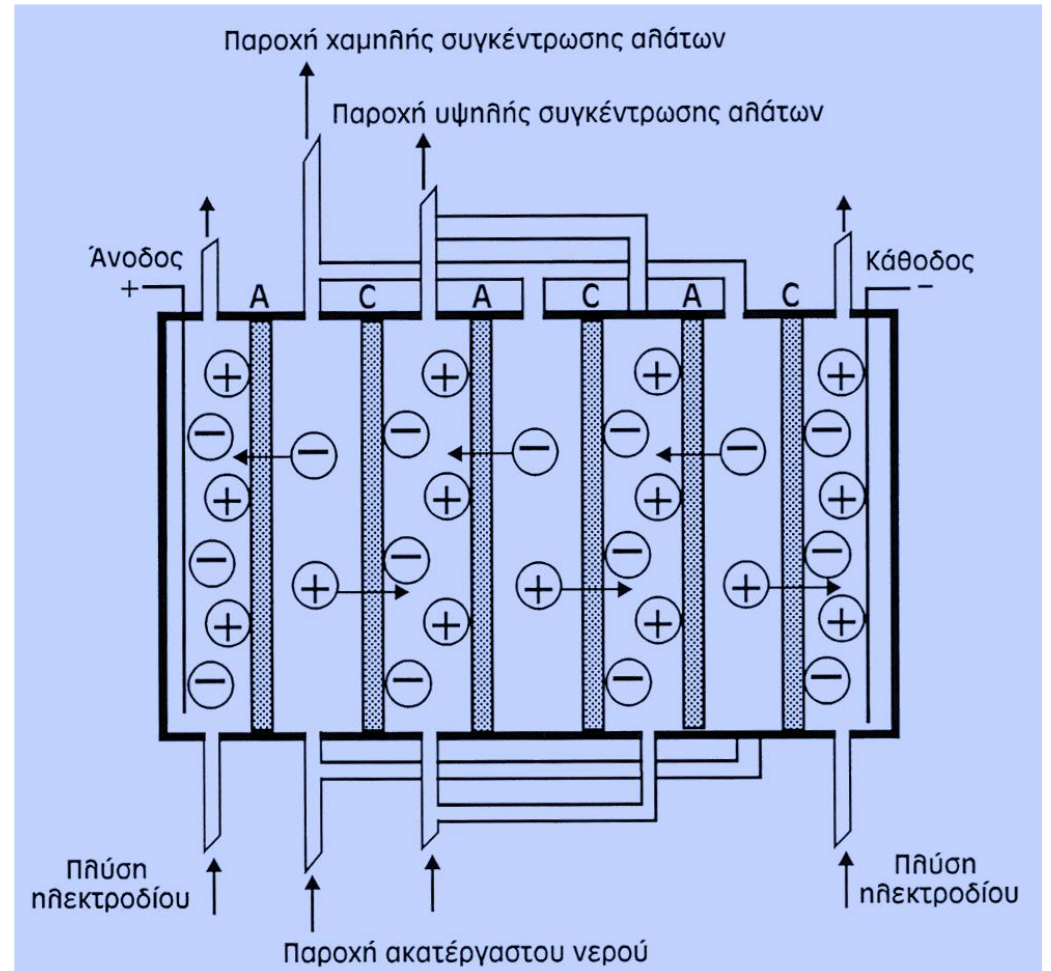
Ηλεκτροδιάλυση

Είναι μια ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού με τη βοήθεια μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης των διαλυτών συστατικών του νερού υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου.

Όταν ένα νερό με υψηλή συγκέντρωση ιόντων εκτεθεί σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, παρατηρείται κίνηση των κατιόντων προς την κάθοδο (**αρνητικό ηλεκτρόδιο**) και των ανιόντων προς την άνοδο (**θετικό ηλεκτρόδιο**).

Αν ανάμεσα στα ηλεκτρόδια τοποθετηθεί μια σειρά μεμβρανών ηλεκτροδιάλυσης (μισές διαπερατές σε ανιόντα και μισές σε κατιόντα) τότε **δημιουργούνται εναλλακτικά διαμερίσματα με μεγαλύτερη και μικρότερη της αρχικής συγκέντρωση αλάτων.**

Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροδιάλυσης.
A. Μembrάνη διέλευσης ανιόντων,
C. Μembrάνη διέλευσης κατιόντων



Μεμβράνες ηλεκτροδιάλυσης

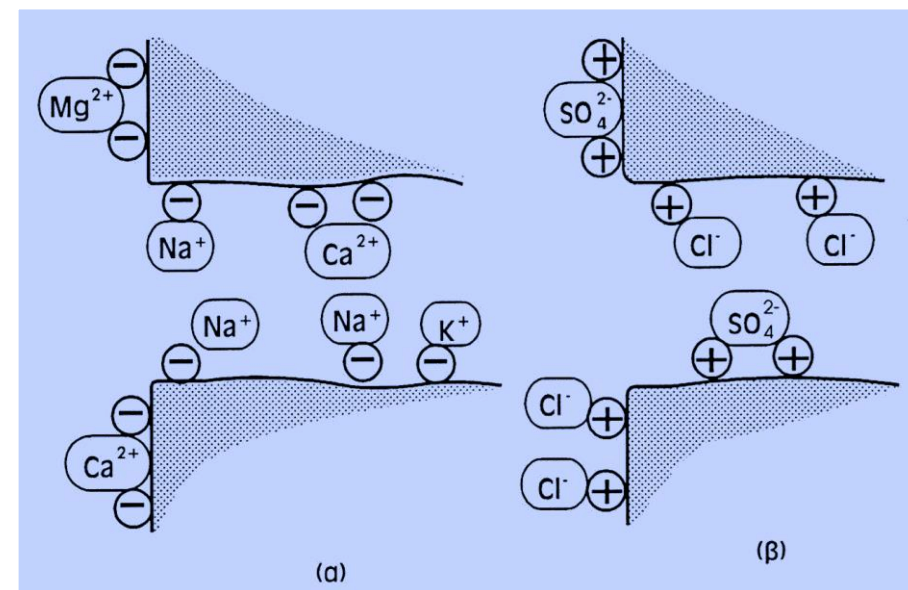
Χαρακτηριστικά:

- Αδιαπέραστες από το νερό
- Επιτρέπουν τη διέλευση όλων των ιονιζόμενων ομάδων λόγω **διαφοράς δυναμικού** μεταξύ των διαλυμάτων που βρίσκονται σε επαφή με τις δυο πλευρές της.
- Κατασκευή με χρήση ρητινών ιοντοεναλλαγής κατιόντων ή ανιόντων (επόμενες διαφάνειες)

Μια **μεμβράνη διέλευσης κατιόντων** είναι μια επίπεδη επιφάνεια από ρητίνη η οποία περιέχει ένα πλέγμα πόρων μικρού μεγέθους ώστε να μην ευνοείται η ροή του νερού από αυτό.

Οι πόροι συνυπάρχουν με ηλεκτροαρνητικά φορτία. Η κατασκευή της επιτρέπει τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος υπό τη μορφή μετακίνησης μια μάζας **κατιόντων** που κινούνται προς τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ οι εγκατεστημένες **αρνητικά φορτισμένες ομάδες** απωθούν τα ομώνυμα φορτισμένα σωματίδια και τα **ανιόντα**.

Αντίστοιχα λειτουργούν και οι **μεμβράνες διέλευσης ανιόντων**.



Σχηματική παράσταση λειτουργίας μεμβρανών διέλευσης (α) κατιόντων και (β) ανιόντων

Απόδοση συστήματος

Η δομική μονάδα ηλεκτροδιάλυσης (ζεύγος σημείων) περιλαμβάνει:

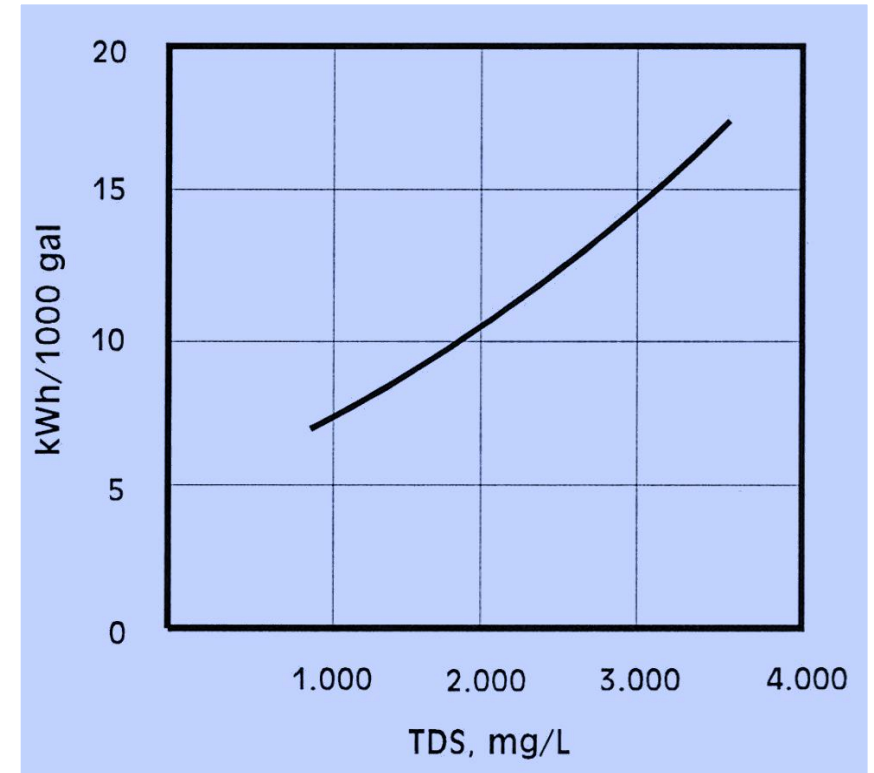
- Μία μεμβράνη διέλευσης ανιόντων
 - Ένα χώρο ροής νερού υψηλής συγκέντρωσης ιόντων
 - Μία μεμβράνη διέλευσης κατιόντων
 - Ένα χώρο ροής νερού χαμηλής συγκέντρωσης ιόντων (ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) χαμηλότερης συγκέντρωσης νερού)
- Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτροδιάλυσης περιέχει 300 – 500 ζεύγη στοιχείων.

Ο χώρος χαμηλής συγκέντρωσης ιόντων περιέχει νερό με TDS με **χαμηλότερη συγκέντρωση** από αυτή του νερού τροφοδοσίας.

Με την είσοδο νερού τροφοδοσίας στο χώρο αυτό σταδιακά τα ιόντα που περιέχει διοχετεύονται προς το χώρο υψηλής συγκέντρωσης ιόντων.

Η **μείωση TDS** προκαλεί την ανάλογη αύξηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας η οποία και είναι ο **καθοριστικός παράγοντας για την καθαρότητα του προϊόντος.**

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται και από το TDS της τροφοδοσίας.



Τυπική κατανάλωση ηλ. ενέργειας ηλεκτροδιάλυσης ως προς τα TDS για απομάκρυνση 83% στους 15°C.

Μήτρακας

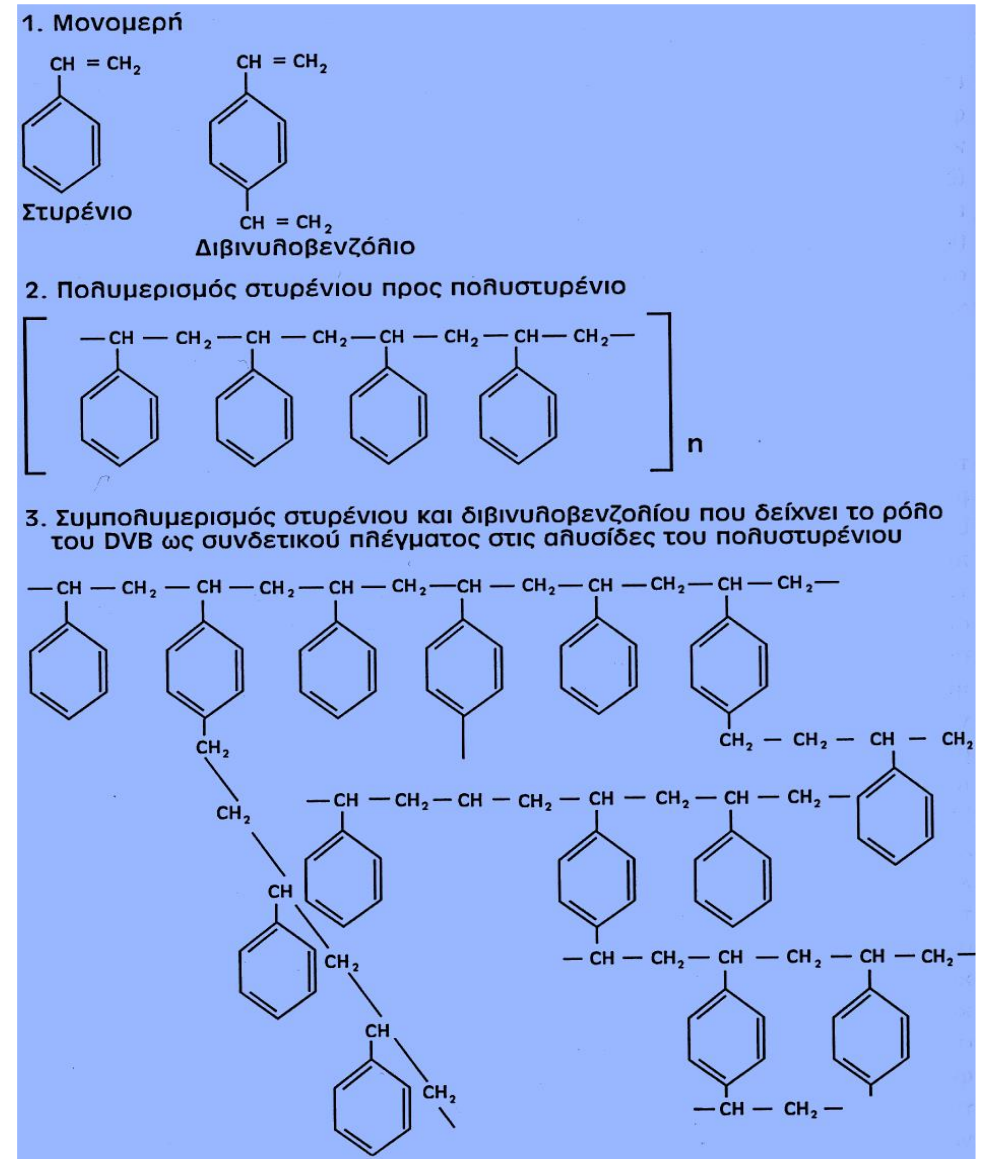
Χημική δομή ρητινών ιοντοεναλλαγής

Η πλειοψηφία των ρητινών παράγεται με συμπολυμερισμό πολυστυρενίου (PS) και διβινυλοβενζολίου (DVB)

Το **DVB**:

- Χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό πλέγμα μεταξύ των αλυσίδων του πολυμερούς
- Ποσοστό DVB 3 έως 8%
- Επηρεάζει τη σκληρότητα και τη δυσ-διαλυτότητα της ρητίνης
- Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό DVB τόσο ελαττώνεται η διαπερατότητα της ρητίνης με αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκολίας εναλλαγής των ιόντων

*Παραγωγή ρητινών με
συμπολυμερισμό.
Μήτρακας*



Χημική Δομή Ρητινών Ιοντοεναλλαγής

Οι ρητίνες χαρακτηρίζονται από την:

- **Ιοντοεναλλακτική τους ικανότητα**
- Κινητική ιοντοεναλλαγής
- Εκλεκτικότητα
- Σταθερότητα
- Σφαιρικοί κόκκοι: 0,3 - 1,2 mm

Είδη ρητινών

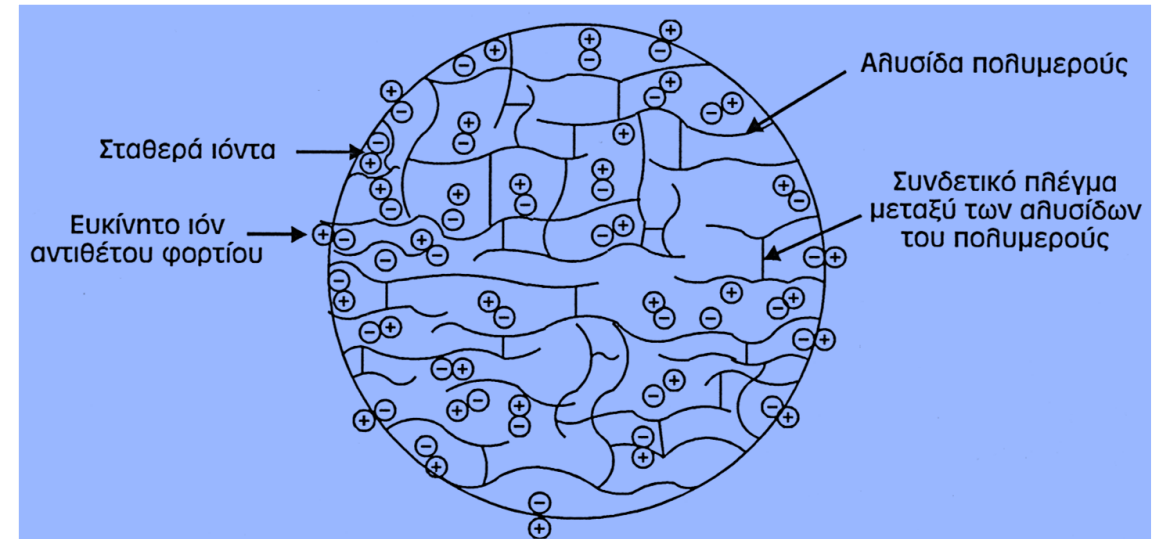
1. Ισχυρά κατιονική ρητίνη (SAC – Strong Acid Cation)
2. Ασθενώς κατιονική ρητίνη (WAC – Weak Acid Cation)
3. Ισχυρά ανιονική ρητίνη (SBA – Strong Base Anion)
4. Ασθενώς ανιονική ρητίνη (WBA – Weak Base Anion)

Ρητίνες ιοντοεναλλαγής



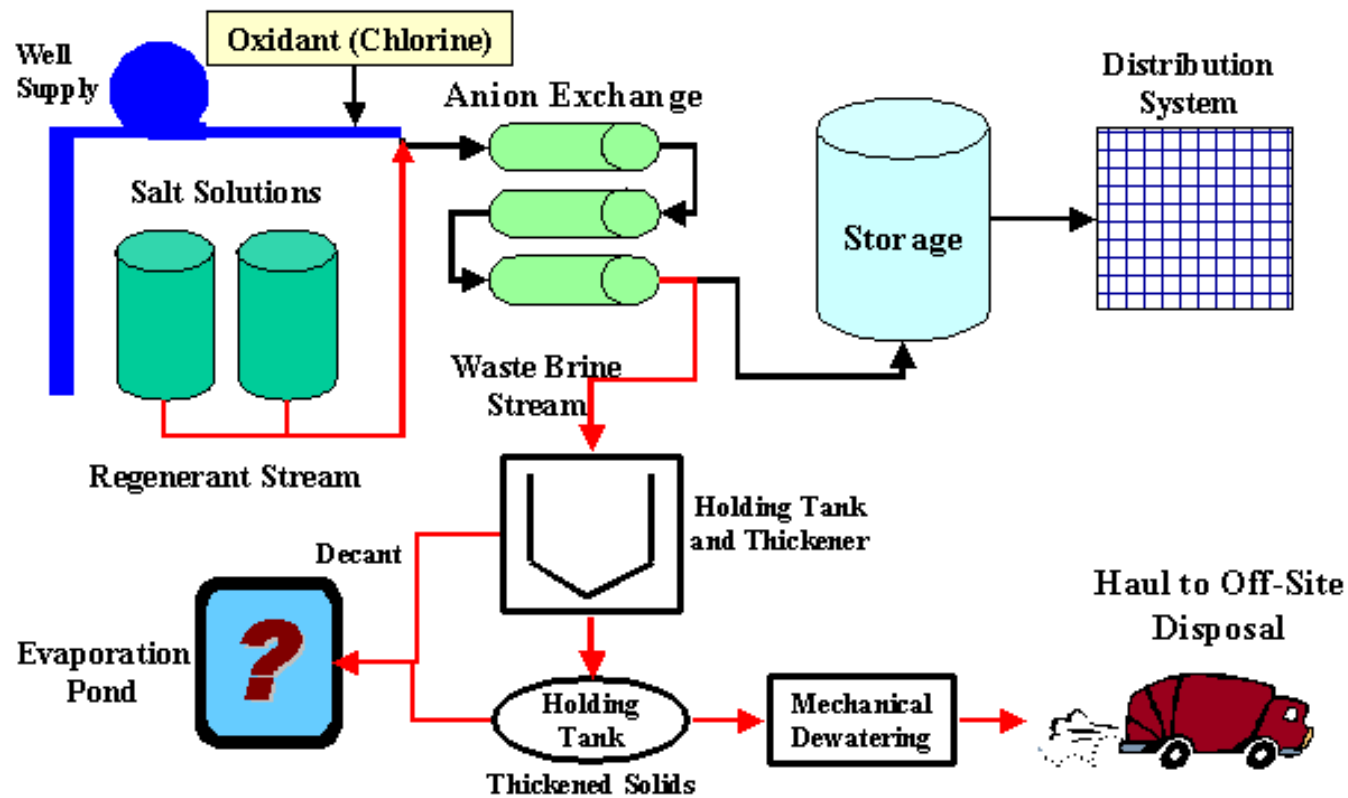
Οι αρνητικά φορτισμένες ενεργές ομάδες είναι τοποθετημένες πάνω στη κύρια βάση ενώ τα αντίθετα φορτισμένα ευκίνητα θετικά ιόντα συνδέονται με ηλεκτροστατικές δυνάμεις με κάθε μία από αυτές.

Η δομή μιας κατιονικής ρητίνης. Μήτρακας



Κύκλος Λειτουργίας Κλινών Ιοντοεναλλαγής

Conventional Ion Exchange Process Schematic...



1. Δέσμευση (Exhaustion)
2. Αντίστροφη πλύση (Backwash)
3. Αναγέννηση (Regeneration)
4. Εκτόπιση (Displacement)
5. Έκλυση (Rinse)