



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

Διάλεξη 5η: Επεξεργασία Πόσιμου Νερού

Νικόλαος Γ. Σαββάκης


Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΛΜΕΠΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2023-2024

Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Νερού

Στόχος:

 Παραγωγή προϊόντος (νερού) που θα ικανοποιεί το χρήστη ως προς τις προδιαγραφές ποιότητας.

Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού πρέπει να γίνεται βάσει:

- το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος (CAPEX & OPEX)
- την απλότητα της λειτουργίας
- την ευκολία της συντήρησης

Ο σχεδιασμός αντιπροσωπεύει συνήθως το **15%** του συνολικού κόστους της μονάδας. Εξαρτάται από την:

- Πολυπλοκότητα Σχεδιασμού
- Ανάγκη ανάπτυξης νέων μεθόδων



Διεργασίες για την Επεξεργασία Νερού

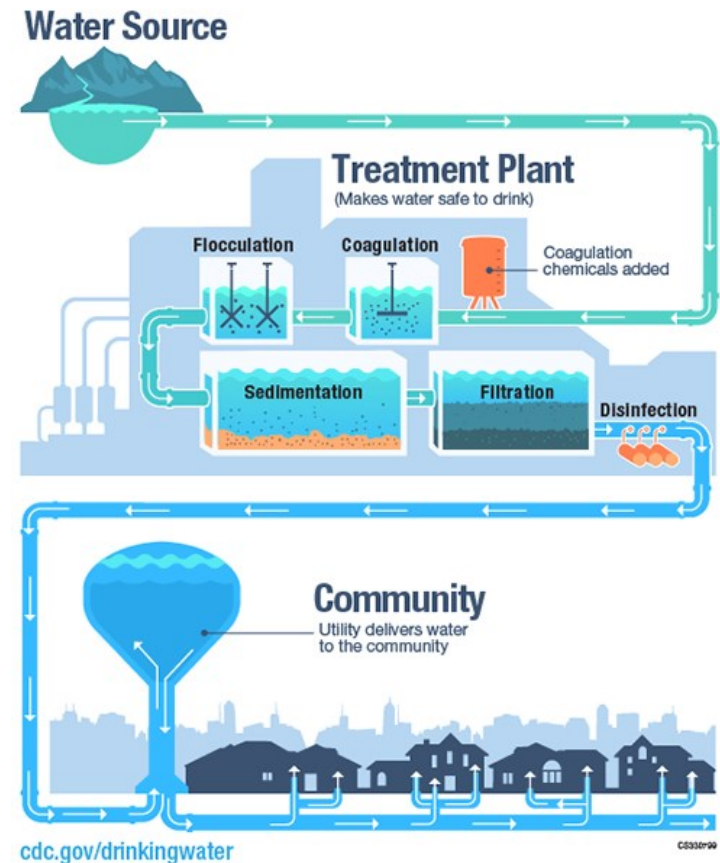
Στόχος των διεργασιών επεξεργασίας νερού:

Η αξιοποίηση διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών του νερού.



Βήματα για την επιλογή κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας σε οποιαδήποτε εγκατάσταση επεξεργασίας νερού:

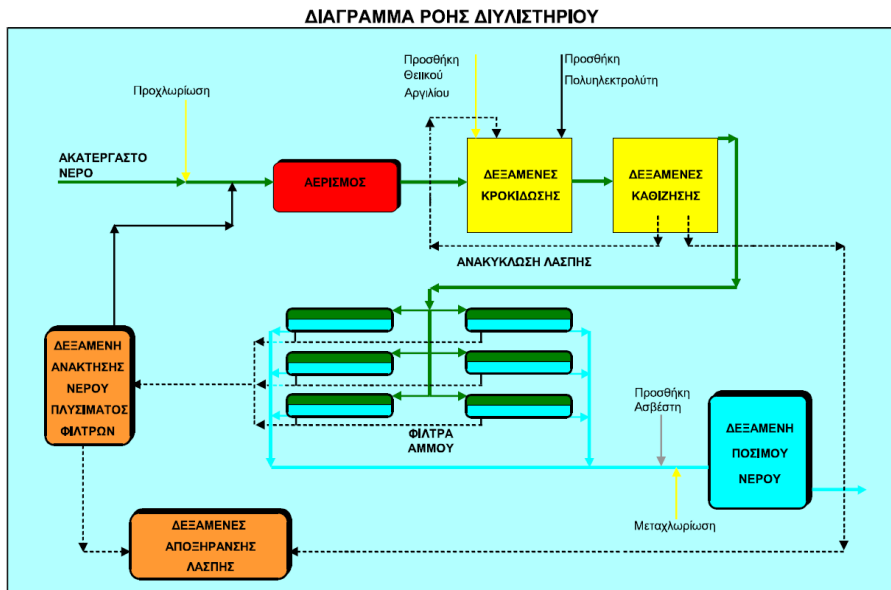
- **Ποιοτικός έλεγχος** του προς επεξεργασία νερού (χημική και μικροβιολογική ανάλυση).
- Προκαταρκτικός **σχεδιασμός διεργασιών**
- Εκτίμηση κόστους κατασκευής και λειτουργίας (**CAPEX & OPEX**)
- Εγκατάσταση πειραματικής μονάδας (**πιλότου**) για έλεγχο των φυσικοχημικών διεργασιών και παραμέτρων σχεδιασμού που θα εφαρμοστούν



Διεργασίες για την Επεξεργασία Νερού

Στόχος των διεργασιών επεξεργασίας νερού:

Η αξιοποίηση διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών του νερού.



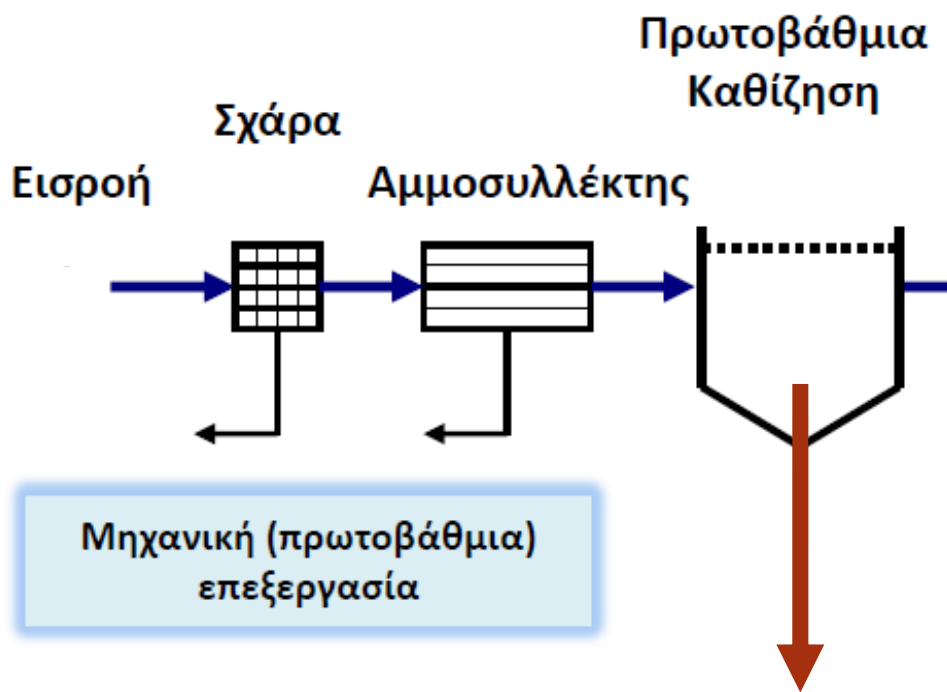
Τεχνικές Επεξεργασίας

- Καθίζηση
- Διήθηση (διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κ.λ.π.) με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων (π.χ. άμμος, ανθρακίτης, συνθετικές ίνες, μεμβράνες). Στις εφαρμογές μεμβρανών ανήκουν η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF) και η νανοδιήθηση (NF).
- Χημική επεξεργασία (Κροκίδωση – Συσσωμάτωση – Ιζηματοποίηση – Χημική κατακρήμνιση).
- Αντίστροφη ώσμωση
- Προσρόφηση (κυρίως σε ενεργό άνθρακα)
- Ιοντοεναλλαγή ή Ιοανταλλαγή.
- Απολύμανση

Απαιτούμενη Επεξεργασία Νερού

Κατηγοριοποίηση Επεξεργασίας	Είδος ρύπανσης	Μεθοδος Επεξεργασίας
Προεπεξεργασία	Επιπλέοντα στερεά	Εσχάρωση
	Αιωρούμενα στερεά	Μικροκόσκινιση
	Άμμος	Αμμοσυλλογή
	Φύκια	Μικροκοσκίνιση
Κύρια Επεξεργασία	Θολότητα	Κροκίδωση, Καθίζηση, Υστεροχλωρίωση
	Χρώμα	Κροκίδωση, Συσσωμάτωση
	Οσμή, Γεύση	Φίλτραση με Ενεργό Άνθρακα
	Σκληρότητα	Συσσωμάτωση, Διήθηση
	Σίδηρος, Μαγγάνιο	Προχλωρίωση, Συσσωμάτωση,
	Παθογόνοι μικροοργανισμοί:	Προχλωρίωση, Συσσωμάτωση, Διήθηση, Υστεροχλωρίωση

Προ-επεξεργασία Νερού



Διεργασίες που εφαρμόζονται για την προετοιμασία του νερού πριν την κύρια επεξεργασία καθαρισμού.

Βασικές διεργασίες

- Εσχαρισμός- Εσχάρωση
- Εξάμμωση - Αμμοσυλλογή
- Μικροκοσκίνιση
- Προχλωρίωση

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

Προεπεξεργασία νερού: Εσχάρωση

Διαχωρισμός στερεών με τη βοήθεια σχαρών:

- **Στόχος:** Απομάκρυνση αντικειμένων ή φυσικών υλικών (π.χ. φύλλα, χαρτιά, ξύλα, μέταλλα, κλπ.)
- Εφαρμόζεται συνήθως σε επιφανειακά νερά (ταμιευτήρες).

Οι σχάρες διακρίνονται σε:

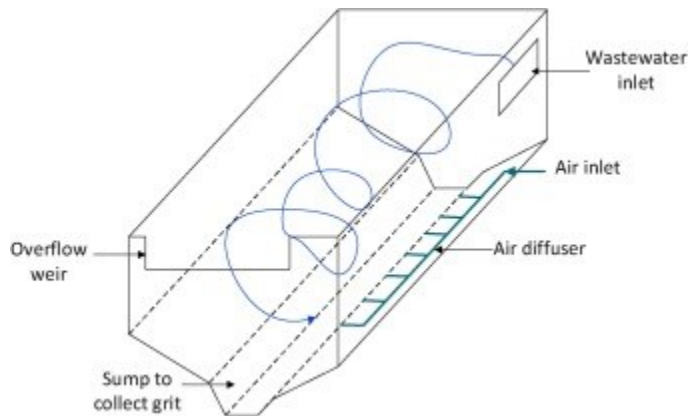
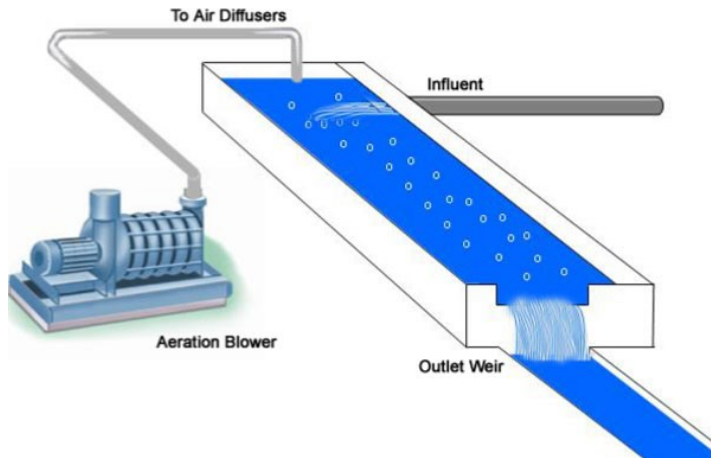
- Χειροκίνητες εσχάρες που χρειάζονται καθαρισμό.
- Μηχανικές εσχάρες που διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού με μηχανικό χτένι.

Μεγέθη:

- Χοντρή σχάρα, διάμετρος 3-10 cm
- Μεσαία σχάρα, διάμετρος 1-3 cm
- Λεπτή σχάρα, διάμετρος 0,3-1 cm



Προεπεξεργασία νερού: Αμμοσυλλογή

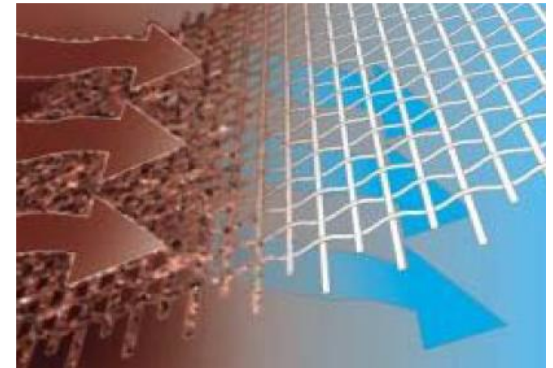


- **Στόχος:** Απομάκρυνση κόκκων άμμου που έχει συμπαρασυρθεί από ποτάμια/λίμνες και άλλων αδρανών στερεών (**όχι οργανικών στερεών**)
- **Αιτία:** Η αποφυγή της πρόκλησης βλαβών στις εγκαταστάσεις (αντλίες, αναδευτήρες, κ.α.).
- Η συλλογή της άμμου επιτυγχάνεται με την κατασκευή ενός αμμοσυλλέκτη. Οι συνυθέστεροι τύποι είναι:
 - Αμμοσυλλέκτες οριζόντιας ροής με ορθογωνική ή τεράγωνη διατομή
 - Αεριζόμενοι αμμοσυλλέκτες
 - Αμμοσυλλέκτες τύπου δίνης

Παράδειγμα σχεδιασμού αεριζόμενου εξαμμωτή

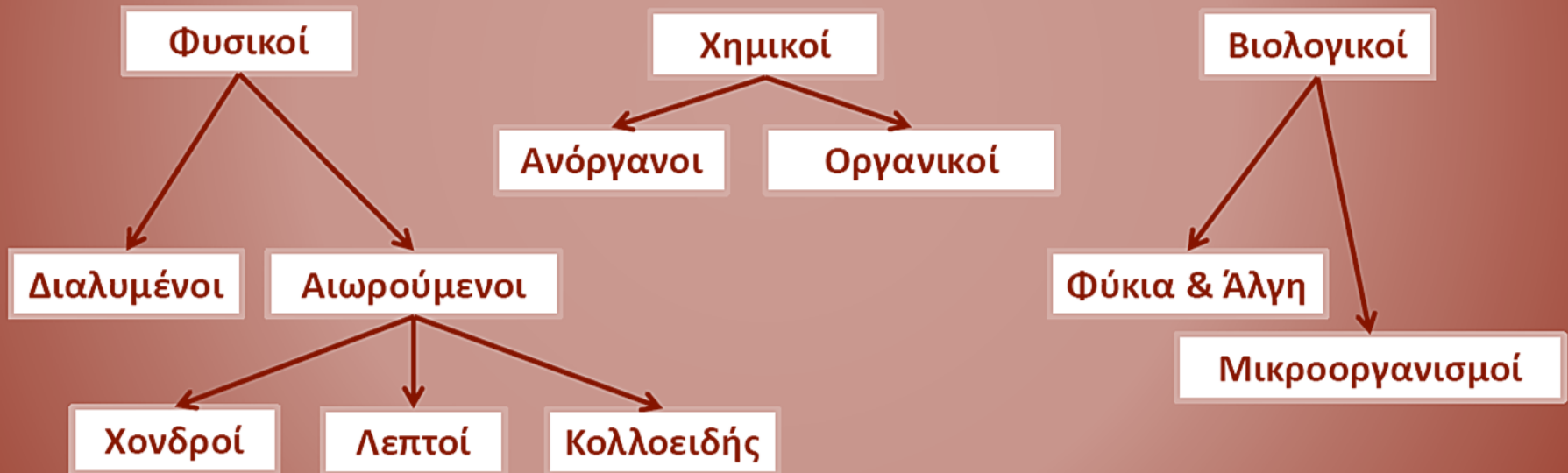
Προεπεξεργασία νερού: Κοσκίνιση

- Κατά την κοσκίνιση διαχωρίζεται η στερεή φάση από την υγρή με τη χρήση ενός δισδιάστατου πλέγματος.
- Τα σωματίδια της στερεής φάσης, των οποίων η **διάμετρος** είναι **μεγαλύτερη** από την **διάμετρο των πόρων του πλέγματος**, συγκρατούνται πάνω στο πλέγμα και απομακρύνονται.
- Ανάλογα με το μέγεθος των ανοιγμάτων του πλέγματος που χρησιμοποιείται τα διακρίνουμε σε:
 - **Μακροκόσκινα (>0,3 mm)**
 - **Μικροκόσκινα (< 0,3 mm)**



Ρυπαντές Ακατέργαστου Νερού

Τα ανεπιθύμητα συστατικά του νερού είτε απομακρύνονται, είτε καθίστανται αβλαβή με κατάλληλες χημικές ή φυσικές διεργασίες, οι οποίες εκτελούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του.

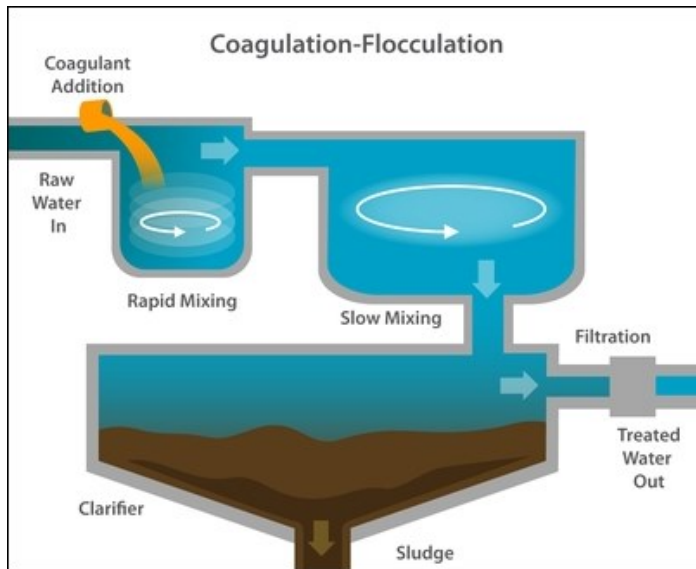


Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Στόχος:

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

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



Αρχή λειτουργίας

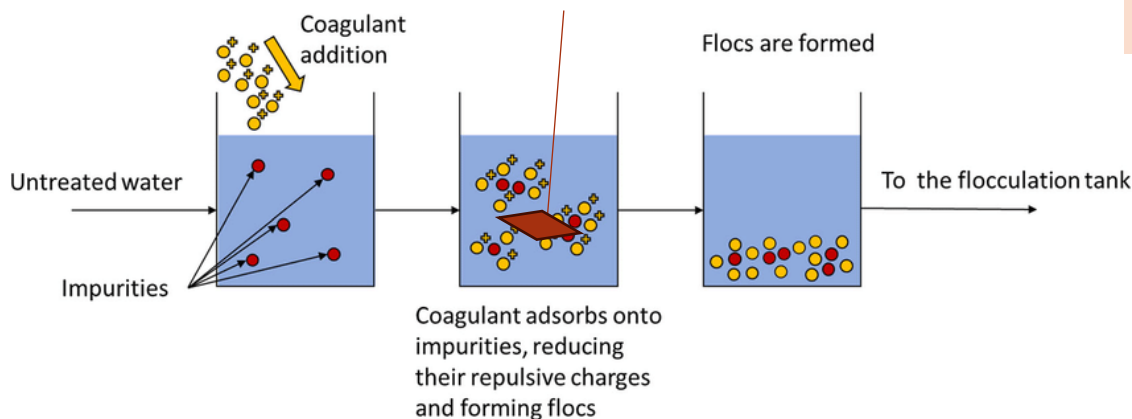
- Στα στερεά σωματίδια αναπτύσσονται σταθεροποιητικές δυνάμεις που τα διατηρούν σε αιώρηση με αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται η συσσωμάτωσή τους.
- Με την κροκίδωση, μέσω χημικών διεργασιών, επιτυγχάνεται η αποσταθεροποίηση των δυνάμεων
- Κατά συνέπεια, η συσσωμάτωση επιτυγχάνεται ευκολότερα (δλδ. ο σχηματισμός μεγαλύτερων αιωρούμενων στερεών σωματιδίων).

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Απομάκρυνση στερεών σωματιδίων μικρού μεγέθους ($< 10 \mu\text{m}$) → Πραγματοποιείται η **συνένωση μικρών σωματιδίων σε μεγαλύτερα**, τα οποία **απομακρύνονται** στη συνέχεια από το νερό με **καθίζηση ή επίπλευση ή διήθηση**

Φύση και κατάσταση διασποράς των σωματιδίων στο φυσικό νερό:

- Αιωρούμενα σωματίδια: $> 5 \mu\text{m}$
- Κολλοειδή σωματίδια: $5\text{nm} - 1 \mu\text{m}$
- Τα σωματίδια τα οποία είναι μικρότερα από 5nm θεωρούνται διαλυμένα



Κροκιδωτικά (Coagulants) :

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την αποσταθεροποίηση των σωματιδίων

Κατά την Κροκίδωση: Τα κροκιδωτικά εισέρχονται στο διάλυμα με τη βοήθεια μια διάταξης ανάμιξης, η οποία πρέπει να εξασφαλίζει την γρήγορη διασπορά του 1 min για την βελτιστοποίηση της ικανότητας του κροκιδωτικού για αποσταθεροποίηση.

Κατά την Συσσωμάτωση: Ακολουθεί ανάμιξη (με τη χρήση αναδευτήρα) μικρότερης έντασης ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός σύγκρουσης ή οι επαφές των σωματιδίων.

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Ορθοκίνητική Συσσωμάτωση

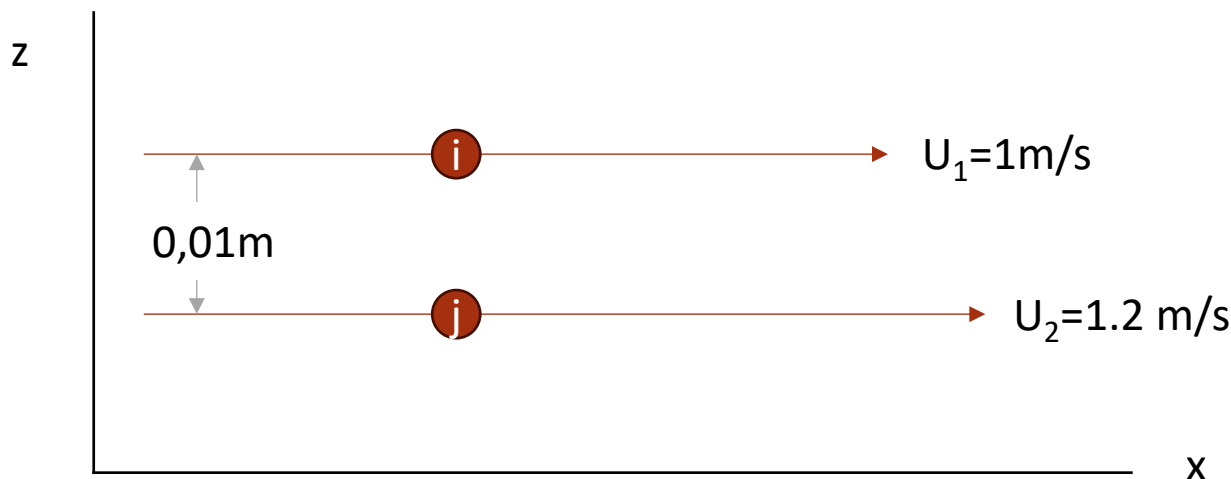
Η μηχανική ανάμιξη είναι αναγκαία για:

- Την επιτάχυνση του σχηματισμού θρόμβων από τα κολλοειδή
- Ικανοποιητική συσσωμάτωση των μεγάλων σωματιδίων ($> 1\mu\text{m}$)

Η ανάδευση του νερού μεταβάλλει την ταχύτητα του τοπικά και χρονικά, έτσι τα σωματίδια i και j κατά την κίνηση τους θα υποστούν μια **βαθμίδα ταχύτητας G** ίση με:

$$G(s^{-1}) = \frac{dU_x}{dz}$$

Όπου x, z η οριζόντια και κάθετη συντεταγμένη καρτεσιανού συστήματος, αντίστοιχα.
 U_x είναι η ταχύτητα του νερού στην κατεύθυνση της συντεταγμένης x



Όταν η απόσταση από τα κέντρα των σωματιδίων γίνει:

$R_{ij} \leq (d_i + d_j) / 2$ τότε έχουμε **σύγκρουση**
 d_i : Διάμετρος του i
 d_j : Διάμετρος του j

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Απαιτήσεις ισχύος για ανάμιξη σε μη αεριζόμενα ρευστά

- Η μαθηματική σχέση μεταξύ αυτών των μεταβλητών εκφράζεται συνήθως σε όρους αδιάστατων αριθμών, όπως ο αριθμός Reynolds Re_i τaráκτρου και ο αριθμός ισχύος N_p

$$Re_i = \frac{N_i D_i^2 \rho}{\mu}$$

$$N_p = \frac{P}{\rho N_i^3 D_i^5}$$

Το N_i είναι η ταχύτητα του αναδευτήρα, το D_i είναι η διάμετρος του Impeller, το ρ είναι πυκνότητα του ρευστού, το μ είναι το ιξώδες του ρευστού και το P είναι η ισχύς που βάζουμε για ανάδευση.

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

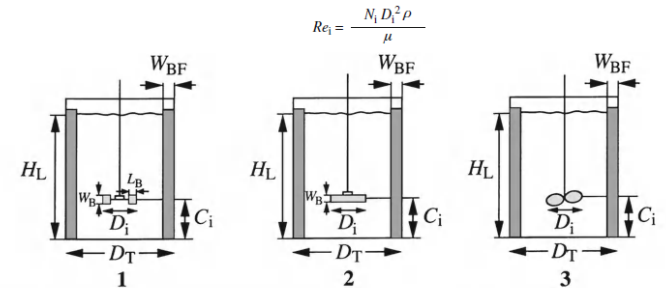
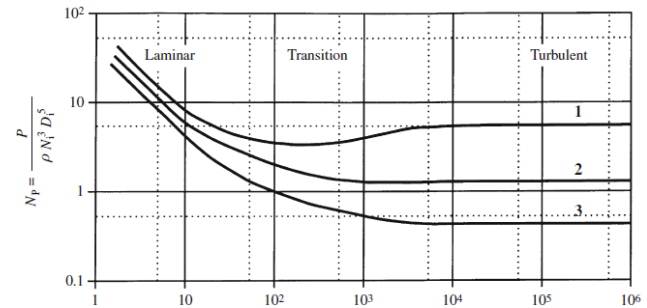
Ορθοκίνητική Συσσωμάτωση: σε στρωτή ροή

Συσχέτιση μεταξύ του αριθμού Reynolds και του αριθμού ισχύος N_p

- Η σχέση μεταξύ Re_i και N_p έχει βρεθεί πειραματικά για ένα εύρος πτερωτών και σχηματισμούς δεξαμενών.
- Η ισχύς υπολογίζεται από τη σχέση (με γνωστή τη N_p):

$$P = N_p * \rho * N_i^3 * D_i^5$$

- Για μια δεδομένη πτερωτή, η σχέση μεταξύ του αριθμού ισχύος και του αριθμού Reynolds εξαρτάται από το καθεστώς ροής στη δεξαμενή.

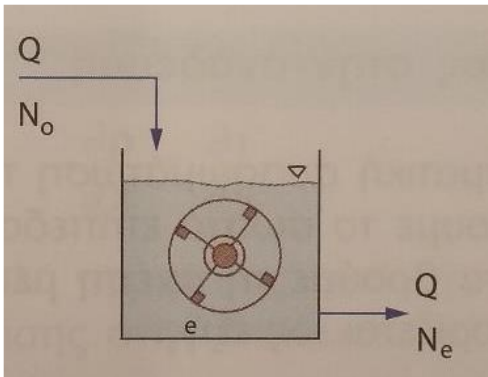


Impeller	D_i/D_T	H_L/D_T	C_i/D_T	Baffles	
				W_{BF}/D_T	Number
1. Rushton turbine $W_B/D_i = 0.2$, $L_B/D_i = 0.25$	0.33	1	0.33	0.1	4
2. Pitched-blade turbine $W_B/D_i = 0.125$, 6 blades, 45°, downward pumping	0.33	1	0.33	0.1	4
3. Marine propeller 3 blades, pitch = D_i	0.33	1	0.33	0.1	4

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Σε στρωτή και σταθερή ροή οι βαθμίδες ταχύτητας G είναι καθορισμένες και ο ρυθμός θρόμβωσης των σωματιδίων θα δίνεται από την σχέση:

$$\frac{dN_T}{dt} = - \frac{4 * G * a * \varphi * N_T}{\pi}$$



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

Φ : ο όγκος των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου διαλύματος
 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)

Το ισοζύγιο μάζας σε έναν αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης για συνθήκες μόνιμης κατάστασης είναι:

$$Q * N_0 - Q * N_e - \left(\frac{4 * G * a * \varphi * N_e}{\pi} \right) * V = 0$$

Όπου, V : Όγκος, Q : Ογκομετρική παροχή

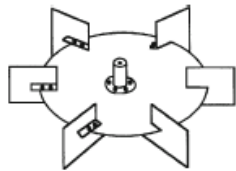
N_0, N_e : η συγκέντρωση κολλοειδών σωματιδίων στο ρεύμα εισόδου και στο ρεύμα εξόδου, αντίστοιχα

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

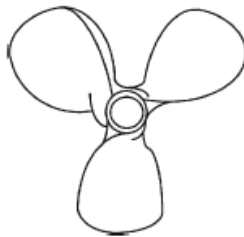
Εξοπλισμός ανάμιξης: Ανάδευση –Σχεδιασμός Ταράκτρου

Η επιλογή του ταράκτρου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το ιξώδες του υγρού προς ανάμιξη και η ευαισθησία του συστήματος σε μηχανική διάτμηση.

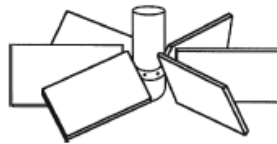
Για υγρά χαμηλού έως μέσου ιξώδους, συνιστώνται προπέλες και τουρμπίνες επίπεδης λεπίδας.



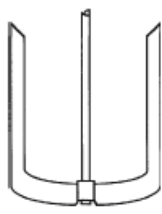
Τουρμπίνα 6 επιπέδων πτερυγίων



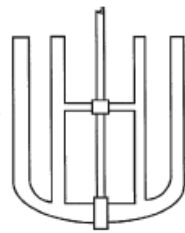
Προπέλα



Τουρμπίνα με 6 πτερύγια υπό γωνία



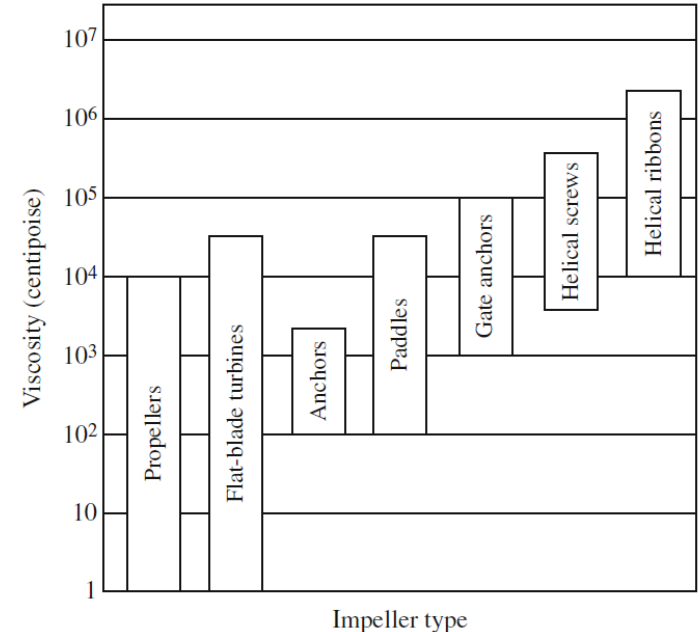
Άγκυρα



Άγκυρα με θύρα



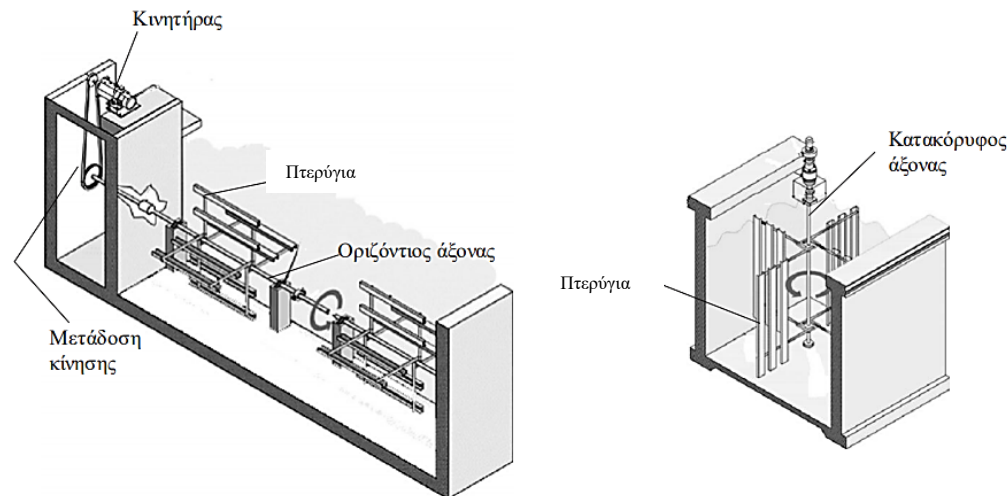
Ελικά



Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Εξοπλισμός ανάμιξης: Αντιδραστήρας συσσωμάτωσης

- Στον αντιδραστήρα συσσωμάτωσης γίνεται **χρήση συσκευών ανάμιξης χαμηλής ταχύτητας** τύπου πτερυγίου σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη.
- Είναι αναγκαία η ύπαρξη ηλεκτρομειωτήρα μεταβλητών στροφών για να ρυθμίζεται ο ρυθμός ανάδευσης.
- Για τη βελτίωση της συσσωμάτωσης γίνεται χρήση δεξαμενής που αποτελείται από **3-4 διαμερίσματα με σταδιακή μείωση G από $40-60 \text{ s}^{-1}$ στο πρώτο διαμέρισμα σε $15-25 \text{ s}^{-1}$ στο τελευταίο.**



Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Εξοπλισμός ανάμιξης: Αντιδραστήρας συσσωμάτωσης

Η οπισθέλκουσα δύναμη (δλδ αντίσταση) στα κουπιά υπολογίζεται από την σχέση:

$$D = C_D A_p \rho \frac{v_p^2}{2}$$

v_p : η σχετική ταχύτητα των κουπιών ως προς το νερό (m/s)
 C_D : ο συντελεστής οπισθέλκουσας δύναμης, δλδ αντίστασης (αδιάστατος)
 A_p : η επιφάνεια των κουπιών (m²) και ρ η πυκνότητα του νερού (kg/m³)

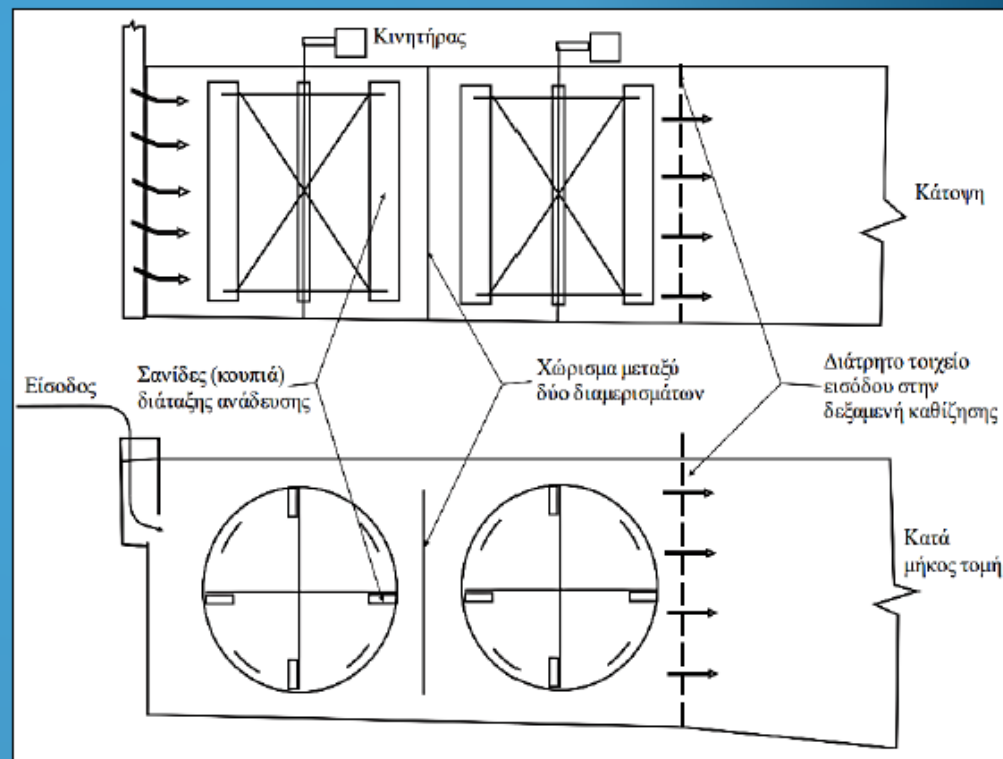
Η ισχύς P του κινητήρα (N*m/s) υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = D v_p$$

Η τιμή της βαθμίδας ταχύτητας G για τις διατάξεις με περιστρεφόμενα κουπιά θα είναι:

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

Βραδεία ανάδευση με κουπιά



Παράδειγμα σχεδιασμού

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 **φυσαλίδων 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**.

Διαχωρισμός Αιωρούμενων Στερεών με Καθίζηση ή Διήθηση;

Η επιλογή της πιο κατάλληλης διεργασίας εξαρτάται από:

- τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της διασποράς (αριθμό και πυκνότητα σωματιδίων καθώς και η κατανομή τους)
- το πάγιο και λειτουργικό κόστος της εκάστοτε τεχνολογίας
- την απόδοση της τεχνικής.

Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι:

A. Για σωματίδια με:

- Συγκέντρωση > 50mg/L και
- Διάμετρο $d > 100\mu\text{m}$

→ Επιλέγεται καθίζηση

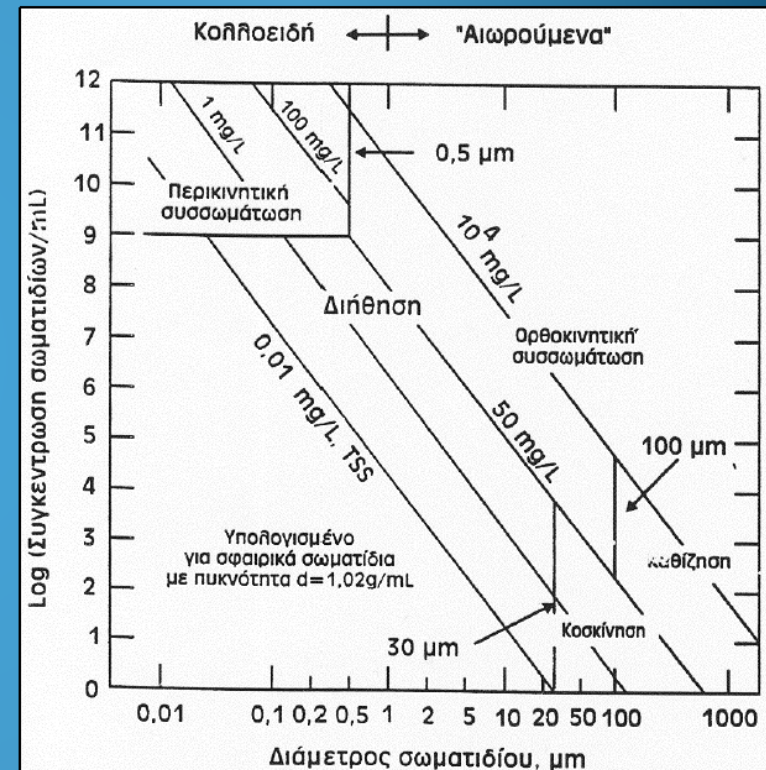
B. Για σωματίδια με:

- Συγκέντρωση < 50mg/L και
- Μεγάλο εύρος μεγεθών d

→ επιλέγεται απευθείας διήθηση σε κλίνες με κοκκώδες διηθητικό μέσο

Γ. Για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σωματιδίων

→ Συνίσταται η ύπαρξη βαθμίδων θρόμβωσης - καθίζησης/επίπλευσης πριν τη διήθηση



Διάγραμμα επιλογής μεθόδου διαχωρισμού των σωματιδίων από το νερό, Μ. Μήτρακας

Καθίζηση

Η καθίζηση χρησιμοποιείται περισσότερο για το διαχωρισμό με βαρύτητα σωματιδίων από το νερό και λόγω των παρακάτω:

- Χαμηλό πάγιο κόστος ↓ CAPEX
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ↓ OPEX

Πρόκειται για μία εξαιρετικά απλή φυσική διεργασία, με αρκετές όμως περιπλοκές κατά το σχεδιασμό της.

Οι βασικότεροι παράμετροι σχεδιασμού είναι:

1. η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων (αυτοτελών ή θρόμβων) και
2. η ανοδική ταχύτητα του νερού (επιφανειακή φόρτιση).

Όροι

Κατακάθιση (settling): Η κάθοδος των σωματιδίων δια μέσω του νερού λόγω βαρύτητας.

Καθίζηση (sedimentation): Η κατακάθιση διακεκριμένων σωματιδίων ή θρόμβων των οποίων η αιώρηση οφείλεται αποκλειστικά σε υδροδυναμικές δυνάμεις.

Πύκνωση (subsidence): Όταν τα διακεκριμένα σωματίδια ή οι θρόμβοι βρίσκονται σχεδόν ακινητοποιημένα κατά τη μεταξύ τους επαφή.

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**.

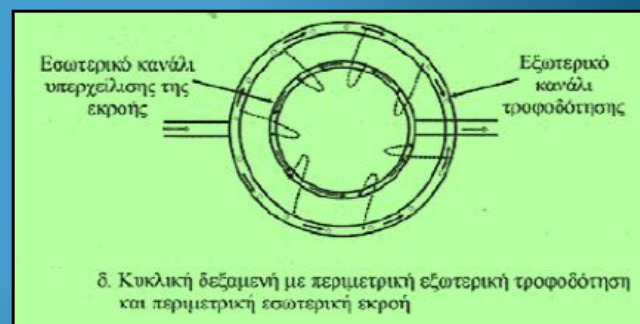
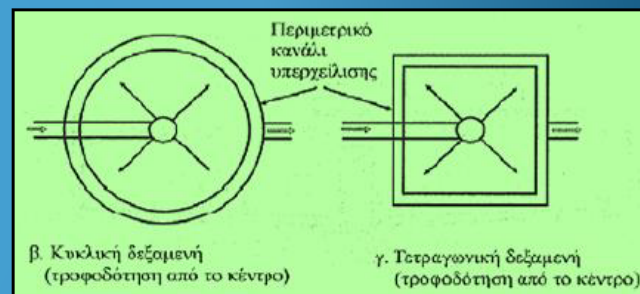
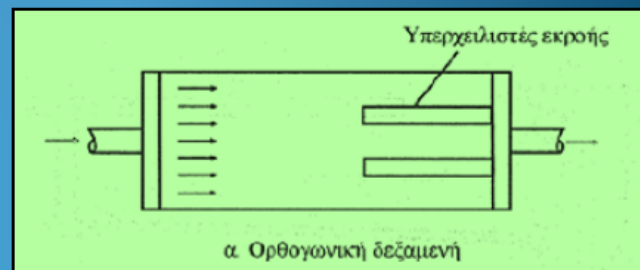
Είδη δεξαμενών καθίζησης

Οι δεξαμενές καθίζησης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού μπορεί να είναι:

1. Παραλληλόγραμμες (ορθογωνικές)
2. Κυκλικές
3. Τετράγωνες
4. Με επαφή λάσπης (Το υγρό έρχεται αρχικά σε επαφή με τη λάσπη του πυθμένα, με αποτέλεσμα να βοηθάμε τη συσσωμάτωση των σωματιδίων.
5. Με κεκλιμένες επιφάνειες
6. Με κεκλιμένες επιφάνειες και επαφή λάσπης

Οι δεξαμενές είναι συνήθως παραλληλόγραμμες ή κυκλικής διατομής με βάθος συνήθως 3 m εφοδιασμένες με διατάξεις ομοιόμορφης – ομαλής εισαγωγής του νερού και κανάλια υπερχείλισης για την ομοιόμορφη συλλογή και απομάκρυνση του επεξεργασμένου νερού.

*Μ. Μήτρακας
2001*



Παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση

Η απόδοση των δεξαμενών είναι στην πραγματικότητα μικρότερη από την υπολογιζόμενη, εξαιτίας διαφόρων παραγόντων.

1. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την πυκνότητα

b. Επίδραση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων του νερού προκαλούν τα ίδια προβλήματα με αυτά της μεταβολής των θερμοκρασιών.



Η μεταβολή της συγκέντρωσης κατά 1 g/L σε μια ώρα προκαλεί τα ίδια αποτελέσματα με την μεταβολή θερμοκρασίας κατά 1°C σε μια ώρα.

c. Επίδραση θολότητας

Η θολότητα επηρεάζει την πυκνότητα με αποτέλεσμα να προκαλεί τα ίδια προβλήματα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.



Σε κυκλική δεξαμενή με κεντρική τροφοδοσία ταχεία αύξηση της θολότητας προκαλεί αύξηση της πυκνότητας εισροής η οποία κατέρχεται στον πυθμένα. Κινούμενη ακτινικά προς την περιμετρική υπερχειλίση εκροής, προσκρούει στα τοιχώματα και προκαλεί περιδίνηση μειώνοντας την απόδοση καθίζησης.

Αντιμετώπιση: Ορθή επιλογή πηγής υδροληψίας για να μην έχει μεγάλες διακυμάνσεις θολότητας

Παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση

Η απόδοση των δεξαμενών είναι στην πραγματικότητα μικρότερη από την υπολογιζόμενη, εξαιτίας διαφόρων παραγόντων.

2. Επίδραση ανέμων

Οι άνεμοι επιδρούν κυρίως στις ανοικτές δεξαμενές με μεγάλη διάμετρο. Δημιουργούν «κυματισμό» - ροή προ μια κατεύθυνση της δεξαμενής.



Συνεπώς, προκαλείται υπερτροφοδοσία στο αντίστοιχο τμήμα της υπερχείλισης. Σε μεγάλες δεξαμενές διαμέτρου $> 30\text{m}$ έχει αποτέλεσμα τη σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας εκροής.

Αντιμετώπιση: Κάλυψη δεξαμενών, τοποθέτηση ανεμοφρακτών ή ανακλαστήρων στην επιφάνεια

Παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση

Η απόδοση των δεξαμενών είναι στην πραγματικότητα μικρότερη από την υπολογιζόμενη, εξαιτίας διαφόρων παραγόντων.

3. Τρόπος εισροής και εκροής του νερού

Εισροή: Το νερό φτάνει στη δεξαμενή διαμέσου αγωγού με σχετικά μεγάλη ταχύτητα, ώστε τα σωματίδια να διατηρούνται σε αιώρηση



Πριν την είσοδο του στο χώρο καθίζησης η ταχύτητα πρέπει να μειωθεί για να κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλο το χώρο της δεξαμενής.

Εκροή: Ο λανθασμένος σχεδιασμός της έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του οφέλιμου όγκου της δεξαμενής



Οι υπερχειλιστές εξασφαλίζουν την καλύτερη εγκάρσια κατανομή της εκροής και το μήκος και η θέση τους πρέπει να είναι προσεχτικά υπολογισμένα για να μπορούν να δέχονται υδραυλικά φορτία και να επιτρέπουν την λειτουργία όλου του όγκου της δεξαμενής καθίζησης.

Επίπλευση

Φυσικοχημική διεργασία απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών σωματιδίων, κολλοειδών ή γαλακτωμάτων από το νερό. Πρόκειται για διαχωρισμό με βάση τη διαφορά πυκνότητας.

- Εφαρμόζεται για την απομάκρυνση υλικών με πυκνότητα $\rho \leq 1\text{g/mL}$ ή και λίγο μεγαλύτερη.
- Με ιδιαίτερη επιτυχία χρησιμοποιείται στο διαχωρισμό αλγών και στην απομάκρυνση του χρώματος του νερού.

Αρχή λειτουργίας επίπλευσης

Η επίπλευση στηρίζεται στην ύπαρξη ή στην τεχνητή δημιουργία διαφοράς πυκνότητας ανάμεσα στο νερό και τα σωματίδια. Η επίπλευση μπορεί να είναι «**αυθόρμητη**» ή και «**τεχνητή**».

«Αυθόρμητη» επίπλευση: έχουμε όταν η πυκνότητα των προς απομάκρυνση σωματιδίων ή σταγονιδίων είναι μικρότερη από αυτή του νερού.

«Τεχνητή» επίπλευση: έχουμε στην περίπτωση όπου η προσθήκη φυσαλίδων αέρα οδηγεί στο σχηματισμό συναθροίσματος σωματιδίου-φυσαλίδων αέρα με μέση πυκνότητα μικρότερη της πυκνότητας του νερού (1g/cm^3). Η συνισταμένη των δυνάμεων (βάρος, άνωση, αντίσταση) που επιδρούν στο συνάθρισμα, προκαλεί την άνοδό του στην επιφάνεια του νερού.

Για να επιτευχθεί η συσσωμάτωση (σωματιδίων – φυσαλίδων) πρέπει η δύναμη συνάφειας μεταξύ σωματιδίου και αερίου να είναι μεγαλύτερη από την τάση διαβροχής του σωματιδίου από το υγρό.

Είδη επίπλευσης

Διακρίνονται 3 είδη επίπλευσης:

1. Ηλεκτρολυτική επίπλευση (Electrolytic Flotation)
2. Επίπλευση με διασκορπισμένο αέρα (Dispersed Air Flotation)
3. Επίπλευση με διαλυμένο αέρα (Dissolved Air Flotation)

1. Ηλεκτρολυτική επίπλευση:

Στηρίζεται στην παραγωγή πολύ μικρών φυσαλίδων οξυγόνου και υδρογόνου που προκύπτουν από την ηλεκτρολυτική διάσπαση του νερού. Χρησιμοποιείται κυρίως για την πύκνωση λάσπης αποβλήτων.

2. Επίπλευση με διασκορπισμένο αέρα:

Στην επίπλευση με διασκορπισμένο αέρα εισάγονται φυσαλίδες μικρής διαμέτρου στη μάζα του νερού, οι οποίες παράγονται από πορώδη υλικά κατάλληλα για σχηματισμό φυσαλίδων μικρού μεγέθους. Υπάρχει περιορισμός για το μέγεθος των φυσαλίδων, αφού θα πρέπει να είναι αρκετά μικρές για να είναι εφικτή η προσκόλλησή τους στους θρόμβους.



Είδη επίπλευσης

3. Επίπλευση με διαλυμένο αέρα:

Η βασικότερη τεχνική επίπλευσης που εφαρμόζεται στην επεξεργασία του νερού είναι κυρίως αυτή με διαλυμένο αέρα. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της τεχνικής αυτής είναι η εισαγωγή αέρα (μέσα στη μάζα του νερού της δεξαμενής επίπλευσης) με τη μορφή μικροφουσαλίδων, που η διάμετρός τους κυμαίνεται από 40 έως 70 μm .

Μηχανισμός Δημιουργίας Φουσαλίδων

Η μέθοδος που συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή των μικροφουσαλίδων είναι η **συμπίεση**.

Το μέγεθος των φουσαλίδων καθορίζει τη ροή του ανερχόμενου ρεύματος φουσαλίδων μέσα στο νερό. Μικροφουσαλίδες διαμέτρου **20 μm** ανέρχονται μέσα στο νερό με μία ταχύτητα της τάξης **μερικών mm/sec**. Φουσαλίδες διαμέτρου **μερικών mm** ανέρχονται με ταχύτητες από **10** ως και **30 φορές μεγαλύτερες**.

Χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων της διεργασίας επίπλευσης με διαλυμένο αέρα. Μήτρακας

	Παράμετρος	Τιμές
	Απαίτηση αέρα	8-10 g/m^3 νερού
Δεξαμενή επίπλευσης	Επιφανειακή φόρτιση	6-12 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$
	Χρόνος παραμονής	5-15 min
	Βάθος	1,2 - 2 m
Δοχείο κορεσμού	Χρόνος παραμονής	στατικό 1-3 min με πληρωτικό υλικό 30 sec
	Επιφανειακή φόρτιση	5-70 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$

Αρ. Αντίστοιχο Βιβλίο: partikulaidis@gmail.com

Σύγκριση καθίζησης και επίπλευσης

Οι δυο διεργασίες στηρίζονται στη διαφορά πυκνότητας και χρησιμοποιούνται πριν τη διήθηση όταν η συγκέντρωση των στερεών είναι μεγάλη ($> 50 \text{ mg/L}$). Διαφορετικά χρησιμοποιείται μόνο διήθηση. Και για τις δυο απαιτείται να προηγηθεί θρόμβωση με χρήση συνήθως $1-10 \text{ mg/L Fe}^{3+}, \text{Al}^{3+}$.

Κόστος: Οι διεργασίες διαφέρουν σημαντικά ως προς το κόστος.

- Η καθίζηση έχει σχετικά υψηλότερο πάγιο κόστος εγκατάστασης και μικρότερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με την επίπλευση.
- Η επίπλευση έχει μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας εξαιτίας της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στο τμήμα παραγωγής φυσαλίδων (ηλεκτρική ενέργεια συμπίεσης).
- Το συνολικό κόστος μιας μονάδας επίπλευσης είναι μικρότερο μόνο όταν η αντίστοιχη μονάδα καθίζησης αδυνατεί να λειτουργήσει με ταχύτητες μεγαλύτερες από 2-3 m/h. (Η μονάδα επίπλευσης επηρεάζεται ελάχιστα από την ποιότητα του επεξεργαζόμενου νερού)

Δραστηριότητα μικροοργανισμών: Η επίπλευση πλεονεκτεί έναντι της καθίζησης όταν παρουσιάζεται έντονη δραστηριότητα μικροοργανισμών (συνθήκες ευτροφισμού) στη λάσπη της καθίζησης, η οποία στη συνέχεια υποβαθμίζει την ποιότητα του επεξεργασμένου νερού.

Λειτουργικότητα: Οι διεργασίες καθίζησης προτιμώνται συνήθως και εξαιτίας της απλούστερης λειτουργίας τους, η οποία δεν απαιτεί υψηλά ειδικευμένο προσωπικό.

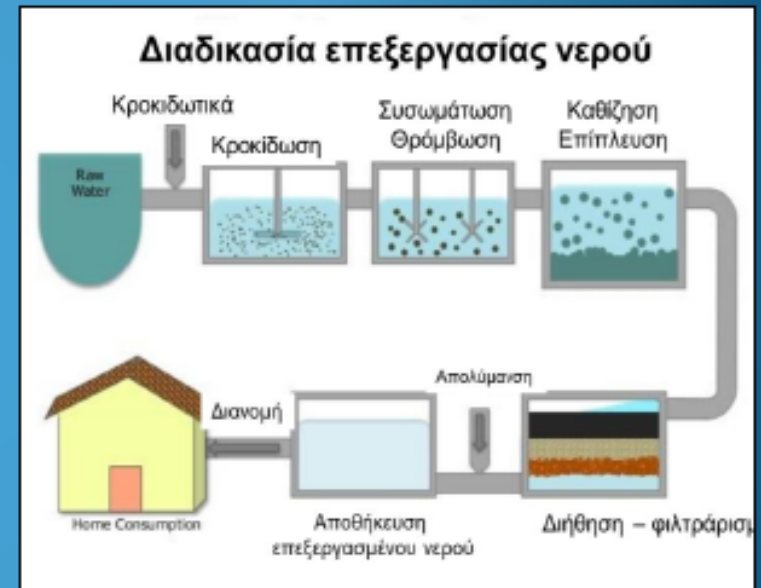
Διήθηση

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



Άλλες ονομασίες εκτός από διήθηση: διύλιση ή φιλτράρισμα

Σωματίδια που απομακρύνονται με διήθηση

Δυνατότητα απομάκρυνσης μιας μεγάλης ποικιλίας σωματιδίων φυσικής ή ανθρώπινης προέλευσης:

- **Μέγεθος:** από 0.1 έως 1000 μm
- **Πυκνότητα:** από 1 g/mL έως 5 g/mL

Τα σωματίδια που συγκρατούνται στο διηθητικό μέσο είναι δυνατόν να συμπαρασυρθούν εξαιτίας διατμητικών τάσεων κατά τη συσσώρευση.

Χαρακτηριστικό μέγεθος αντίστασης σε διατμητικές τάσεις είναι η **ισχύς θρόμβου**, η οποία επηρεάζει και τη διεργασία διήθησης.

Χαρακτηριστικά σωματιδίων που απομακρύνονται με διήθηση

Είδος	Εύρος μεγεθών (μm)	Πυκνότητα (g/ml)	Ισχύς θρόμβου
Θρόμβοι βακ/ρίων	0,5 – 1000	$\approx 1,02$	Μέση
Άλγη	1 – 200	$\approx 1,05$	Μέση
$\text{Fe}(\text{OH})_3 - \text{Al}(\text{OH})_3$	0,1 – 1000	$\approx 1,01$	Χαμηλή
Fe_2O_3	0,1 – 50	5,2	Χαμηλή
CaCO_3	0,1 – 50	2,4	Χαμηλή

Αντίσταση των σωματιδίων στις διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους καθώς αυξάνεται η ποσότητά τους

Όσο πιο μεγάλη είναι η **Ισχύς Θρόμβου** τόσο μεγαλώνει η ικανότητα συγκράτησής τους στο διηθητικό μέσο.

Είδη διήθησης

Με βάση το μηχανισμό της διήθησης:

- **Διήθηση επιφανείας** => το νερό με τα σωματίδια διέρχονται από πορώδη επιφάνεια, η οποία συγκρατεί τα σωματίδια
- **Διήθηση χώρου** => το νερό με τα σωματίδια διέρχονται μέσα από παχύ στρώμα πορώδους υλικού (π.χ. άμμος που είναι και το πιο κοινό πληρωτικό υλικό) το οποίο συγκρατεί τα σωματίδια

Με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά του διηθητικού μέσου:

- **Διήθηση σε κλίνες** με κοκκώδες διηθητικό μέσο (άμμος, ανθρακίτης)
- **Διήθηση σε φίλτρα** με προεπίστρωση (λεπτό στρώμα διηθητικού μέσου)

Με βάση τον υδραυλικό τρόπο που διέρχεται το νερό από το διηθητικό μέσο:

- **Διήθηση με βαρύτητα** (ανοιχτά φίλτρα)
- **Διήθηση υπό πίεση** (κλειστά φίλτρα)

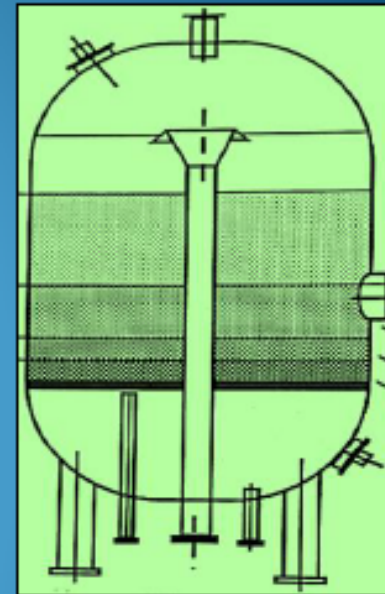
Με βάση το ρυθμό διήθησης (σε κλίνες με κοκκώδες διηθητικό μέσο):

- **Ταχεία διήθηση** (5 – 25 m/h)
- **Αργή διήθηση** (0,04 – 0,4 m/h)

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.

Χαρακτηριστικά διηθητικών μέσων

Η επιλογή του διηθητικού μέσου αποτελεί τη σημαντικότερη σχεδιαστική παράμετρο αφού αποτελεί την καρδιά ενός συστήματος διήθησης χώρου.

Χημικά χαρακτηριστικά

Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως διηθητικό μέσο είναι η χαλαζιακή άμμος (Χρησιμοποιείται και σήμερα ευρύτατα). Άλλα υλικά είναι ο ανθρακίτης, ο γρανίτης και ο σχιστόλιθος.

Προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση κάποιου υλικού ως διηθητικού μέσου είναι:

- Η μηχανική του αντοχή (να μην θρυμματίζεται εύκολα)
- Η αντοχή του στα οξέα

Χαρακτηριστικά των συνεθέστερων υλικών διήθησης. Μήτρακας, 2001

Υλικό	Πυκνότητα νερού g/mL	Πορώδες κλόνης ϵ_p	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
Κοικοίτης εν. άνθρακα	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

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος διασποράς (νερού με σωματίδια) επηρεάζουν την επιλογή του είδους του διηθητικού μέσου. Παραδείγματα:

- Για τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων γίνεται χρήση σχιστόλιθου.
- Για απομάκρυνση οσμής, χρώματος, οργανικών ενώσεων και χλωρίου χρησιμοποιείται ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας.



Χαλαζιακή άμμος

Διήθηση Επιφανείας ή Διήθηση με μεμβράνες

Στη διήθηση επιφανείας η συγκράτηση της διασποράς επιτυγχάνεται εξαιτίας της διαφοράς του **μεγέθους των σωματιδίων της και των οπών του διηθητικού μέσου** κυρίως με μηχανισμούς αποστράγγισης.

Η πτώση πίεσης κατά τη διήθηση επιφάνειας εξαρτάται από τη **ροή**, τα χαρακτηριστικά της **διηθητικής συσκευής** και το **πορώδες** του πλακούντα (Πλακούντας: Το στρώμα σχηματισμένο από συγκρατημένα σωματίδια πάνω στην οπή → **αποτελεί το κύριο μέσο συγκράτησης της διασποράς**)

Είδη Διήθησης Επιφανείας

Τα είδη Διήθησης Επιφανείας ταξινομούνται με διάφορους τρόπους: Συνεχή ή διακοπόμενη λειτουργία, εφαρμογή ή όχι πίεσης και το **μέγεθος των συγκρατούμενων σωματιδίων**.

Με κριτήριο το **μέγεθος των σωματιδίων** που συγκρατούνται:

- **Νανοδιήθηση** (0,0005 – 0,01 μm)
- **Υπερδιήθηση** (0,005 – 0,5 μm)
- **Μικροδιήθηση** (0,5 – 150 μm)
- **Μακροδιήθηση** (> 150 μm)

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μικροδιήθηση με κύριους εκπροσώπους τα φίλτρα μικροπλέγματος και τα φίλτρα προεπίστρωσης.



Συγκρότημα μεμβρανών υπερδιήθησης, Μήτρακας

Φίλτρα Προεπίστρωσης

Τα φίλτρα προεπίστρωσης είναι φίλτρα με κύριο διηθητικό μέσο μια ειδικά σχηματισμένη επίστρωση από λεπτόκοκκο υλικό και ειδικό διάλυμα υλικού, το οποίο σχηματίζει πλακούντα πάνω στο διηθητικό στοιχείο.

Ο πλακούντας αυτός περιέχει μεγάλο αριθμό διόδων μικρής διαμέτρου που έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη νερού χαμηλής θολερότητας.

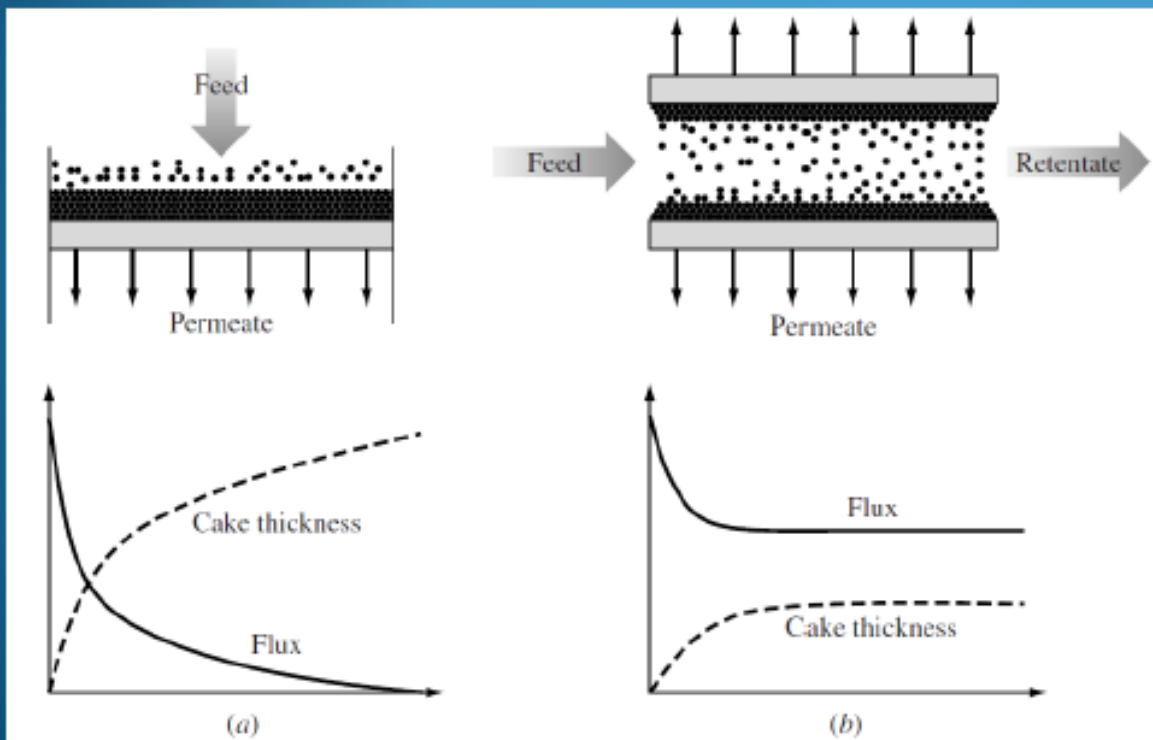
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για προεπίστρωση είναι:

- 1. Κυτταρίνη:** είναι σε μορφή ινών μεγάλης καθαρότητας, έχει μικρή ικανότητα προσρόφησης.
- 2. Γη διατόμων:** Το πιο διαδεδομένο υλικό. Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση από το νερό άλγων, αργίλων, ινών αμιάντου σιδήρου, μαγγανίου, ελαίων κτλ.
- 3. Ενεργός άνθρακας:** Σπάνια χρήση, συνήθως ως στρώμα πάνω από τη γη διατόμων. Απομάκρυνση χρώματος και οργανικών συστατικών του νερού. Διαθέτει μεγάλη προσροφητική ικανότητα.
- 4. Ιοντοανταλλακτικές ρητίνες:** Ανιονικές ή κατιοντικές ρητίνες σε μορφή σκόνης. Χρήση στην επεξεργασία νερού των πυρηνικών σταθμών.



*Φίλτρα προεπίστρωσης.
Μήτρακας*

Διήθηση με μεμβράνες



- Σχηματικά διαγράμματα για (α) συμβατική διήθηση (dead end filtration) και (β) διήθηση εγκάρσιας (εφαπτομενικής) ροής.
- Για τη συμβατική διήθηση το πάχος της συσσώρευσης στερεών αυξάνεται και η ροή του διηθήματος μειώνεται με το χρόνο.
- Στη διήθηση εγκάρσιας ροής, τα στερεά συμπυκνώνονται στην επιφάνεια της μεμβράνης.
- Η ροή του διηθήματος φτάνει σε μια σταθερή τιμή σε μόνιμη κατάσταση.

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**.

Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως είναι το κάρβουνο, το ξύλο αλλά και τα κελύφη καρύδας.

Η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει:

- Άλεση της πρώτης ύλης για τη δημιουργία κόκκων
- Προσθήκη συνδετικού υλικού → Δημιουργία κόκκων
- Θερμική αποσύνθεση με παρουσία ατμού (900 - 1100°C)

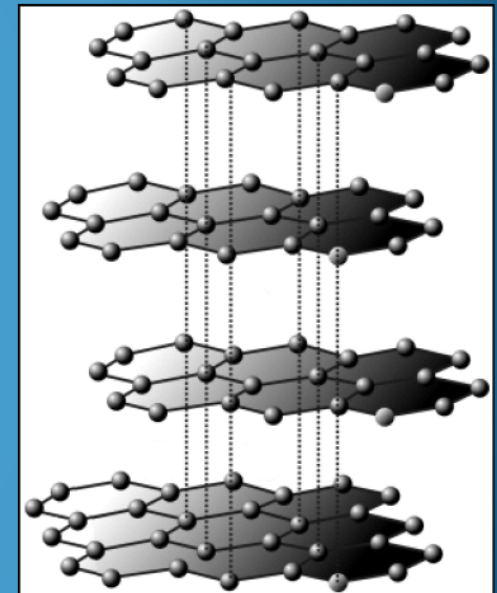
Αποτέλεσμα:

Ο ατμός διαχέεται στη μάζα του άνθρακα προκαλώντας αύξηση της πορώδους δομή και δημιουργώντας σκελετικού τύπου κόκκους ενεργού άνθρακα με μεγάλο ανάπτυγμα **εσωτερικής επιφάνειας** των κόκκων του.

Η πρώτη ύλη επηρεάζει τις:

Μηχανικές ιδιότητες: Σημαντική παράμετρος για αναγέννηση και αύξηση της απόδοσης.

Προσοφητικές ιδιότητες: Μέγεθος πόρων, είδος δεσμών, μερική εκλεκτικότητα.



*Σκελετικού τύπου κόκκοι ενεργού άνθρακα.
Μήτρακας*

Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα

Κάρβουνο

Υπάρχει **άφθονο στη φύση**, άρα αρκετά φθινό για χρήση, εύκολη μεταφορά και αποθήκευση. Δημιουργείται από κυρίως νεκρή φυτική ύλη η οποία έχει καταπλακωθεί και με την πάροδο χιλιάδων ετών έχει μετατραπεί αρχικά σε **τύρφη** έπειτα σε **λιγνίτη** μετά σε **ασφαλτούχο άνθρακα** μετά σε **ανθρακίτη** και μετά σε **γραφίτη**.

Για την κατασκευή ενεργού άνθρακα χρησιμοποιούνται συνήθως **λιγνίτης** και **ασφαλτώδεις άνθρακες**

Ασφαλτώδης ενεργός άνθρακας:

- Έχει μεγαλύτερη σκληρότητα (πιο σκληρός από το λιγνίτη), ανθεκτικότητα σε τριβή και υψηλότερη πυκνότητα κλίνης σε σχέση με το λιγνίτη. Περιέχει μια ουσία που ονομάζεται πίσσα ή άσφαλτος.
- Έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και επομένως **μικρότερους** πόρους με αποτέλεσμα να συγκρατεί ρύπους όπως **ίχνη** και **πτητικούς οργανικούς διαλύτες**.

Λιγνίτης:

- Πρόκειται για ένα μαλακό καφέ ιζηματογενές πέτρωμα που σχηματίζεται από φυσικά συμπιεσμένη τύρφη. Είναι **εύθρυπτος**, με αποτέλεσμα χαμηλότερες αποδόσεις κατά την αναγέννηση και απώλεια κόκκων κατά την έκπλυση → **μικρή διάρκεια ζωής** του συστήματος.
- Ο ενεργός άνθρακας λιγνιτικής προέλευσης είναι περισσότερο αποτελεσματικός στη συγκράτηση **βαρέων μετάλλων**.

Μηχανισμοί Προσρόφησης

Με τον όρο προσρόφηση εννοείται η ικανότητα ορισμένων στερεών να **συγκεντρώνουν στην επιφάνειά τους μόρια οργανικών κυρίως ενώσεων**, που τα απομακρύνουν από την υγρή ή αέρια φάση όπου βρίσκονται διαλυμένα ή γενικά διασπαρμένα.

Δλδ, είναι ένα **φαινόμενο μεταφοράς μάζας** από υγρή ή αέρια φάση στην επιφάνεια ενός στερεού.

Οι **δυνάμεις** ή ο **μηχανισμός** με τον οποίο το προσροφούμενο συστατικό έλκεται στην επιφάνεια του προσροφητικού, μπορεί να είναι **φυσικές ή χημικές**:

- Έλξεις μεταξύ αντίθετων φορτίων
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σημειακού φορτίου και δίπολου
- Αλληλεπιδράσεις δίπολου-δίπολου
- Δυνάμεις van der Waals
- Ομοιοπολικούς δεσμούς
- Δεσμούς υδρογόνου

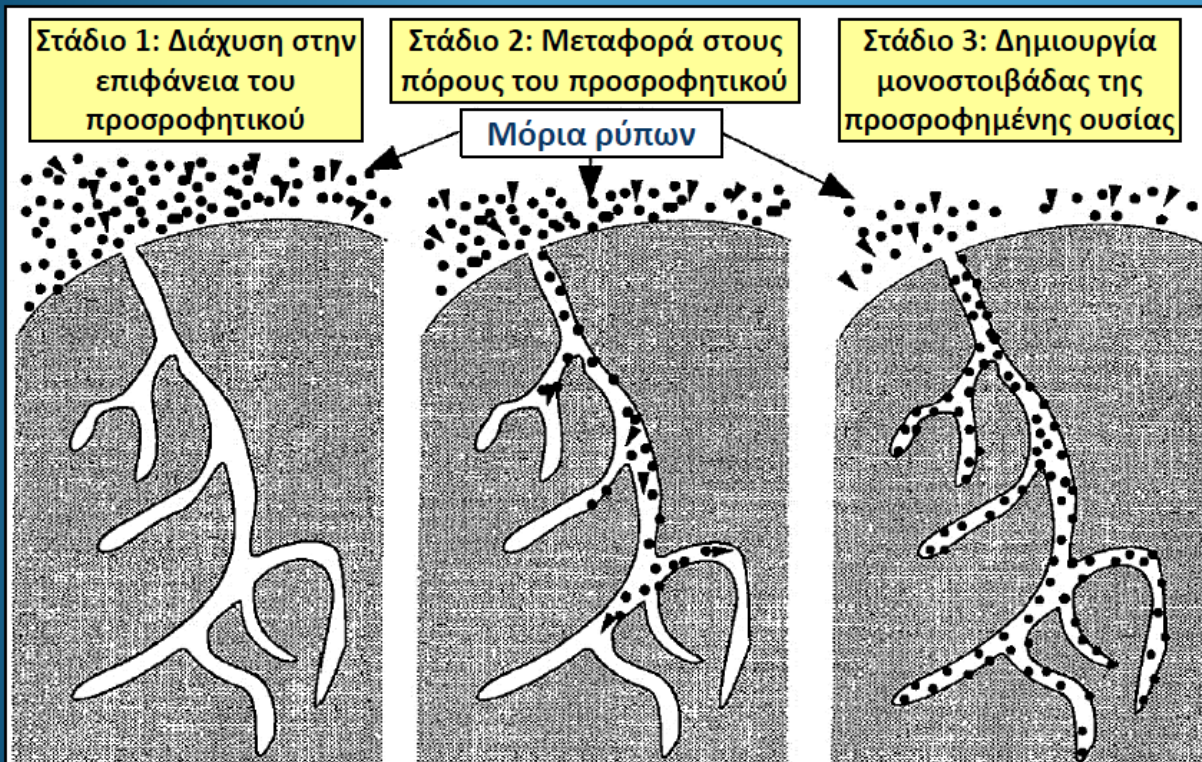
Δεσμοί χημικοί ή φυσικοί

Χημειορόφηση
 $\Delta H^\circ > 20 \text{ KJ/mol}$

Φυσική προσρόφηση
 $\Delta H^\circ < 20 \text{ KJ/mol}$

Έλκονται και στη συνέχεια “εγκλωβίζονται” στους πόρους. Το προσροφούμενο συστατικό έχει μικρότερη ελεύθερη ενέργεια στην επιφάνεια του προσροφητικού απ’ότι στο νερό.

Μηχανισμοί Προσρόφησης



Μηχανισμός προσρόφησης σωματιδίων ρύπων, Μήτρακας

Η απομάκρυνση των ρυπαντών από το ρεύμα επεξεργασίας συμβαίνει αρχικά με τη φυσική προσρόφησή 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

Αλλαγή ενεργού άνθρακα

Η **αλλαγή του κορεσμένου άνθρακα με νέο** είναι συχνά η πιο κρίσιμη παράμετρος στη διαδικασία του συστήματος προσρόφησης, επειδή είναι η **κύρια παράμετρος του κόστους λειτουργίας**, καθώς επίσης και **το κλειδί για ασφαλή αποκομιδή των οργανικών ρυπαντών**.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της διεργασίας προσρόφησης με άνθρακα είναι ότι όχι μόνο απομακρύνει τους ρυπαντές από το νερό, **αλλά τους συγκεντρώνει και τους κατακρατά μέσα στον κόκκο του άνθρακα**.

Ο κορεσμένος ενεργός άνθρακας μπορεί να χειρισθεί με:

- Μπορεί να ταφεί
- Μπορεί να αποτεφρωθεί σαν στερεό απόβλητο



Επιλογές αξιόπιστες και οικονομικά συμφέρουσες

Ο ασφαλτώδης κοκκοειδής ενεργός άνθρακας συνήθως αξιοποιείται με:

- Θερμική αναγέννηση



Οικονομικά συμφέρουσα, ασφαλής όσον αφορά την καταστροφή των προσροφημένων οργανικών ενώσεων και επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του άνθρακα.

Η **διεργασία της αναγέννησης** αφορά θέρμανση σε αδρανή ατμόσφαιρα μέσα σε φούρνο πολλαπλών βαθμίδων σε θερμοκρασία έως 900°C. Η αναγέννηση απομακρύνει τις πτητικές οργανικές ενώσεις και αποσυνθέτει με πυρόλυση τις λιγότερο πτητικές που συγκεντρώνονται μέσα στους πόρους.

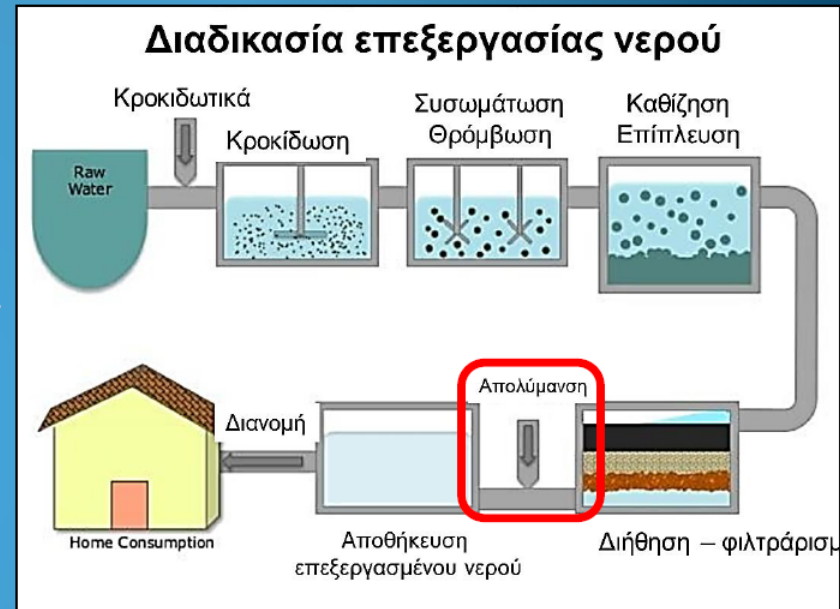
Παράγει έναν ενεργό άνθρακα που είναι μικρότερος από τον αρχικό (10-20%), επειδή μερικοί από τους μικρότερους προσροφητικούς πόρους καταστρέφονται. Κατά συνέπεια η ικανότητα συγκράτησης μικρών συγκεντρώσεων (ίχνη) μικρο-ρυπαντών μπορεί να μειωθεί στο αναγεννημένο προϊόν.

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**.



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

1. Χαρακτηριστικά μέσου απολύμανσης

Δυναμικό οξειδοαναγωγής

Ένα μέτρο της ικανότητας του απολυμαντικού να οξειδώνει οργανική ύλη είναι το **δυναμικό οξειδοαναγωγής**. Όσο μεγαλύτερο είναι το **δυναμικό οξείδωσης**, τόσο πιο εύκολα η ένωση **οξειδώνει την οργανική ύλη**. Αν η οξείδωση ήταν ο μόνος μηχανισμός απολύμανσης, τότε η σειρά της ικανότητας απολύμανσης θα ήταν:

Όζον > διοξείδιο του χλωρίου > χλώριο > βρώμιο > ιώδιο

Συνήθως η επιλογή του μέσου απολύμανσης όμως είναι **πιο σύνθετη** εξαιτίας και άλλων παραγόντων, όπως είναι:

- Η **διάχυση** μέσα στο κύτταρο,
- Η **διαπερατότητα** του κυττάρου και
- Οι **μικροβιοκτόνες ικανότητες** (MB, το φορτίο κ.α. χαρακτηριστικά της ένωσης)

Έτσι στις περισσότερες περιπτώσεις η διαδικασία επιλογής **καθοδηγείται** από τη μελέτη σε **πειραματικές μονάδες**. Αυτό συμβαίνει ειδικά στον **καθορισμό της απαιτούμενης δόσης του απολυμαντικού μέσου**, η οποία είναι συνάρτηση της ποιότητας του νερού.

2. Χρόνος επαφής

Η απολύμανση ακολουθεί **κινητική αντίδρασης πρώτης τάξης**. Συνεπώς η αποτελεσματικότητα της εξαρτάται άμεσα από το χρόνο επαφής. Η καταστροφή ενός ποσοστού μικροοργανισμού μπορεί να επιτευχθεί με τη **ρύθμιση του χρόνου επαφής** και της **συγκέντρωσης του απολυμαντικού**.

3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού που επηρεάζουν την απολύμανση

Χαρακτηριστικά της ποιότητας του νερού, που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης είναι η **θολότητα**, οι **οργανικές ενώσεις**, η **θερμοκρασία** και το **pH**.

Η θολότητα έχει αποδειχθεί ότι εμποδίζει την απολύμανση, επειδή τα σωματίδια που την αποτελούν μπορούν **να περιβάλλουν και να προστατέψουν τους μικροοργανισμούς** από τη δράση του απολυμαντικού μέσου.

Οι οργανικές ενώσεις μπορούν να μειώσουν την αποτελεσματικότητα που απολυμαντικού μέσου, επειδή με την προσκόλλησή τους στην επιφάνεια των κυττάρων εμποδίζουν τη δράση του.

Επίσης, ενώσεις όπως είναι ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το υδρόθειο, τα κυανιούχα και τα νιτρώδη, μπορούν **να μειώσουν την αποτελεσματικότητα** της απολύμανσης καθώς **οξειδώνονται από το απολυμαντικό μέσο**. Αυτές οι αντιδράσεις με το απολυμαντικό μέσο δημιουργούν μια επιπρόσθετη απαίτηση απολυμαντικού.

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.

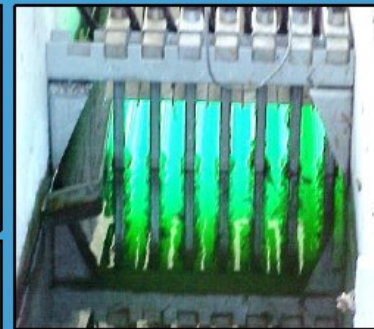
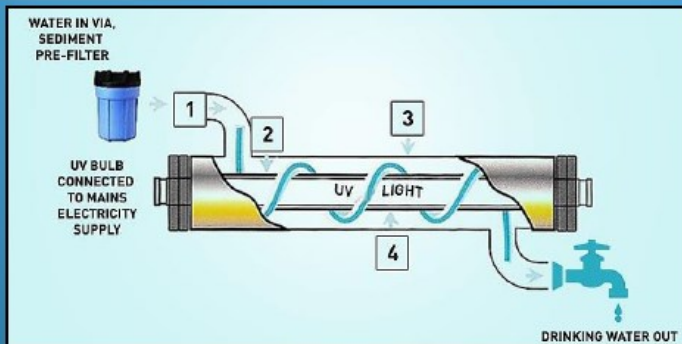
1. Υπεριώδης ακτινοβολία

Με την υπεριώδη ακτινοβολία η απολύμανση του νερού επιτυγχάνεται κατά τη διέλευση μέσα από ειδικές συσκευές ακτινοβόλησής του με **υπεριώδη ακτινοβολία (UV)**. Η UV εκπέμπεται από λαμπτήρες πολύ χαμηλής πίεσης ατμών υδραργύρου.

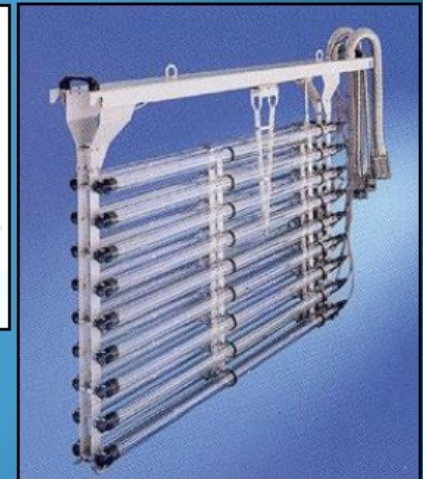
Τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος κυμαίνονται από **200-300 nm**. Το νερό ρέει γύρω από τη λυχνία σε επίπεδο τόσο ρηχό, όσο χρειάζονται οι υπεριώδεις ακτίνες για να απορροφηθούν γρήγορα από το νερό.

Για πάχος νερού 15-20 cm μια λάμπα ισχύος 36 W αποστειρώνει 3 m³/h.

Πρακτικά, για αποτελεσματική απολύμανση απαιτείται ειδική κατανάλωση ενέργειας ίση με 40 Wh/m³).



Λυχνίες πολύ χαμηλής πίεσης ατμών Hg. Μαμάσης



2. Αποστειρωτική διήθηση

Διήθηση του νερού υπό πίεση διαμέσου ειδικών μεμβρανών οι οποίες κατακρατούν τους μικροοργανισμούς.

- Πόροι μεμβρανών: Διάκενα οπών $< 0,5\mu\text{m}$ έως $0,1\mu\text{m}$
- Συγκράτηση μικροοργανισμών μεγαλύτερου από τις οπές μεγέθους

Μειονεκτήματα: Δε συγκρατεί πολύ μικρούς μικροοργανισμούς (ιούς), υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και μικρή απόδοση

3. Θερμότητα

Η θέρμανση του νερού ως το σημείο βρασμού του επιφέρει την καταστροφή των περισσότερων σπορογόνων ΜΟ και σε $T > 100^\circ\text{C}$ για σύντομο χρόνο επέρχεται στείρωση του νερού.

Μειονεκτήματα: Δεν προσφέρεται για μεγάλες ποσότητες νερού λόγω υψηλού κόστους

4. Ραδιενεργός ακτινοβολία

Ανάλογα με την ένταση και το χρόνο έκθεσης έχει μικροβιοκτόνες ιδιότητες

Τα νερό διέρχεται διαμέσου ειδικών αγωγών από το χώρο ακτινοβολήσης με τρόπο που να αποφεύγεται η ρύπανση του με ραδιενεργό υλικό.

Οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης

Τα χημικά οξειδωτικά παίζουν αρκετά σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία του νερού και προστίθενται σε αρκετά σημεία των εγκαταστάσεων ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού της διεργασίας.

Μπορεί να γίνει προσθήκη στην **αρχή των εγκαταστάσεων** επεξεργασίας νερού για την επίτευξη μίας σειράς στόχων, όπως είναι:

- ο έλεγχος της ανάπτυξης μικροοργανισμών στις δεξαμενές της εγκατάστασης επεξεργασίας
- η απομάκρυνση χρώματος
- η βελτίωση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (οσμή-γεύση)
- η καταστροφή ορισμένων οργανικών ρυπαντών
- η ιζηματοποίηση μετάλλων.

Η χρήση χημικών οξειδωτικών στο **τέλος της εγκατάστασης** επεξεργασίας έχει ως μοναδικό σκοπό την **απολύμανση** του νερού πριν την ασφαλή του διάθεση.

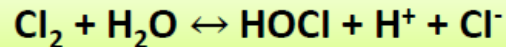
Μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά το **αέριο χλώριο** και τα **υποχλωριώδη άλατα**, σταδιακά όμως άρχισαν πλέον να χρησιμοποιούνται και άλλες ενώσεις, όπως το **διοξείδιο του χλωρίου**, οι **χλωραμίνες**, το **τριχλωρο-ισοκυανουρικό οξύ** (στέρεο χλώριο) και το **όζον**.

Αέριο Cl₂

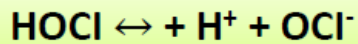
- Είναι πολύ αποτελεσματικό μικροβιοκτόνο και έχει πρασινοκίτρινο χρώμα.
- Είναι αέριο μικρής διαλυτότητας στο νερό (1,5 – 3 g/L Cl₂).
- Είναι 2,5 φορές βαρύτερο από τον αέρα και παρουσία υγρασίας οξειδώνει τα μέταλλα.
- Είναι ιδιαίτερα τοξικό για τον άνθρωπο και προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα.

Το χλώριο καταστρέφει διάφορους παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως είναι τα βακτήρια *E. coli*, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δείκτης μικροβιακής μόλυνσης. Η απολυμαντική του δράση εξαρτάται από τη τιμή pH, τη θερμοκρασία, το περιεχόμενο του νερού σε οργανικές ενώσεις, καθώς επίσης και από άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Το αέριο χλώριο, όταν διαλύεται στο νερό, υδρολύεται γρήγορα σύμφωνα με την εξίσωση:



Το υποχλωριώδες οξύ (HOCl) είναι το **δραστικό συστατικό** που σχηματίζεται, το οποίο στη συνέχεια παίρνει μέρος σε μια σειρά αντιδράσεων που περιλαμβάνουν τις αντιδράσεις απολύμανσης, **αντιδράσεις με διάφορες οργανικές και ανόργανες ενώσεις**, καθώς επίσης και μερική διάσπασή του σε ιόντα υδρογόνου και υποχλωριώδη σύμφωνα με την αντίδραση:



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.

Γενικά περί Ιζηματοποίησης

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

Σκοπός: Η ελάττωση της διαλυτότητας των στοιχείων για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών από το νερό όπως:

- ✓ Ca, Mg (μείωση σκληρότητας νερού)
- ✓ Βαρέα μέταλλα
- ✓ Όξινα ανθρακικά
- ✓ Πυριτικά
- ✓ Ιόντα PO_4^{3-} , S^{2-} , F^-

Επιτυγχάνεται με χημικές μεθόδους όπως:

- Προσθήκη αντιδραστηρίων
- Μεταβολή του pH του διαλύματος
- Μεταβολή του Αριθμού Οξειδωσης των στοιχείων

Περιλαμβάνει τις εξής φυσικές διεργασίες:

- Πυρηνογένεση
- Ανάπτυξη κρυστάλλων

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)