



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

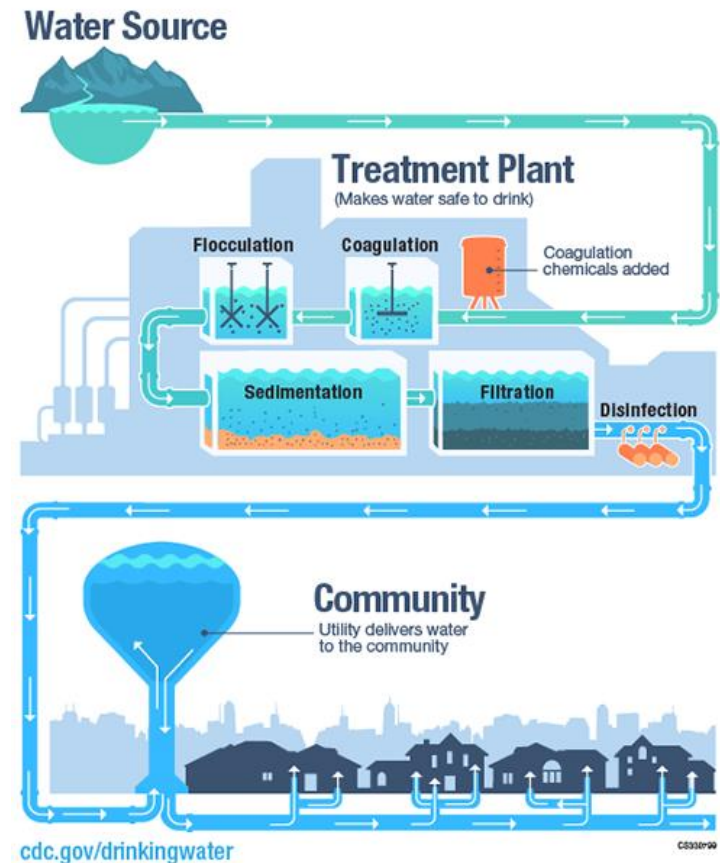
Στόχος των διεργασιών επεξεργασίας νερού:

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



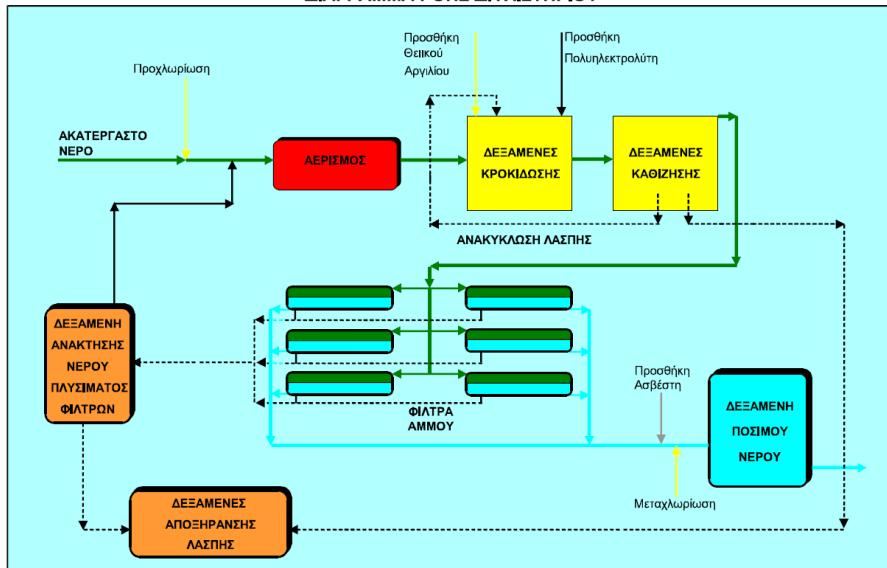
Διεργασίες για την Επεξεργασία Νερού

Στόχος των διεργασιών επεξεργασίας νερού:

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



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ



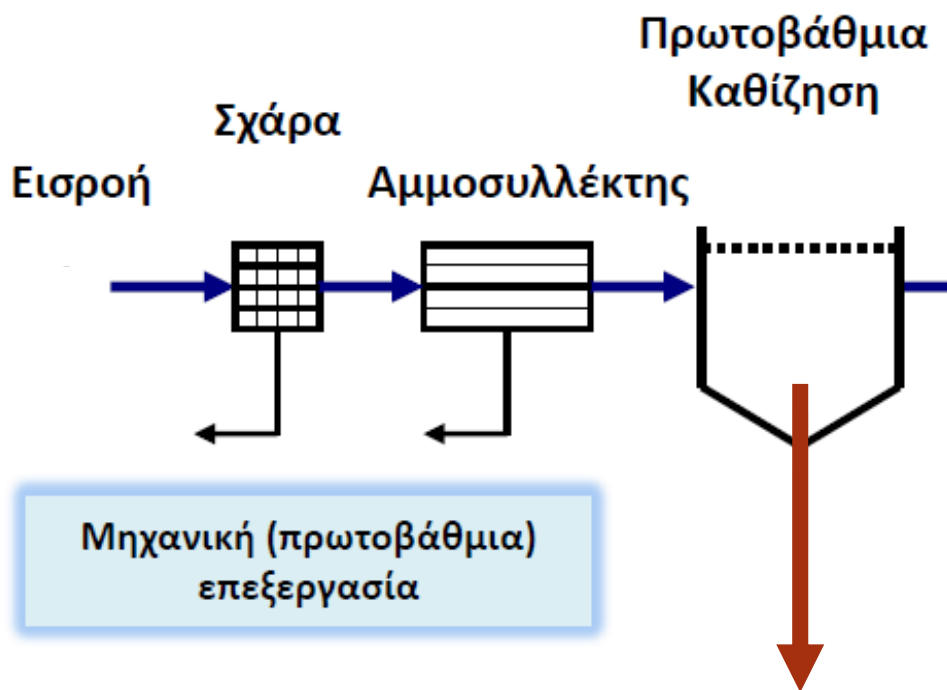
Τεχνικές Επεξεργασίας

- 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



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

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

Βασικές διεργασίες

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

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:

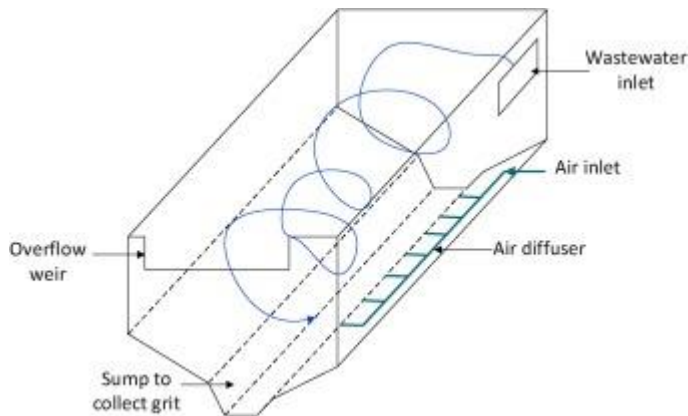
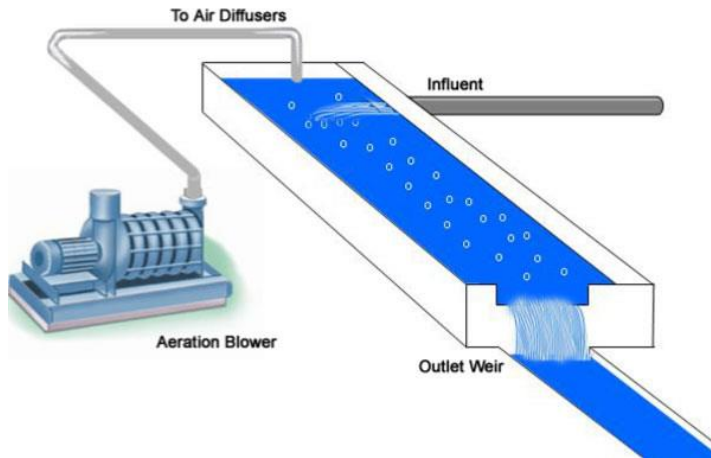
- Χειροκίνητες εσχάρες που χρειάζονται καθαρισμό.
- Μηχανικές εσχάρες που διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού με μηχανικό χτένι.

Μεγέθη:

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



Προεπεξεργασία νερού: Αμμοσυλλογή

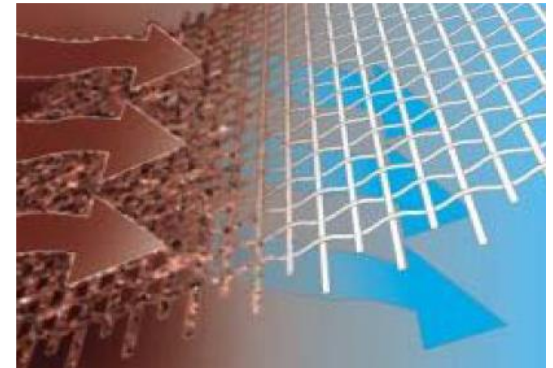


- **Στόχος:** Απομάκρυνση κόκκων άμμου που έχει συμπαρασυρθεί από ποτάμια/λίμνες και άλλων αδρανών στερεών (**όχι οργανικών στερεών**)
- **Αιτία:** Η αποφυγή της πρόκλησης βλαβών στις εγκαταστάσεις (αντλίες, αναδευτήρες, κ.α.).
- Η συλλογή της άμμου επιτυγχάνεται με την κατασκευή ενός αμμοσυλλέκτη. Οι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

Παράδειγμα σχεδιασμού αεριζόμενου εξαμμωτή

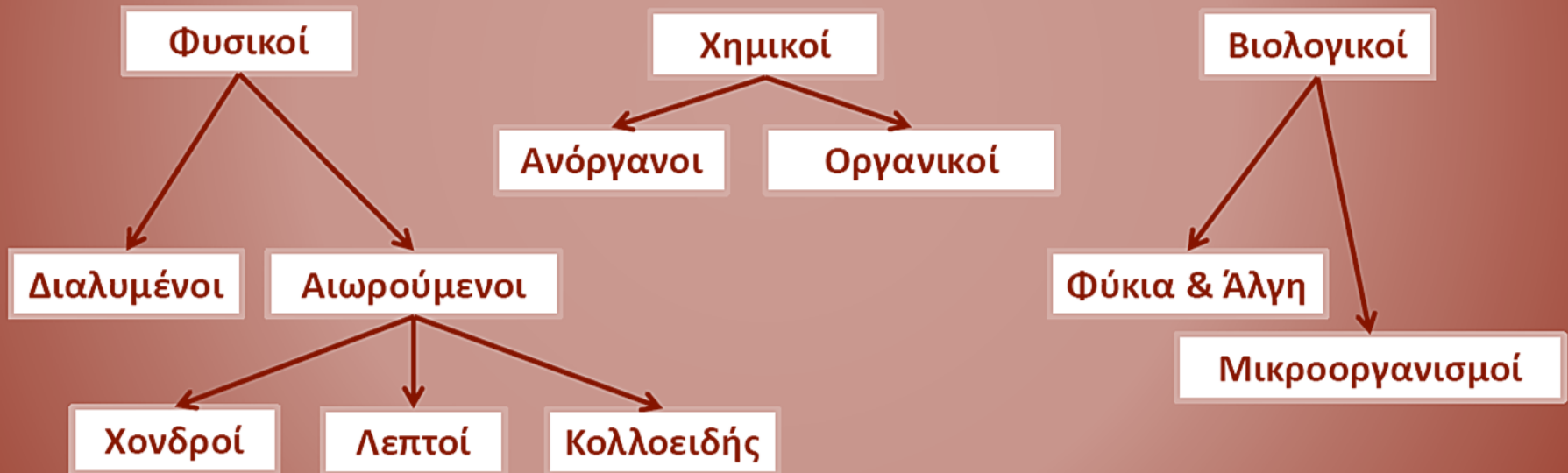
Προεπεξεργασία νερού: Κοσκίνιση

- 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.

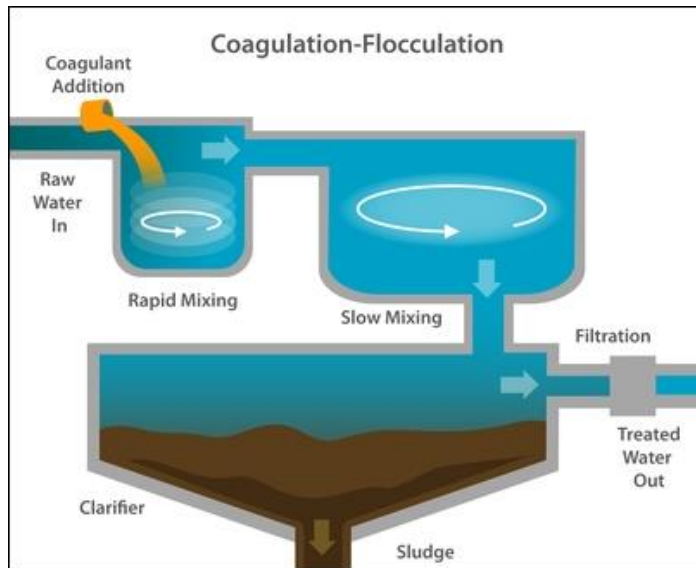


Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

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

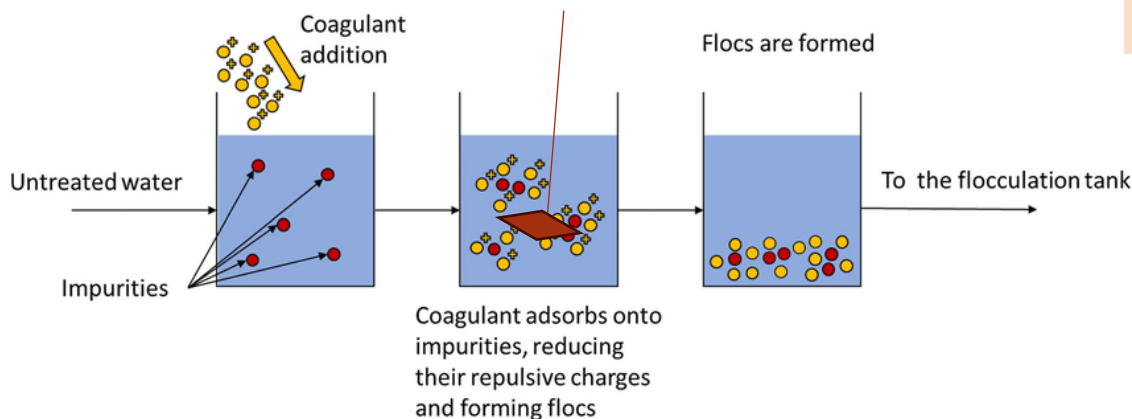
- Στα στερεά σωματίδια αναπτύσσονται σταθεροποιητικές δυνάμεις που τα διατηρούν σε αιώρηση με αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται η συσσωμάτωσή τους.
- Με την κροκίδωση, μέσω χημικών διεργασιών, επιτυγχάνεται η αποσταθεροποίηση των δυνάμεων
- Κατά συνέπεια, η συσσωμάτωση επιτυγχάνεται ευκολότερα (δλδ. ο σχηματισμός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

Ορθοκινητική Συσσωμάτωση

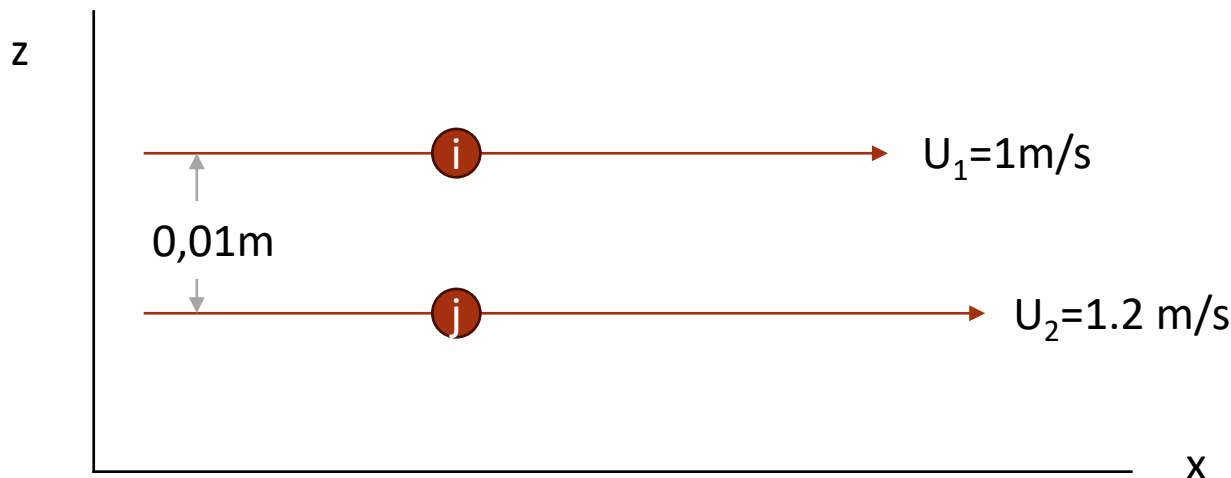
Η μηχανική ανάμιξη είναι αναγκαία για:

- 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

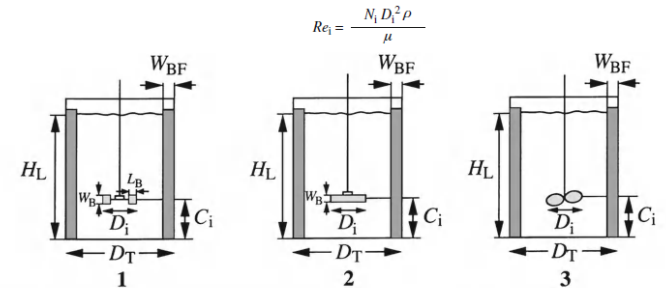
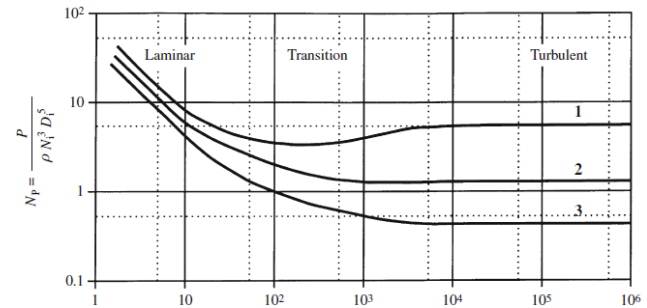
Ορθοκίνητική Συσσωμάτωση: σε στρωτή ροή

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.

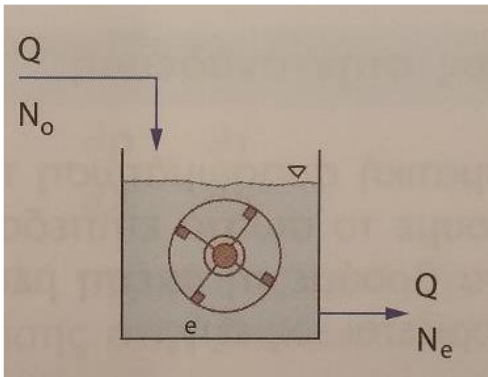


Impeller	D_i/D_T	H_L/D_T	C_i/D_T	Baffles	
				W_{BF}/D_T	Number
1. Rushton turbine $W_B/D_i = 0.2$, $L_B/D_i = 0.25$	0.33	1	0.33	0.1	4
2. Pitched-blade turbine $W_B/D_i = 0.125$, 6 blades, 45°, downward pumping	0.33	1	0.33	0.1	4
3. Marine propeller 3 blades, pitch = D_i	0.33	1	0.33	0.1	4

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

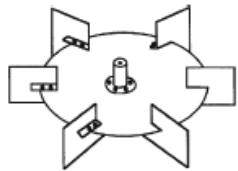
N_0, N_e : η συγκέντρωση κολλοειδών σωματιδίων στο ρεύμα εισόδου και στο ρεύμα εξόδου, αντίστοιχα

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

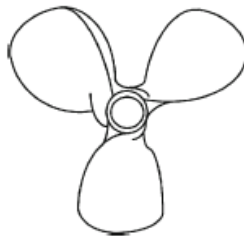
Εξοπλισμός ανάμιξης: Ανάδευση –Σχεδιασμός Ταράκτρου

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

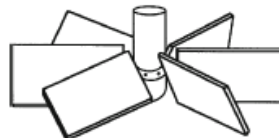
Για υγρά χαμηλού έως μέσου ιξώδους, συνιστώνται προπέλες και τουρμπίνες επίπεδης λεπίδας.



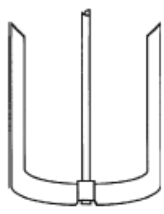
Τουρμπίνα 6 επίπεδων πτερυγίων



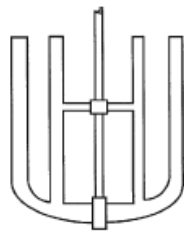
Προπέλα



Τουρμπίνα με 6 πτερύγια υπό γωνία



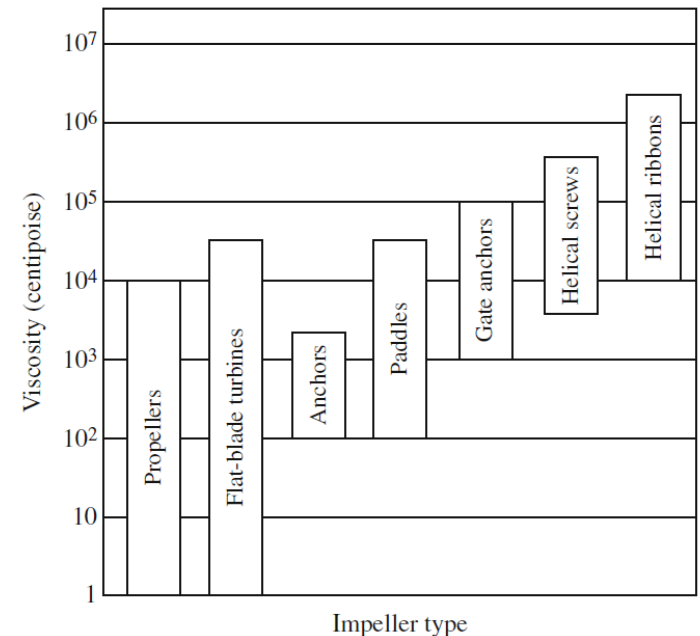
Άγκυρα



Άγκυρα με θύρα



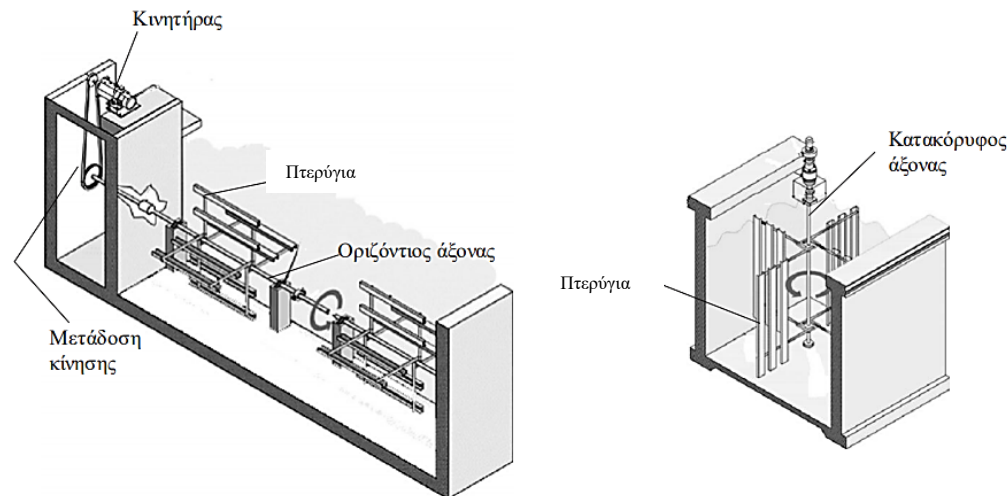
Ελικά



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)

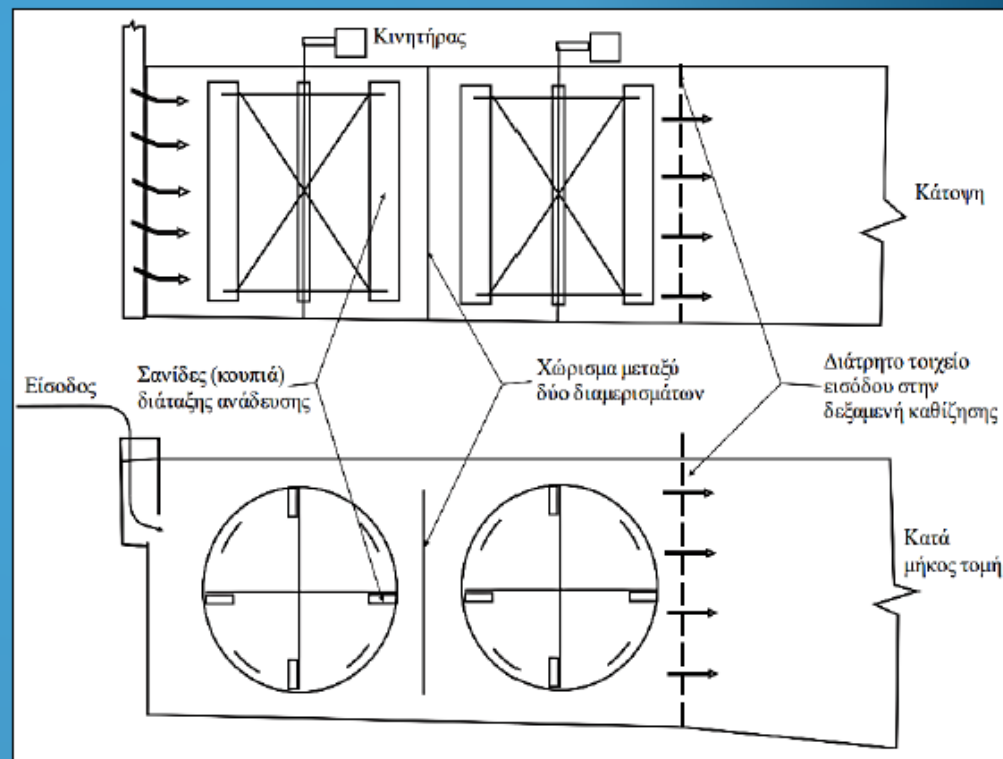
Η ισχύς P του κινητήρα (N*m/s) υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = D v_p$$

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

→ Επιλέγεται καθίζηση

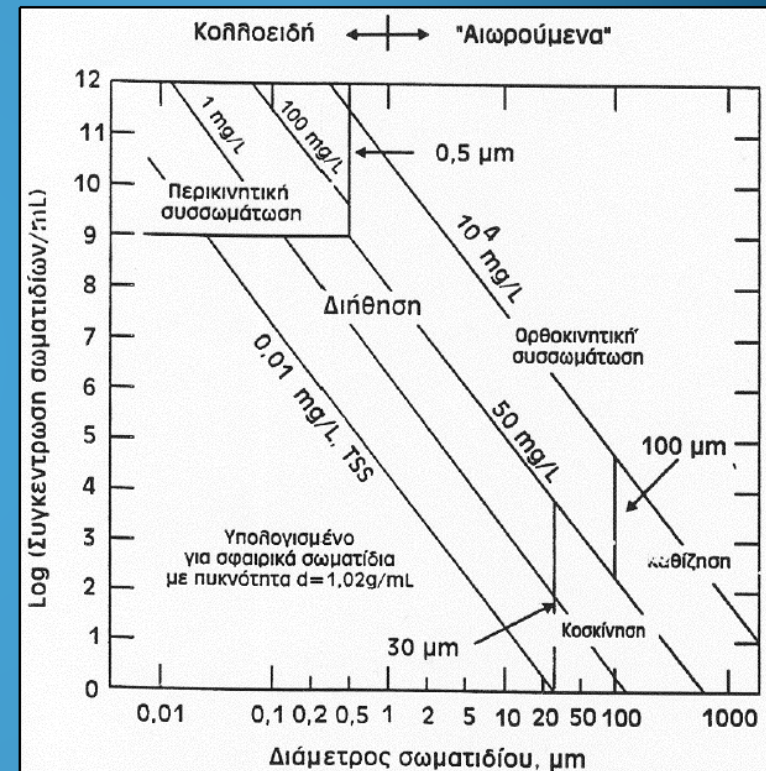
B. Για σωματίδια με:

- Συγκέντρωση $< 50\text{mg/L}$ 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, *M. 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**.

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

α. Θερμοκρασιακές διαφορές

Η είσοδος σε μια δεξαμενή με θερμότερο νερό (δλδ. Με χαμηλότερη πυκνότητα) προκαλεί μετακίνηση του θερμού νερού προς την επιφάνεια και του κρύου προς τον πυθμένα.



Η κινήσεις αυτών των εσωτερικών ρευμάτων επηρεάζει τον υδραυλικό χρόνο καθίζησης.

Η έντονη ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και των τοιχωμάτων της δεξαμενής.



Η αύξηση αυτή μπορεί να προκαλέσει ελάττωση της διαλυτότητας των αερίων και συνεπώς την έκλυσή τους => επηρεάζεται και η καθίζηση των στερεών σωματιδίων

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.

Ερωτήσεις - Καθίζηση

1. Η καθίζηση και η επίπλευση είναι δύο φυσικοχημικές μέθοδοι διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό, οι οποίες στηρίζονται στη:

- α) Φυγοκέντρωση.
- β) Βαρύτητα.
- γ) Ηλεκτροφόρηση.
- δ) Κροκίδωση.

2. Η ευρεία χρήση της καθίζησης οφείλεται στα:

- α) Εύκολος σχεδιασμός των δεξαμενών καθίζησης.
- β) Υψηλή απόδοση.
- γ) Μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- δ) Μικρή απαίτηση σε ειδικευμένο προσωπικό.
- ε) Όλα τα ανωτέρω

3. Σε πόσες κατηγορίες ταξινομούνται τα αιωρούμενα σωματίδια μιας διασποράς ανάλογα με τη συμπεριφορά κατακάθισης;

- α) Δύο.
- β) Τρεις.
- γ) Τέσσερις.
- δ) Πέντε.

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 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$

Ερωτήσεις - Επίπλευση

1. Ποιος από τους παρακάτω παράγοντες δεν επηρεάζει την πυκνότητα του νερού;
 - α) Θερμοκρασία.
 - β) Συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων.
 - γ) Θολότητα.
 - δ) Παρουσία μικροοργανισμών.
2. Πόσα είδη επίπλευσης υπάρχουν:
 - α) Δύο.
 - β) Τρία.
 - γ) Τέσσερα.
 - δ) Πέντε.
3. Ποια τα πλεονεκτήματα της καθίζησης έναντι της επίπλευσης;
 - α) Μικρότερο κόστος λειτουργίας.
 - β) Χαμηλότερο πάγιο κόστος.
 - γ) Όχι έντονη δραστηριότητα μικροοργανισμών (συνθήκες ευτροφισμού).
 - δ) Απλούστερη λειτουργία, άρα δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό.
 - ε) Για ταχύτητες καθίζησης μικρότερες από 2 – 3 m/hg μικρότερο συνολικό κόστος μιας μονάδας.

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.