



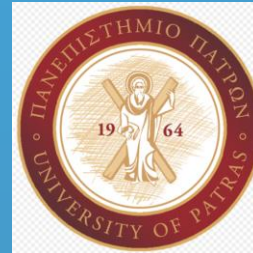
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Τεχνολογία Πόσιμου Νερού

Τέταρτη Διάλεξη: Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Διδάσκων: Ανέστης Βλυσίδης

E-mail: anestisvlysidis@gmail.com

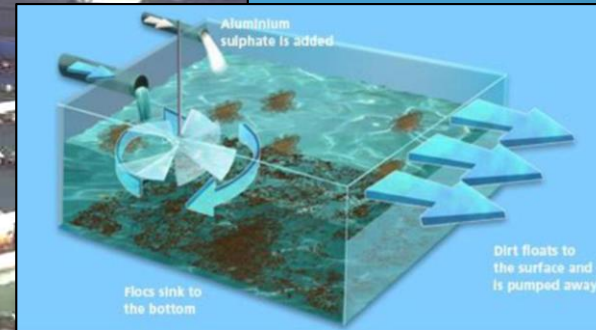
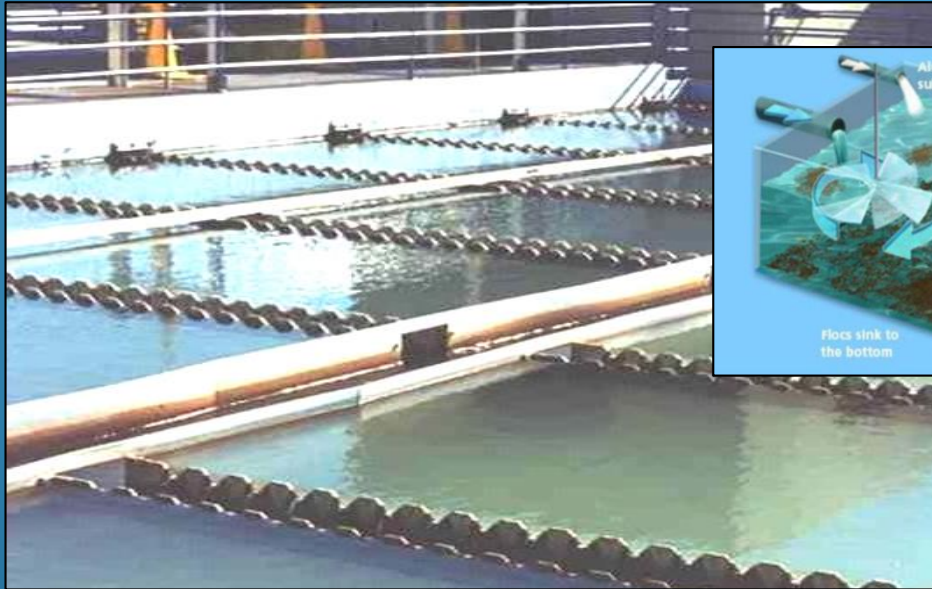


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού Κροκίδωση - Συσσωμάτωση



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



Τι είδαμε στο προηγούμενο μάθημα (Διάλεξη 3)

- Μικροοργανισμοί γενικά
- Κατηγορίες Μικροοργανισμών
- Είδη Μικροοργανισμών (Βακτήρια, Ιοί, Μύκητες, Πρωτόζωα, Άλγη κτλ)
- Επίδραση του Περιβάλλοντος στους Μικροοργανισμούς
- Μικροβιολογικός έλεγχος νερού
- Μικροοργανισμοί – δείκτες μόλυνσης νερού
- Χαρακτηρισμός νερών – Υγειονομικές διατάξεις



Σύνοψη

- Σχεδιασμός μονάδας επεξεργασίας νερού ύδρευσης
- Διεργασίες διαχωρισμού στερεών
- Κροκίδωση
- Συσσωμάτωση
- Θρόμβωση



Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας νερού

Στόχος:

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

Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού πρέπει να γίνεται με βάση:

- 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



Αρχές Διαχωρισμού

Το φυσικό νερό περιέχει οργανικά και ανόργανα συστατικά διαλυμένα και αραιωμένα.

Έχουμε δλδ. μετάπτωση των συστατικών με δαπάνη θερμοδυναμικής ενέργειας:

Υψηλή συγκέντρωση → χαμηλή συγκεντρώση

Στόχος επεξεργασίας νερού: Αντιστροφή αυτής της διεργασίας με χρήση ενέργειας

- Για να απομακρύνω 1g-mole NaCl από Θαλασσίο Νερό με 30 g/L NaCl απαιτούνται τουλάχιστον 11,5 KJ
- Για να απομακρύνω 1g-mole Χρυσού από Θαλασσίο Νερό με $4 \cdot 10^{-6}$ mg/L Au απαιτούνται τουλάχιστον 57 KJ. Άρα:

**Μικρότερες Συγκεντρώσεις απαιτούν
υψηλότερη ενέργεια για διαχωρισμό**



Διεργασίες για την Επεξεργασία Νερού

Ο κύριος στόχος των διεργασιών σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας νερού είναι η εκμετάλλευση διαφόρων **φυσικοχημικών φαινομένων** για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών του νερού.



Προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας σε οποιαδήποτε εγκατάσταση επεξεργασίας νερού απαιτείται:

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Διεργασίες για την Επεξεργασία Νερού

Τεχνικές Επεξεργασίας

- Διήθηση
- Καθίζηση
- Επίπλευση
- Κροκίδωση
- Χημική κατακρήμνιση
- Ιζηματοποίηση
- Προσρόφηση
- Ιοντοεναλλαγή
- Αντίστροφη όσμωση
- Απολύμανση

Διεργασία	Μέσο διαχωρισμού	Παράδειγμα επεξεργασίας
Θρόμβωση-καθίζηση/ επίπλευση	Βαρύτητα	Απομάκρυνση μικροοργανισμών (άλγη, βακτήρια), αργίλων, χυμικών οξέων, προϊόντων ιζηματοποίησης.
Ιζηματοποίηση	Χημικά αντιδραστήρια, οξείδωση και pH	Απομάκρυνση Ca, Fe, Mn, As, Zn, Cu, Cd, Ni, Pb, Hg, Ag, Cr, Se, Si, Mg, HCO_3^- , PO_4^{3-} , F^- .
Διήθηση	Κοκκώδη υλικά σε κλίνη	Απομάκρυνση αργίλων, μικροοργανισμών, προϊόντων ιζηματοποίησης.
Απολύμανση Ιοντοεναλλαγή	Οξειδωτικά - UV Στερεές ρητίνες	Καταστροφή μικροοργανισμών. Αποσπλήρυνση και ατιονισμός του νερού, απομάκρυνση νιτρικών.
Αντίστροφη όσμωση	Ημπερατές μεμβράνες και πίεση	Απομάκρυνση διαλυτών αλάτων του νερού και οργανικών μικρορυπαντών.
Προσρόφηση	Στερεά προσροφητικά (π.χ. ενεργός άνθρακας)	Απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και ιχνοστοιχείων.
Διαχωρισμός πτητικών	Αέρας	Απομάκρυνση αερίων ανοργάνων (H_2S , CH_4 , NH_3) και οργανικών (CHCl_3 κ.α).
Απορρόφηση Φυγοκέντρωση	Νερό Φυγοκέντρος δύναμη	Προσθήκη CO_2 , Cl_2 , O_3 στο νερό. Αφυδάτωση λάσπης
Διήθηση υπό σχηματισμό πλακούντα	Υφασμάτινες ή μεταλλικές μεμβράνες και κενό ή πίεση	Αφυδάτωση λάσπης



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Απαιτούμενη Επεξεργασία Καθαρισμού

Επιπλέοντα στερεά: Σχάρες
Αιωρούμενα στερεά: Μικροκόσκια
Άμμος: Αμμοσυλλέκτες – Κόσκια
Φύκια: Μικροκόσκια - 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



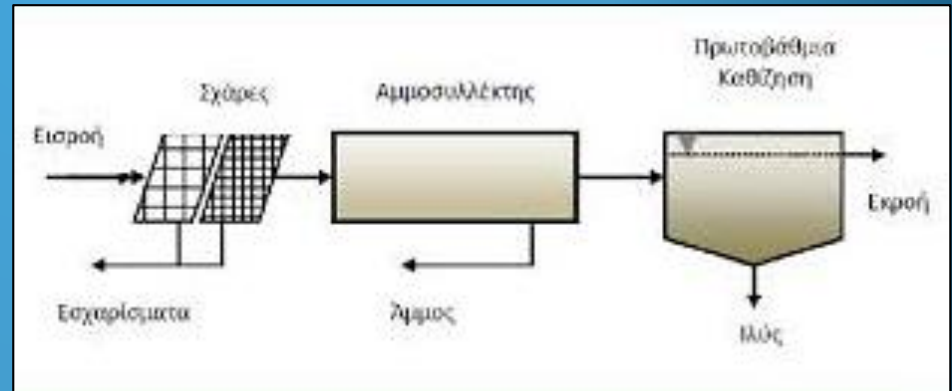
Προεπεξεργασία νερού

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





Προεπεξεργασία νερού: Εσχαρισμός

Διαχωρισμός στερεών με τη βοήθεια σχαρών:

Μεγάλα επιπλέοντα υλικά, όπως φύλλα, χαρτιά, ξύλα κλπ.

Εφαρμόζεται συνήθως σε επιφανειακά νερά (ταμιευτήρες).

Υπάρχουν 2 είδη εσχάρων:

- οι χειροκίνητες εσχάρες που χρειάζονται καθαρισμό με τσουγκράνα
- οι μηχανικές εσχάρες που διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού με μηχανικό χτένι

Μεγέθη:

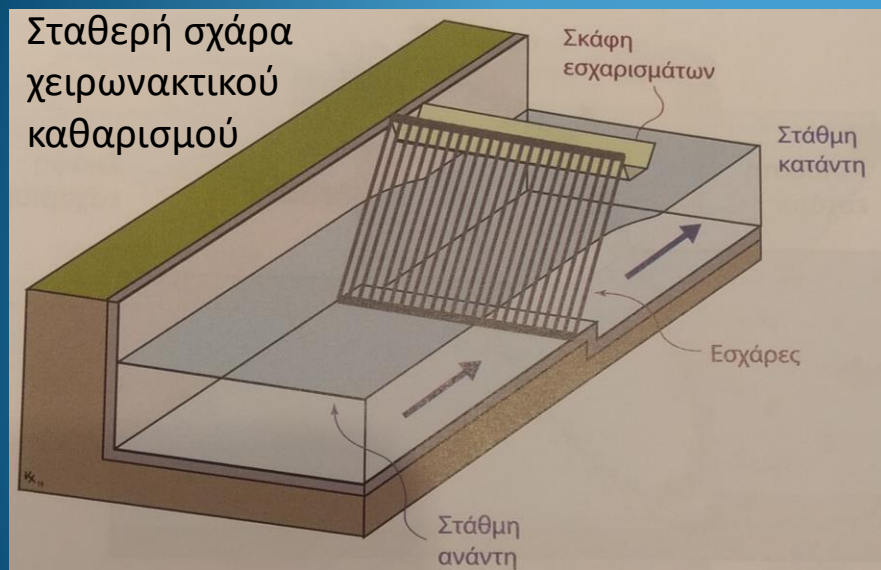
- Χοντρή σχάρα, διάμετρος 3-10 cm
- Μεσαία σχάρα, διάμετρος 1-3 cm
- Λεπτή σχάρα, διάμετρος 0,3-1 cm





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Προεπεξεργασία νερού: Εσχαρισμός



Γωνία 75° σε σχέση με την οριζόντια ροή του νερού
Μπορεί να τοποθετηθούν και σε σειρά
40-150 mm , 6-40 mm , 3-6 mm

Τα εσχαρίσματα που προκύπτουν συμπιέζονται ελαφρά, αφυδατώνονται και στη συνέχεια μεταφέρονται σε χώρους υγειονομικής ταφής.



Προεπεξεργασία νερού : Εξάμμωση (αμμοσυλλογή)

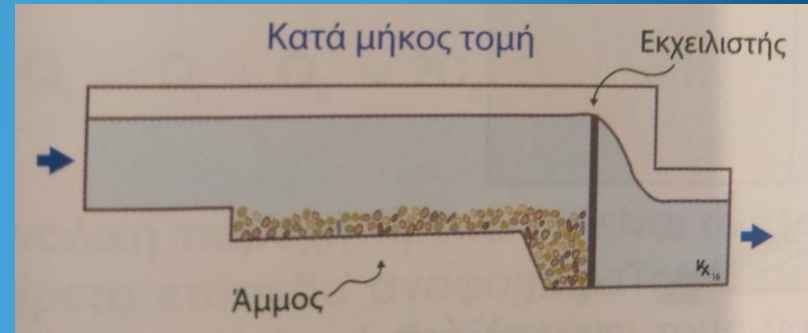
Είναι απαραίτητη η απομάκρυνση της άμμου που έχει συμπαρασυρθεί από ποτάμια/λίμνες και η οποία μπορεί να προξενήσει βλάβες στις εγκαταστάσεις (αντλίες, αναδευτήρες κ.α.).

Η συλλογή της χοντρόκοκκης άμμου επιτυγχάνεται με την κατασκευή ενός αμμοσυλλέκτη.

Απομάκρυνση κόκκων άμμου και άλλων αδρανών στερεών και όχι των οργανικών στερεών

Μέγεθος κόκκου πάνω από $> 200 \mu\text{m}$

- Για τη λεπτόκοκκη άμμο που διαφεύγει από τον αμμοσυλλέκτη γίνεται χρήση κόσκινων.



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



Προεπεξεργασία νερού: Κοσκίνισμα

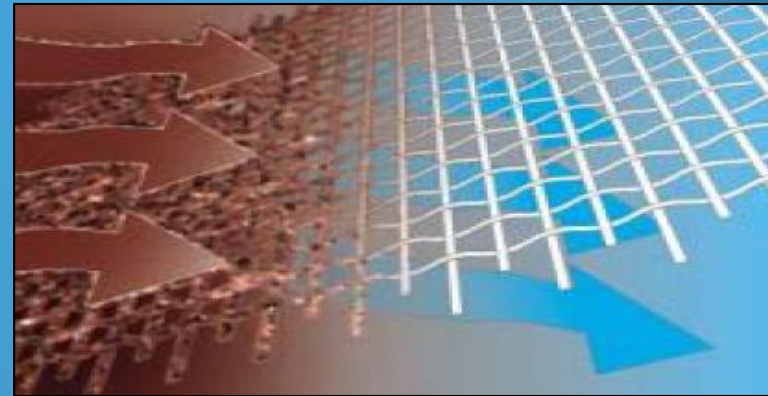
Κατά την κοσκίνιση διαχωρίζεται η στερεή φάση από την υγρή με τη χρήση ενός δισδιάστατου πλέγματος.

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)





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Επιλογή κατάλληλης διεργασίας για την Επεξεργασία Νερού Παραδείγματα

Ειδικό βάρος αιωρουμένων σωματιδίων στο νερό μεγαλύτερο από ειδ. βάρος νερού,



Διαχωρισμός με καθίζηση

Ειδικό βάρος αιωρουμένων σωματιδίων στο νερό μικρότερο από ειδ. βάρος νερού



Διαχωρισμός με επίπλευση

Μεγαλύτερα σωματίδια (πχ. Φύκια)



Απομάκρυνση με διάφορα κόσκινα

Σωματίδια πολύ μικρού μεγέθους (κολλοειδή)



Κροκίδωση: Χρήση κροκιδωτικών υλικών → συνένωση αιωρουμένων κολλοειδών

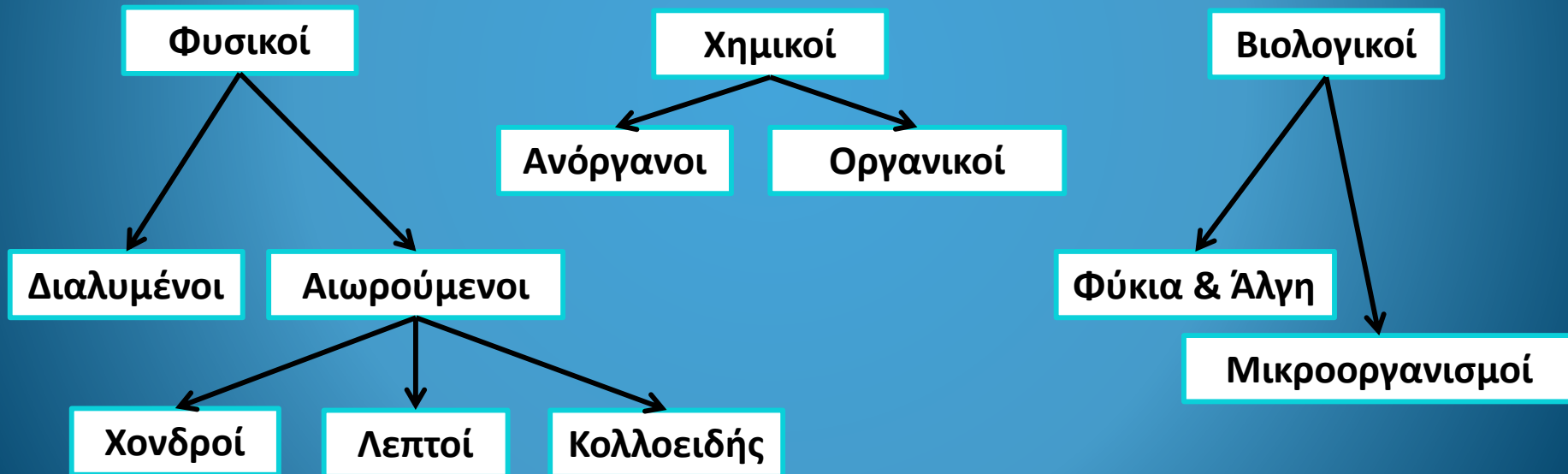


Απομάκρυνση με καθίζηση



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.





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

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

Τα σωματίδια

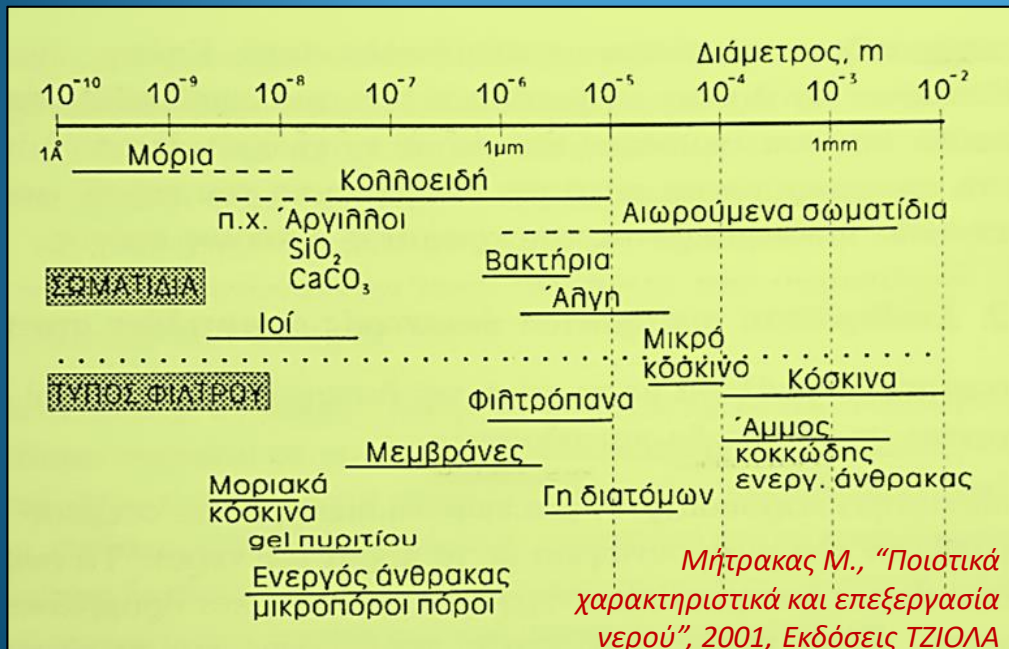
- Τα σωματίδια είναι συστατικά της γης ή της ατμόσφαιρας, όπως άργιλοι, ιλύς, προϊόντα γήινης αποσάθρωσης, παθογόνοι μικροοργανισμοί και ίνες αμιάντου, ενώ άλλα παράγονται από χημικές ή βιολογικές διεργασίες στο νερό.
- Παραμένουν αιωρούμενα για μεγάλο χρονικό διάστημα, δεν καθιζάνουν και δεν απομακρύνονται 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).



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Απομάκρυνση σωματιδίων

Μέγεθος σωματιδίων που συναντάμε στο νερό και το είδος φίλτρου που μπορεί να τα συγκρατήσει.



Φύση και κατάσταση διασποράς των σωματιδίων στο φυσικό νερό:

- Αιωρούμενα σωματίδια: > 5 μm
- Κολλοειδή σωματίδια: 5nm – 1 μm
- Τα σωματίδια τα οποία είναι μικρότερα από 5 nm θεωρούνται διαλυμένα

Κολλοειδές είναι ένα ομογενές μίγμα που περιέχει μικροσκοπικά σωματίδια μιας χημικής ουσίας ομοιόμορφα διασκορπισμένα μέσα σε μια άλλη.

Τα μικροσκοπικά αυτά σωματίδια παραμένουν μη αναμίξιμα και μη παρασυρόμενα από τη βαρύτητα. Οπότε **δεν καθιζάνουν**, παραμένοντας έτσι αιωρούμενα.

Σε αντίθεση με τα διαλύματα, τα κολλοειδή εμφανίζουν σκέδαση στο φως.



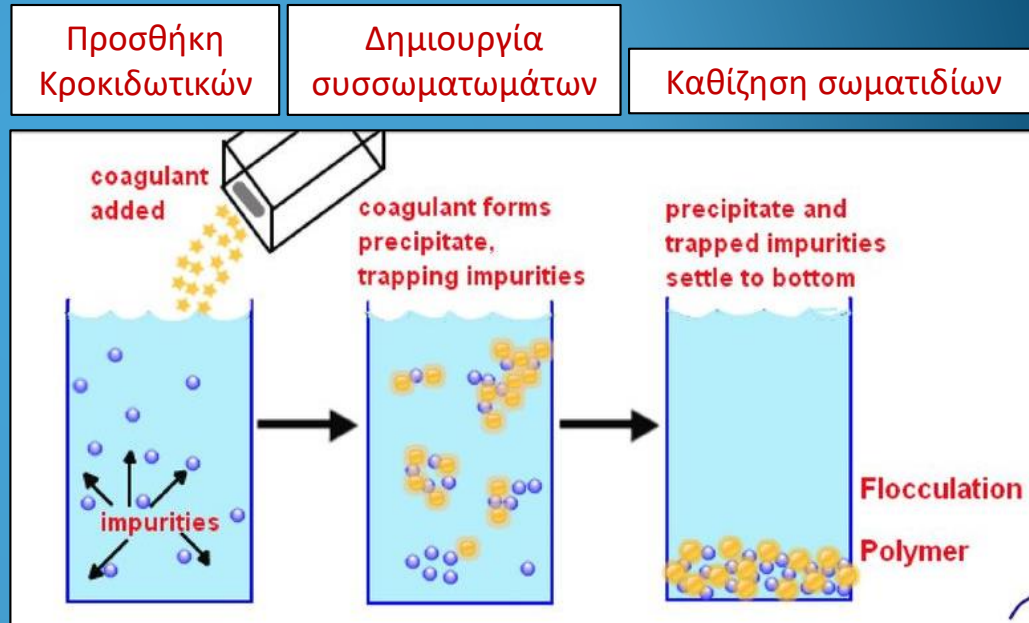
4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

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





Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

- Οπότε η αντίσταση των κολλοειδών στη συσσωμάτωση ορίζει τη σταθερότητά τους.
- Τα κολλοείδη που αιωρούνται στο νερό είναι συνήθως αρνητικά φορτισμένα με αποτέλεσμα να απωθούνται μεταξύ τους.
- Αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων → υπερνίκηση των απωστικών δυνάμεων από τις ελκτικές δυνάμεις van der Waals επιτυγχάνεται με την κροκίδωση
- Κροκιδωτικά: Άλατα του τρισθενούς σιδήρου ή του τρισθενούς αργιλίου (Θεικό αργίλιο, θειικός σίδηρος, χλωριούχος σίδηρος) ή διάφορα πολυμερή που ονομάζουμε κροκιδωτικά (coagulants)



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Σταθερότητα συστημάτων διασποράς σωματιδίων στο νερό

Τα σωματίδια ανάλογα με τη φύση της διεπιφάνειας στερεού – υγρού διακρίνονται σε:

ΥΔΡΟΦΟΒΑ

Κυρίως ανόργανης προέλευσης
(άργιλοι, μεταλλικά οξείδια)

- Εμφανής διεπιφάνεια στερεού – υγρού
- Εμφανίζουν ελάχιστη συνάφεια με τα μόρια νερού
- Είναι θερμοδυναμικά και ενεργειακά ασταθή
- Θρομβώνονται μη αντιστρεπτά

ΥΔΡΟΦΙΛΑ

Κυρίως οργανικής προέλευσης
(διαλύματα μακρομορίων, αμυλώδεις ουσίες, μεγάλα πολυμερή, μικροοργανισμοί, άλγη, βιοκολλοειδή*)

- Δεν εμφανίζουν κάποιο σύνορο φάσεων
- Είναι θερμοδυναμικά και ενεργειακά σταθερά

*Τα βιοκολλοειδή προσκολλώνται στην επιφάνεια ανόργανων σωματιδίων έτσι εμφανίζονται συχνά ως υδρόφιλα και υδρόφοβα



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Μηχανισμοί σταθερότητας συστημάτων διασποράς

Κύριος Μηχανισμός: Ηλεκτροστατική άπωση (απόθηση)

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

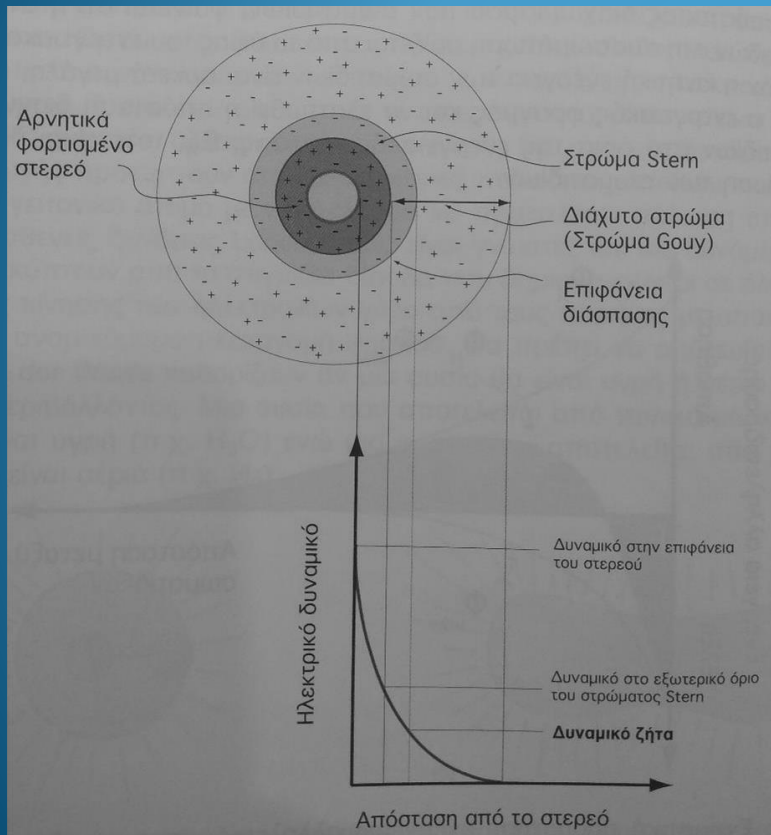
- Κρυσταλλικές ατέλειες: Δημιουργία αρνητικών φορτίων στην επιφάνεια των ορυκτών
- Εκλεκτική προσρόφηση ορισμένων ιόντων: Ένα αρνητικά φορτισμένο πολυμερές μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια ενός θετικά φορτισμένου σωματιδίου.
- Ειδικές χημικές αντιδράσεις ιονογόνων ομάδων στην επιφάνεια των σωματιδίων.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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Αποσταθεροποίηση σωματιδίων (Κροκίδωση)

Η σταθερότητα (φορτίο) των σωματιδίων αποτρέπει την συνένωση μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μη μπορούν να δημιουργήσουν συσσωμάτωματα και έτσι να μην καθιζάνουν (ή να μην επιπλέουν)

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

Τα σωματίδια ακολουθούν τη **κίνηση Brown** (τυχαίες συγκρούσεις των μορίων του μέσου διασποράς (δλδ νερού) με το αιωρούμενο κολλοειδές σωματίδιο)

Χαρακτηριστικά καθίζησης αιωρούμενων σωματιδίων

Υλικό	Μέγεθος, μm	Χρόνος καθίζησης, 1 m
Χαλαζίας	10.000	1 δευτερόλεπτα
	1.000	10 δευτερόλεπτα
	100	125 δευτερόλεπτα
Ίλύς	10	108 λεπτά
Βακτήρια	1	180 ώρες
Κολλοειδή	0,1	755 ημέρες



Μήτρακας Μ.,
“Ποιοτικά
χαρακτηριστικά
και επεξεργασία
νερού”, 2001,
Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ



Αποσταθεροποίηση σωματιδίων (Κροκίδωση)

Για να μειωθεί ο χρόνος καθίζησης

Πρέπει
να

δημιουργηθούν σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους

Πρέπει
να

δημιουργηθούν συσσωμάτωματα

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)



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης (κροκίδωσης)

1. Συμπίεση ηλεκτρικής διπλοστιβάδας

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

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

Ο αριθμός των ιόντων (συγκέντρωση) που προκαλεί τη συμπίεση της διπλοστιβάδας 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 έως συστήματος υδρόφοβων σωματιδίων, τότε τα ίδια αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με 44 mg/L CaCl₂



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Άσκηση:

Πόσα meq/L είναι τα 75 mg/L ιόντων ασβεστίου;

Λύση:

$$\text{meq/L} = \frac{\text{Συγκέντρωση (mg/L)}}{\text{Ατομικό Βαρος/Σθενος}}$$

$$\text{Άρα: meq/L Ca}^{+2} = \frac{75 \text{ mg/L}}{\left(\frac{40.04}{2}\right)} = 3.75 \text{ meq/L}$$

3000 mg	NaCl	58 NaCl	110 CaCl ₂
44 mg	CaCl ₂	23 0.396552	40 0.363636
		35 0.603448	35 0.318182
		51.72414	0.8
		51.72414	0.8
		103.4483	1.6
		103.4483	102.4
		3000	2969.6

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης (κροκίδωσης)

2. Ηλεκτροστατική Έλξη

Η **ηλεκτροστατική έλξη** εμφανίζεται όταν δυο επιφάνειες είναι αντίθετα φορτισμένες. Τα σωματίδια μπορούν να αποσταθεροποιηθούν εξαιτίας αυτής της έλξης, δράση που ενισχύεται με την παρουσία **συγκεκριμένων ιόντων (προσρόφηση ιόντων)**.

Πολλά σωματίδια παρουσιάζουν επιφανειακό φορτίο θετικό ή αρνητικό, το οποίο εξαρτάται από το **pH** του διαλύματος.

Η τιμή του pH που αντιστοιχεί σε μηδενικό επιφανειακό φορτίο ονομάζεται **Σημείο Μηδενικού Φορτίου (ZPC, Zero Point of Charge)**

- Όταν το pH είναι **μεγαλύτερο** από την τιμή ZPC → το επιφανειακό φορτίο είναι **αρνητικό**
- Όταν το pH είναι **μικρότερο** από την τιμή ZPC → το επιφανειακό φορτίο είναι **θετικό**.

Η μείωση του επιφανειακού φορτίου με **αλλαγή του pH** ή με **προσρόφηση ιόντων**, μπορεί να οδηγήσει σε εξουδετέρωση του φορτίου και **αποσταθεροποίηση** των σωματιδίων.



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης: 2. Ηλεκτροστατική Ελξη

Τιμές του σημείου μηδενικού φορτίου διαφόρων ανόργανων και οργανικών συστατικών που συναντάμε στα φυσικά νερά (Montgomery,

Συστατικό	1985)	pH _{ΣΜΦ}
ΑΝΟΡΓΑΝΑ (Υδροφοβica)		
Al(OH) ₃ (άμορφο)		7,5-8,5
Al ₂ O ₃		9,1
Fe(OH) ₃ (άμορφο)		8,5
MgO		12,4
MnO ₂		2-4,5
SiO ₂		2-3,5
Άοργανοι		
Καολίνη		3,3-4,6
Μοντιμοριλλονίτης		2,5
Αμίαντος (χρυσοσίλης)		10-12
CaCO ₃		8-9
Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH		6-7
FePO ₄		3
AlPO ₄		4
ΟΡΓΑΝΙΚΑ (Υδροφιλα)		
Άλγη		3-5
Βακτήρια		2-4
Χουμικά οξέα		3
Σταγόνες ελαίου		2-5

pH < ουδέτερο pH
(Αρνητικά φορτισμένα)

Μήτρακας Μ.,
“Ποιοτικά
χαρακτηριστικά
και επεξεργασία
νερού”, 2001,
Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

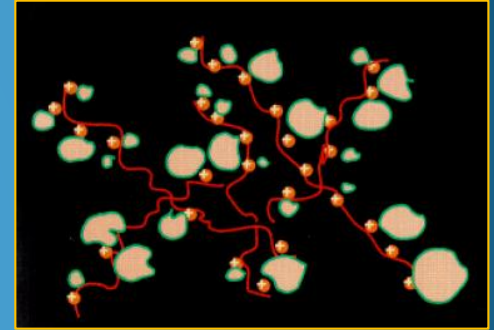
Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης (κροκίδωσης)

3. Σχηματισμός εσωτερικών μοριακών γεφυρών

Γίνεται χρήση πολυμερών μεγάλης αλυσίδας, τα οποία φέρουν αρνητικά φορτία.

Αυτά έχουν τη δυνατότητα να σχηματίζουν “γέφυρες” μεταξύ των διασπαρμένων σωματιδίων, προκαλώντας την αποσταθεροποίησή τους και τη δημιουργία συσσωματωμάτων

Κύριος μηχανισμός θρόμβωσης των φυκών και των βακτηρίων



4. Παγίδευση σωματιδίων (σάρωση θρόμβων)

Γίνεται χρήση διαλυτών κατιόντων (πχ: αργίλιο, σίδηρος) τα οποία υδρολύονται και σχηματίζουν ένα αδιάλυτο ίζημα. Τα διεσπαρμένα σωματίδια παγιδεύονται στο άμορφο ίζημα που σχηματίζεται με αποτέλεσμα την αποσταθεροποίησή τους και τη δημιουργία συσσωματωμάτων.

Ο επικρατέστερος μηχανισμός στις διεργασίες επεξεργασίας νερού.
(Χρήση αλάτων αργιλίου και σιδήρου, pH = 6 – 8)



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Θρόμβωση Σωματιδίων

Δυο διαδοχικά στάδια

A. Κροκίδωση:

Μειώνεται η επίδραση των εσωτερικών απωστικών δυνάμεων των ομώνυμα φορτισμένων κολλοειδών σωματιδίων που είναι υπεύθυνες για τη σταθερότητα των σωματιδίων.

B. Συσσωμάτωση:

Συμβαίνουν **συγκρούσεις** σωματιδίων (είτε λόγω της μοριακής τους κίνησης μέσα στο διάλυμα είτε λόγω μηχανικής ανάμιξης) και με τη σύνδεση των κολλοειδών σωματιδίων δημιουργούνται ορατοί **θρόμβοι**.

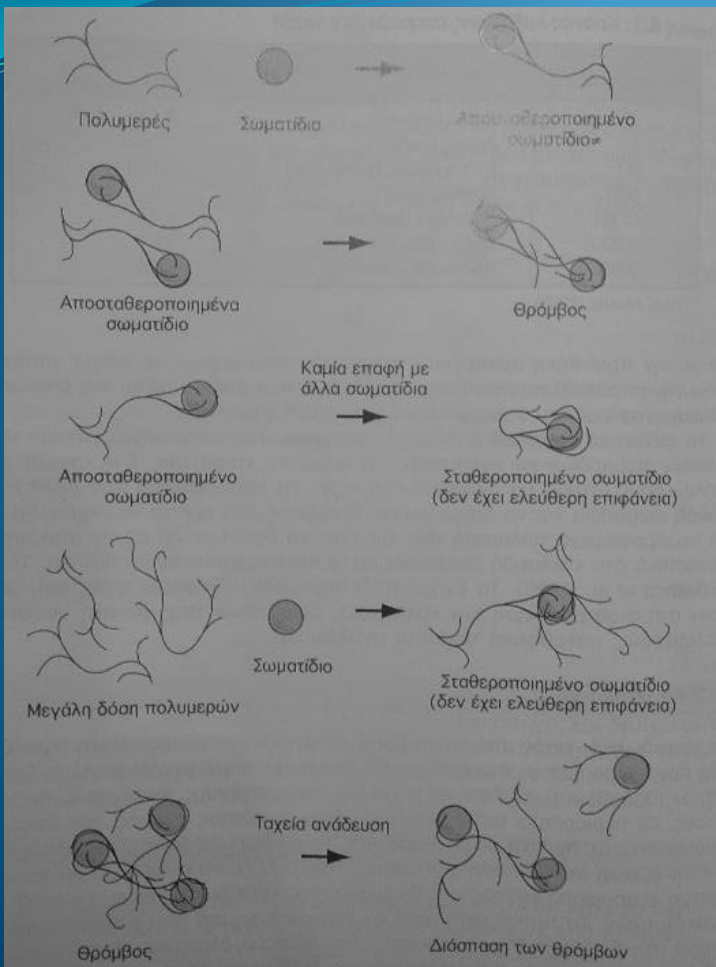
Οι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την αποσταθεροποίηση των σωματιδίων ονομάζονται **κροκιδωτικά**: θειικό αργίλιο, ο θειικός σίδηρος, ο χλωριούχος σίδηρος, κ.ά

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

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση



Τα σύνθετα οργανικά πολυμερή προσροφώνται στην επιφάνεια των κολλοειδών σωματιδίων και καλύπτουν ένα τμήμα της επιφάνειας. Ένα κομμάτι του πολυμερούς μπορεί να αιωρείται στο νερό και να προσροφηθεί από άλλα κολλοειδή σωματίδια → δημιουργία θρόμβων

Προσοχή

Έχουμε και ανάποδη δράση των πολυμερών σε περίπτωση που έχουμε:

- 1) Υψηλή συγκέντρωση πολυμερών
- 2) Πολύ γρήγορη ανάδευση

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Συνοπτική περιγραφή διαδικασίας Θρόμβωσης

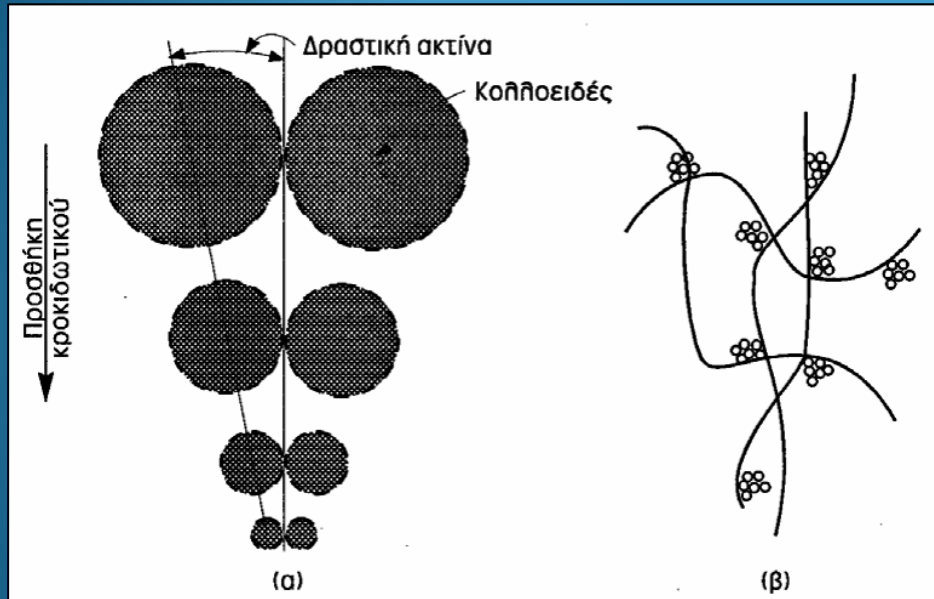
Φαινόμενο	Μηχανισμός - Δράση	Ορολογία
Προσθήκη κροκιδωτικού	Αντίδραση κροκιδωτικού με υποκαταστάτες (OH^- , SO_4^{2-}), υδρόλυση, πολυμερισμός, σχηματισμός συμπλόκων	Ταχεία ανάμιξη
Αποσταθεροποίηση σωματιδίων	Συμπίεση της ηλεκτρικής διπλοστοιβάδας με ουδέτερους ηλεκτρολύτες. Ουδετεροποίηση φορτίου με απορρόφηση φορτισμένων σωματιδίων. Ελάττωση δυναμικού επιφάνειας και σχηματισμός εσωτερικών μοριακών γεφυρών. Καθίζηση κροκιδωμάτων και παγίδευση (σάρωση θρόμβων) σωματιδίων	Κροκίδωση (Coagulation)
Συνένωση σωματιδίων	α) Τυχαίες συγκρούσεις εξαιτίας θερμικής κίνησης των μορίων του νερού και διάχυσης ($d < 1 \mu$). β) Συγκρούσεις εξαιτίας της διαφορικής ταχύτητας των σωματιδίων που επιτυγχάνονται με ανάμιξη ($d > 1 \mu$)	Συσσωμάτωση (Flocculation) α) Περικινητική β) Ορθοκινητική

Μήτρακας Μ.,
“Ποιοτικά
χαρακτηριστικά
και επεξεργασία
νερού”, 2001,
Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Θρόμβωση Σωματιδίων



Σχηματική παράσταση (α) Κροκίδωσης και (β) Συσσωμάτωσης (Kemmer, 1988)

- ✓ Η προσθήκη του κροκιδωτικού εξουδετερώνει τα φορτία που καλύπτουν τα κολλησιδή και συνεισφέρει στη συσσώρευσή τους.
- ✓ Ο σχηματισμός γεφυρών ανάμεσα στα συσσωρευμένα κολλησιδή σωματίδια και του αντιδραστηρίου συσσωμάτωσης δημιουργεί μεγάλους θρόμβους που καθιζάνουν.



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Θρόμβωση Σωματιδίων

Χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων
Κροκίδωσης και Συσσωμάτωσης

	Κροκίδωση	Συσσωμάτωση
Φύση σωματιδίων	Αρκετά μικρά σωματίδια	Διάσπαρτα ιζήματα σε μορφή gel
Είδος προστιθέμενου χημικού	Χαμηλού μοριακού βάρους για εξουδετέρωση φορτίου	Υψηλού μοριακού βάρους ουσία για σύνδεση σωματιδίων
Απαιτήση ενέργειας	Ταχεία ανάμιξη	Αργή ανάδευση
Χρόνος διεργασίας	έως 5 min	10-30 min
Περιφερειακή ταχύτητα αναδευτήρα	~ 5 m/sec	0,5-1,5 m/sec
Ισχύς ανάδευσης	50-200 W/m ³	10-30 W/m ³
Βαθμίδα ταχύτητας G	200-1000 s ⁻¹	20-100 s ⁻¹

Η κίνηση των διασπαρμένων σωματιδίων, λόγω της ανάδευσης, οδηγεί σε **ελαστικές ή μη ελαστικές συγκρούσεις** μεταξύ τους.

Μήτρακας Μ.,
“Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού”, 2001,
Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ

Ο βαθμός κατά τον οποίο επιτυγχάνεται η άρση της σταθερότητας του συστήματος διασποράς χαρακτηρίζει την **αποτελεσματικότητα των συγκρούσεων**, δηλαδή πόσες από τις συγκρούσεις που πραγματοποιούνται καταλήγουν σε συσσωμάτωση και πόσες είναι ελαστικές.



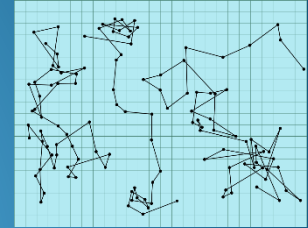
4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Περικινητική Συσσωμάτωση (διάχυση Brown)

Η συσσωμάτωση σωματιδίων εξ αιτίας της θερμικής κίνησης Brown ονομάζεται περικινητική συσσωμάτωση.

Κίνηση Brown: Τυχαία κίνηση σωματιδίων εξαιτίας του συνεχούς βομβαρδισμού τους από τα μόρια νερού.

- Επηρεάζει μόνο τα κολλοειδή
- Ελάχιστη επίδραση σε σωματίδια $>1\mu\text{m}$



Αιώρημα με ολική συγκέντρωση σφαιρικών σωματιδίων ίση με N_T :

Ο ρυθμός εξαφάνισης των κολλοειδών σωματιδίων σε συνάρτηση του χρόνου λόγω της περικινητικής συσσωμάτωσης δίνεται από τη σχέση (Montgomery, 1985):

$$\frac{dN_T}{dt} = -\frac{4}{3}\alpha \frac{\kappa T}{\mu} N_T^2$$

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

κ : σταθερά Boltzmann ($13,8 \cdot 10^{-24}$ N m/K)

T: θερμοκρασία του υγρού (K)

μ : δυναμικό ιξώδες του υγρού (Pa s ή N s/ m^2 ή kg/m s)

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Περικινητική Συσσωμάτωση (διάχυση Brown)

Αιώρημα με ολική συγκέντρωση σφαιρικών σωματιδίων ίση με N_T :

Ο ρυθμός εξαφάνισης των κολλοειδών σωματιδίων σε συνάρτηση του χρόνου λόγω της περικινητικής συσσωμάτωσης δίνεται από τη σχέση (Montgomery, 1985):

$$\frac{dN_T}{dt} = -\frac{4}{3} \alpha \frac{\kappa T}{\mu} N_T^2$$

Σταθερά ίση με $5,4 \cdot 10^{-15}$
(Στους 20°C κ' θεωρώντας ότι $\alpha = 1$)

Για νερό στους 25°C και με N_T σε σωματίδια /mL ο χρόνος που απαιτείται για μείωση σωματιδίων στο μισό θα είναι:

$$t_{1/2} = \frac{1,6 \cdot 10^{11}}{\alpha N_T}$$

κ: σταθερά Boltzmann

T: απόλυτη θερμοκρασία (K)

μ: δυναμικό ιξώδες

α: βαθμός αποτελεσματικότητας συγκρούσεων

(!) Στο μοντέλο αυτό θεωρούνται όλες οι συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων αποτελεσματικές αφού δε λαμβάνονται υπόψιν :

- Η άπωση της διπλοστοιβάδας
- Οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals
- Οι υδροδυναμικές αλληλεπιδράσεις λόγω ιξώδους



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Περικινητική Συσσωμάτωση (διάχυση Brown)

Παράδειγμα:

Για νερό 20°C και $N_T = 10^8$ σωματίδια /L πόσος ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η συγκέντρωση σωματιδίων στο μισό;

Λύση:

Υποθέτουμε $\alpha = 1$

$N_T = 10^8$ σωματίδια /L = 10^5 σωματίδια /mL

$$\text{Άρα: } t_{\frac{1}{2}} = \frac{1.6 \cdot 10^{11}}{\alpha N_T} = \frac{1.6 \cdot 10^{11}}{1 \cdot 10^5} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ s} = 18,5 \text{ μέρες}$$



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: 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:

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

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:

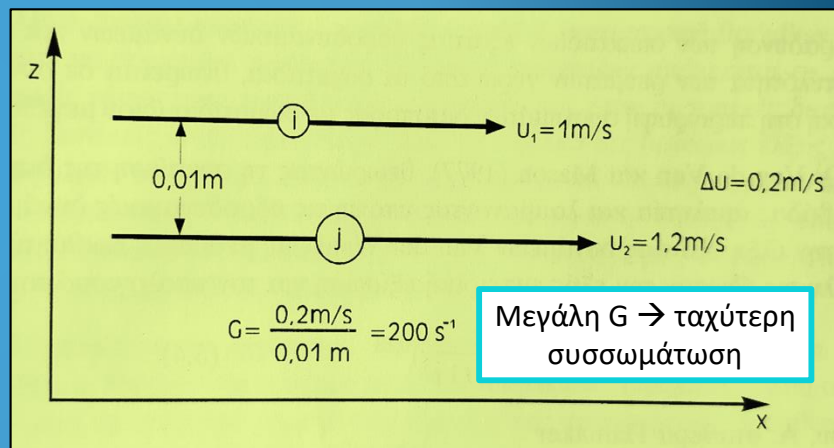
$$R_{ij} \leq (d_i + d_j) / 2 \text{ τότε έχουμε σύγκρουση}$$

d_i : Διάμετρος του i

d_j : Διάμετρος του j

Δυο περιπτώσεις Ορθοκινητικής Συσσωμάτωσης:

1. Συσσωμάτωση σε στρωτή ροή
2. Συσσωμάτωση σε τυρβώδη ροή



Παράδειγμα υπολογισμού βαθμίδας ταχύτητας G .
Μήτρακας $M.$, "Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού", 2001



Απαιτήσεις ισχύος για ανάμιξη σε μη αεριζόμενα ρευστά

- Η μαθηματική σχέση μεταξύ αυτών των μεταβλητών εκφράζεται συνήθως σε όρους αδιάστατων αριθμών, όπως ο αριθμός τάρακτρου Reynolds Re_i 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.



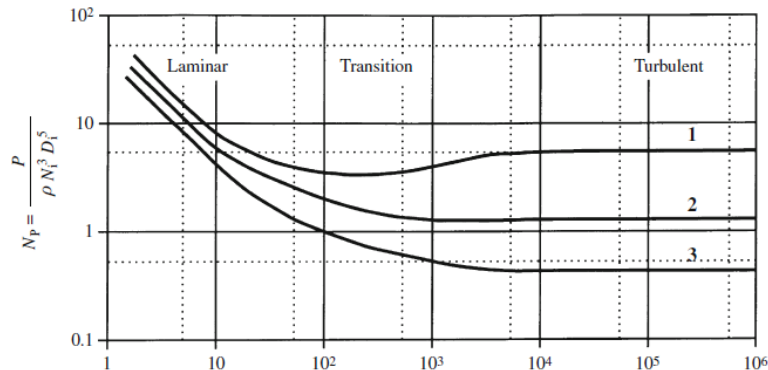
4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Συσχέτιση μεταξύ του αριθμού Reynolds και του αριθμού ισχύος N_p

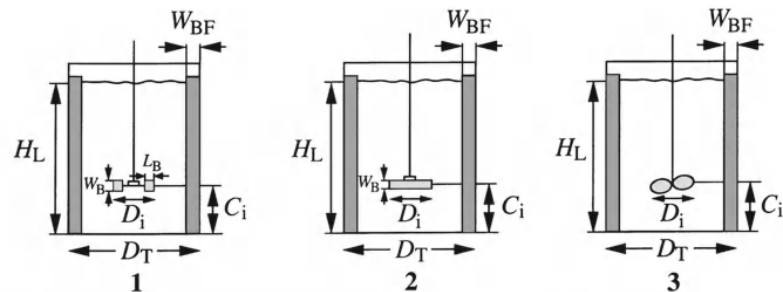
- Η σχέση μεταξύ Re_i και N_p έχει βρεθεί πειραματικά για ένα εύρος πτερωτών και σχηματισμούς δεξαμενών.
- Μόλις γίνει γνωστή η τιμή του N_p η ισχύς υπολογίζεται από την Εξίσωση:

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

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



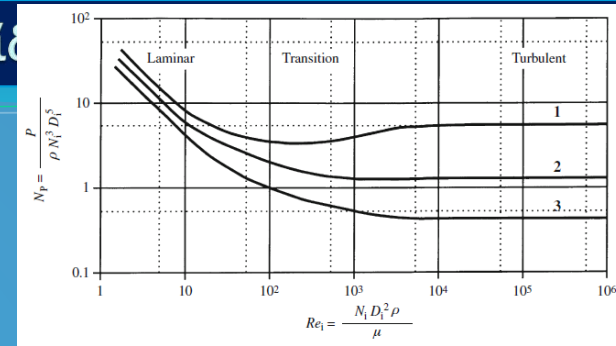
$$Re_i = \frac{N_i D_i^2 \rho}{\mu}$$



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



Στρωτή ροή

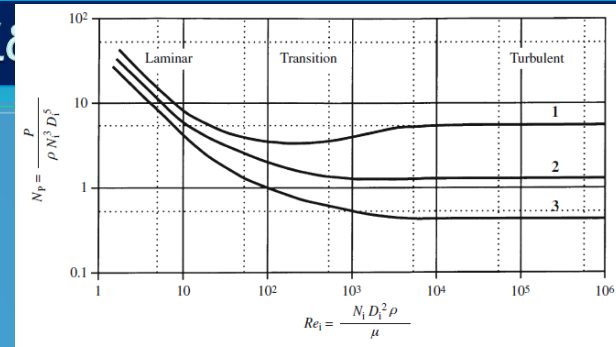


- Το καθεστώς της στρωτής ροής (laminar flow) αντιστοιχεί για $Re_i < 10$ για πολλούς τύπους τουρμπινών και προπελών.
- Για αναδευτήρες με πολύ μικρό διάκενο όπως αυτό της άγκυρας ή του έλικα, η στρωτή ροή παραμένει μέχρι $Re_i = 100$ ή μεγαλύτερη.

$$P = k_1 \mu N_i^2 D_i^3$$

όπου το k_1 είναι μία σταθερά αναλογικότητας και εξαρτάται από την τουρμπίνα/προπέλα που χρησιμοποιείται.

- Η ισχύς που απαιτείται για τη στρωτή ροή είναι ανεξάρτητη από την πυκνότητα του υγρού αλλά είναι ανάλογη με το ιξώδες του ρευστού.



Τυρβώδης ροή

- Ο αριθμός ισχύος είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό Reynolds σε τυρβώδη ροή.
- Το καθεστώς της τυρβώδους ροής έχει πλήρως αναπτυχθεί για $Re_i > 10^3$ ή 10^4 για τους περισσότερες μικρές πτερωτές σε δοχεία με ανακλαστήρες.

$$P = N'_P \rho N_i^3 D_i^5$$

όπου N'_P είναι η σταθερή τιμή του αριθμού ισχύος σε τυρβώδη ροή και εξαρτάται από τον τύπο του Impeller (0.35 – 5)

- Χωρίς ανακλαστήρες, η τυρβώδη ροή μπορεί να αναπτυχθεί πλήρως για $Re_i > 10^5$



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Ορθοκινητική Συσσωμάτωση: σε στρωτή ροή

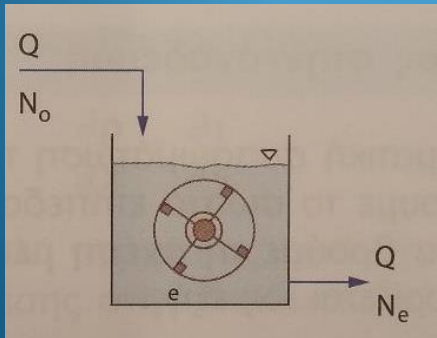
Σε στρωτή και σταθερή ροή οι βαθμίδες ταχύτητας G είναι καθορισμένες και ο ρυθμός θρόμβωσης των σωματιδίων θα δίνεται από την σχέση:

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

ϕ : ο όγκος των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου διαλύματος.
Ο ρυθμός είναι ανάλογος προς το G και του ϕ

(!) Στο μοντέλο αυτό δε λαμβάνονται υπόψιν :

- Η συμπίεση της διπλοστοιβάδας
- Οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals
- Η βαρύτητα
- Η επιβράδυνση σωματιδίων λόγω υδροδυναμικών αλληλεπιδράσεων
- Η καμπυλότητα των ρευμάτων γύρω από τα σωματίδια



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

$$Q N_0 - Q N_e - ((4 G \alpha \phi N_e)/\pi) V = 0$$

Όγκος V

Ογκομετρική παροχή Q

Συγκέντρωση κολλοειδών σωματιδίων στο ρεύμα εισόδου και στο ρεύμα εξόδου N_0 , N_e αντίστοιχα



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Ορθοκινητική Συσσωμάτωση: σε τυρβώδη ροή

Η **τυρβώδης ροή** είναι η συνήθης ροή στα συστήματα κροκίδωσης με μηχανική ανάμιξη.

Εδώ η βαθμίδα ταχύτητας G μεταβάλλεται τοπικά στη δεξαμενή συσσωμάτωσης και σχετίζεται με την απώλεια μηχανικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα κατά την ανάδευση.

Η απώλεια ισχύος P ανά μονάδα όγκου V του νερού είναι:

$$\frac{P}{V} = \mu G^2$$

Η μεγάλη ισχύς ανάδευσης δίνει μεγάλες G και άρα ταχύτερη συσσωμάτωση.

Ο ρυθμός συσσωμάτωσης θα είναι:

$$\frac{dN_T}{dt} = -K G \varphi N_T$$

Μηχανισμός καταστροφής θρόμβων: Διάβρωση επιφανείας

Πάνω από ένα όριο ανάδευσης οι θρόμβοι καταστρέφονται μηχανικά και η καταστροφή αυτή δε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Τα μικρότερα σωματίδια υπόκεινται σε διατμητικές τάσεις από τα μεγαλύτερα και όταν αυτές οι δυνάμεις είναι ισχυρότερες από τις εσωτερικές δυνάμεις έλξης που συγκρατούν το θρόμβο, τότε αυτός καταστρέφεται.

K: Εμπειρική σταθερά θρόμβωσης

Εξαρτάται από:

- Χημεία συστήματος
- Διασπορά μεγέθους σωματιδίων
- Διακυμάνσεις στην ένταση της τυρβώδους ροής



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

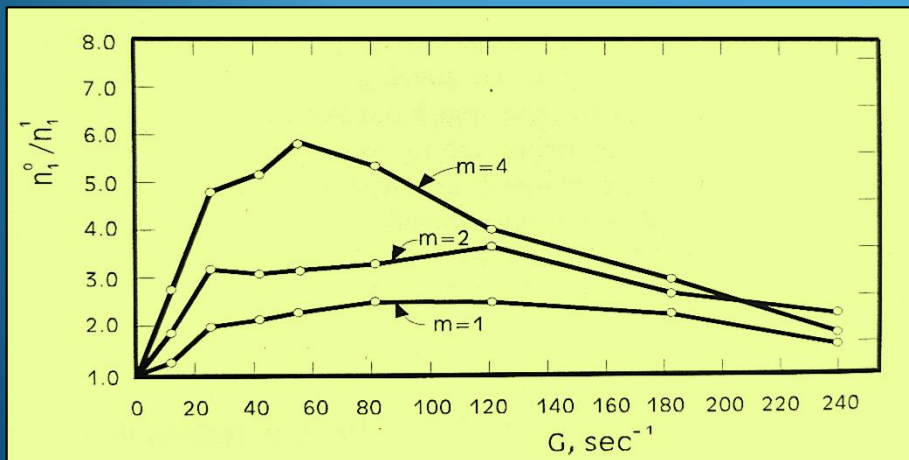
Σχεδιασμός διεργασίας θρόμβωσης: Αντιδραστήρας Συσσωμάτωσης

Η συσσωμάτωση είναι συνήθως μια αντίδραση πρώτης τάξης
Στην πράξη χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες CSTR σε σειρά

Για αριθμό m CSTRs ίσου όγκου η εξίσωση της απομάκρυνσης σωματιδίων n_1 θα είναι (καταστροφή θρόμβων θεωρείται αμελητέα):

$$\frac{n_1^m}{n_1^0} = \left[\frac{1}{1 + K_A G \left(\frac{t}{m}\right)} \right]^m$$

$\frac{t}{m} = V_T/mQ$ ο χρόνος παραμονής στον αντιδραστήρα όγκου V_T/m .
 V_T ο ολικός όγκος της δεξαμενής συσσωμάτωσης
 K_A : πειραματική σταθερά



Λειτουργία πολυτμηματικών δεξαμενών συσσωμάτωσης
 $t/m = 8 \text{ min}$ (Argaman, 1971)

Η επίδραση στη συσσωμάτωση του αριθμού m των δεξαμενών σε σειρά για διάφορες τιμές G (Σχήμα):

- Όσο αυξάνει το m η βέλτιστη G (άρα και η ισχύς ανάμιξης) μειώνεται.
- Απαιτείται μια ελάχιστη τιμή χρόνου παραμονής ανεξάρτητα από τις τιμές G .
- Υπάρχει βέλτιστη περιοχή τιμών G .
- CSTRs σε σειρά μειώνουν τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής.



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

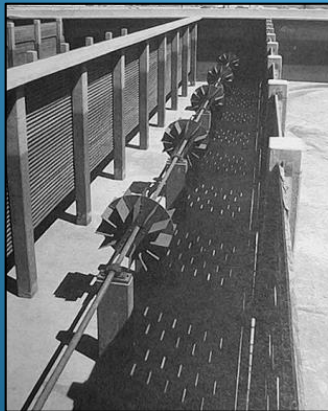
Αντιδραστήρας Κροκίδωσης

Στόχος των κροκιδωτικών: Η αποσταθεροποίηση της διασποράς των σωματιδίων.

Άρα: η διάλυση του κροκιδωτικού πρέπει να γίνει όσο πιο γρήγορα.

Ο βέλτιστος χρόνος παραμονής στον αντιδραστήρα κροκίδωσης: $< 1 \text{ min}$ (πριν το σχηματισμό ιζήματος από το κροκιδωτικό)

Επιτάχυνση ανάμιξης με τη χρήση αναδευτήρα που αναπτύσσει βαθμίδες ταχύτητας: $100 - 1000 \text{ s}^{-1}$



*Περιστρεφόμενος
οριζόντιος άξονας
με φτερωτές*

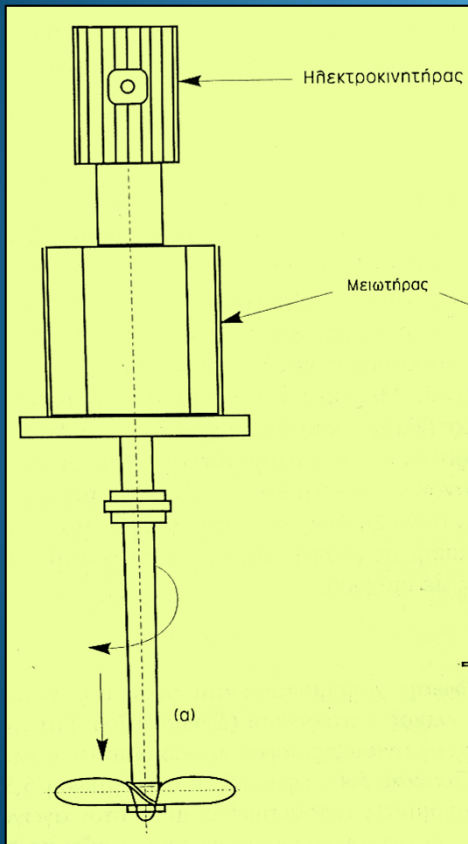


*Διάταξη
παλινδρομικής
ανάδευσης με
κουπιιά*



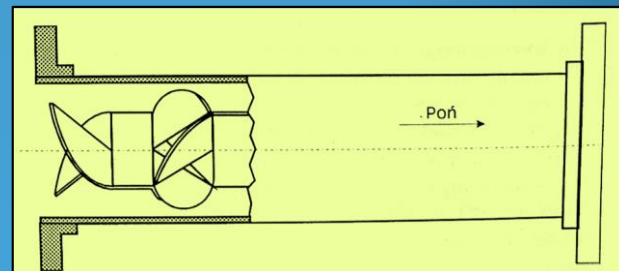
4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Εξοπλισμός ανάμιξης: Αντιδραστήρας κροκίδωσης



Στον αντιδραστήρα κροκίδωσης γίνεται χρήση συσκευών ανάμιξης μεγάλης ταχύτητας τύπου έλικας ή πτερυγίου.

Αναμικτήρας ταχείας ανάμιξης τύπου έλικας.
Μήτρακας Μ., "Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού", 2001



Αναμίκτης μέσα σε αγωγό. Μήτρακας Μ., "Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού", 2001



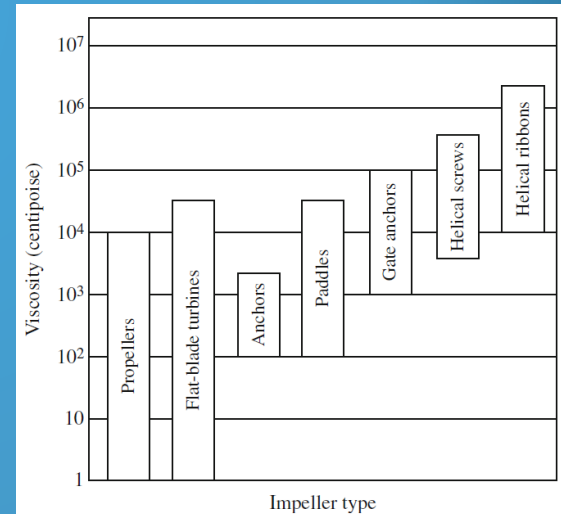
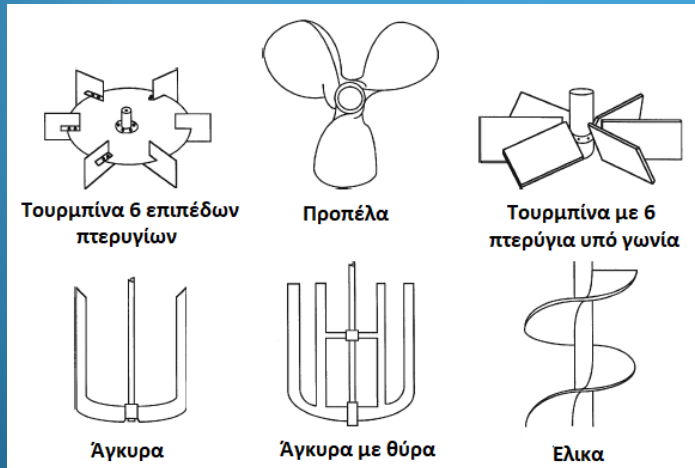
Στο πάνω σχήμα βλέπουμε αναμικτή μέσα σε αγωγό μεταφοράς νερού:

- Προσφέρει ταχεία μίξη με ελάχιστες επιπλοκές.
- Λειτουργεί με χρόνο επαφής 0,5 – 1 sec.
- Λειτουργεί με βαθμίδα ταχύτητας $G = 3000-5000 \text{ s}^{-1}$



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

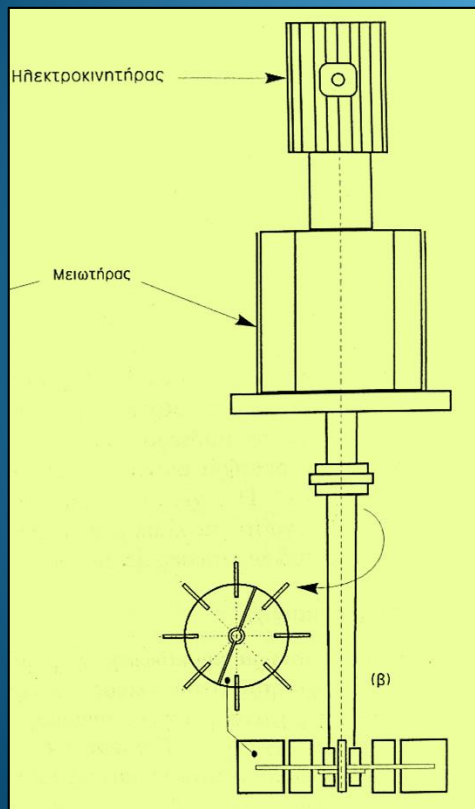




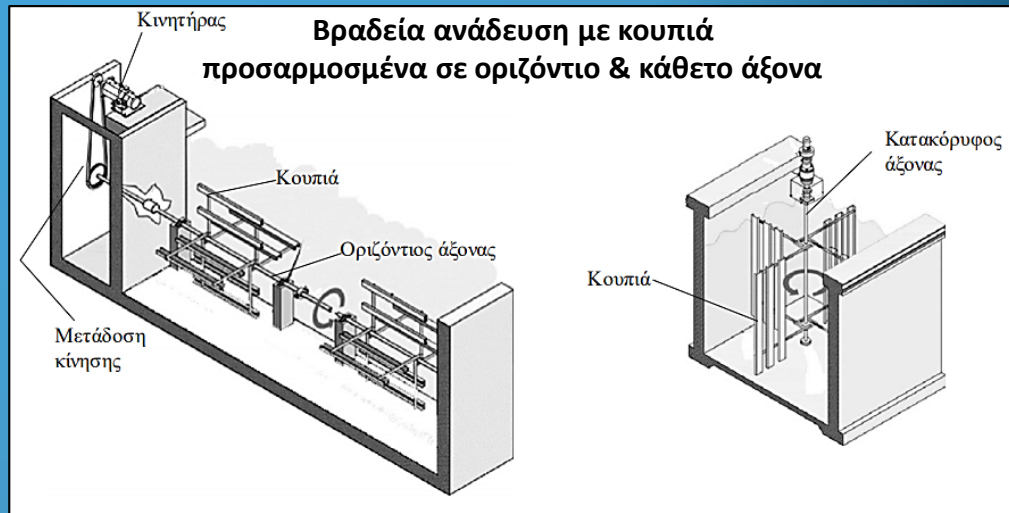
4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

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.



Αναμικτήρας συσσωμάτωσης τύπου πτερυγίων Μήτρακας Μ., "Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού", 2001





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: 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)

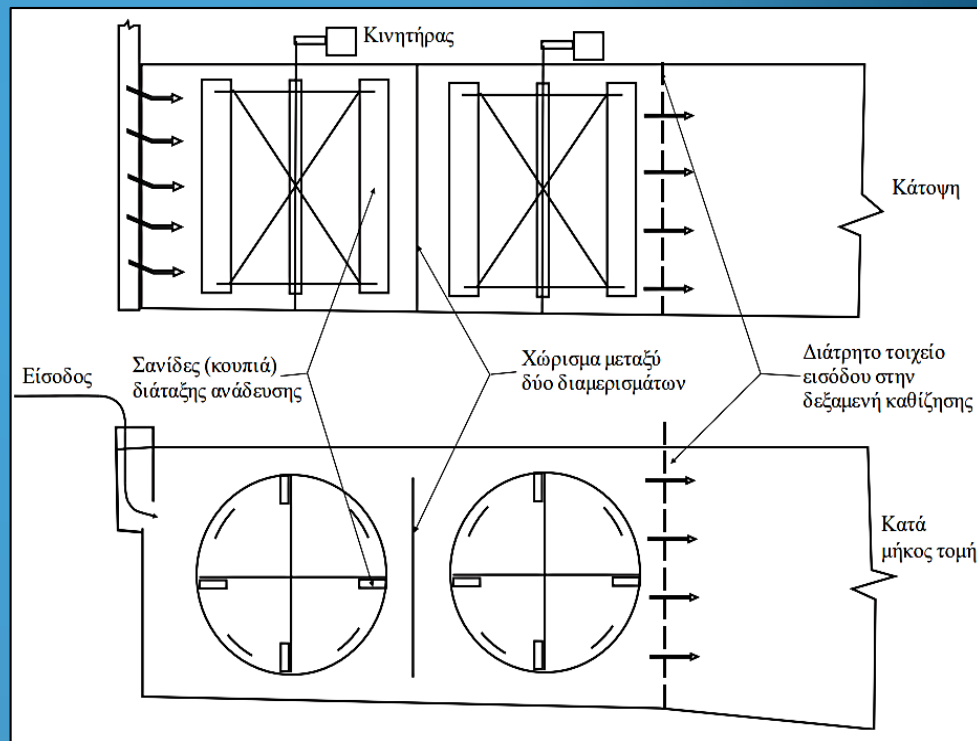
Η ισχύς P του κινητήρα (N*m/s) υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = D v_p$$

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





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

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 $P = 1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Άσκηση 2

Μια εγκατάσταση καθαρισμού νερού είναι σχεδιασμένη για να επεξεργάζεται $150.000 \text{ m}^3 / \text{d}$. 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 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ και ότι ο συντελεστής οπισθέλκουσας είναι $C_D = 1,9$. (ρ είναι η πυκνότητα του νερού στους $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (999 kg/m^3) και μ το δυναμικό ιξώδες του νερού στους $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1,14 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$))

Ζητούνται:

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

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:

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

2. Η επιφάνεια των κουπιών θα είναι:

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

Ο όγκος της δεξαμενής θρόμβωσης είναι:

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

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Λύση

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

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



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Θρομβωτικές χημικές ενώσεις

Ο ρόλος των θρομβωτικών είναι:

- Η αποσταθεροποίηση των σωματιδίων και
- Η ισχυροποίηση των σχηματιζόμενων θρόμβων για να μη μειωθεί η πιθανότητα αποσταθεροποίησης

Το κύριο λειτουργικό κόστος στη διεργασία κροκίδωσης – συσσωμάτωσης είναι η χρήση των χημικών θρομβωτικών ενώσεων.

Η κατάλληλη επιλογή θρομβωτικών συνεισφέρει στη μείωση του κόστους λειτουργίας με παράλληλη βελτιστοποίηση της επεξεργασίας νερού.

Οι χημικές ουσίες πρέπει να πληρούν πρακτικούς περιορισμούς όπως:

- Χαμηλό κόστος
- Εύκολη χρήση
- Διαθεσιμότητα
- Χημική σταθερότητα κατά την αποθήκευση

Στην επεξεργασία του νερού χρησιμοποιούνται:

Ανόργανα θρομβωτικά

Οργανικά θρομβωτικά

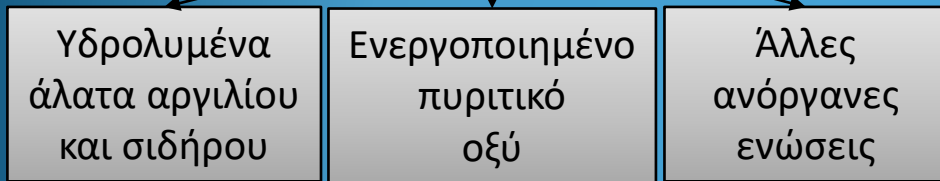


4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

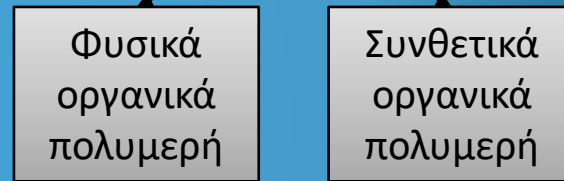
Θρομβωτικές χημικές ενώσεις

Στην επεξεργασία του νερού χρησιμοποιούνται:

Ανόργανα θρομβωτικά



Οργανικά θρομβωτικά





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

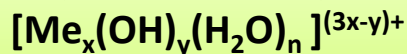
Ανόργανα Θρομβωτικά: Υδρολυμένα άλατα αργιλίου και σιδήρου (III)

Το αργίλιο και ο τρισθενής σίδηρος έχουν αριθμό μοριακής σύνταξης 6 κι έτσι σε υδατικά διαλύματα ενυδατώνονται προς τα σύμπλοκα ιόντα $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ και $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$

Στα ιόντα αυτά γίνεται διαδοχική αντικατάσταση του H_2O με OH^- έτσι τα ενυδατωμένα ιόντα μπορούν να σχηματίσουν:

- Κατιονικά
- Μη ιονικά
- Ανιονικά σύμπλοκα ιόντα

Γενικός τύπος πολυπυρηνικών υδροξυμεταλλικών συμπλόκων:



Ενδεικτικά σύμπλοκα





4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Ανόργανα Θρομβωτικά: Υδρολυμένα άλατα αργιλίου και σιδήρου (III)

Στην πράξη τα πολυπυρηνικά υδροξυμεταλλικά σύμπλοκα είναι ενδιάμεσα προϊόντα κατά την κινητική της μετάβασης από μεταλλοϊόντα σε αδιάλυτα υδροξύλια.

Η άρση της σταθερότητας των κολλοειδών αποδίδεται στα πολυπυρηνικά σύμπλοκα γιατί:

- Με τη βοήθεια γεφυρών υδρογόνου μπορούν να προσροφηθούν στις επιφάνειες των κολλοειδών σωματιδίων.
- Με την προοδευτική υδροξυλίωση τους ελαττώνεται η δράση ενυδάτωσης τους και γίνονται πιο υδρόφοβα.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την άρση της σταθερότητας των συστημάτων διασπόράς με άλατα Al^{3+} και Fe^{3+} είναι:

- Η δόση του θρομβωτικού
- Το pH
- Η συγκέντρωση των διασπαρμένων σωματιδίων

Υπάρχει μια άριστη συγκέντρωση θρομβωτικού που προκαλεί θρόμβωση.

- Μικρότερες συγκεντρώσεις προκαλούν αποσταθεροποίηση.
- Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις επανασταθεροποιούν.
- Πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλούν ίζημα και κατακρήμνιση

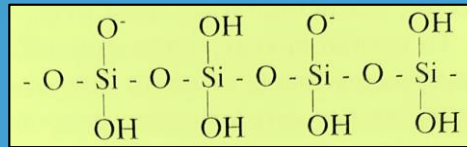


4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Ανόργανα Θρομβωτικά: Ενεργοποιημένο πυριτικό οξύ

Το SiO_2 υπό μορφή άμορφου πυριτικού οξέως έχει σταθερή διαλυτότητα στο νερό 120 mg/L (pH<9) (Μεγαλόπουλος, 1977).

Για την παρασκευή ενεργοποιημένου πυριτικού οξέος εξουδετερώνουμε πυριτικό νάτριο (pH = 12) με οξύ σε pH<9. Κατά την οξίνιση σχηματίζονται πυριτικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται ως θρομβωτικά:



Πυριτικό οξύ:

Πλεονέκτημα: δεν είναι τοξικό και έτσι γίνεται χρήση χωρίς περιορισμούς

Μειονέκτημα: Πρέπει να γίνεται προσεκτική παρασκευή των διαλυμάτων του για το σχηματισμό σωστών πολυμερών και όχι άμορφου SiO_2 .

Άλλες ανόργανες ενώσεις

- CuSO_4 - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (θειικός χαλκός - υδροξείδιο του ασβεστίου)
- Φρεσκοσχηματιζόμενο CaCO_3
- Σκόνη ενεργού άνθρακα
- Όζον



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Οργανικά θρομβωτικά

Φυσικά οργανικά πολυμερή

Συνθετικά οργανικά πολυμερή

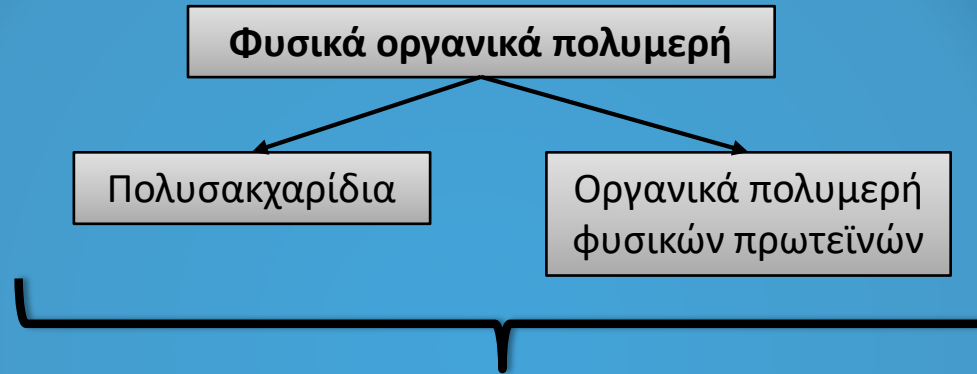
Πολυσακχαρίδια

Οργανικά πολυμερή
φυσικών πρωτεϊνών



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Οργανικά θρομβωτικά



Γενικά χαρακτηριστικά:

- Είναι τρόφιμα, άρα δεν παρουσιάζουν δυσκολίες στην επεξεργασία του νερού.
- Με χημική επεξεργασία προστίθενται ενεργές ομάδες για παρασκευή δραστικότερων υλικών. (πχ: εισαγωγή καρβοξυλικής ομάδας στην κυτταρίνη → καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη).
- Δράση ενώσεων μέσα από το σχηματισμό γεφυρών μεταξύ διασπαρμένων σωματιδίων

Φαινόμενο Βιοσυσσωμάτωσης:

Τα ανιονικά φυσικά οργανικά πολυμερή συμβάλουν στην άρση της σταθερότητας αρνητικών φορτισμένων σωματιδίων σε βιολογικά συστήματα:

Πολλά βακτήρια και άλγη έχουν την τάση να κολλούν σε επιφάνειες και μεταξύ τους.



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Οργανικά θρομβωτικά

Συνθετικά οργανικά πολυμερή

Αποτελούνται από μακρομόρια που δημιουργούνται από επαναλαμβανόμενα άτομα συγκεκριμένης δομής ώστε να προσδίδουν χαρακτηριστικές φυσικοχημικές ιδιότητες στο πολυμερές.

Ανάλογα με το φορτίο του μεγαλομορίου μετά την υδρόλυση του, τα πολυμερή διακρίνονται σε:



- Κατιονικά
- Ανιονικά
- Ουδέτερα

Στις διεργασίες επεξεργασίας νερού τα οργανικά πολυμερή πρέπει να:

- Είναι υδατοδιαλυτά
- Προσοφώνται ή να αντιδρούν γρήγορα με την επιφάνεια των σωματιδίων.
- Έχουν την κατάλληλη χημική δομή για την προτεινόμενη χρήση.

Για την επιτυχημένη χρήση των πολυμερών απαιτείται:

- Διασφάλιση διασποράς τους → Δημιουργία ομοιόμορφης προσρόφησης
- Καθορισμός άριστης δόσης πολυμερούς → Άριστη δόση σε στοιχειομετρική αναλογία με τη συγκέντρωση σωματιδίων



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Είδος	Παράδειγμα	MB	Χρήσεις	Παρατηρήσεις
Ουδέτερος	<p>Πολυακρυλαμίδιο</p> $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} \right]_n$	$10^5 - 10^7$	Θρομβωτικό, Βοηθητικό διήθησης	Χρήση για ισχυροποίηση θρόμβων, διατίθεται ως σκόνη ή γαλάκτωμα
Ανιονικός	<p>Υδρολυμένο πολυακρυλαμίδιο</p> $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2\text{CH} - \\ \quad \quad \\ \text{C} = \text{O} \quad \text{C} = \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{NH}_2 \quad \text{ONa} \end{array} \right]_n$	$10^4 - 10^7$	Θρομβωτικό, Βοηθητικό διήθησης, αφυδάτωσης λύσης	Παράγεται με ελεγχόμενη υδρόλυση, έχει μεγάλο εύρος MB, μεγάλη πυκνότητα φορτίου, και εξάρτηση φορτίου από το pH
Κατιονικός	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{N}^+ \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \text{Cl}^-$	$10^4 - 10^6$	Θρομβωτικό, απομάκρυνση θολερρότητας και χρώματος, αφυδάτωση λύσης	Ανθεκτικό στο χλώριο, πυκνότητα φορτίου που δεν εξαρτάται από το pH, διατίθεται ως υγρό και χρησιμοποιείται σαν θρομβωτικό μαζί με ανόργανα θρομβωτικά
Κατιονικός	<p>Τεταρτοπαιγείς πολυαμίνες</p> $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{N} - \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad \quad \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	$10^4 - 10^5$	Κροκιδωτικό, απομάκρυνση θολερρότητας και χρώματος	Χρησιμοποιείται κυρίως για απομάκρυνση χρώματος
Κατιονικός	<p>Πολυαμίνες</p> $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2 \right]_n$	$10^4 - 10^7$	Θρομβωτικό	Περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό πολυμερών, αντιδρά με χλώριο, το φορτίο του εξαρτάται από το pH.

Οργανικά θρομβωτικά

Συνθετικά οργανικά πολυμερή

(!) Σήμερα γίνεται περιορισμένη χρήση πολυμερών :

- Δημιουργία ανεπιθύμητων προϊόντων. Στο πόσιμο νερό τα μονομερή που χρησιμοποιούνται είναι τοξικά (πχ: ακρυλαμίδιο).
- Υψηλό κόστος.

Συνθετικά οργανικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται ως θρομβωτικά στην επεξεργασία νερού. Μήτρακας Μ., "Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού", 2001

Ανάλογα με τη μέθοδο παρασκευής τους τα πολυμερή περιέχουν λίγο ή πολύ πολυμερές. Οι δόσεις κυμαίνονται από 1 – 5 mg/L



Οργανικά θρομβωτικά

Η δράση των πολυμερών (αποσταθεροποίηση σωματιδίων) συμβαίνει λόγω δύο μηχανισμών

Εξουδετέρωση φορτίου

Τα σωματίδια του νερού έχουν κυρίως αρνητικό φορτίο (άργιοι, βακτήρια κτλ). Έτσι, οι κατιοντικοί πολυηλεκτρολύτες τα αποσταθεροποιούν μέσω της εξουδετέρωσης του φορτίου τους. Η δόση του πολυμερους εξαρτάται από την πυκνότητα του φορτίου ή οποία ενδέχεται να εξαρτάται από το pH του διαλύματος.

Δημιουργία γεφυρών

Αλυσίδες πολυμερών προσροφώνται στην επιφάνεια των σωματιδίων σε ένα ή σε περισσότερα σημεία της αλυσίδας. Το υπόλοιπο μέρος της αλυσίδας παραμένει ελεύθερο στο διάλυμα, έτσι μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια άλλων σωματιδίων δημιουργώντας μια γέφυρα ανάμεσα στις επιφάνειες. Εδώ γίνεται χρήση κυρίως ανιονικοί και ουδέτεροι πολυηλεκτρολύτες μεγάλου μοριακού βάρους.



4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού: Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

4. Σχεδιασμός Μονάδων Επεξεργασίας Νερού Κροκίδωση - Συσσωμάτωση



**ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ;**