



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Τεχνολογία Πόσιμου Νερού

Έκτη Διάλεξη: Καθίζηση και Επίπλευση

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





6. Καθίζηση και Επίπλευση



Μονάδα επεξεργασίας νερού, (aosts.com)

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



Τι είδαμε στο προηγούμενο μάθημα (Διάλεξη 5)

- Γενικά περί ιζηματοποίησης
- Χημεία ιζηματοποίησης
- Εξάρτηση της διαλυτότητας από θερμοκρασία και pH
- Επίδραση κοινού και μη κοινού ιόντος στη διαλυτότητα
- Απομάκρυνση Σιδήρου και Μαγγανίου
- Απομάκρυνση Ασβεστίου, Μαγνησίου και όξινων ανθρακικών
- Απομάκρυνση θειικών και φωσφορικών
- Απομάκρυνση πυριτικών κ' βαρέων μετάλλων



Τι θα δούμε σήμερα (Διάλεξη 6)

Καθίζηση - Επίπλευση γενικά

Κατακάθιση διακεκριμένων σωματιδίων

Καθίζηση θρόμβων

Παρεμποδιζόμενη καθίζηση

Είδη δεξαμενών καθίζησης

Πάχυνση λάσπης

Επίπλευση

Ταχύτητα Ανόδου Συναθροίσματος Στερεού - Φυσαλίδων

Είδη επίπλευσης

Επίπλευση με διαλυμένο αέρα

Σύγκριση καθίζησης - επίπλευσης



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

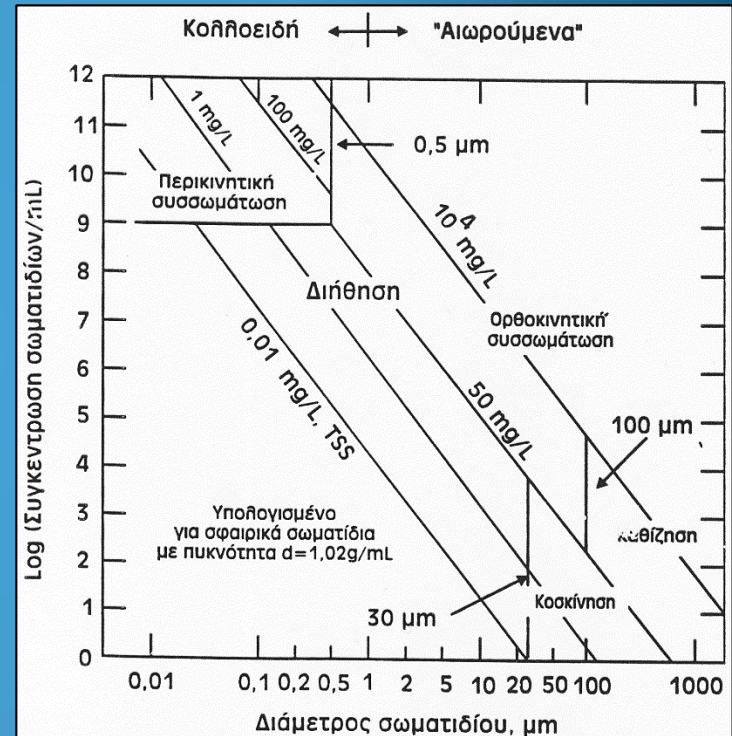
B. Για σωματίδια με:

- 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, 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**.

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

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

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

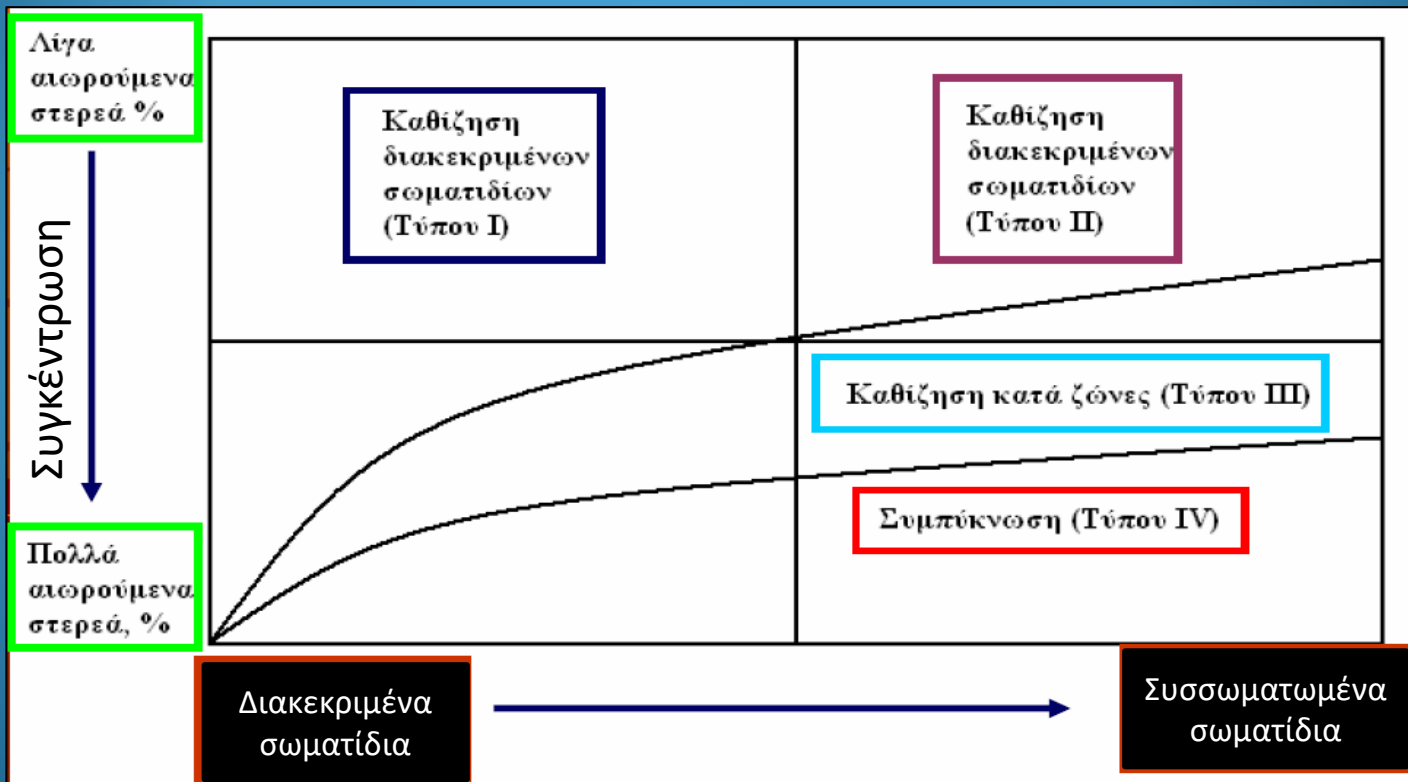
Κατηγορία 3: Είναι η **παρεμποδιζόμενη καθίζηση** ή καθίζηση σε ζώνες.

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

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



Συσχετισμός μεταξύ τύπων καθίζησης, συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων και βαθμού συσσωμάτωσης





Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

Σε κάθε σωματίδιο που κινείται μέσα σε ένα ρευστό επιδρούν πάνω του 3 δυνάμεις:

1. Το βάρος (F_g)

2. Η άνωση (F_B): Η δύναμη που δρα αντίθετα στο βάρος.

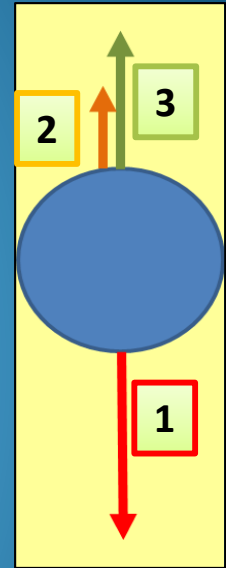
➤ Όταν βάρος σώματος είναι μεγαλύτερο του βάρους του εκτοπίσματός του, τότε η συνισταμένη βάρους-άνωσης έχει φορά προς τα κάτω και το σώμα βυθίζεται (μεγαλύτερη πυκνότητα σώματος από αυτή του ρευστού).

➤ Όταν βάρος σώματος είναι μικρότερο του βάρους του εκτοπίσματός του, τότε η συνισταμένη βάρους-άνωσης έχει φορά προς τα πάνω και το σώμα ανέρχεται (μικρότερη πυκνότητα σώματος από αυτή του ρευστού).

➤ Όταν το βάρος και η άνωση είναι απολύτως ίσα, το σώμα βρίσκεται σε ισορροπία.

3. Η οπισθέλκουσα δύναμη (F_D): Η αντίσταση.

Είναι η εξωτερική δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα λόγω της σχετικής κίνησης μέσα σε ρευστό, πάνω στη διεύθυνση της κίνησης (αντίθετης φοράς με την ταχύτητα). Ουσιαστικά είναι μια δύναμη τριβής που αντιστέκεται στην κίνηση του σώματος. Η παρουσία της δύναμης οφείλεται στη διαφορετική πίεση η οποία επικρατεί στις δύο πλευρές (μπροστά και πίσω) ενός σώματος.



$$F = m * a$$

m : μάζα του στερεού

a : η επιτάχυνση του στερεού

v_k : η ταχύτητα του στερεού

$$F_g - F_B - F_D = m \frac{dv_k}{dt}$$



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

Περιγραφή δυνάμεων καθίζησης σωματιδίου.

- Η κατακάθιση ενός σωματιδίου στο νερό είναι αρχικά επιταχυνόμενη κίνηση εξαιτίας της βαρύτητας.
- Η συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της οπισθέλκουσας.
- Όταν η οπισθέλκουσα γίνει ίση με τη συνισταμένη **Βάρους – Άνωσης** τότε το σωματίδιο αποκτά σταθερή ταχύτητα καθίζησης η οποία καλείται οριακή ταχύτητα καθίζησης (V_K).

Η ταχύτητα κατακάθισης V_K εξαρτάται από ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του σωματιδίου και δίνεται από τη σχέση:

$$V_K = \left[\frac{2g(\rho_s - \rho)V_s}{C_D \rho A_s} \right]^{1/2}$$

Ισχύει όταν
 $\rho_s > \rho$

Για **σφαιρικά** σωματίδια η προηγούμενη σχέση μετασχηματίζεται ως εξής:

$$V_K = \left[\frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3C_D \rho} \right]^{1/2}$$

$A_s = \pi r^2$ (Εμβαδόν κυκλικού δίσκου)
 $V_s = 4/3 * \pi r^3$ (Όγκος σφαίρας)
 d : διάμετρος σωματιδίου

ρ_s : πυκνότητα σωματιδίου
 ρ : πυκνότητα νερού
 V_s : όγκος σωματιδίου
 A_s : διατομή της προβολής του σωματιδίου στην κατεύθυνση της ροής
 C_D : συντελεστής οπισθέλκουσας



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

Ο συντελεστής οπισθέλκουσας (C_D) υπολογίζεται κάθε φορά ανάλογα με τη τιμή του αριθμού **Reynolds (Re)***, σύμφωνα με τις εξισώσεις του παρακάτω πίνακα (για σφαιρικά σωματίδια). Η τιμή Re υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = \frac{V_{\kappa} \rho d}{\mu}$$

V_{κ} : ταχύτητα κατακάθισης
d: διάμετρος σωματιδίου
 μ : ιξώδες του νερού

Πιν. 1 Εξισώσεις υπολογισμού για σφαιρικά σωματίδια του συντελεστή οπισθέλκουσας ως συνάρτηση της τιμής του αριθμού Re. Μ. Μήτρακας

Περιοχή	Περιοχή τιμών Re	C_D
Stokes	$10^{-4} < Re < 0,2$	$\frac{24}{Re}$
Allen	$0,2 < Re < 500 - 1000$	$\frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0,34 \approx \frac{13}{Re^{1/2}}$
Newton	$500 - 1000 < Re < 2 \cdot 10^5$	0,44

*Ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως, ο λόγος των **δυνάμεων αδράνειας** προς τις **δυνάμεις ιξώδους**. Ποσοτικοποιεί δηλαδή την μεταξύ τους σημαντικότητα για μια συγκεκριμένη κατάσταση ροής.

- Για **χαμηλούς αριθμούς Re**, είναι κυρίαρχες οι δυνάμεις ιξώδους. Το ρευστό χαρακτηρίζεται από **ομαλή - σταθερή κίνηση**.
- Για **υψηλούς αριθμούς Re**, είναι κυρίαρχες οι δυνάμεις αδράνειας, οι οποίες παράγουν χαοτικές δίνες και άλλες αστάθειες στην ροή του ρευστού (**τυρβώδης ροή**).



Μεταβολή του συντελεστή οπισθέλκουσας (C_D) με τον αδιάστατο αριθμό Re

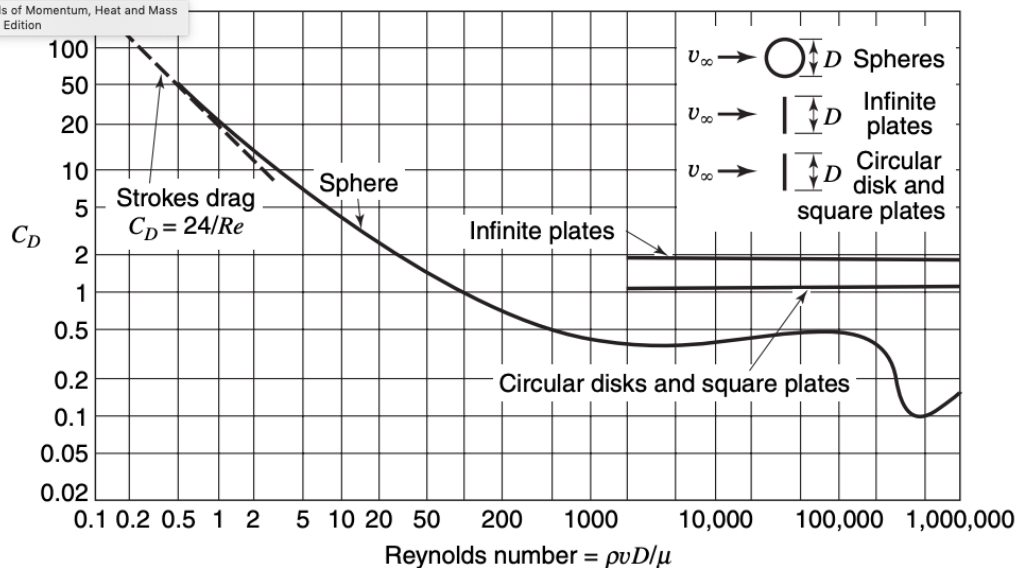


Figure 12.4 Drag coefficient versus Reynolds number for various objects.

Περιοχή	Περιοχή τιμών Re	C_D
Stokes	$10^{-4} < Re < 0,2$	$\frac{24}{Re}$
Allen	$0,2 < Re < 500 - 1000$	$\frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0,34 \approx \frac{13}{Re^{1/2}}$
Newton	$500 - 1000 < Re < 2 * 10^5$	0,44



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

Όταν τα σωματίδια ΔΕΝ είναι σφαιρικά ο συντελεστής οπισθέλκουσας (C_D) πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή Φ , μεγαλύτερο της μονάδας.

Για τα σωματίδια που παρουσιάζουν τάσεις συσσωμάτωσης είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του μεγέθους τους και του Φ , λόγω της εξάρτησης από το βαθμό συσσωμάτωσης που επηρεάζεται από τις συνθήκες ροής και τη φύση του υλικού των σωματιδίων.

Πιν. 2 Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή Φ για διακεκριμένα σωματίδια. Μήτρακας

Υλικό	Φ	Υλικό	Φ
Άμμος	2	Γύψος	4
Κωκ	2,25	Φύλλα γραφίτη	22
Τάλκης (πυριτικό ορυκτό του μαγνησίου)	3,25	Μίκα (κατηγορία πυριτικών ορυκτών με πολύπλοκη μοριακή δομή)	170



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

Σχεδιασμός καθίζησης διακεκριμένων σωματιδίων:

Για ιδανικές συνθήκες καθίζησης τα σωματίδια που θα καθιζάνουν και θα απομακρυνθούν από τη δεξαμενή είναι αυτά για τα οποία θα ισχύει η σχέση:

$$V_k \geq \frac{Q}{A} = V_E$$

Q = η παροχή του νερού (όγκο / χρόνο)
 A = η επιφάνεια της δεξαμενής (m^2) (επιφανειακό εμβαδόν)

Το πηλίκο Q/A εκφράζει την **ανοδική ταχύτητα** V_E υπερχειλίσης του νερού (ή οριακή ταχύτητα). Τα σωματίδια με $V_k < V_E$ καθιζάνουν και δε παρασύρονται από το επεξεργασμένο νερό σε ποσοστό που είναι ίσο με το λόγο V_k / V_E .

(!) Ο χρόνος (t) που παραμένει το υγρό μέσα στη δεξαμενή ύψους H , δηλαδή ο χρόνος από όταν θα εισέλθει έως ότου υπερχειλίσει (βγει από τη δεξαμενή) ονομάζεται **υδραυλικός χρόνος παραμονής** και ισούται:

$$t = \frac{A * H}{Q}$$

Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ένα σωματίδιο από την επιφάνεια της δεξαμενής στον πυθμένα της θα είναι:

$$t = \frac{H}{V_k - V_E}$$



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων σε Ιδανική Δεξαμενή

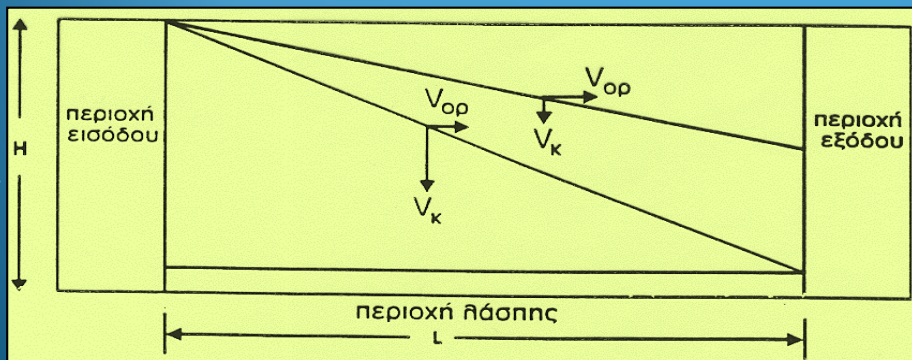
Σε μια ορθογώνια δεξαμενή καθίζησης οριζόντιας ροής τα αιωρούμενα σωματίδια που αφαιρούνται φτάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής από όπου και απομακρύνονται στη συνέχεια.

$V = L * W * H$, όπου L = μήκος, W = πλάτος και H = ύψος

$A = W * L$ (επιφανειακό εμβαδόν)

Παραδοχές:

- Η ζώνη καθίζησης είναι **ελεύθερη από διαταραχές** λόγω συνθηκών εισόδου και εξόδου.
- Η ροή (Q) θεωρείται **σταθερή** και η οριζόντια ταχύτητα του υγρού είναι **παντού ίδια** μέσα στη ζώνη καθίζησης.
- Τα σωματίδια καθώς εισέρχονται στη δεξαμενή είναι **ομοιόμορφα κατανεμημένα** σε όλο το πλάτος και βάθος του **μετώπου εισόδου**.
- Τα σωματίδια που φτάνουν στη ζώνη ιλύος (στον πυθμένα) **δεν επαναιωρούνται**.



(!) Απαιτείται προσεκτικός έλεγχος κατά το σχεδιασμό των δεξαμενών καθίζησης (πρέπει η οριακή ταχύτητα να είναι μικρότερη από την ταχύτητα καθίζησης)



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων σε Ιδανική Δεξαμενή

Για παραλληλόγραμμες δεξαμενές η οριζόντια ταχύτητα του νερού V_{op} πρέπει να είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή, στην οποία συμπαρασύρονται τα σωματίδια που έχουν καθιζήσει.

Η κρίσιμη αυτή ταχύτητα υπολογίζεται από την εξίσωση C_{amp} :

$$V_{op} < V_{\sigma} = \left[\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{8\kappa g d}{f} \right]^{1/2}$$

V_{σ} : Κρίσιμη οριζόντια ταχύτητα συμπαρασυρμού των σωματιδίων του πυθμένα

κ : σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό των σωματιδίων:

($\kappa = 0,04$ για άμμο, $\kappa = 0,06$ για μεγαλύτερα συσσωματώματα)

f = συντελεστής Darcy- Fanning = 0,03

Σε μια δεξαμενή καθίζησης διακρίνουμε:

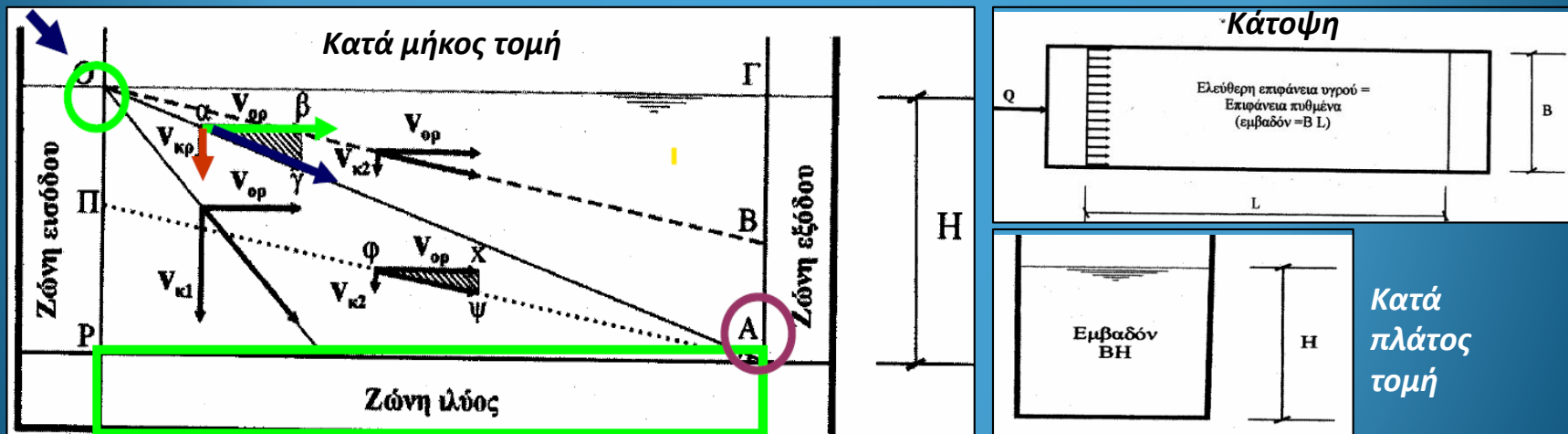
- 1. τη ζώνη εισόδου:** Όπου γίνεται ομοιομορφοποίηση της ροής κατά πλάτος και βάθος της δεξαμενής.
- 2. τη ζώνη ιλύος:** όπου γίνεται απόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων.
- 3. τη ζώνη εξόδου:** όπου γίνεται ομοιόμορφη υπερχείλιση του καθιζημένου νερού καθ' όλο το πλάτος της δεξαμενής.

Η ροή του υγρού καθώς αφήνει τη ζώνη εισόδου είναι οριζόντια και κατευθύνεται προς την έξοδο της δεξαμενής.



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων σε Ιδανική Δεξαμενή

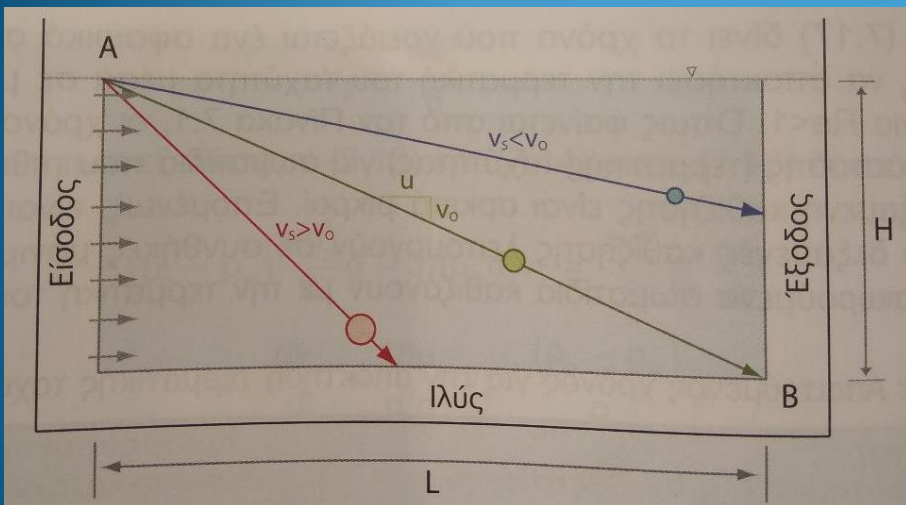
Η κίνηση κάθε σωματιδίου στη δεξαμενή ακολουθεί τη **διεύθυνση της συνισταμένης ταχύτητας**. Αυτή προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα της **κατακόρυφης ταχύτητας V_k** (οριακή ταχύτητα καθίζησης) του σωματιδίου και της **οριζόντιας ταχύτητας V_{op}** (η ταχύτητα που κινείται το σωματίδιο μαζί με το νερό κατά την οριζόντια διεύθυνση και η οποία **θεωρείται σταθερή** για όλες τις θέσεις μέσα στη δεξαμενή).



Ένα σωματίδιο που εισέρχεται στη περιοχή (σημείο O) θα αφαιρεθεί (θα φτάσει στη ζώνη ιλύος, ακόμα και στο πιο απομακρυσμένο σημείο A) μόνο εάν η κατακόρυφη ταχύτητα καθίζησης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την οριζόντια ταχύτητα V_{op} $\Rightarrow V_{op} = \text{παροχή } (Q) / \text{Εμβαδόν ελεύθερης επιφάνειας υγρού } (L \cdot B)$



Ιδανική ορθογώνια δεξαμενή καθίζησης



- Η τροχιά κάθε στερεού σωματιδίου είναι το διανυσματικό άθροισμα της οριζόντιας ταχύτητας του νερού (u) δηλ της ταχύτητας με την οποία μεταφέρεται το στερεό στην οριζόντια διεύθυνση και
- Της κατακόρυφης ταχύτητας v_s δηλαδή της ταχύτητας πτώσης του στερεού
- Οπότε προκύπτει η επιφανειακή φόρτιση ή η οριακή ταχύτητα V_E ή v_o

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

- Τα στερεά με $v_s \geq v_o$ αφαιρούνται κατά 100%
- Τα στερεά με $v_s < v_o$ αφαιρούνται κατά ποσοστό $(v_s/v_o)100\%$
- Ορίζουμε δείκτη αποδοτικότητας αφαίρεσης n_s (removal efficiency) διακεκριμένων σωματιδίων σε δεξαμενή καθίζησης.

$$n_s = \frac{v_s}{v_o} \quad (v_s \leq v_o)$$



Τεχν/γία Πόσιμοι Νερού: 6. Καθίζηση και Επίπλευση

Άσκηση 1

Σε δεξαμενή καθίζησης ορθογωνικής διατομής για τη συγκράτηση διακεκριμένων σωματιδίων τάλκης διαμέτρου $d = 50\mu\text{m}$ και ύψους $h = 5\mu\text{m}$, **υπολογίστε** τις ταχύτητες καθίζησης V_k και την οριζόντια ταχύτητα συμπαρασυρμού V_σ . Δίνονται:

Πυκνότητα τάλκης: $\rho_s = 2,50\text{ g/mL}$

Ιξώδες νερού: $\nu = \mu/\rho = 0,01003\text{ cm}^2/\text{s}$

Πυκνότητα νερού: $\rho = 1\text{ g/mL}$

$g = 981\text{ cm/s}^2$

Λύση

Η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων τάλκης είναι:

$$V_k = \left[\frac{2g(\rho_s - \rho)V_s}{C_D \rho A_s} \right]^{1/2} \quad (1)$$

ρ_s : πυκνότητα σωματιδίου
 ρ : πυκνότητα νερού
 V_s : όγκος σωματιδίου
 A_s : διατομή της προβολής του σωματιδίου στην κατεύθυνση της ροής
 C_D : συντελεστής οπισθέλκουσας

Θεωρούμε ότι το σχήμα των φύλλων τάλκη είναι κανονικό κυλινδρικό, με διάμετρο d και ύψος h , και ότι αυτά καταβυθίζονται κινούμενα με την προβολή της ελάχιστης επιφάνειας. Άρα το εμβαδόν είναι σαν να έχουμε ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με μήκος d και πλάτος h :



$$A_s = dh = (50 \cdot 10^{-4}\text{ cm})(5 \cdot 10^{-4}\text{ cm}) = 25 \cdot 10^{-7}\text{ cm}^2$$

$$(\text{όγκος κυλίνδρου}) V_s = \pi d^2/4 * h = 98,13 \cdot 10^{-10}\text{ cm}^3$$

$$V_k = 3,40 (C_D)^{-1/2}\text{ cm/s}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1) θα έχουμε:



Τεχν/γία Πόσιμοι Νερού: 6. Καθίζηση και Επίπλευση

Άσκηση 1

Λύση (συνέχεια)

Περιοχή	Περιοχή τιμών Re	C _D
Stokes	10 ⁻⁴ < Re < 0,2	$\frac{24}{Re}$

Για τον υπολογισμό του C_D συμβουλευόμαστε τον Πίνακα 1. Έστω ότι ο Re βρίσκεται στην περιοχή Stoke τότε:

$$C_D = \frac{24\Phi}{Re}$$

Και από Πιν. 2 →

Υλικό	Φ
Τάλκης (πυριτικό ορυκτό του μαγνησίου)	3,25

$$C_D = \frac{24 * 3,25}{Re} = \frac{78}{Re}$$

Άρα η προηγούμενη σχέση $V_k = 3,40 (C_D)^{-1/2} \text{ cm/s} \Rightarrow V_k = 0,385 (Re)^{-1/2} \text{ cm/s}$ (3)

Για τον αριθμό Re ισχύει:

$$Re = \frac{V_k * \rho * d}{\mu} = \frac{0,385 (Re)^{-1/2} * 50 * 10^{-4}}{0,01003} = 3,69 * 10^{-2}$$

V_k: ταχύτητα καθίζησης
d: διάμετρος σωματιδίου
ρ: πυκνότητα υγρού
μ: ιξώδες του νερού

η οποία τιμή βρίσκεται στην τιμή του Stoke άρα επαληθεύεται η αρχική υπόθεση

Από την (3) θα έχουμε:

$$V_k = 7,4 * 10^{-4} \text{ m/s} = 7,4 * 10^{-2} \text{ cm/s} = 0,074 \text{ cm/s}$$

Η οριζόντια ταχύτητα συμπαρασυρμού υπολογίζεται:

$$V_\sigma = \left[\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{8\kappa g d}{f} \right]^{1/2} = \left[\frac{2,5 - 1}{1} * \frac{8 * 0,04 * 981 * 50 * 10^{-4}}{0,03} \right]^{1/2} = 8,86 \text{ cm/s}$$

Άμα η οριζόντια ταχύτητα είναι < V_σ τότε θα έχουμε καθίζηση

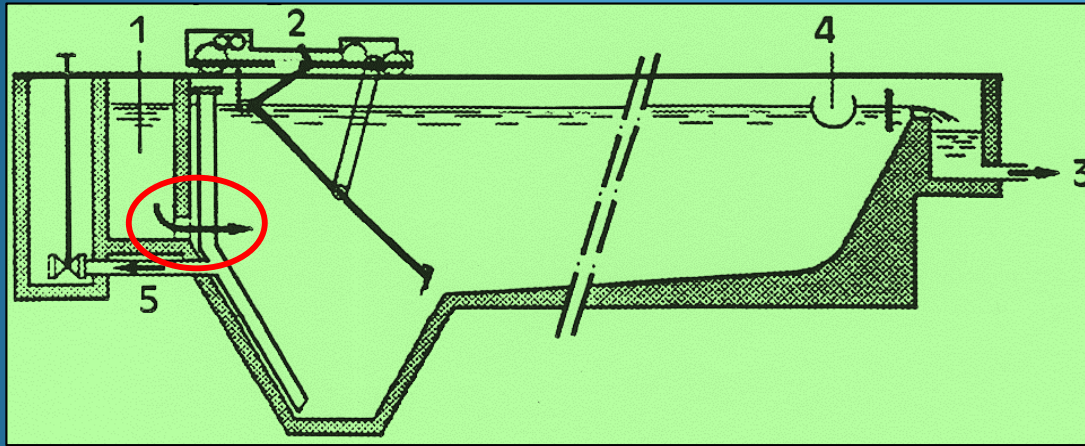
V_σ: Κρίσιμη οριζόντια ταχύτητα συμπαρασυρμού των σωματιδίων του πυθμένα

κ: σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό των σωματιδίων: (κ = 0,04 για άμμο)

f = συντελεστής Darcy- Fanning = 0,03



Παραλληλόγραμμη δεξαμενή καθίζησης με ξέστρο



Παραλληλόγραμμη δεξαμενή καθίζησης με ξέστρο.

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

Μ. Μήτρακας

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

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

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



Καθίζηση Θρόμβων

Οι θρόμβοι έχουν την τάση να συνενώνονται κατά την καθίζηση λόγω:

- Της διακύμανσης των μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων: τα **μεγάλα** συμπαρασύρουν τα μικρά κατά την καθίζηση.
- Των διαφορών στην ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων, καθώς τα **ταχύτερα** καθιζάνοντας συμπαρασύρουν τα αργά που συνενώνονται με αυτά.

Οι δημιουργούμενες βαθμίδες ταχύτητας βοηθούν στη συνένωση.

Η καθίζηση θρόμβων επομένως επηρεάζεται:

1. Πάρα πολύ από το **βάθος** της δεξαμενής καθίζησης.
2. **Σημαντικά** από τη δημιουργία βαθμίδων ταχύτητας.

Η εύρεση των φυσικών χαρακτηριστικών των σωματιδίων πριν ή κατά τη συσσωμάτωση τους είναι αδύνατη. Η προσέγγιση της καθίζησης δε γίνεται με μαθηματικές εξισώσεις αλλά με **πειραματικές διαδικασίες**

*Περιοχή τιμών ταχύτητας καθίζησης
χαρακτηριστικών θρόμβων στους 15°C.*

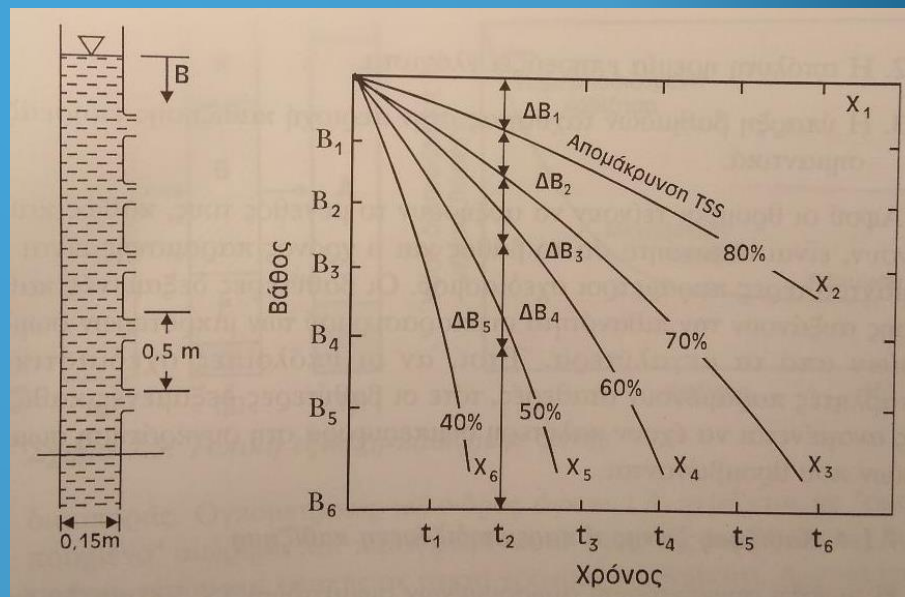
M. Μήτρακας, 2001

Χαρακτηριστικά θρόμβου	Ταχύτητα καθίζησης (m/h)
Αργιλίου μικροί εύθραυστοι	2,2 – 4,5
Αργιλίου μεγάλοι	4 – 5,5
Ανθρακικού ασβεστίου	4,5 – 6,5



Πειραματική στήλη για τη μελέτη χαρακτηριστικών καθίζησης

- Ανακατεύουμε το αιώρημα αρχικά και μετά σταματάμε ($t=0$)
 - Παίρνουμε δείγματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα (~ανά 20 λεπτά για 2 ώρες)
 - Μετράμε συγκέντρωση σωματιδίων και προσδιορίζουμε το απομακρυνόμενο ποσοστό των σωματιδίων
 - Σχηματίζουμε ένα διάγραμμα με πειραματικές καμπύλες.
- Χαρακτηριστικά στήλης
 - ~ 2 m ύψος (ή ανάλογο του ύψους της δεξαμενής καθίζησης)
 - >10 cm διάμετρο (~15 cm)
 - Δειγματολήπτες κατά μήκος της στήλης (ανά 50 cm)



Τυπικές πειραματικές καμπύλες καθίζησης
Θρόμβων, Μήτρακας 2001



Παράδειγμα

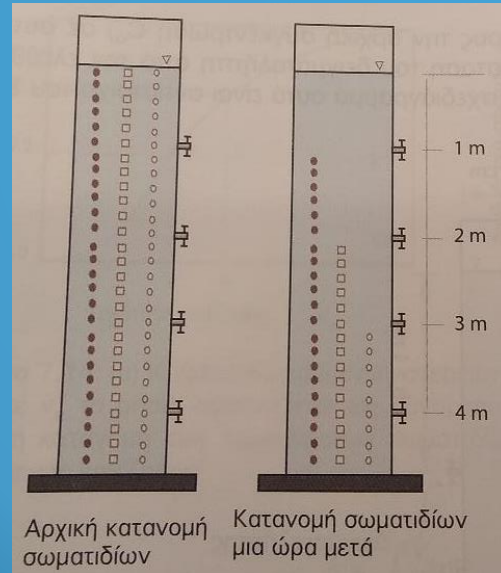
- $C_0 = 100 \text{ mg/L}$
- 1 h καθίζησης
- $C_1 = 20 \text{ mg/L}$ από τον δειγματολήπτη που είναι 2 m από την ελεύθερη επιφάνεια.
- Να βρεθεί το ποσοστό των στερεών με ταχύτητα $V_k > 2 \text{ m/h}$

- $$\frac{C_0 - C_1}{C_0} * 100\% = \left(\frac{100 - 30}{100} \right) * 100\% = 80\%$$

- Δλδ το 80% των αιωρούμενων στερεών έχουν ταχύτητα καθίζησης $V_k > 2 \text{ m/h}$



- Παράδειγμα
- Σωματίδια με 3 διαφορετικά μεγέθη σε ίσες συγκεντρώσεις.
- $V_{k1} > 1 \text{ m/h}$, $V_{k2} > 2 \text{ m/h}$, $V_{k3} > 3 \text{ m/h}$
- Η κατανομή των σωματιδίων φαίνεται στο διπλανό σχήμα



% αφαίρεση	V_s σωματιδίων που έχουν αφαιρεθεί
100	$> 1 \text{ m/s}$
67	$> 2 \text{ m/s}$
33	$> 3 \text{ m/s}$
0	$> 4 \text{ m/s}$

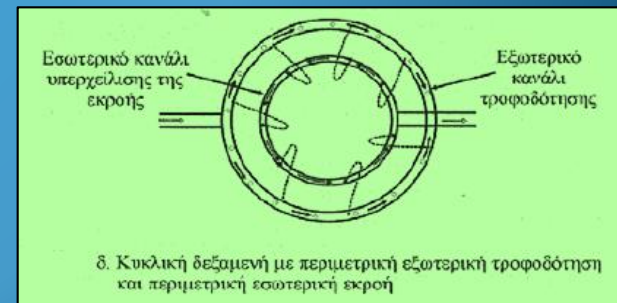
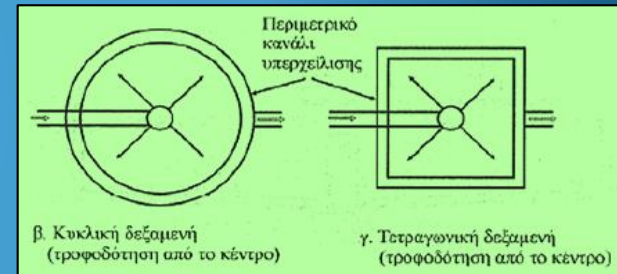
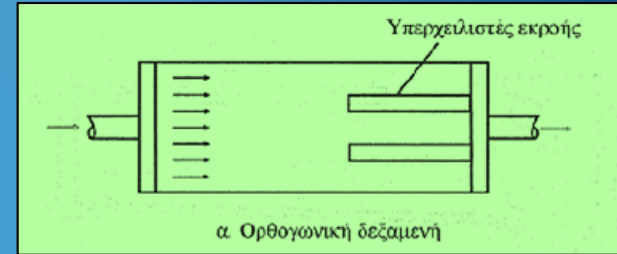


Είδη δεξαμενών καθίζησης

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.



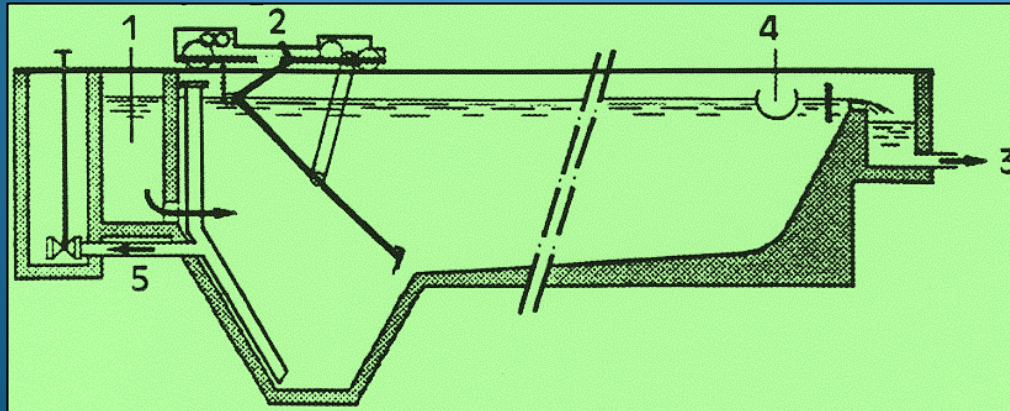


Είδη δεξαμενών καθίζησης - Παραλληλόγραμμα

Χρησιμοποιούνται ευρύτατα επειδή έχουν:

- Ευκολία στη λειτουργία τους
- Χαμηλό κόστος
- Χαμηλή απαίτηση συντήρησης.
- Μεγάλη ανοχή σε ακραίες υδραυλικές φορτίσεις
- Προβλέψιμη συμπεριφορά στις μεταβολές παραμέτρων λειτουργίας

Απαιτείται προσεκτικός υδραυλικός σχεδιασμός των έργων εισόδου – εξόδου του νερού.



Παραλληλόγραμμη δεξαμενή καθίζησης με ξέστρο.

1. Φρεάτιο εισόδου

2. Γέφυρα ξέστρου

3. Επεξεργασμένο νερό

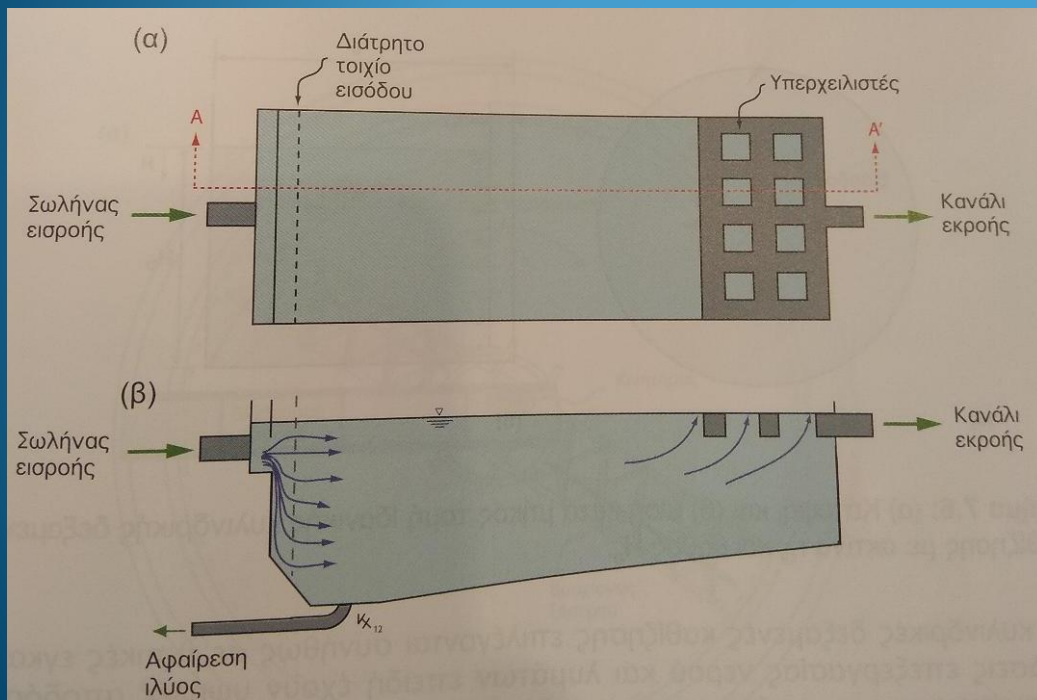
4. Συλλέκτης επιπλεόντων

5. Εξαγωγή λάσπης

Μ. Μήτρακας, 2001



Ορθογώνια δεξαμενή καθίζησης



- Χρησιμοποιούνται ευρέως
 - Εύκολη λειτουργία
 - Χαμηλό κόστος συντήρησης
- Είναι μακρόστενες (3/1 – 7/1 μήκος/πλάτος)
- Ο πυθμένας έχει κατάλληλη κλίση για την εύκολη αφαίρεση ιλύος
- Εισροή: Στη ζώνη εισόδου υπάρχει ένα διάτρητο τοίχιο το οποίο βοηθάει στην ομοιόμορφη κατανομή του νερού
- Εκροή: Γίνεται από κατάλληλους υπερχειλιστήρες

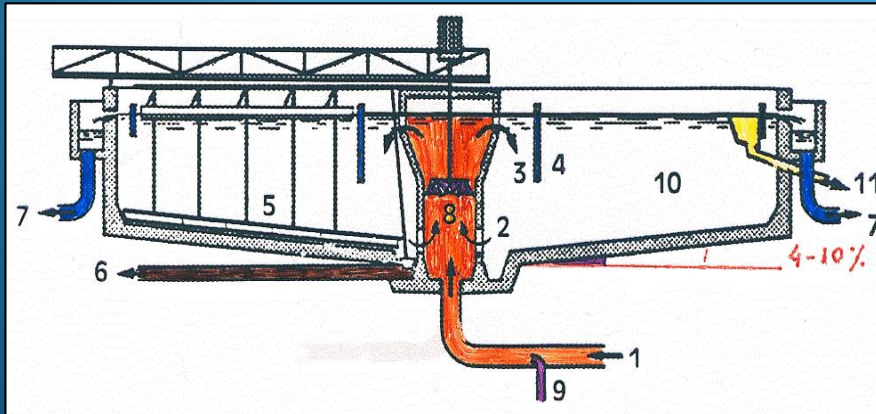


Είδη δεξαμενών καθίζησης - Κυκλικές

Επιλέγονται κυρίως λόγω:

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

Σχετικά χαμηλή ανοχή σε μεγάλες υδραυλικές φορτίσεις.



Κυκλική δεξαμενή καθίζησης με ανακύκλωση λάσπης και θρόμβωση.

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



Είδη δεξαμενών καθίζησης - Κυκλικές

Χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού των κυκλικών δεξαμενών καθίζησης. Μήτρακας, 2001

- Για τις απλές κυκλικές δεξαμενές καθίζησης χρησιμοποιούνται αυτές οι χαρακτηριστικές τιμές.
- Η θρόμβωση περιλαμβάνει, εκτός από τη χρήση κροκιδωτικών, και ανακύκλωση λάσπης.
- Η ανακύκλωση λάσπης βελτιώνει τα χαρακτηριστικά καθίζησης της λάσπης με αποτέλεσμα την απαίτηση μικρότερου μεγέθους εγκαταστάσεων.

Παράμετρος σχεδιασμού	Χωρίς ανακύκλωση λάσπης	Με ανακύκλωση λάσπης
Χρόνος θρόμβωσης, min	-	20
Επιφανειακή φόρτιση, m/h	1-2	2-3
Βάθος υγρού, m	3-5	3-5
Χρόνος παραμονής, h	1-3	1-2
Φόρτιση υπερχειλίσεων, m ³ /mh	<7	7-15



Είδη δεξαμενών καθίζησης - Κυκλικές

- Η ροή του νερού σε μια κυλινδρική δεξαμενή καθίζησης είναι από το κέντρο προς την περιφέρεια.
- Η οριζόντια ταχύτητα του νερού σε ένα σημείο μέσα στη δεξαμενή δίνεται από την εξίσωση:
- $u(r) = \frac{Q}{A_r}$, όπου $A_r = 2\pi r H_0$, $\Rightarrow u(r) = \frac{Q}{2\pi r H_0}$
- r : η οριζόντια κυλινδρική συντεταγμένη
- A_r : είναι η κάθετος κυλινδρική επιφάνεια με ακτίνα r μέσα στην κυλινδρική δεξαμενή
- H_0 = είναι το βάθος της κυλινδρικής δεξαμενής.



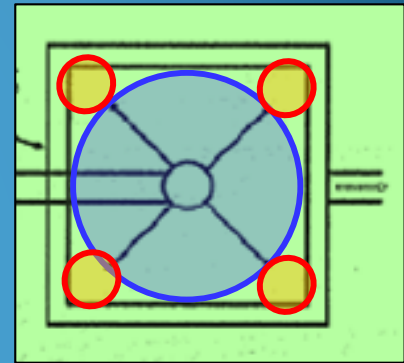
Είδη δεξαμενών καθίζησης - Τετράγωνες

Χρησιμοποιούνται επειδή συνδυάζουν το πλεονέκτημα της συλλογής λάσπης (κυκλικές δεξαμενές) και την εύκολη κατασκευή των ευθύγραμμων τοιχίων τους.

Όμοιες διατάξεις εισαγωγής κ' εξαγωγής νερού και συλλογής της λάσπης με αυτές των κυκλικών δεξαμενών.

Σπάνια χρήση:

Παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα απομάκρυνσης της λάσπης από τις γωνίες της δεξαμενής γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργικότητα τους.



Σχέδιο τετράγωνης δεξαμενής με τροφοδότηση από το κέντρο. Μήτρακας, 2001

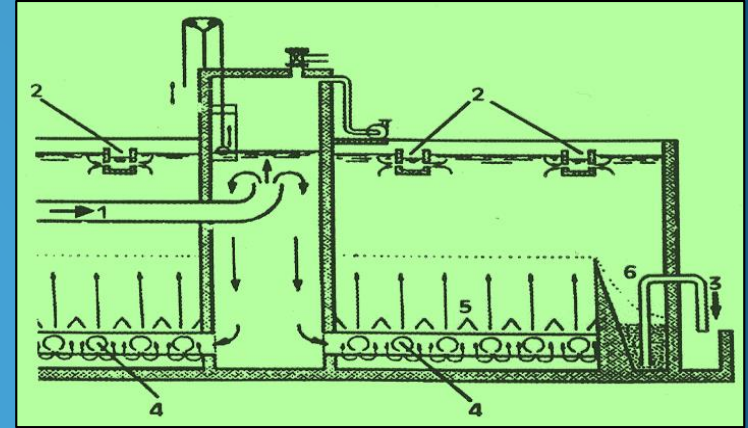


Είδη δεξαμενών καθίζησης – Με επαφή λάσπης

Συχνή χρήση λόγω:

- Υψηλής απόδοσης συγκράτησης σωματιδίων από αραιές κυρίως διασπορές.
- Το τμήμα επαφής με τη λάσπη βοηθά στη συσσωμάτωση της εισερχόμενης διασποράς και στην καθίζηση της.
- Διεργασία σε σχετικά γρήγορους ρυθμούς.
- Διεργασία σε μια μόνο δεξαμενή.
- Απαίτηση μικρότερων εγκαταστάσεων.

- Παρουσιάζουν μικρές ανοχές στις διακυμάνσεις ποιότητας της εισερχόμενης διασποράς και στις υδραυλικές υπερφορτίσεις.
- Απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για την λειτουργία τους.
- Έχουν υψηλό κόστος συντήρησης.



Δεξαμενή καθίζησης με επαφή λάσπης.

- 1. Είσοδος νερού,*
- 2. Επεξεργασμένο νερό,*
- 3. Εξαγωγή λάσπης,*
- 4. Αγωγοί διανομής εισερχόμενου νερού,*
- 5. Διαφράγματα,*
- 6. Συγκέντρωση λάσπης. Μαμάσης, 2001*



Είδη δεξαμενών καθίζησης – Με κεκλιμένες επιφάνειες

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

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

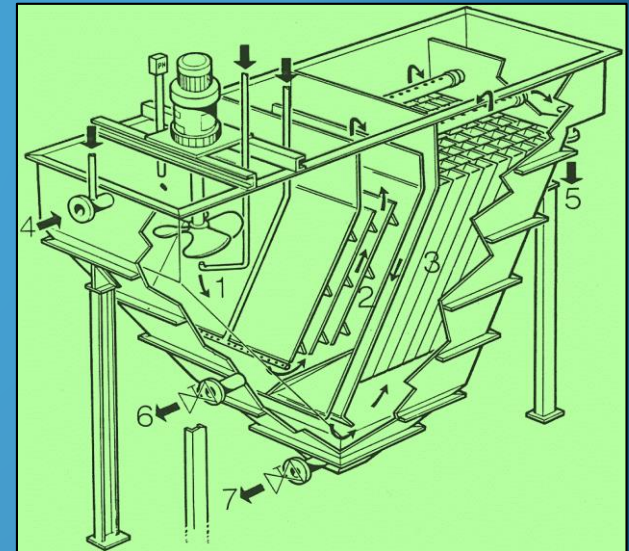
Αυτές έχουν το πλεονέκτημα της **διολίσθησης** ταυτόχρονα της σχηματιζόμενης λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής.

Απαίτηση ειδικού εξοπλισμού και δυσκολία καθαρισμού.

1. *Ανάμιξη*
2. *Συσσωμάτωση*
3. *Ζώνη*
4. *Είσοδος νερού*
5. *Έξοδος επεξεργασμένου νερού*
6. *Αποχέτευση*

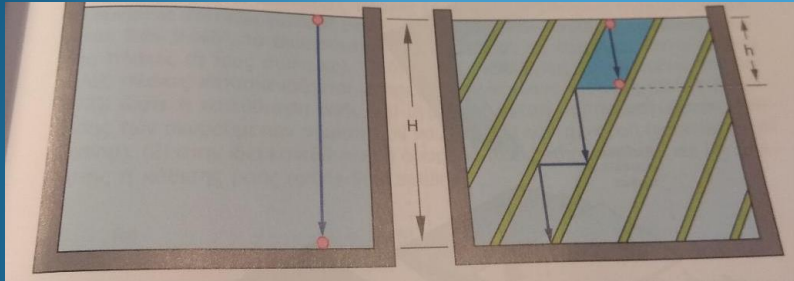
Μ. Μήτρακας, 2001

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

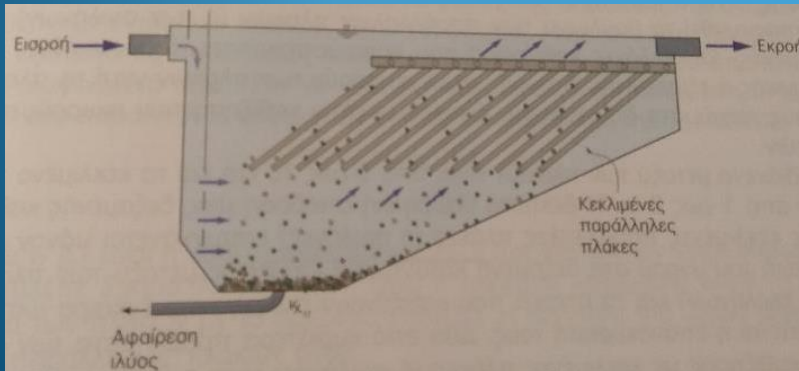




Είδη δεξαμενών καθίζησης – Με κεκλιμένες επιφάνειες



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



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

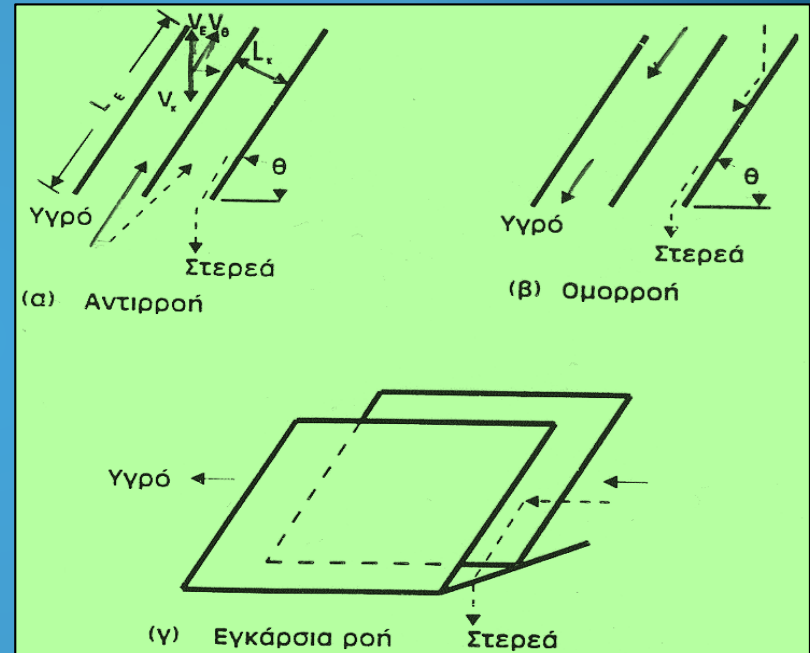


Είδη δεξαμενών καθίζησης – Με κεκλιμένες επιφάνειες

Έχουμε 3 επιλογές:

1. **Αντιρροή.** Η ροή του νερού είναι συνήθως αντίθετη από αυτή της λάσπης που καθιζάνει. Κλίση κεκλιμένων επιφανειών μεταξύ 45° και 60°
2. **Ομορροή.** Η λάσπη απαιτεί κλίση επιφανειών $> 60^\circ$. Προτιμότερη η όμοια ροή νερού και λάσπης.
3. **Εγκάρσια ροή νερού και λάσπης.**

- L_E : το μήκος της κάθε πλάκας
- L_k : η απόσταση μεταξύ δύο πλακών
- θ : η γωνία που σχηματίζουν οι παράλληλες πλάκες με το οριζόντιο επίπεδο
- v_θ : η ταχύτητα του υγρού μεταξύ των παράλληλων πλακών
- v_s : ταχύτητα καθίζησης των αιωρούμενων στερεών



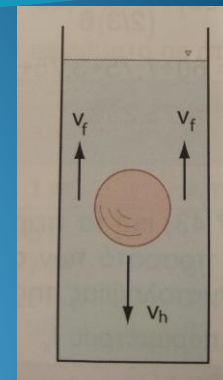
*Εναλλακτικές λύσεις ροής σε δεξαμενές καθίζησης με κεκλιμένες επιφάνειες.
Μ. Μήτρακας, 2001*



Καθίζηση ζώνης ή παρεμποδιζόμενη καθίζηση

Η μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (>500mg/L) κατά την είσοδο:

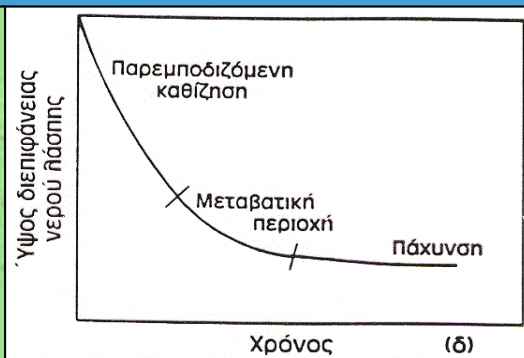
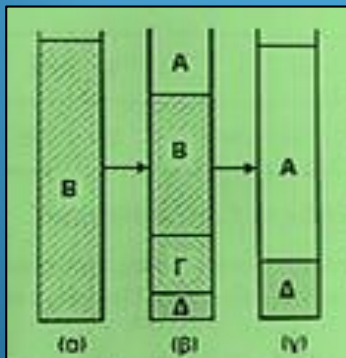
- **Μειώνει** την ταχύτητα καθίζησης (λόγω **αλληλεπίδρασης** σωματιδίων)
- Προκαλεί εύθραυστα συμπλέγματα σωματιδίων που διατηρούνται ακίνητα (λόγω της ανόδου του **εκτοπιζόμενου** νερού).
- Κατά την καθίζηση δημιουργούνται ευδιάκριτες περιοχές (**ζώνες**) διαφορετικής συγκέντρωσης.
- Η περιοχή με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση βρίσκεται στον πυθμένα.



Εμπειρικά, η ταχύτητα καθίζησης ζώνης σωματιδίων αρχικής συγκέντρωσης C_0 (g/L) είναι:

$$V_k = mC_0^{-n}$$

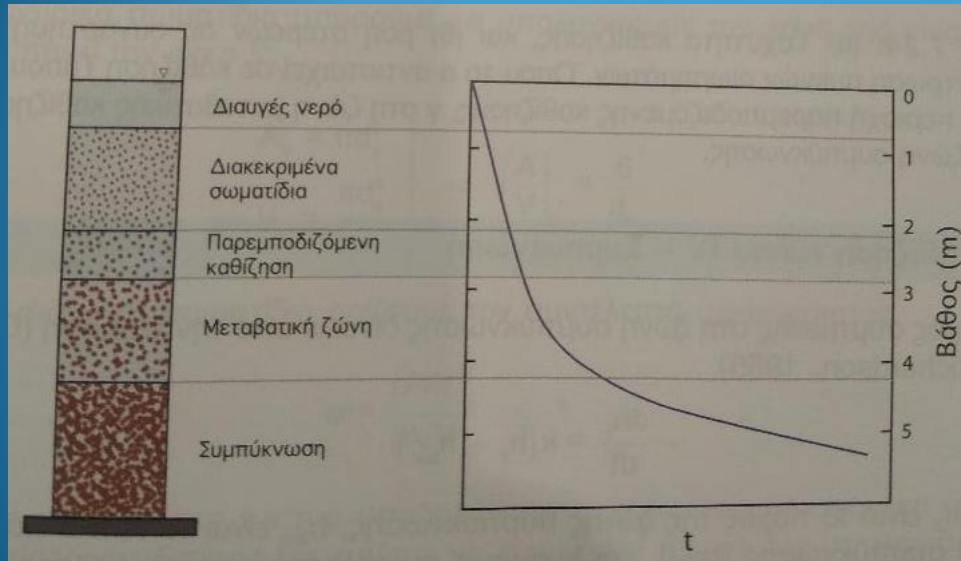
m και n: σταθερές από εμπειρικούς πίνακες



Τυπική εξέλιξη καθίζησης ζώνης σε σχέση με το χρόνο για ένα κύλινδρο που γεμίζεται με ομογενοποιημένο αιώρημα και καταγράφεται η μεταβολή του ύψους της διεπιφάνειας διαυγασμένου νερού και λάσπης. Μ. Μήτρακας, 2001



Ζώνες καθίζησης



Ζώνες καθίζησης και διάγραμμα του απαιτούμενου χρόνου για την καθίζηση αιωρούμενου σωματιδίου στις διάφορες ζώνες της στήλης



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.



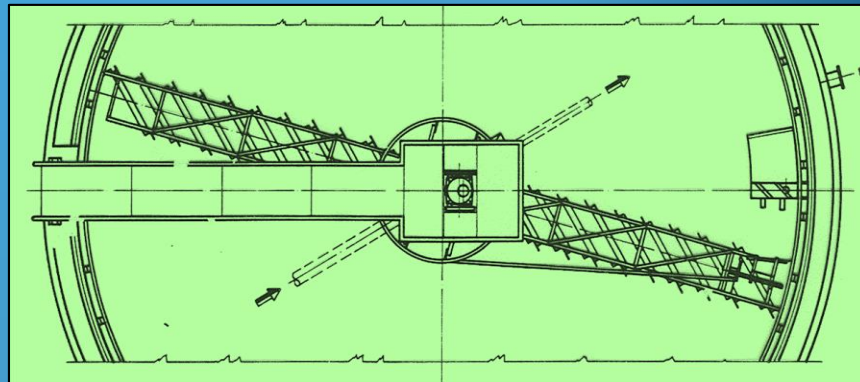
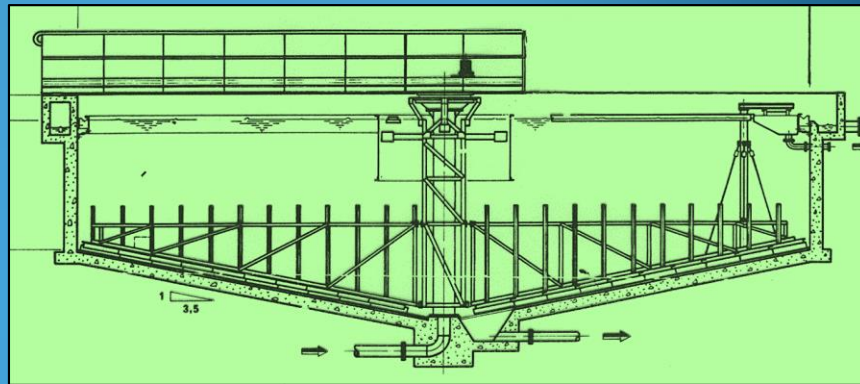
Παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση

4. Κίνηση μηχανισμών απομάκρυνσης λάσπης

Η κίνηση των ξέστρων ή των περιστρεφόμενων γεφυρών που μετακινούνται μέσα στη δεξαμενή για να απομακρύνουν τη λάσπη δεν πρέπει να κινούνται έντονα γιατί δημιουργούνται ρεύματα που παρεμποδίζουν την καθίζηση.

Αντιμετώπιση: Η επιθυμητή ταχύτητα ξέστρου είναι $< 1 \text{ m/min}$. Τελευταία γίνεται χρήση συστημάτων άντλησης της λάσπης που είναι εγκατεστημένα πάνω στη μετακινούμενη γέφυρα.

Τομή και κάτοψη κυκλικής δεξαμενής με ξέστρα, Μ. Μήτρακας





Πάχυνση λάσπης

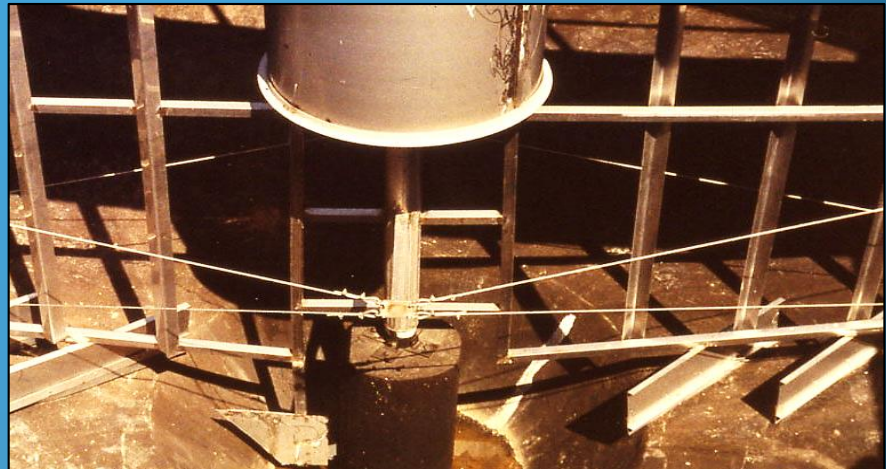
Πάχυνση αναφέρεται η διεργασία συμπύκνωσης της λάσπης που εξέρχεται από τη δεξαμενή καθίζησης. Η λάσπη οδηγείται συνήθως σε μια δεξαμενή πάχυνσης για να επιτευχθεί η αύξηση της συγκέντρωσης της σε στερεά.

Το μέγεθος της δεξαμενής εξαρτάται από την επιθυμητή συγκέντρωση στερεών στην απομακρυσμένη λάσπη.

Για καλύτερη πύκνωση της λάσπης με συμπίεση των στερεών το βάθος των δεξαμενών πάχυνσης είναι συνήθως 3-4m

Τα ξέστρα του παχυντή είναι κατασκευασμένα με ειδικούς σχαστήρες της λάσπης για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό του νερού και την αύξηση της συγκέντρωσης στερεών στη λάσπη.

*Ξέστρο παχυντή
λάσπης. Μ.
Μήτρακας*





Πάχυνση λάσπης

Η λάσπη από μεταλλικά υδροξείδια **Fe** και **Al** μπορεί να συμπυκνωθεί σε συγκεντρώσεις έως και **6%** σε στερεά, ενώ η λάσπη σε από τη χημική αποσκλήρυνση του νερού σε συγκεντρώσεις έως και **25%** στις περιπτώσεις που περιέχει κυρίως **CaCO₃**.

Για την καλύτερη πύκνωση της λάσπης συνήθως χρησιμοποιείται ένα στάδιο συσσωμάτωσης της πριν την πάχυνση με προσθήκη ανιονικών ή κατιοντικών πολυμερών σε συγκέντρωση από **1** έως **4 mg/L**.

Χαρακτηριστικές τιμές λειτουργίας ενός παχυντή με λάσπη από την επεξεργασία νερού. Μ. Μήτρακας

Είδος λάσπης	Φόρτιση, kg/m ² d	Συγκέντρωση στερεών, %
Από χημική αποσκλήρυνση νερού	400	15-25
Από επεξεργασία νερού με Fe ³⁺ ή Al ³⁺	15-25	3-6



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.



Ερωτήσεις - Καθίζηση

4. Ποιοι από τους παρακάτω παράγοντες επηρεάζουν το βαθμό πύκνωσης;

- α) Χρόνος παραμονής.
- β) Συγκέντρωση των σωματιδίων.
- γ) Όγκος της διασποράς.
- δ) Βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων.
- ε) Ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις.

5. Ποια τα φυσικά χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτάται η ταχύτητα κατακάθισης:

- α) Πυκνότητα σωματιδίου.
- β) Επιφανειακή τάση.
- γ) Όγκος σωματιδίου.
- δ) Μέσο μοριακό βάρος σωματιδίου.
- ε) Διατομή της προβολής του σωματιδίου στην κατεύθυνση της ροής.
- ζ) Πολικότητα του σωματιδίου.

6. Το βάθος μιας δεξαμενής καθίζησης είναι συνήθως μικρότερο από:

- α) 1.5 m.
- β) 3 m.
- γ) 4 m.
- δ) 5 m.



Ερωτήσεις - Καθίζηση

10. Οι δεξαμενές καθίζησης με επαφή λάσπης δεν έχουν:
- α) Μικρές ανοχές στις διακυμάνσεις ποιότητας της εισερχόμενης διασποράς.
 - β) Μεγάλες ανοχές στις υδραυλικές υπερφορτίσεις.
 - γ) Υψηλότερο κόστος συντήρησης.
 - δ) Εξειδικευμένο προσωπικό για την παρακολούθηση της λειτουργίας τους.
11. Ποιος από τους παρακάτω δεν είναι τύπος ροής στις καθιζήσεις με κεκλιμένες επιφάνειες:
- α) Ελεύθερη.
 - β) Καθίζηση με αντιροή.
 - γ) Καθίζηση με ομοροή.
 - δ) Εγκάρσια
13. Ποιοι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των δεξαμενών καθίζησης:
- α) Το pH.
 - β) Η διαλυτότητα των αιωρούμενων σωματιδίων.
 - γ) Εισροή και εκροή του νερού.
 - δ) Οι μεταξύ των σωματιδίων αλληλεπιδράσεις.
 - ε) Μηχανισμοί απομάκρυνσης λάσπης.
 - ζ) Η ύπαρξη βαθμίδων ταχύτητας στην καθίζηση.
 - η) Μεταβολή της πυκνότητας.
 - θ) Επίδραση ανέμων.



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 (βάρους, άνωσης, αντίσταση) που επιδρούν στο συνάθροισμα, 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.



Επίπλευση

Ο ελάχιστος όγκος αέρα V_g , πυκνότητας ρ_g , που απαιτείται για να επιτευχθεί επίπλευση σωματιδίου μάζας m_σ και πυκνότητας ρ_σ , μέσα σε νερό πυκνότητας ρ_w δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{V_g}{m_\sigma} = \frac{\rho_\sigma - \rho_w}{\rho_w - \rho_g} \cdot \frac{1}{\rho_\sigma}$$

Επομένως, για τη λειτουργία της επίπλευσης, είναι αρκετή η δημιουργία της κατάλληλης διαφοράς ανάμεσα στις πυκνότητες υγρής φάσης (νερού) και τους θρόμβους στέρεας φάσης, με την εισαγωγή φυσαλίδων αέρα σε αυτούς.

Ταχύτητα Ανόδου Συναθροίσματος Στερεού - Φυσαλίδων

Η οριακή ταχύτητα u με την οποία τα συναθροίσματα σωματιδίων-φυσαλίδων ανέρχονται στην επιφάνεια του νερού, υπολογίζεται από την εξίσωση του Stokes, για στρωτή ροή, του Allen για ενδιάμεση κατάσταση και του Newton για τυρβώδη ροή. Ο νόμος του Stokes εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$u = \frac{(\rho_w - \rho_\sigma)gd^2}{18\mu}$$

$U_{\max} = 30 \text{ m/h}$, πρακτικά αντιστοιχεί στη μέγιστη διαφορά $(\rho_w - \rho_\sigma)$

d: διάμετρος του συναθροίσματος σωματιδίου-φυσαλίδων
 ρ_σ : πυκνότητα του συναθροίσματος
 ρ_w : πυκνότητα του νερού
 μ : ιξώδες του νερού



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 διάμετρος τους κυμαίνεται από 40 έως 70 μm .

Μηχανισμός Δημιουργίας Φουσαλίδων

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

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



Είδη επίπλευσης: Επίπλευση με διαλυμένο αέρα

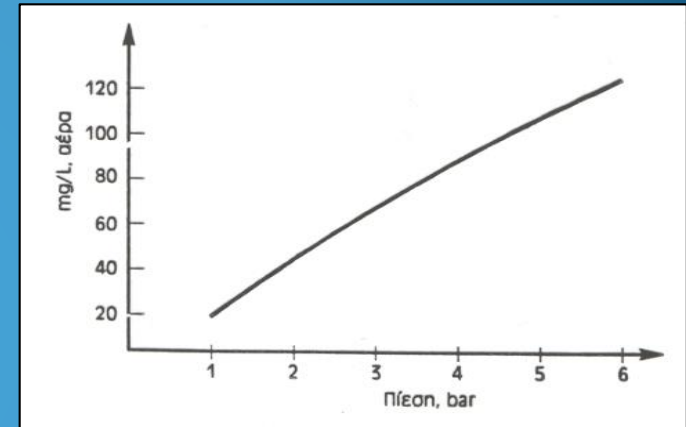
Μηχανισμός Δημιουργίας Φυσαλίδων

Η ικανότητα των φυσαλίδων να προσκολληθούν και να προκαλέσουν επίπλευση εξαρτάται από τη διάμετρό τους η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν των θρόμβων.

Πολύ αυξημένη ροή φυσαλίδων προκαλεί διάσπαση των θρόμβων, οπότε δυσχεραίνεται ο διαχωρισμός.

Το ειδικό βάρος των θρόμβων που δημιουργούνται στην επεξεργασία νερού είναι περίπου 1g/cm^3 και απαιτούνται φυσαλίδες μικρού μεγέθους για τη μεταφορά τους στην επιφάνεια.

Όσο μικρότερες είναι οι φυσαλίδες, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός τους ανά μονάδα όγκου ελευθερούμενου αέρα. Η παρουσία δε μεγάλου αριθμού φυσαλίδων αυξάνει την πιθανότητα προσκόλλησής τους στους θρόμβους, οι οποίοι βρίσκονται συνήθως σε αραιή διασπορά στις διεργασίες επεξεργασίας νερού.



Διαλυτότητα του αέρα στο νερό στους 20°C . Μήτρακας, 2001

Η διαλυτότητα του αέρα στο νερό υπό σταθερή θερμοκρασία είναι ανάλογη προς την πίεση P του αέρα που βρίσκεται σε ισορροπία με το νερό (Henry).



Είδη επίπλευσης: Επίπλευση με διαλυμένο αέρα

Μια μονάδα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα περιλαμβάνει:

1. Τμήμα θρόμβωσης των σωματιδίων:

Διαδικασία κροκίδωσης – συσσωμάτωσης.

2. Δεξαμενή επίπλευσης:

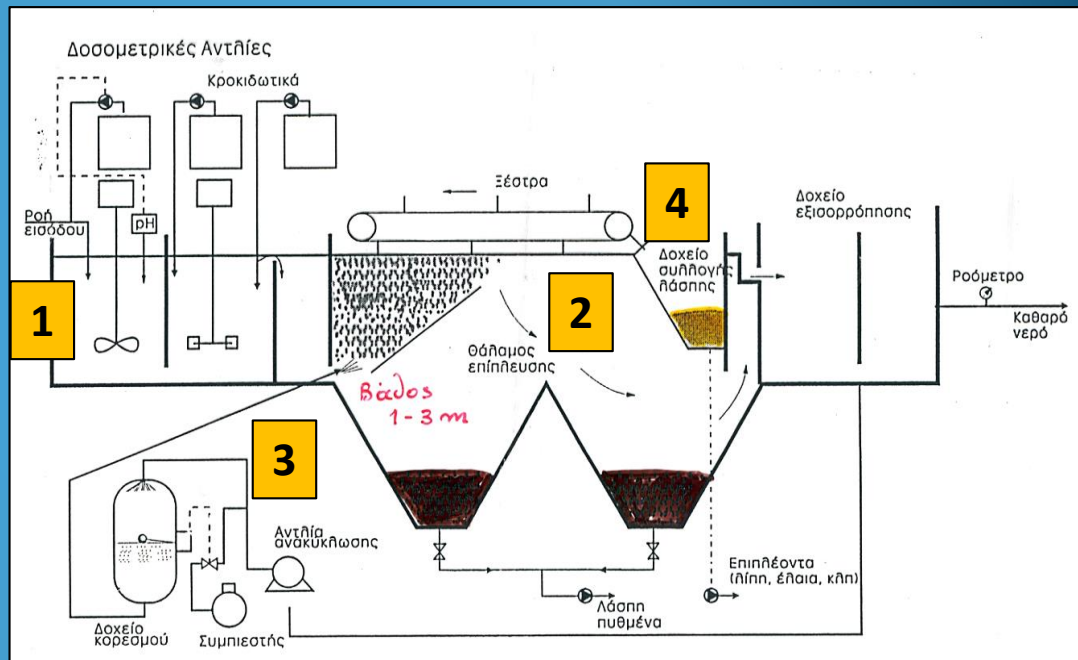
Ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής.

3. Τμήμα παραγωγής μικροφουσαλίδων:

Εκτόνωση μέσα στη δεξαμενή επίπλευσης μιας παροχής νερού, η οποία έχει κορεσθεί με αέρα στο δοχείο συμπίεσης.

4. Απομάκρυνση λάσπης:

Με χρήση επιφανειακού ξέστρου



Διάγραμμα ροής διεργασίας επίπλευσης. Μήτρακας, 2001



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.



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/hr μικρότερο συνολικό κόστος μιας μονάδας.



6. Καθίζηση και Επίπλευση



ΤΕΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
Ευχαριστώ πολύ
για την προσοχή σας