



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

Φυσικές διεργασίες στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων

Επικ. Καθηγητής Αλέξανδρος Στεφανάκης

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Κτήριο Κ3, Γραφείο Α23,

Τηλ: 28210 06121, email: astefanakis@enveng.tuc.gr

Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

<https://www.leem.tuc.gr>

<https://www.facebook.com/LEEMtuc>

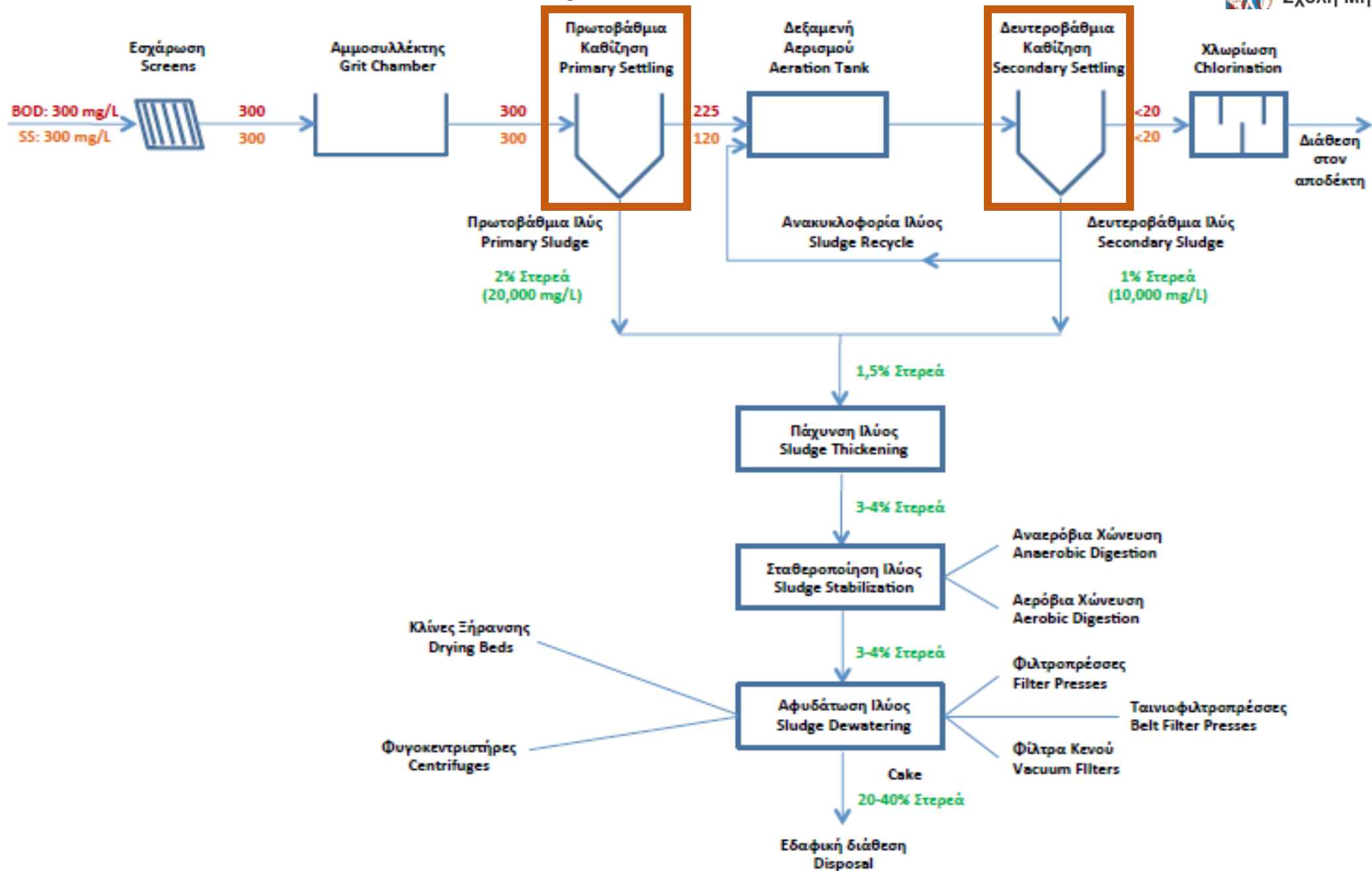
Μάρτιος 2021



Καθίζηση



ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΡΥΤΗΤΑ / ΚΑΘΙΖΗΣΗ



Η συσσωματική καθίζηση αναφέρεται σε ένα σχετικά αραιό αιώρημα σωματιδίων, τα οποία συσσωματώνονται καθώς καθιζάνουν.

Η συσσωμάτωση αυτή οδηγεί σε αλλαγή στη μάζα και το σχήμα των σωματιδίων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας καθίζησης με το χρόνο. Δεδομένου ότι η ταχύτητα δεν είναι σταθερή, δεν μπορούν να εφαρμοστούν οι νόμοι των Newton και Stokes.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών ανεπεξέργαστων λυμάτων

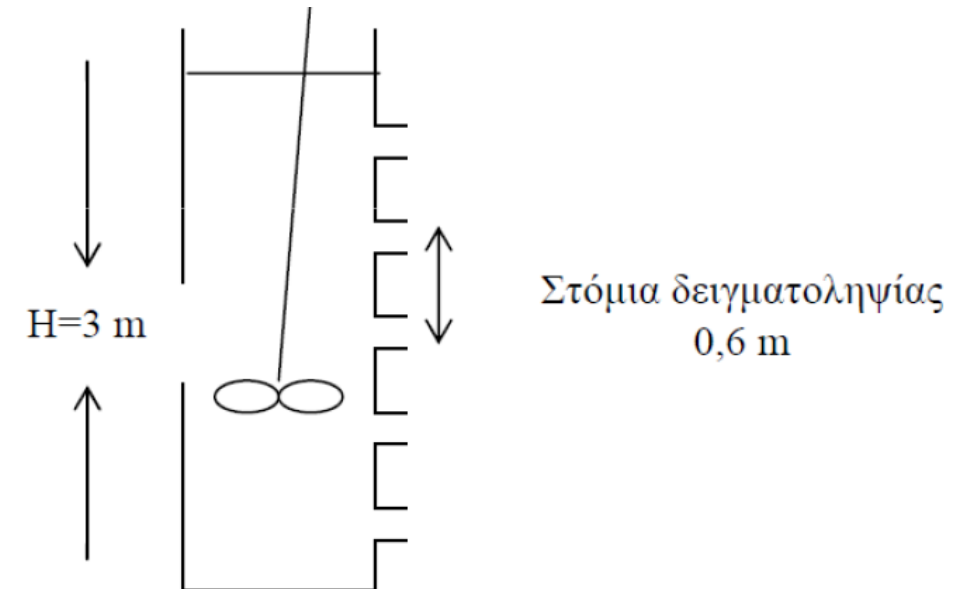
Καθίζηση ιζημάτων κατά τη χημική επεξεργασία του νερού

Η μελέτη της συσσωματικής καθίζησης γίνεται ειδική πειραματική στήλη καθίζησης.

Το απόβλητο τοποθετείται στη στήλη που έχει βάθος ίσο με το βάθος της προτεινόμενης δεξαμενής (συνήθως στήλη ύψους 3m και διαμέτρου 15 cm) κι αναδεύεται ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη συγκέντρωση στερεών.

Σε χρόνο $t=0$, η ανάδευση σταματάει και ξεκινάει η καθίζηση. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα λαμβάνονται δείγματα ταυτόχρονα από τα σημεία δειγματοληψίας, τα οποία απέχουν 50-60 cm μεταξύ τους, και προσδιορίζεται η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών.

Χαρακτηριστικά στήλης
Ύψος: 2,5 - 3 m
Διάμετρος: > 15 - 20 cm



Το ποσοστό απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών ως συνάρτηση του βάθους και του χρόνου καθίζησης δίνεται από τη σχέση:

$$R_{ij} = \left(1 - \frac{C_{ij}}{C_0} \right) \times 100$$

R_{ij} = το ποσοστό απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών σε βάθος i και χρόνο j

C_{ij} = η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών σε βάθος i και χρόνο j .

Ο συνολικός βαθμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων για δεδομένο χρόνο παραμονής είναι η σταθμισμένη απομάκρυνση για όλο το βάθος της στήλης.

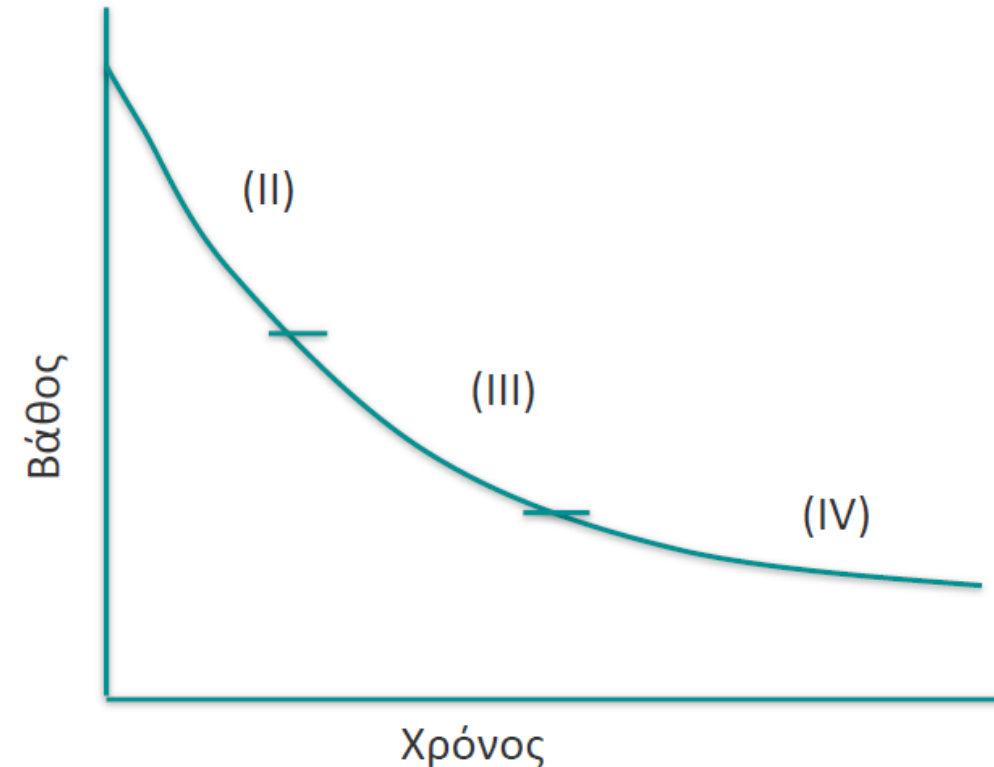
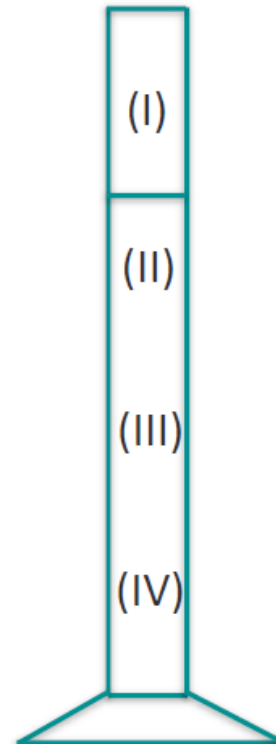
Καθίζηση τύπου III είναι γνωστή ως παρεμποδισμένη καθίζηση ή αλλιώς καθίζηση ζώνης, όπου τα σωματίδια συγκεντρώσεων ενδιάμεσου επιπέδου αλληλεπιδρούν με γειτονικά σωματίδια και καθιζάνουν όλα μαζί ως ενιαίο σύνολο (δημιουργία πλέγματος που καθιζάνει ενιαία), δημιουργώντας μια διεπιφάνεια νερού - ιλύος κατά την καθίζηση.

Παράδειγμα καθίζησης τύπου III:

δευτεροβάθμια καθίζηση για διαχωρισμό των μικροοργανισμών της βιολογικής επεξεργασίας από το επεξεργασμένο νερό

Όταν η καθίζηση μελετηθεί σε μία στήλη καθίζησης, παρατηρούνται 4 ζώνες:

- i. Η ζώνη του διαυγασμένου νερού (I)
- ii. Η ζώνη της παρεμποδισμένης καθίζησης (II)
- iii. Η μεταβατική ζώνη (III)
- iv. Η ζώνη συμπίεσης (IV)



Αρχικά

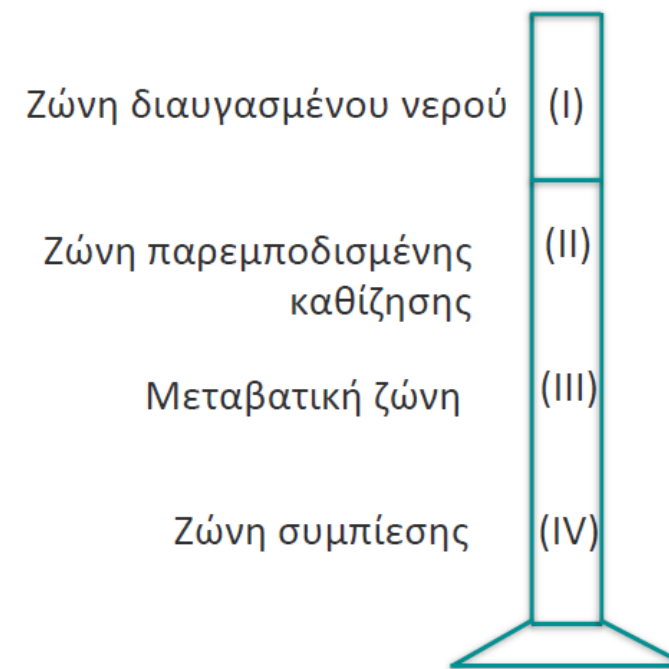
παρατηρούνται όλες οι παραπάνω ζώνες, με μεγαλύτερη τη ζώνη της παρεμποδισμένης καθίζησης.

Σε ενδιάμεσο χρόνο

το ύψος παρεμποδισμένης και μεταβατικής μειώνεται και σχηματίζεται η ζώνη συμπίεσης.

Τελικά

επιτυγχάνεται η συμπίεση ιλύος και οι ζώνες που παρατηρούνται είναι η ζώνη διαυγασμένου νερού και η ζώνη συμπίεσης



Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας της δεξαμενής καθίζησης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες:

- α) Η επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση (επιφάνεια διαύγασης)
- β) Η επιφάνεια που απαιτείται για τη συγκέντρωση (πάχυνση) του αιωρήματος (ιλύος) στο επιθυμητό επίπεδο (επιφάνεια πάχυνσης)
- γ) Ο ρυθμός απομάκρυνσης της ιλύος που συλλέγεται στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης

Η επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση είναι συνήθως μεγαλύτερη από την επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση, και επομένως συνήθως αυτή ελέγχει το σχεδιασμό της δεξαμενής καθίζησης.

Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης επιφάνειας μπορεί να γίνει με τη χρήση πειραματικών κλινών καθίζησης. Μια στήλη πληρώνεται έως ένα ύψος H_0 με το αιώρημα στερεών αρχικής (ομοιόμορφης) συγκέντρωσης, C_0 .

Με την έναρξη της καθίζησης, σχηματίζεται η διεπιφάνεια ιλύος – υπερκείμενου νερού και καταγράφεται το ύψος της διεπιφάνειας ως συνάρτηση του χρόνου.

Σύμφωνα με τη μέθοδο των *Talmdge και Fitch*, η επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης που απαιτείται για πάχυνση δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{Q \cdot t_u}{H_0}$$

A = η απαιτούμενη επιφάνεια για πάχυνση (m^2)

Q = παροχή εισόδου σε δεξαμενή καθίζησης (m^3/min ή m^3/sec)

H_0 = αρχικό ύψος της ιλύος στη στήλη (m)

t_u = χρόνος που απαιτείται για να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός πάχυνσης (min ή sec)

Υπολογισμός t_u

- Κατασκευάζεται η καμπύλη καθίζησης (από πειραματικά δεδομένα)
- Υπολογίζεται το ύψος της ζώνης συμπίεσης, H_u από τη σχέση

$$H_u = \frac{C_o \cdot H_o}{C_u}$$

H_o = το αρχικό ύψος της ιλύος στη στήλη,

C_o = η αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών της ιλύος,

C_u = η συγκέντρωση της ιλύος στη ζώνη συμπίεσης.

- Στην καμπύλη καθίζησης φέρουμε οριζόντια ευθεία (παράλληλη στον άξονα χ) στο H_u .
- Σχεδιάζονται οι εφαπτομένες της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης και της ζώνης συμπίεσης στην καμπύλη οι οποίες τεμνόμενες σχηματίζουν γωνία. Η διχοτόμος αυτής της γωνίας τέμνει την καμπύλη καθίζησης στο σημείο C_2 , το οποίο είναι το μέσο της περιοχής παρεμποδισμένης καθίζησης και συμπίεσης.
- Σχεδιάζεται η εφαπτομένη στο C_2 . Το σημείο τομής της εφαπτομένης στο C_2 και της οριζόντιας ευθείας στο H_u αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για να γίνει η συμπίεση της ιλύος, χρόνος t_u .

Υπολογισμός επιφάνειας για διαύγαση

- Σχεδιάζεται η επαπτομένη της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης και υπολογίζεται η κλίση της, η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα καθίζησης της ιλύος σε αυτή τη ζώνη.

$$v = \frac{H_i}{t_i}$$

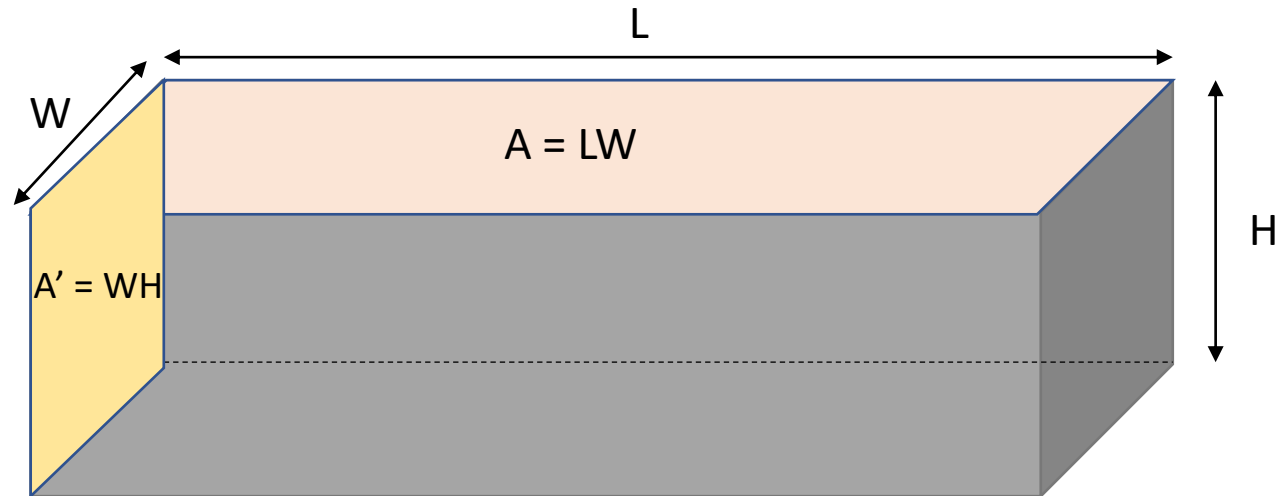
H_i = το ύψος της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης σε χρόνο t_i

- Υπολογίζεται ο ρυθμός διαύγασης, Q_c λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο του υγρού πάνω από τη ζώνη συμπίεσης, από τη σχέση:

$$Q_c = Q \cdot \left(\frac{H_0 - H_u}{H_0} \right) \quad Q = \text{η παροχή της δεξαμενής}$$

- Η απαιτούμενη επιφάνεια για δαύγαση δίνεται από τη σχέση:

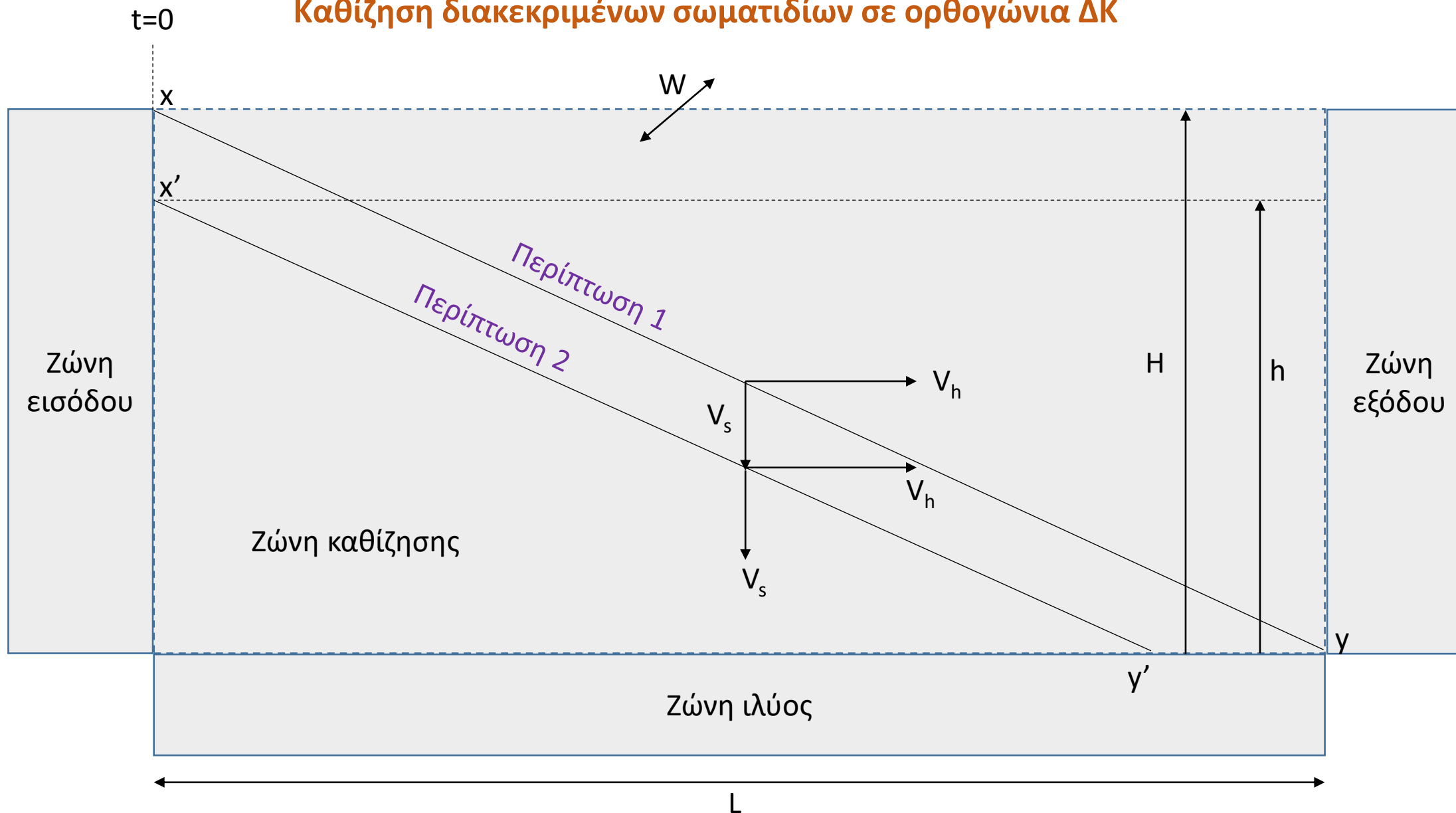
$$A = \frac{Q_c}{v}$$



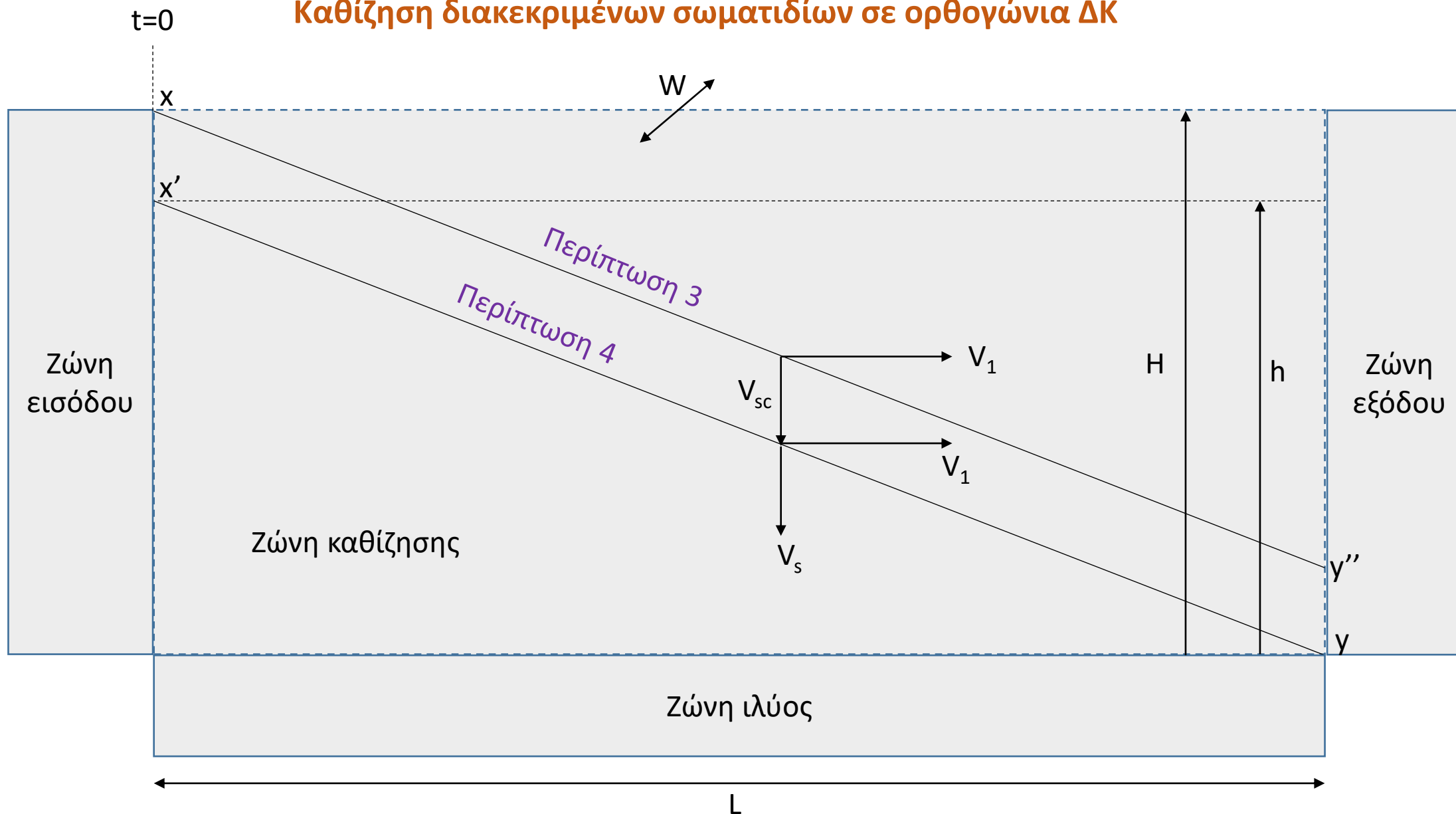
Γενικά, σε μια ιδανική δεξαμενή καθίζησης διακρίνουμε 4 ζώνες:

1. ζώνη εισόδου του νερού/ λυμάτων (input zone)
2. ζώνη εξόδου (outlet zone), από την οποία υπερχειλίζει το διαυγασμένο νερό
3. ζώνη ιλύος (sludge zone) στον πυθμένα για τη συλλογή της ιλύος
4. ζώνη καθίζησης (sedimentation zone), στην οποία λαμβάνει χώρα η καθίζηση σωματιδίων

Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε ορθογώνια ΔΚ



Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε ορθογώνια ΔΚ



Σωματίδια εισέρχονται στη ζώνη καθίζησης στα σημεία x και x'

Δρόμοι καθίζησης σωματιδίων: γραμμές xy και $x'y'$ (διακριτή καθίζηση) και xy'' , $x'y$.

Αυτές οι πορείες προκύπτουν σαν αποτέλεσμα από δύο συνιστώσες ταχύτητας:

1. Ταχύτητα ροής V

$$V = \frac{Q}{A'} = \frac{Q}{W \cdot H}$$

V = ταχύτητα ροής (m/s)

Q = ογκομετρική παροχή (m³/s)

A' = εμβαδόν διατομής της ζώνης εισόδου (m²)

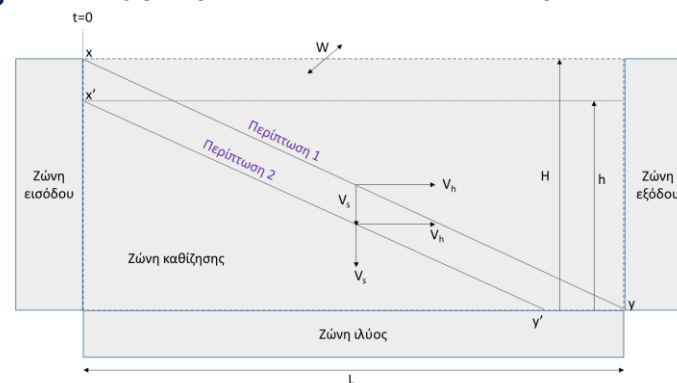
W = πλάτος της ζώνης καθίζησης (m)

H = βάθος της ζώνης καθίζησης (m)

2. Ταχύτητα καθίζησης (V_s & V_1)

Περίπτωση 1

Ένα σωματίδιο που το χρονικό διάστημα $t=0$ βρίσκεται στο σημείο x και έχει μια ταχύτητα καθίζησης V_s και διάμετρο d_s , διαχωρίζεται όταν φθάσει στον πυθμένα της ζώνης καθίζησης στο σημείο y .



Περίπτωση 2

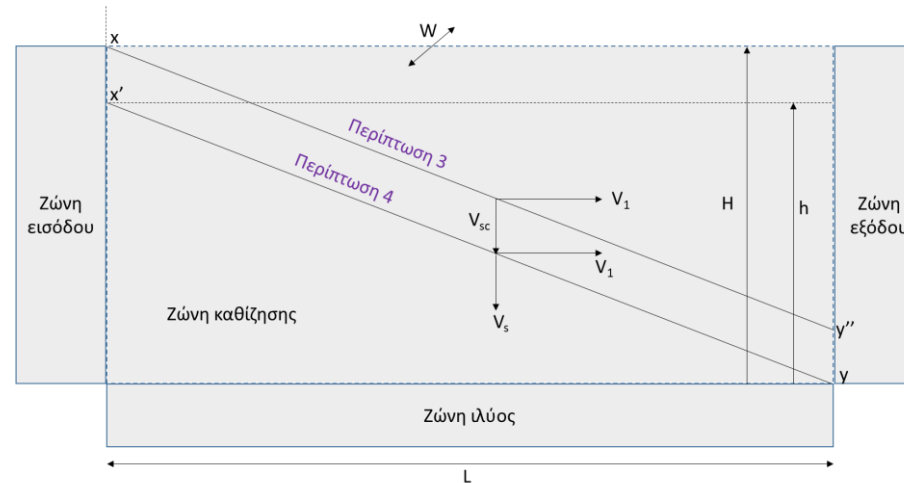
Ένα σωματίδιο που το χρονικό διάστημα $t=0$ βρίσκεται στο σημείο x' και έχει μια ταχύτητα καθίζησης V_s (ή μεγαλύτερη), καθιζάνει επίσης στο σημείο y .

Εάν η ταχύτητα καθίζησης είναι μεγαλύτερη του V_s , το σωματίδιο προσκρούει στον πυθμένα αριστερά από το y' .

Το σχήμα δείχνει την περίπτωση σωματιδίων με διάμετρο $d_1 < d_s$ τα οποία έχουν $V_1 < V_s$.

Περίπτωση 3

Ένα σωματίδιο που το χρονικό διάστημα $t=0$ βρίσκεται στο σημείο x και έχει μια ταχύτητα καθίζησης $V_1 < V_s$, δεν θα παρακρατηθεί διότι δεν φθάνει ποτέ τον πυθμένα της δεξαμενής (μονοπάτι xy'').



Περίπτωση 4

Ένα σωματίδιο που το χρονικό διάστημα $t=0$ βρίσκεται στο σημείο x' και έχει μια ταχύτητα καθίζησης V_1 , καθιζάνει και αφαιρείται (μονοπάτι $x'y$).

Για καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων, η V_s ή V_1 είναι σταθερή για κάθε ειδικό μονοπάτι, δηλ οι τιμές δεν διαφέρουν κατά μήκος των οδών καθίζησης.

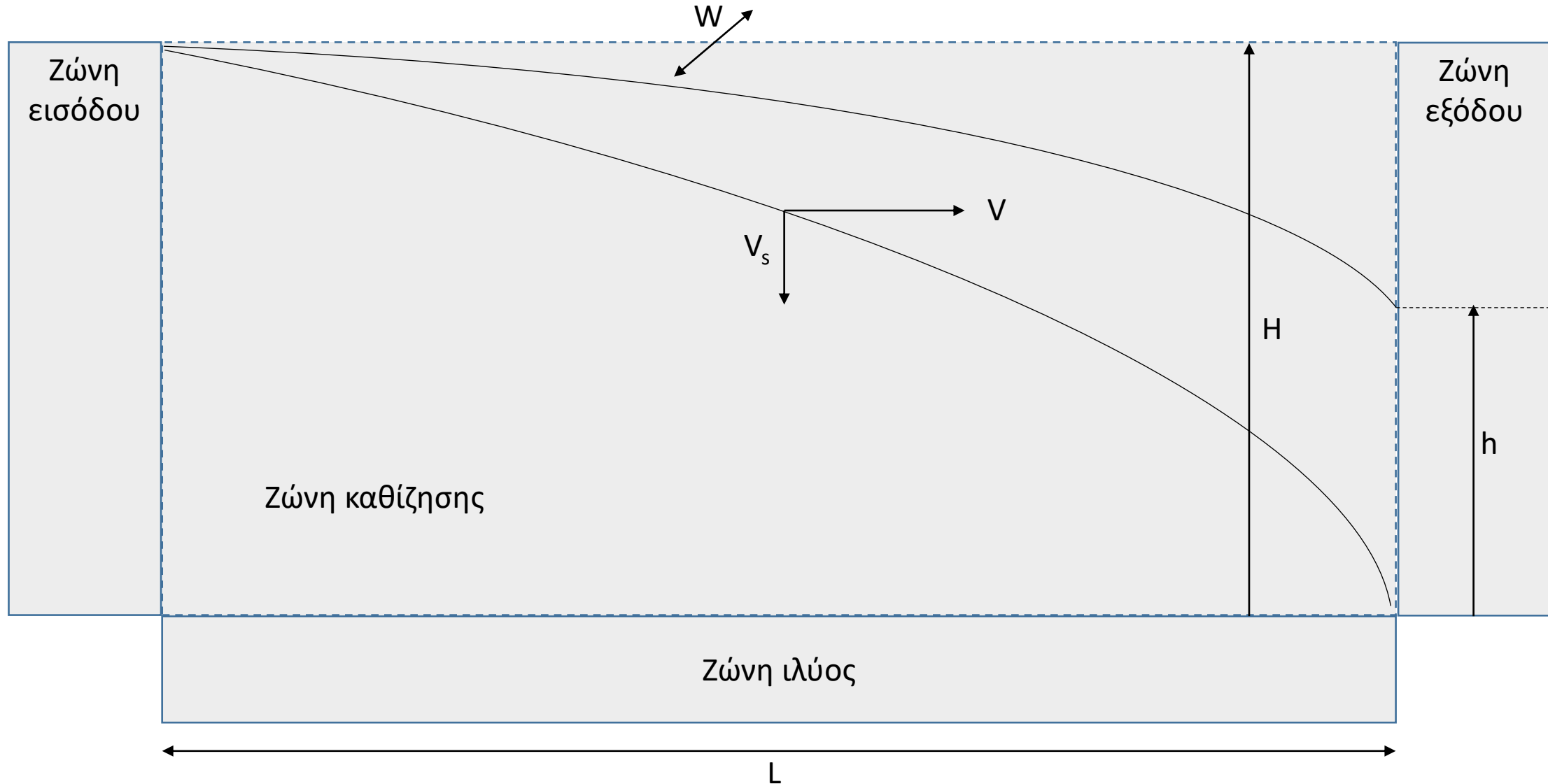
Ο λόγος είναι ότι κάθε διακριτό σωματίδιο **δεν παρεμποδίζεται** από γειτονικά (καμία συσσωμάτωση) και καθιζάνει ομοιόμορφα.

Για την **καθίζηση συσσωμάτωσης**, η κατάσταση αλλάζει.

Εφόσον λαμβάνει χώρα συσσωμάτωση με γειτονικά σωματίδια, αυξάνεται η διάμετρος του σωματιδίου και αντίστοιχα αυξάνεται και η ταχύτητα V_s .

Το αποτέλεσμα είναι ότι οι δρόμοι καθίζησης των σωματιδίων είναι καμπύλες και όχι ευθείες γραμμές.

Καθίζηση με συσσωμάτωση υλικού



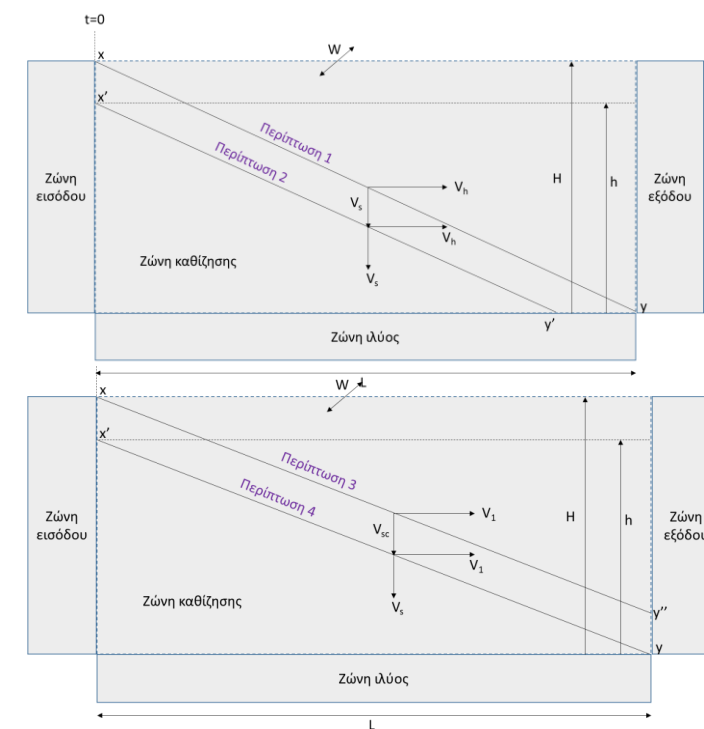
Από τα όμοια τρίγωνα των σχημάτων λαμβάνουμε:

$$\frac{V}{V_s} = \frac{L}{H} \longrightarrow \frac{V}{L} = \frac{V_s}{H}$$

Από το σχήμα έχουμε και:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{L}{h} \longrightarrow \frac{V}{L} = \frac{V_1}{h}$$

$$\frac{V_s}{H} = \frac{V_1}{h} \longrightarrow \frac{V_1}{V_s} = \frac{h}{H}$$



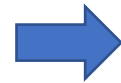
Επίσης από την σχέση που είδαμε πριν: $Q = VA' = VWH$



Και από τα όμοια τρίγωνα των σχημάτων λαμβάνουμε: $V = V_s \frac{L}{H}$



$$Q = V_s LW = V_s A$$



$$V_s = \frac{Q}{A}$$

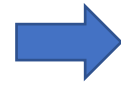
$$A = LW$$

Για κάθε μέγεθος σωματιδίων, η **απόδοση της δεξαμενής** (ποσοτό καθίζησης) είναι συνάρτηση **μόνο της ταχύτητας καθίζησης των σωματιδίων (V_s)** και της **επιφανειακής φόρτισης (Q/A)** και **δεν επηρεάζεται από το βάθος της δεξαμενής** και την οριζόντια ταχύτητα.



$$Q = V_s LW = V_s A$$

$$A = LW$$



$$V_s = \frac{Q}{A}$$

Το βάθος της δεξαμενής, αντίθετα με την θεωρία, επηρεάζει την απόδοσή της, κυρίως διότι τα σωματίδια που έχουν φτάσει στη ζώνη ιλύος μπορούν να επανέλθουν σε αιώρηση εάν η οριζόντια ταχύτητα αυξηθεί πάνω από μια κρίσιμη τιμή (της τάξεως 9-15 φορές την V_s), ενώ σε βαθύτερες δεξαμενές η επαναιώρηση στερεών είναι πιο περιορισμένη.

Επίσης θα πρέπει να διατεθεί κάποιο βάθος για την εγκατάσταση των απαιτούμενων συστημάτων μηχανικού καθαρισμού (ξέστρο) και για τον περιορισμό της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας κάτω από ένα όριο για την αποφυγή διάβρωσης και επαναιώρησης σωματιδίων που έχουν κατακαθίσει.

Από την

$$V = \frac{Q}{A'} = \frac{Q}{W \cdot H}$$

προκύπτει επίσης ότι το βάθος H δεν θα πρέπει να είναι μικρό διότι θα αυξηθεί η ταχύτητα V .

Το φαινόμενο της παράσυρσης δεν είναι συνήθως πρόβλημα μεγάλων δεξαμενών καθίζησης, αλλά παρουσιάζεται κυρίως σε συστήματα εξάμμωσης και στενά κανάλια.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι οι δύο βασικές υποθέσεις της ιδανικής δεξαμενής καθίζησης είναι:

- 1) ομοιόμορφη κατανομή σωματιδίων σε όλη την επιφάνεια διατομής της εισόδου (Α')
- 2) ένα σωματίδιο θεωρείται παρακρατημένο αν φτάσει στον πυθμένα της ζώνης καθίζησης

Από αυτές προκύπτουν δύο συνέπειες:

- 1] όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης $\geq V_s$ παρακρατούνται πλήρως (δηλαδή αφαιρούνται από το νερό και καθιζάνουν,
- 2] όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης $V_1 \leq V_s$ παρακρατούνται σε μια ποσοστιαία αναλογία που δίνεται από τη σχέση V_1 / V_s ή h/H

Η υδραυλική επιφανειακή φόρτιση ορίζεται ως

$$\frac{Q}{A} = \frac{m^3}{m^2 h} = \frac{m}{h}$$

και είναι η ταχύτητα καθίζησης V_s ενός σωματιδίου, το οποίο καθιζάνει μέσα σε μια απόσταση ίση με το αποτελεσματικό βάθος της δεξαμενής στα πλαίσια του θεωρητικού χρόνου παραμονής. Αυτό προκύπτει από τον ορισμό του μέσου υδραυλικού χρόνου παραμονής:

$$\tau = \frac{\text{όγκος δεξαμενης}}{\text{ογκομετρικη παροχη}} = \frac{V_R}{Q} = \frac{HA}{Q}$$

με V_R τον όγκο της δεξαμενής.

Προκύπτει ότι η ταχύτητα καθίζησης V_s ($\approx H/\tau$) ισούται με την υδραυλική επιφανειακή φόρτιση:

Προκύπτει ότι η ταχύτητα καθίζησης V_s ($\approx H/\tau$) ισούται με την υδραυλική επιφανειακή φόρτιση:

$$V_s = \frac{H}{\tau} = \frac{H}{(HA/Q)} = \frac{Q}{A}$$

Η **οριζόντια συρτική ταχύτητα** (scour velocity), που είναι και η ταχύτητα αυτοκαθαρισμού των αποχετευτικών αγωγών, δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

$$V_{sc} = \left[\frac{8 \cdot \beta \cdot g \cdot d \cdot (s - 1)}{f} \right]^{1/2}$$

V_{sc} = συρτική ταχύτητα (m/s)

β = σταθερά (0,04 για μονόκοκκο άμμο, 0,06 για μη ομοιόμορφο υλικό)

f = Weisbach-D'Arcy συντελεστής τριβής (0,03 για μπετόν)

d = διάμετρος σωματιδίου (mm)

s = ειδικό βάρος σωματιδίου

g = επιτάχυνση βαρύτητας (mm/s²)

Η βασική σχέση για την καθίζηση σωματιδίων $\frac{V_1}{V_s} = \frac{h}{H}$

διατυπώθηκε βάσει συλλογισμών για **ορθογωνική διατομή**.

Μπορούμε να δούμε ότι παρόμοια σχέση εφαρμόζεται σε **δεξαμενές κυκλικής μορφής**.

Στην περίπτωση αυτή, η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας V μεταβάλλεται με την **ακτίνα r** :

$$V = \frac{Q}{A'} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot H}$$

Όσο αυξάνει η απόσταση από το κέντρο, η εγκάρσια επιφάνεια αυξάνει και επομένως η οριζόντια ταχύτητα ροής ελαττώνεται.

Αντίθετα, η ταχύτητα καθίζησης θα παραμένει σταθερή.

Συνεπώς, η τροχειά που διαγράφει κάθε σωματίδιο δε θα είναι ευθεία, αλλά καμπύλη.

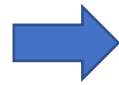
$$V = \frac{Q}{A'} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot H}$$

Για τα σωματίδια που εισέρχονται από την επιφάνεια και απομακρύνονται πλήρως ισχύει:

$$\frac{dh}{dr} = \frac{V_s}{V}$$



$$\frac{dh}{dr} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot H \cdot V_s}{Q}$$



$$\int_0^H \frac{dh}{dr} = \frac{2 \cdot \pi \cdot H \cdot V_s}{Q} \int_{r_1}^{r_s} r dr$$

$$H = \frac{\pi \cdot H \cdot V_s}{Q} (r_s^2 - r_1^2)$$



$$V_s = \frac{Q}{\pi(r_s^2 - r_1^2)}$$

r_s = η συνολική ακτίνα της ζώνης καθίζησης, m
 r_1 = η ακτίνα της ζώνης εισόδου, m

Δεδομένου ότι $r_1 \ll r_o$ (η ζώνη εισροής είναι ένα πολύ μικρό μέρος της δεξαμενής καθίζησης),
τότε:

$$V_s = \frac{Q}{\pi r_s^2} = \frac{Q}{A}$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι ίδια με αυτή που
προέκυψε για τις ορθογώνιες δεξαμενές.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το χαρακτηριστικό σχεδιαστικό μέγεθος στην καθίζηση αποτελεί η επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης.

Για δεξαμενές καθίζησης συνεχούς ροής, η ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων που απομακρύνονται κατά 100% σχετίζεται με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής ($\tau = V/Q$), με τη σχέση (δεχόμενοι ιδανικές συνθήκες ροής):

$$V_s = \frac{\text{βαθος}}{\text{χρόνος παραμονής}}$$

Αν η ταχύτητα κάποιων σωματιδίων (λόγω διαφοροποίησης του μεγέθους τους) είναι $V_p < V_s$, τότε τα σωματίδια αυτά θα απομακρύνονται κατά το κλάσμα:

$$x_p = \frac{V_p}{V_s}$$

- Στην πράξη πολύ σπάνια τα σωματίδια έχουν ενιαίο μέγεθος.
- Συνήθως τα υδατικά αιωρήματα χαρακτηρίζονται από μία **κατανομή μεγέθους** των σωματιδίων.
- Το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά είτε με κόσκινα είτε με ειδικό εξοπλισμό.
- Όμως είναι πιο σύνηθες να υπολογίζεται η ταχύτητα καθίζησης σε ειδικές στήλες καθίζησης.
- Το απόβλητο τοποθετείται στη στήλη (ενδεικτικό ύψος 2-3 m) κι αναδεύεται ώστε να επιτευχθεί ομοιογενής συγκέντρωση σωματιδίων.
- Μετά το πέρας της ανάδευσης, ξεκινάει η καθίζηση.

- Παίρνουμε δείγμα από ένα συγκεκριμένο βάθος της στήλης, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και προσδιορίζουμε τη συγκέντρωση των σωματιδίων τα οποία δεν έχουν καθιζάνει και εξακολουθούν να βρίσκονται σε αιώρηση.
- Ορίζουμε έναν κρίσιμο χρόνο καθίζησης t_o , ο οποίος αντιστοιχεί σε υδραυλικό χρόνο παραμονής στη δεξαμενή καθίζησης με έναν κρίσιμο ρυθμό υπερχείλισης V_s .
- Μόνο τα σωματίδια με ταχύτητα μεγαλύτερη από V_o θα απομακρύνονται πλήρως ενώ αυτά με μικρότερη ταχύτητα θα απομακρύνονται κατά το κλάσμα V_p/V_s .

- Η ολική απομάκρυνση (κλάσμα) των σωματιδίων δίνεται από τη σχέση:

$$\text{κλάσμα που απομακρυνεται} = (1 - x_s) + \int_0^{x_s} \frac{V_p}{V_s} dx$$

x_s = κλάσμα σωματιδίων με ταχύτητα μικρότερη του V_s

$(1-x_s)$ = κλάσμα σωματιδίων με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση του V_s

$$\int_0^{x_s} \frac{V_p}{V_s} dx = \frac{1}{V_s} \int_0^{x_s} V_p dx = \text{κλάσμα σωματιδίων που απομαρυνονται με } V_p < V_s$$

- Για διακεκριμένα σωματίδια σε μία δεδομένη περιοχή ταχύτητας καθίζησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη έκφραση:

$$\text{Ολικό κλάσμα που απομακρυνεται} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_{ni}}{V_c} (n_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

V_n = μέση ταχύτητα σωματιδίων στην περιοχή ταχύτητας i

n_i = αριθμός σωματιδίων στην περιοχή ταχύτητας i

Μελετήθηκε η καθίζηση ενός αιωρήματος διακεκριμένων σωματιδίων σε μία στήλη ύψους 2,5m και διαμέτρου 25cm. Το σημείο δειγματοληψίας βρισκόταν σε βάθος 2m. Τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας (ως συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων) για διάφορους χρόνους καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Χρόνος, min	0	50	100	150	200	250	300	400
Ct mg/l	250	143	128	100	67	43	26	15

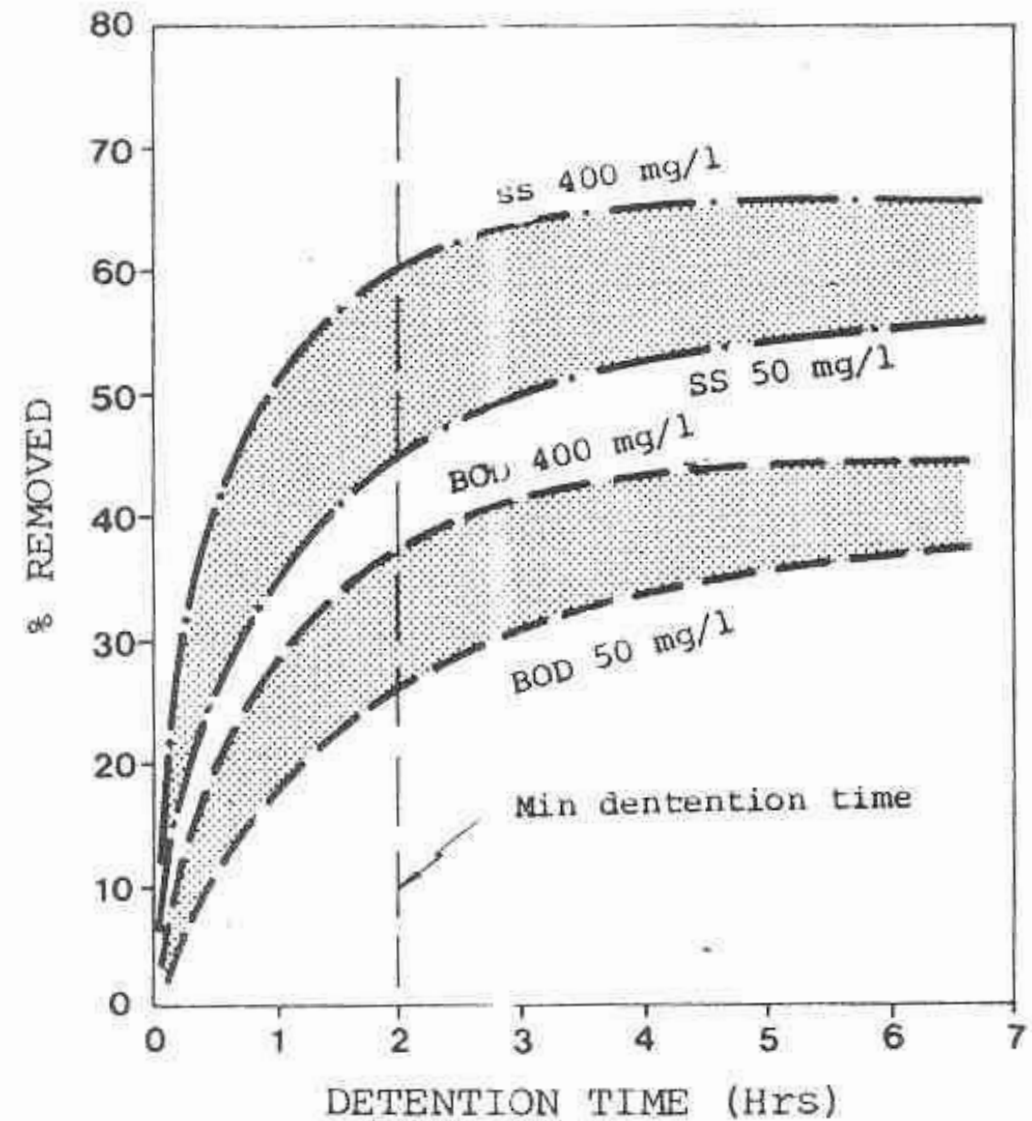
Ποιο είναι το κλάσμα των στερεών σωματιδίων που θα απομακρυνθεί σε μία δεξαμενή καθίζησης, όταν ο ρυθμός υπερχείλισης είναι $0,9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$

- Απομακρύνει κατά μέσο όρο το 50-70% των αιωρούμενων στερεών, και 25-30% του BOD_5 .
- Ορθογωνικές: ροή κατά μήκος της μεγάλης πλευράς (μικρότερα προβλήματα βραχυκύκλωσης της ροής, μικρότερη απαίτηση χώρου)
- Κυκλικές: με ακτινική ροή από το κέντρο προς την περιφέρεια ή αντίστροφα (μικρότερο κόστος κατασκευής, πιο αξιόπιστο σύστημα σάρωσης ιλύος)
- Ανεστραμμένη πυραμίδα: με ροή από κάτω προς τα πάνω
- Imhoff (διθάλαμη) (σε μικρές μονάδες, $<35-40 \text{ m}^3/\text{d}$)
- Σχετικά απλή και φθηνή διαδικασία
- Η ιλύς που προκύπτει από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης περιέχει κυρίως ανόργανες ουσίες, δηλαδή πολλά αδρανή υλικά όπως άμμο, γυαλιά, χώμα κλπ.

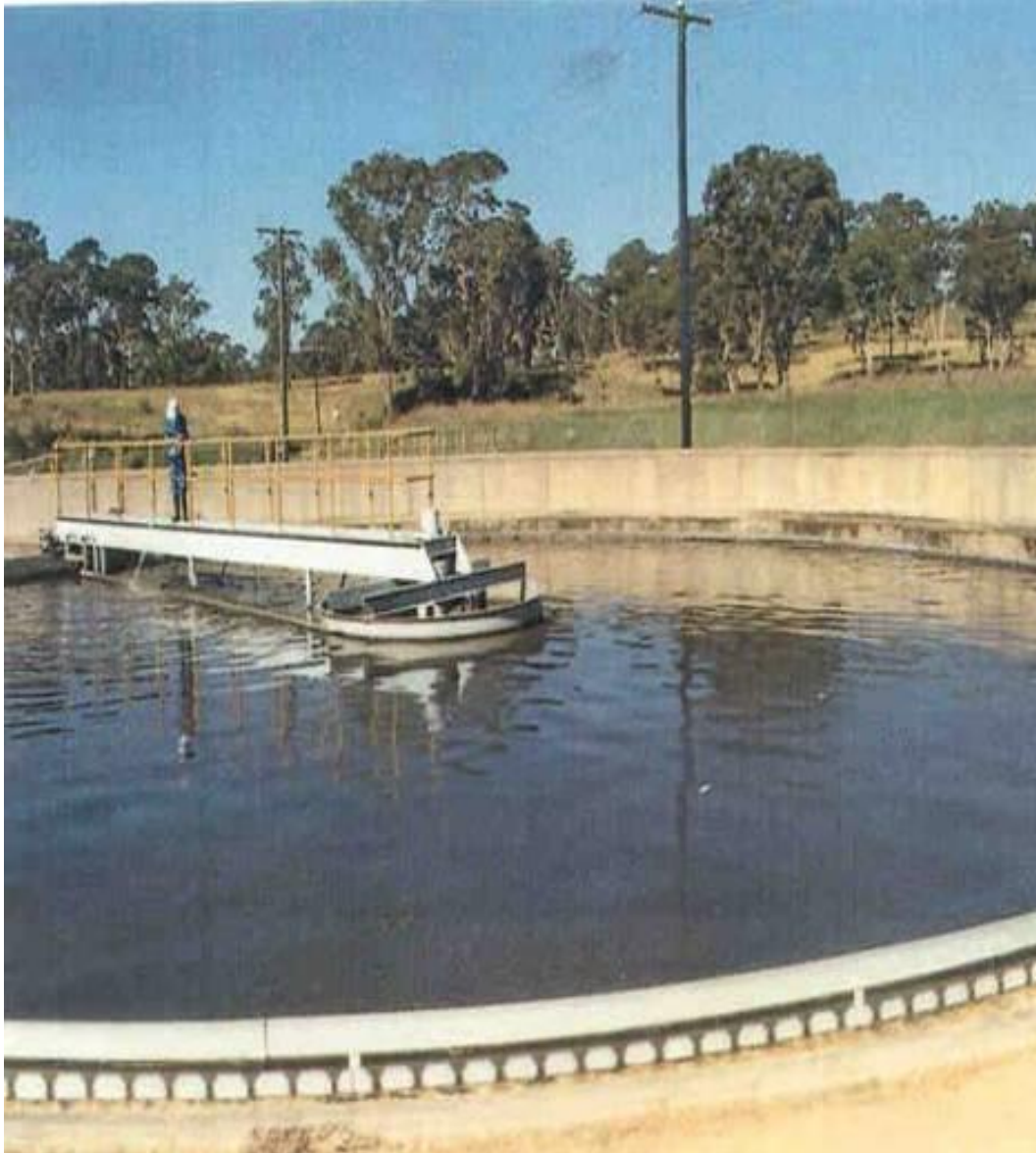
- Περιέχει και ένα ποσοστό οργανικών συστατικών καθώς τα απόβλητα δεν έχουν υποστεί ακόμα βιολογική επεξεργασία
- Επιφανειακά ξέστρα απομακρύνουν επιπλέοντα υλικά (αφρούς, γράσα κλπ)
- Αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή Πρωτοβάθμιας Ιλύος (Λάσπης) και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή που είναι διαθέσιμη προς περαιτέρω επεξεργασία.
- Τα καθιζάνοντα στερεά αντλούνται προς μία δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης ή άλλη διαδικασία αφυδάτωσης
- Η περιεκτικότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος σε στερεά είναι περίπου 2-4%.
- Η πρωτοβάθμια ιλύς που αφυδατώνεται σχετικά εύκολα.

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

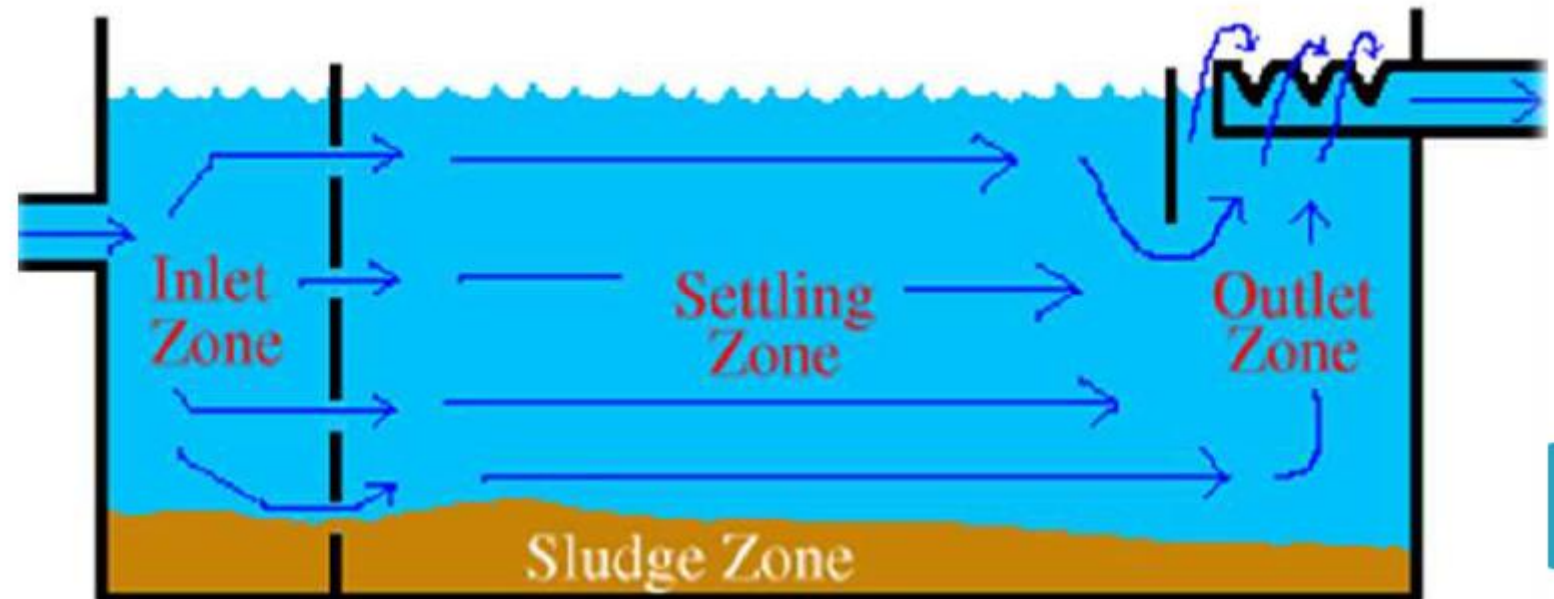
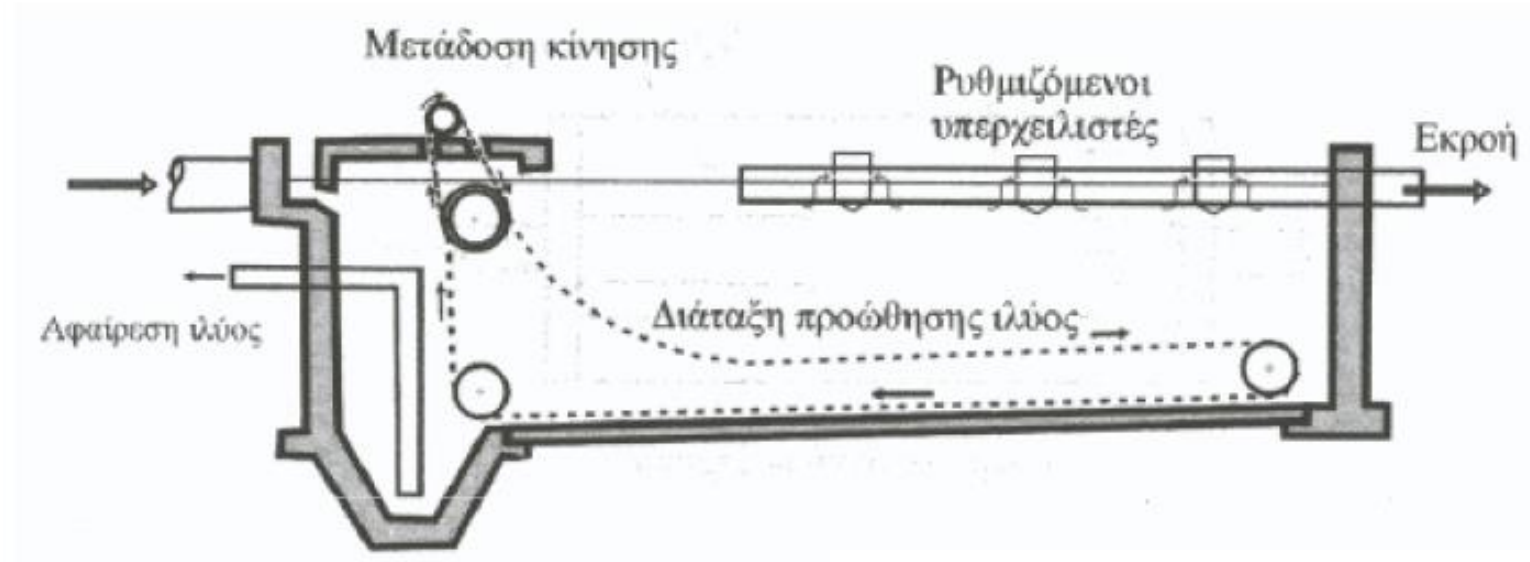
% απομάκρυνση BOD και αιωρούμενων
στερεών με τον χρόνο παραμονής



ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ



ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

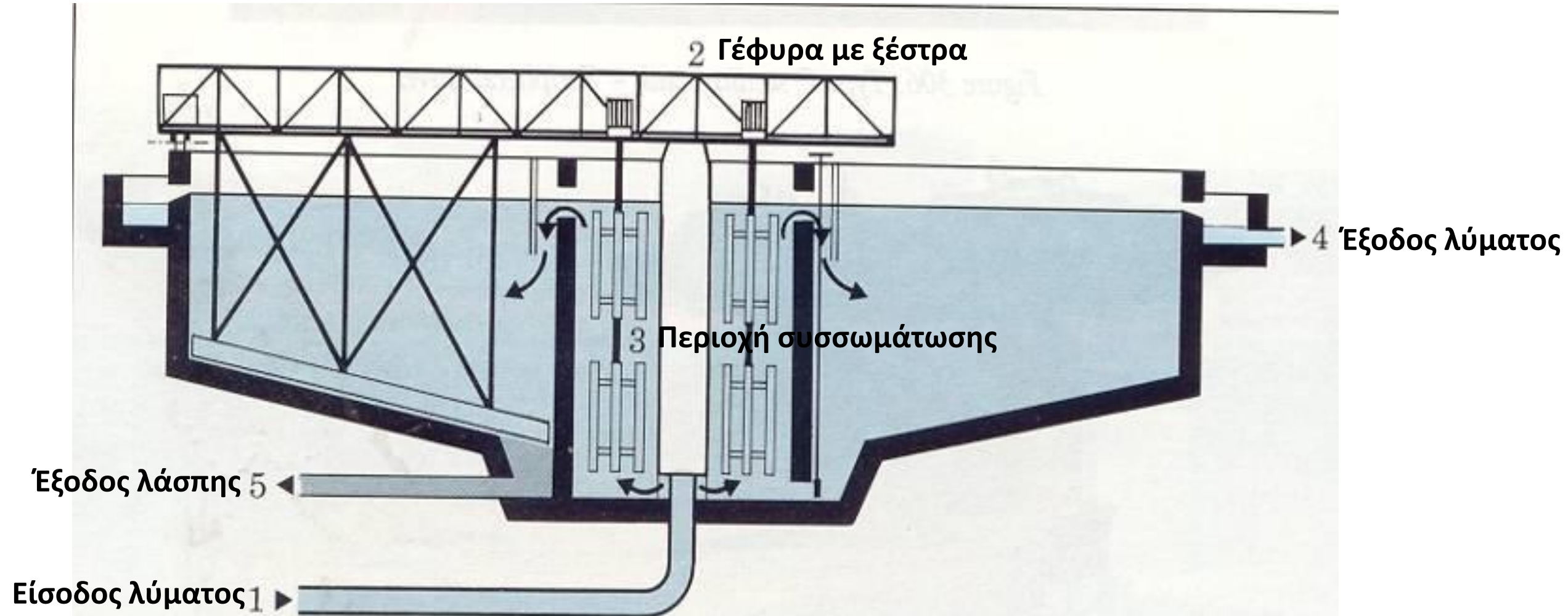


ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

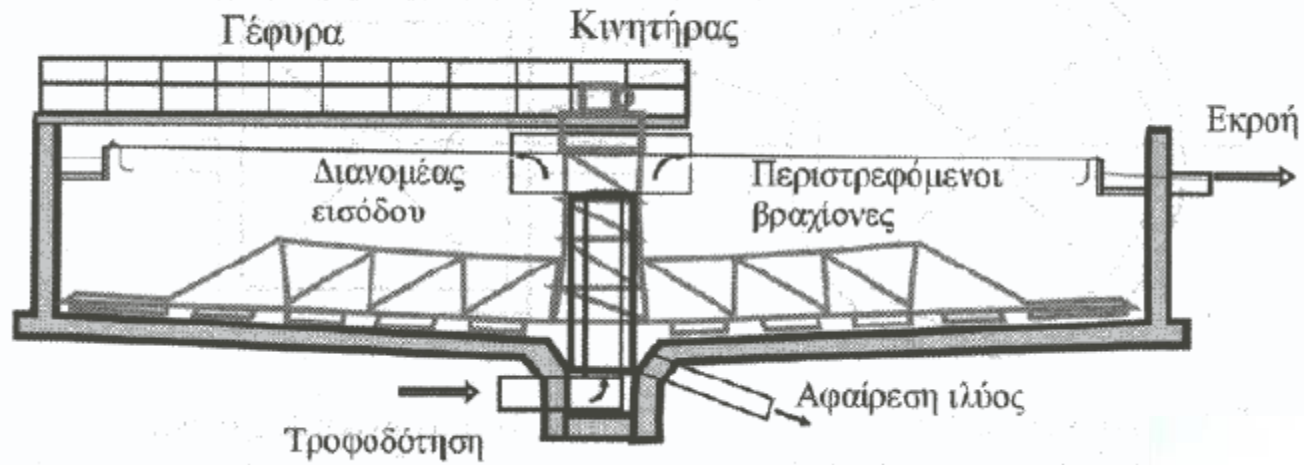


ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

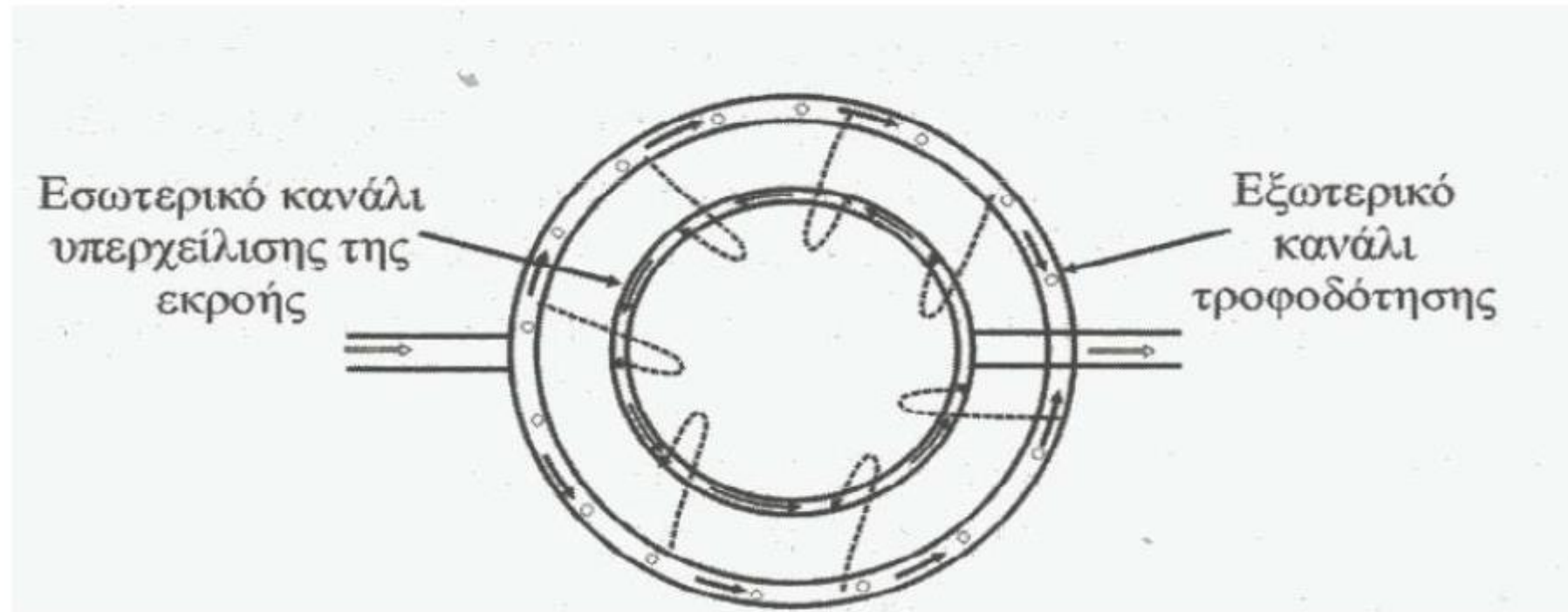




ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ



Τροφοδοσία από εξωτερικό περιμετρικό κανάλι



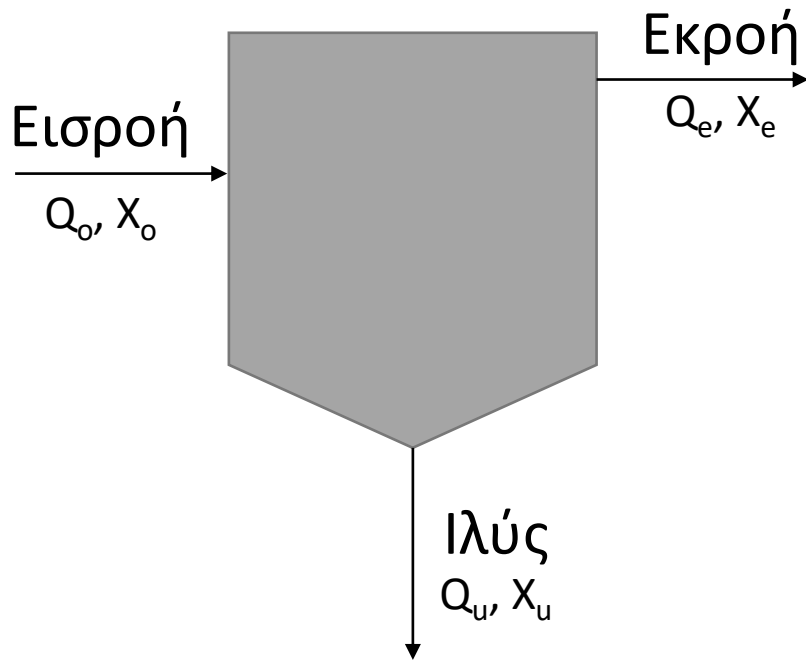
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ



ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

Είδος νερού-αποβλήτου	Ρυθμός υπερχείλισης (ταχύτητα υπερχείλισης) (m ³ /m ² d)		Φόρτιση Υπερχειλιστών (m ³ /m ² d)	Χρόνος παραμονής (h)	Βάθος (m)
	Για τη Μέση Παροχή	Για τη Μέγιστη Ωριαία Παροχή			
Αστικά λύματα	32-48	80-120	125-500	1,5-2,5	2,5-5
Ενεργός ιλύς	16-32	40-48	185-235	2-2,5	3,5-5

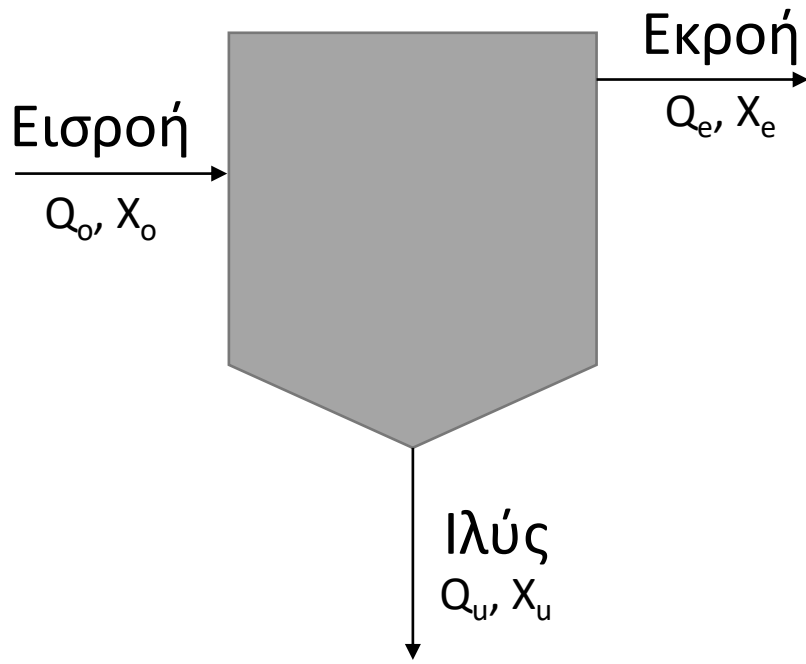
Ορθογώνιες δεξαμενές	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Βάθος	3 - 5 m	4,3 m
Μήκος	15 - 90 m	24 - 40 m
Πλάτος	3 - 24 m	5 - 10 m
Ταχύτητα ξέστρων	0,6 - 1,2 m/min	0,9 m/min
Κυκλικές δεξαμενές		
Βάθος 3 - 5 m 4,3 m	3 - 5 m	4,3 m
Διάμετρος	3 - 60 m	12 - 45 m
Κλίση πυθμένα	1/16 - 1/6	1 / 12
Ταχύτητα ξέστρων	0,02 - 0,05 r/min	0.03 r/min



- Q_o = υδραυλικό φορτίο υγρού αποβλήτου (m^3/d)
- X_o = αιωρούμενα στερεά στην είσοδο (mg/L)
- Q_e = υδραυλικό φορτίο στην εκροή - υπερχείλιση (m^3/d)
- X_e = αιωρούμενα στερεά στην εκροή (mg/L)
- Q_u = υδραυλικό φορτίο με συμπυκνωμένα στερεά στον πυθμένα (m^3/d)
- X_u = συγκέντρωση στερεών στο συμπύκνωμα (mg/L)

Ισοζύγιο μάζας για τη ροή: $Q_o = Q_e + Q_u \rightarrow Q_u = Q_o - Q_e$

Ισοζύγιο μάζας για τα αιωρούμενα στερεά: $Q_o X_o = Q_e X_e + Q_u X_u$



$$\rightarrow Q_o X_o = Q_e X_e + (Q_o - X_e) X_u$$

$$\rightarrow Q_o X_o = Q_e X_e + Q_o X_u - Q_e X_u$$

$$\rightarrow Q_e X_e - Q_e X_u = Q_o X_o - Q_o X_u$$

$$Q_e = Q_o \frac{(X_o - X_u)}{(X_e - X_u)}$$

Επιλογή πλήθους δεξαμενών (σε μεγάλες παροχές)

- παροχή σχεδιασμού
- διαχρονική αύξηση της παροχής
- εποχιακές διακυμάνσεις παροχές

Προβλήματα

- βραχυκύκλωμα ροής, λόγω επαναιώρησης στερεών που έχουν καθιζάνει, κατασκευαστικών χαρακτηριστικών (πχ διάταξη εισόδου-εξόδου), γεωμετρικών χαρακτηριστικών ΔΚ, ρεύματα στη ΔΚ, επίδραση ανέμων (προστατευτικά πετάσματα γύρω από τη ΔΚ)

Παράμετροι σχεδιασμού

- Επιφανειακή υδραυλική φόρτιση (Q/A)
- Υδραυλικός χρόνος παραμονής (V/Q)
- Ταχύτητα ροής στον πυθμένα (V_{sc})
- Φόρτιση υπερχειλιστή ($q_v = Q/L$, L =μήκος υπερχειλιστή)
- Πλευρικό βάθος (1-5 m)
- Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών
- Απομάκρυνση BOD
- Αναλογίες διαστάσεων

Ορθογωνικές

μήκη μέχρι 90 m (συνήθως 40-60 m)

πλάτος έως 25 m

$$L/W = 15/1 - 25/1$$

ελάχιστο βάθος στην εκροή: 3 m

$$W/H = 4/1 - 5/1$$

$$L/W = 4/1 - 8/1$$

Κυκλικές

διάμετρος μέχρι 50 m (συνήθως 10-40 m), βάθη 2-4 m

$$d/H = 10/1 - 15/1$$

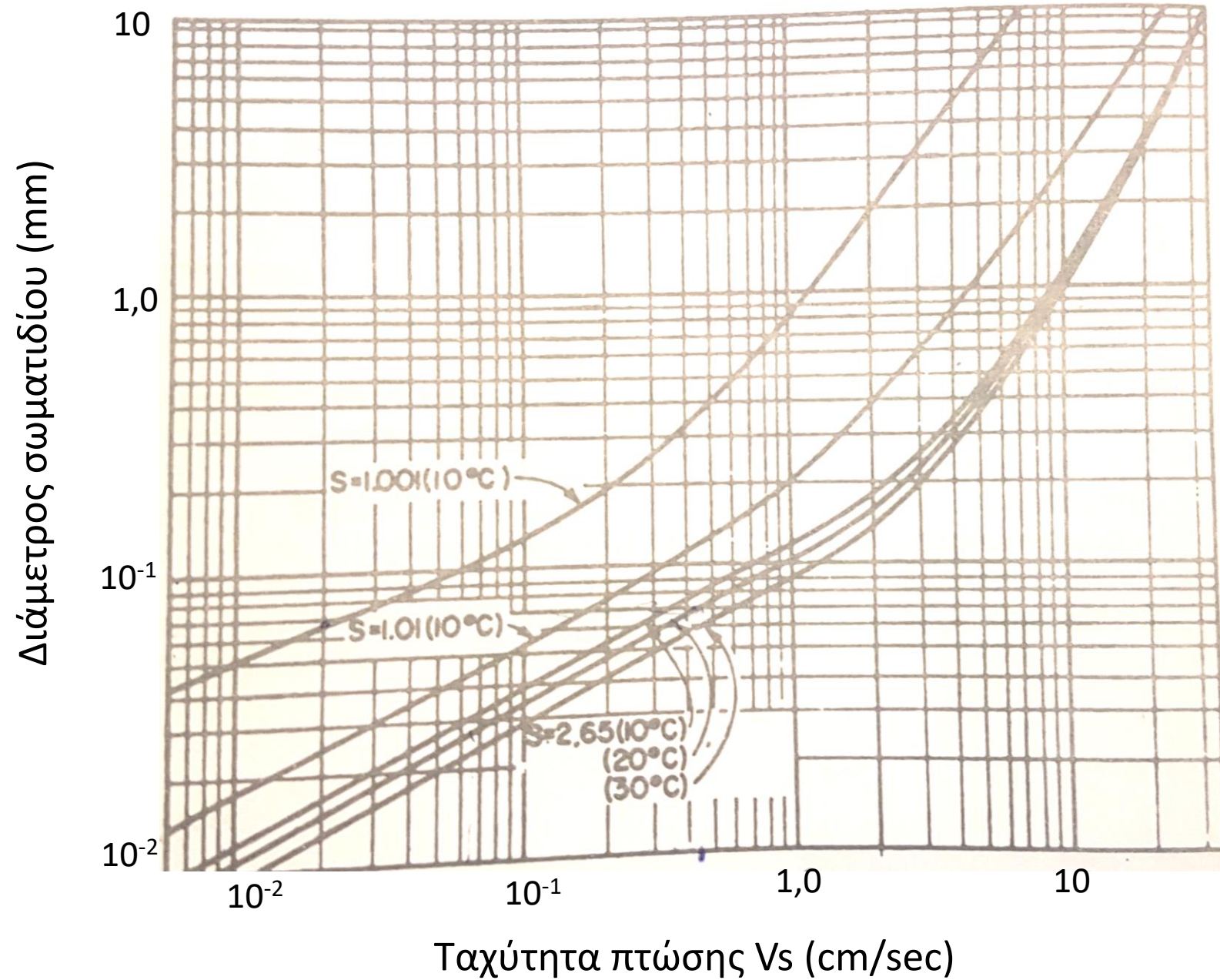
ελεύθερο βάθος στην εκροή: 2,5 m και στο κέντρο: 4 m

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Λαμβάνουμε αιώρημα άμμου (ειδικό βάρος $s=2,65 \text{ g/cm}^3$) σε νερό (20°C) με ένα ενιαίο μέγεθος κόκκων ($d=0,07 \text{ mm}$). Η ογκομετρική ροή είναι $3785 \text{ m}^3/\text{day}$.

- 1) να υπολογιστεί το εμβαδόν της οριζόντιας επιφάνειας της δεξαμενής εξάμμωσης (A) για αφαίρεση μέσω καθίζησης 70% των σωματιδίων
- 2) με την υπόθεση ότι αντί του ενιαίου μεγέθους των σωματιδίων υπάρχει πλησίον των σωματιδίων με διάμετρο $d=0,07 \text{ mm}$ και μια δεύτερη ομάδα με επίσης ενιαία αλλά μεγαλύτερη διάμετρο, τα οποία καθιζάνουν ολικά στο σύστημα καθίζησης σχεδιασμένο για 70% αφαίρεση σωματιδίων με $d=0,07 \text{ mm}$, να προσδιοριστεί ποια είναι η ελάχιστη διάμετρος σωματιδίων για ολική καθίζηση.
- 3) Για την περίπτωση 2, να προσδιοριστεί η συρτική ταχύτητα V_{sc} έτσι ώστε όλα τα σωματίδια με χαμηλότερη ταχύτητα καθίζησης από ότι αυτά που διαχωρίζονται ολικά, να εμφανίζονται στην έξοδο. Ποιος συνδυασμός μήκους, πλάτους, βάθους για τη δεξαμενή καθίζησης πληρεί αυτές τις απαιτήσεις;

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

(1) Από το σχήμα για $d=0,07$ mm και $s=2,65$ (20°C) λαμβάνουμε

$$V_s = 0,45 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = \left(0,45 \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right) \cdot \left(\frac{3600\text{s} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot 100\text{cm}}\right) = 16,2 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 389 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

Η μέγιστη επιτρεπτή υδραυλική επιφανειακή φόρτιση (LRV) σε $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ είναι:

$$L_{RV} = V_s = \frac{Q}{A} = 389 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Το απαιτούμενο εμβαδόν της επιφάνειας A (ελάχιστο!) για 100% παρακράτηση είναι:

$$A = \frac{Q}{V_s} = \frac{3785 \text{ m}^3/\text{d}}{389 \text{ m/d}} = 9,73 \text{ m}^2$$

Για 70% παρακράτηση, ο χρόνος παραμονής (και αντίστοιχα η επιφάνεια) μειώνεται κατά 30%. Έτσι το ζητούμενο εμβαδόν είναι:

$$A = 9,73 \times 0,7 = 6,81 \text{ m}^2$$

Υπό τις συνθήκες αυτές, η αντιστοιχούσα ταχύτητα καθίζησης για να λάβει χώρα 100% παρακράτηση είναι:

$$V_s = \frac{3785 \text{ m}^3/\text{d}}{6,81 \text{ m}^2} = 556 \frac{\text{m}}{\text{d}} \left(0,642 \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$$

$$L_{RV} = V_s = \frac{Q}{A} = 556 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

(2) Εάν έχουμε μια κατανομή μεγέθους σωματιδίου αντί μιας ενιαίας διαμέτρου $d=0,07 \text{ mm}$, λαμβάνουμε από το σχήμα τη διάμετρο, η οποία είναι μεγαλύτερη από $0,07 \text{ mm}$ και για την οποία η ταχύτητα καθίζησης είναι ίση με $V_s = 0,64 \text{ cm/s}$ σε $d=0,085 \text{ mm}$ (100% αφαίρεση).

Εάν η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων στην είσοδο είναι γνωστή, μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε την ποσοστιαία απομάκρυνση αντίστοιχα για κάθε ομάδα σωματιδίων δοθείσας διαμέτρου

(3) Η συρτική ταχύτητα V_{sc} η οποία απομακρύνει όλα τα σωματίδια χαμηλότερης ταχύτητας καθίζησης από ότι αυτά που απομακρύνονται ολικά, υπολογίζεται από:

$$V_{sc} = \left[\frac{8 \cdot \beta \cdot g \cdot d \cdot (s - 1)}{f} \right]^{1/2} = \left[\frac{8 \cdot 0,04 \cdot 9800 \cdot 0,07 \cdot (2,65 - 1)}{0,03} \right]^{1/2} = 110 \text{ mm/s}$$

Υποθέτοντας ότι η άμμος περιέχει δύο μεγέθη 0,07 mm και 0,085 mm, η συρτική ταχύτητα $V_{sc} = 11 \text{ cm/s}$ ξεπλένει όλα τα σωματίδια με $d=0,07 \text{ mm}$, αφήνοντας πίσω αυτά με $d=0,085 \text{ mm}$.

Το εμβαδόν της κατακόρυφης επιφάνειας A' υπολογίζεται από την:

$$A' = \frac{Q}{V_{sc}} = \frac{3785 \text{ m}^3/\text{d}}{9504 \text{ m/d}} = 0,39 \text{ m}^2$$

Κάθε πρακτικός συνδυασμός μήκους-πλάτους-βάθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετήσει τις απαιτήσεις $A=6,81 \text{ m}^2 = LW$ και $A'=0,39 \text{ m}^2 = WH$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ας υποθέσουμε για το Παράδειγμα 1, ότι αντί ενός ομοιόμορφου μεγέθους σωματιδίων, έχουμε μια κατανομή κόκκων με διαφορετική διάμετρο. Επίσης είναι $s=2,65 \text{ g/cm}^3$ και $T=20^\circ\text{C}$. Υποθέτουμε ότι ανά 100 kg άμμου έχουμε την ακόλουθη κατανομή μεγέθους σωματιδίων:

Ομάδα	Kg εκάστοτε μεγέθους κόκκων	Μέγεθος κόκκων (mm)
1	50	0,085
2	20	0,070
3	20	0,060
4	10	0,050

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

(1) Ομάδα	(2) kg εκάστοτε μεγέθους κόκκων	(3) Μέγεθος κόκκων d (mm)	(4) Vs (cm/s) (από σχήμα)	(5) % αφαίρεση = $[(4)/0,642] \times 100$	(6) Κλάσμα παρακράτησης (5) / 100	(7) Kg παρακρατημένου υλικού (7) = (2) x (6)
1	50	0,085	0,642	$(0,642/0,642)100=100$	1,00	50,0
2	20	0,070	0,450	$(0,45/0,642)100=70$	0,70	14,0
3	20	0,060	0,350	$(0,35/0,642)100=54,5$	0,545	10,9
4	10	0,050	0,220	$(0,22/0,642)100=34,3$	0,343	3,43
	100					78,3

Οι αντίστοιχες ταχύτητες καθίζησης για κάθε ομάδα σωματιδίων λαμβάνονται από το διάγραμμα και παρουσιάζονται στη στήλη (4).

Η ποσοστιαία αφαίρεση από το υγρό υπολογίζεται στη στήλη (5) και εκφράζεται ως κλάσμα στη στήλη (6). Η μάζα της άμμου που παρακρατάται με καθίζηση για κάθε ομάδα σωματιδίων αναφέρεται στη στήλη (7). Βλέπουμε, 78,3% της αρχικής μάζας σωματιδίων καθιζάνει

Εάν η A' αυξηθεί ($> 0,39 \text{ m}^3$), μεγαλώνει η παρακράτηση στερεών, διότι μειώνεται η έκπλυση.

Αν λάβουμε $A'=0,78 \text{ m}^2$ δηλ διπλάσια, η τιμή V_{sc} γίνεται αντίστοιχα 55 mm/s , δηλ υποδιπλασιάζεται.

Επειδή από την εξίσωση της V_{sc} προκύπτει ότι $d = 0,07/4 = 0,0175 \text{ mm}$, για να έχουμε $V_{sc} = 55 \text{ mm/s}$.

Στην περίπτωση αυτή, μόνο σωματίδια με $d \leq 0,0175 \text{ mm}$ εκπλύνονται.

Συνεπώς η ποσότητα που αφαιρείται είναι $78,3 \text{ kg}/100\text{kg}$ άμμου, δηλ $78,3\%$

$$\text{Με } A = 6,81 \text{ m}^2 = LW \quad \text{και} \quad A' = 0,78 \text{ m}^2 = WH$$

Λαμβάνοντας $H = 1,2 \text{ m}$,

$$W = 0,78 / 1,2 = 0,65 \text{ m} \quad \text{και} \quad L = 6,81 / 0,65 = 10,48 \text{ m}$$

Έχουμε λοιπόν για σχεδιασμό ένα στενό κανάλι καθίζησης $10,48 \text{ m}$ σε μήκος, $0,65 \text{ m}$ πλάτος και $1,2 \text{ m}$ βάθος.

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι:

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι:

$$\tau = \frac{V_R}{Q}$$

Όγκος δεξαμενής: $V_R = 8,17 \text{ m}^3$ (=HWL)

Όγκος ροής: $Q = 3785 \text{ m}^3/\text{d}$

$$\tau = \frac{8,17 \text{ m}^3}{3785 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,00216 \text{ d} = 3,1 \text{ min}$$

Ένα υγρό απόβλητο με ένα υδραυλικό φορτίο $5670 \text{ m}^3/\text{d}$ περιέχει κατά μέσο όρο 430 mg/L αιωρούμενα στερεά. Οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα έχουν ληφθεί από πιλοτικές μελέτες.

Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (SS) στα αναφερόμενα βάθη

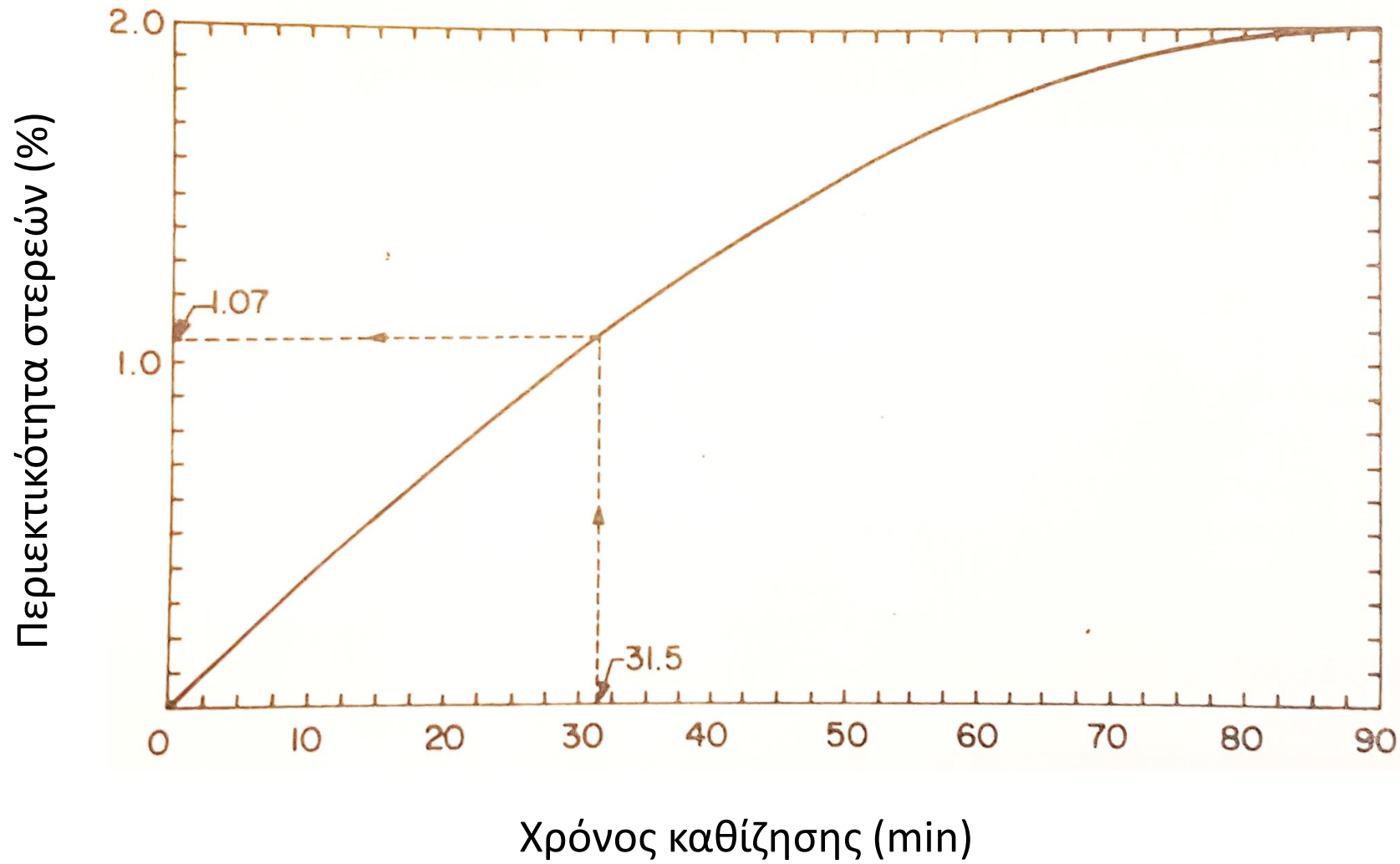
Χρόνος (min)	2 ft	4 ft	6 ft
5	356,9	387,0	395,6
10	309,6	346,2	365,5
20	251,6	298,9	316,1
30	197,8	253,7	288,1
40	163,4	230,1	251,6
50	144,1	195,7	232,2
60	116,1	178,5	204,3
75	107,5	143,2	180,6

Ένα υγρό απόβλητο με ένα υδραυλικό φορτίο $5670 \text{ m}^3/\text{d}$ περιέχει κατά μέσο όρο 430 mg/L

αιωρούμενα στερεά. Οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα έχουν ληφθεί από πιλοτικές μελέτες.

- 1) να σχεδιαστεί κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δηλ να προσδιοριστεί η διάμετρος και το δραστικό βάθος, κατάλληλη για αφαίρεση 50% αιωρούμενων στερεών. Να ληφθεί υπόψη ένας συντελεστής για την κλιμάκωση του μεγέθους 1,25
- 2) να υπολογιστεί η ημερήσια ποσότητα του συμπυκνώματος (ιλύος, kg/d), η ποσότητα στερεών πρωτογενούς ιλύος στο συμπύκνωμα που καθιζάνουν (kg/d), και το υδραυλικό φορτίο (m^3/min).
Να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία από το διάγραμμα.
- 3) Ποια θα ήταν η ποσοστιαία αφαίρεση στερεών του συστήματος καθίζησης που σχεδιάστηκε στο 1ο μέρος αν η ογκομετρική ροή διπλασιαζόταν;

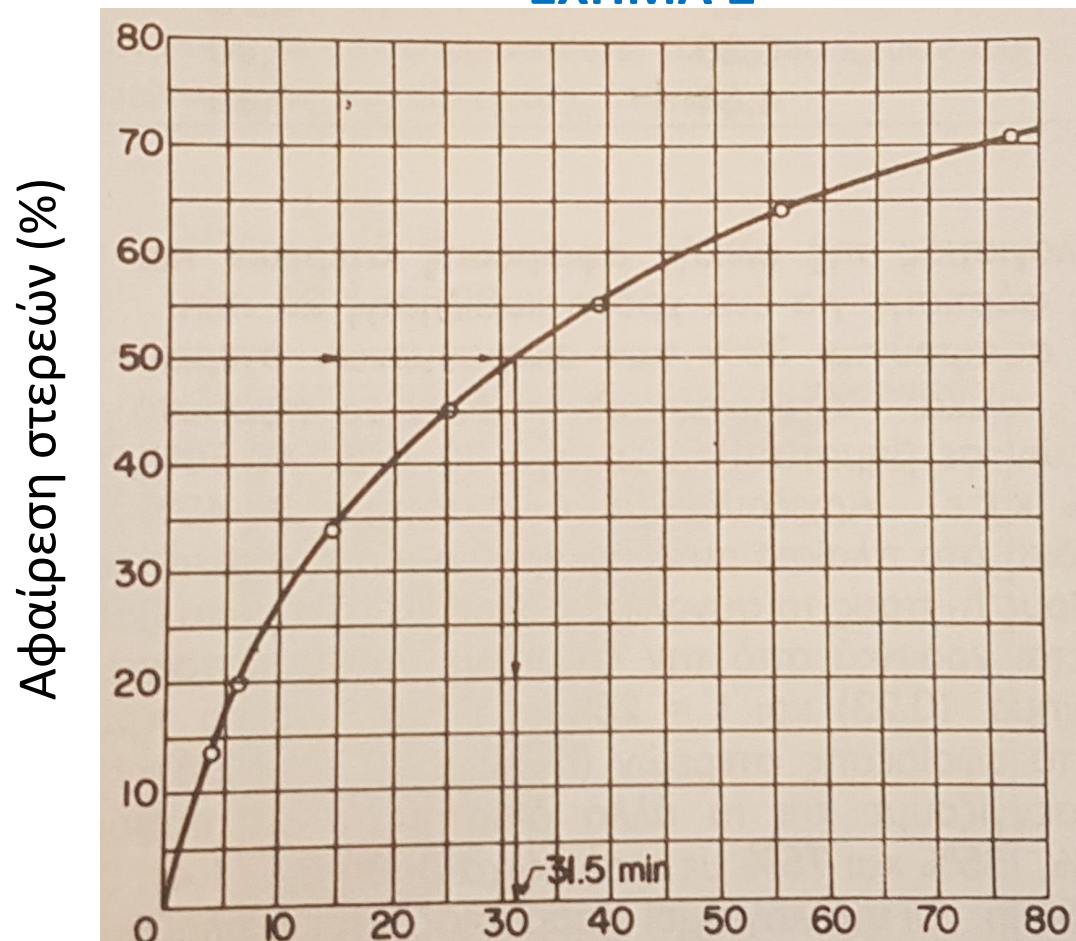
ΣΧΗΜΑ 1



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

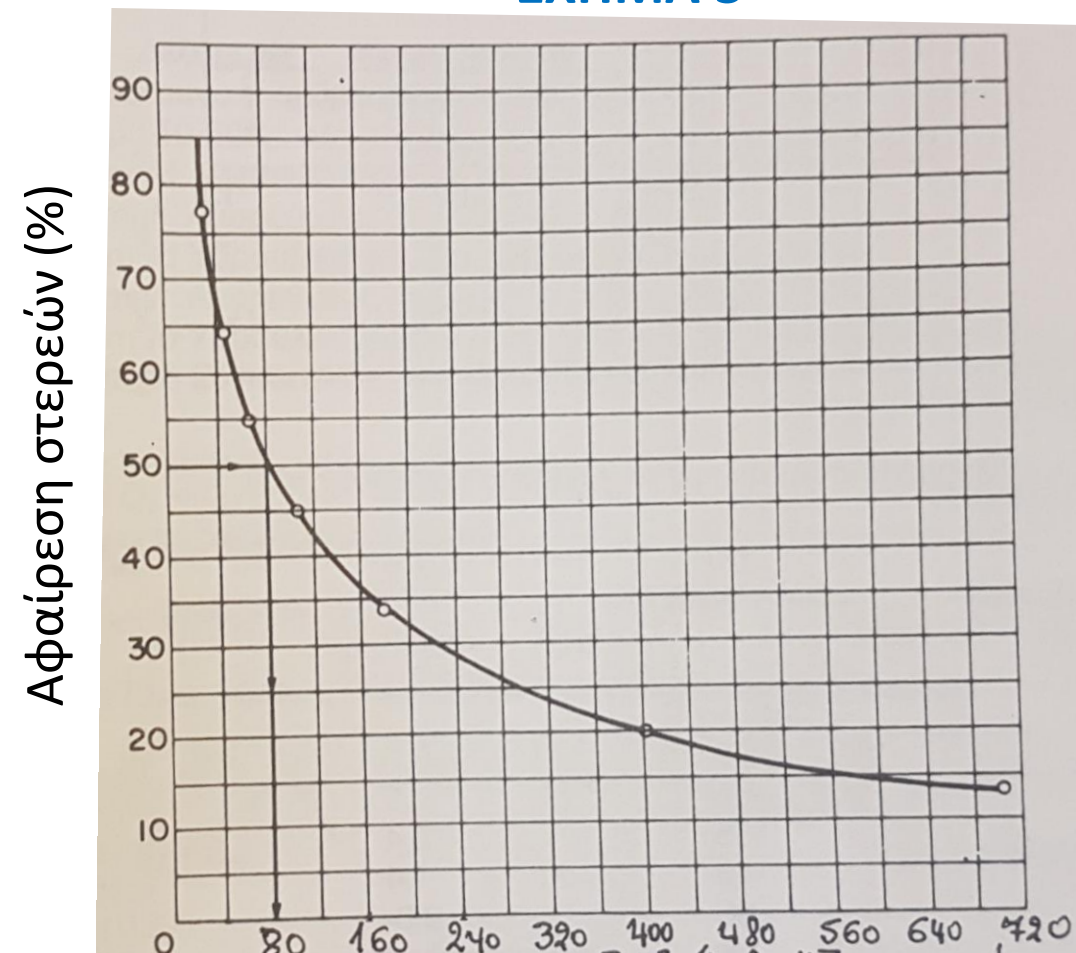
Δίνονται και τα πειραματικά αποτελέσματα

ΣΧΗΜΑ 2



Χρόνος παραμονής (min)

ΣΧΗΜΑ 3



Υδραυλική επιφανειακή φόρτιση, L_{RV} ($m^3/m^2/d$)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

(1) Από τα σχήματα 2 και 3 για 50% αφαίρεση λαμβάνουμε

Σχήμα 2: $t = 31,5 \text{ min}$

Σχήμα 3: $L_{RV} = 81 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

Χρησιμοποιώντας συντελεστή 1,25 για την κλιμάκωση του μεγέθους

$$t = 31,5 \times 1,25 = 39,4 \text{ min}$$

$$L_{RV} = 81 / 1,25 = 64,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

Επειδή στην προκειμένη περίπτωση έχουμε ένα σύστημα συνεχούς ροής, θα χρησιμοποιήσουμε περαιτέρω τον μέσο υδραυλικό χρόνο παραμονής τ , λαμβάνοντας $t = \tau = 31,5 \text{ min}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Από το σχήμα 1 λαμβάνουμε για $t = 31,5 \text{ min} = (\tau)$

$$X_u = 1,07\% (10700 \text{ mg/L} \sim 10,7 \text{ g/L})$$

Για 50% αφαίρεση

$$X_e = 0,5 X_o = 0,5 \times 430 = 215 \text{ mg/L} (0,215 \text{ g/L})$$

Υπολογισμός Q_e και Q_u

$$Q_e = Q_o \frac{(X_o - X_u)}{(X_e - X_u)} = \frac{5670(10,7 - 0,43)}{(10,7 - 0,125)} = 5553 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_u = Q_o - Q_e = 5670 - 5553 = 117 \text{ m}^3/\text{d}$$

Υπολογισμός εμβαδού επιφάνειας (A), διαμέτρου (D) και βάθους (H) της δεξαμενής καθίζησης

$$A = \frac{Q_e}{L_{RV}} = \frac{5553}{64,8} = 85,7 \text{ m}^2$$

$$D = \left(\frac{4 \cdot A}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \cdot 85,7}{3,14} \right)^{1/2} = 10,5 \text{ m}$$

$$H = \frac{V}{A} = \frac{Q_o \cdot \tau}{A} = \frac{5670 \cdot 0,02736 \left[\left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \cdot \text{d} \right]}{85,7 \text{ m}^2} = 1,8 \text{ m}$$

με $Q_o \cdot \tau = V \approx$ όγκος δεξαμενής καθίζησης

(2) $Q_u = 117 \text{ m}^3/\text{d}$

$$\text{kg/d συμπυκνώματος} = (117 \text{ m}^3/\text{d}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) = 117000 \text{ kg/d}$$

$$\text{kg/d στερεών} = (117 \text{ m}^3/\text{d}) \times (10,7 \text{ kg/m}^3) = 1254,9 \text{ kg/d}$$

$$\text{Υδραυλικό φορτίο} = Q_u = 117 \text{ m}^3/\text{d} \approx 0,081 \text{ m}^3/\text{min}$$

(3) Αν διπλασιαστεί η ογκομετρική παροχή, υποδιπλασιάζεται ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής

$$\tau = 31,5 / 2 = 15,8 \text{ min}$$

και από το σχήμα 3 λαμβάνουμε ποσοστιαία αφαίρεση στερεών 36%.

Ζητείται να σχεδιαστεί μια δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η οποία θα δέχεται τα λύματα μίας πόλης ισοδύναμου πληθυσμού 40.000 κατοίκων. Για το σχεδιασμό της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης να ληφθούν υπ' όψιν τα εξής:

- Παροχή: 175 L/κάτοικο/ημέρα
- Λόγος Μέγιστη προς Μέση παροχή = 2,60

Να υπολογιστούν τα εξής:

- Η απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης
- Ο όγκος και οι διαστάσεις της δεξαμενής
- Η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος, αν δεχτούμε ότι η μέση συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στα λύματα είναι 300 mg/L, το ποσοστό απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή καθίζησης ανέρχεται σε 65% και η συγκέντρωση των στερεών στην πρωτοβάθμια ιλύ είναι 20.000 mg/L