



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](mailto:astefanakis@enveng.tuc.gr)

Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

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

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

Απρίλιος 2021



# Καθίζηση



Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στοχεύει στην περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών, ενώ επίσης μπορεί να στοχεύει και στη μείωση των αζωτούχων (N) και φωσφορικών ενώσεων (P).

Δηλαδή, αφαιρούνται κατά βάση τα βιολογικά απόβλητα, όπως είναι τα ανθρώπινα απόβλητα, τα απορρυπαντικά κλπ.

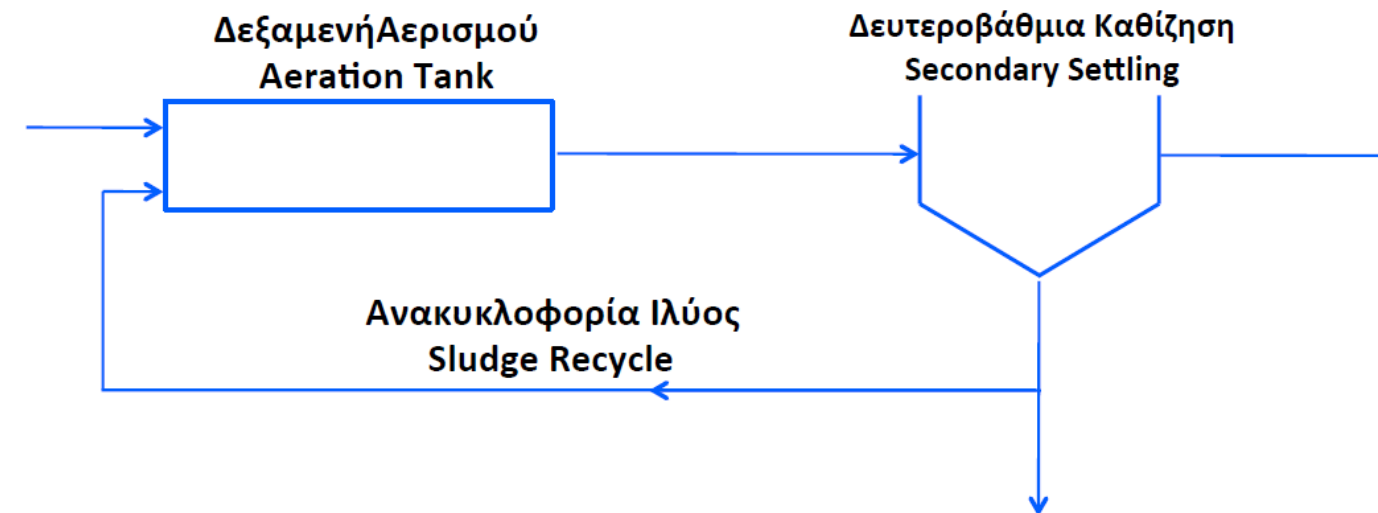
Συνήθως χρησιμοποιούνται αερόβια συστήματα **βιολογικής επεξεργασίας**.

Από τα συστήματα αυτά, το πιο διαδεδομένο είναι αυτό της **ενεργού ιλύος**.

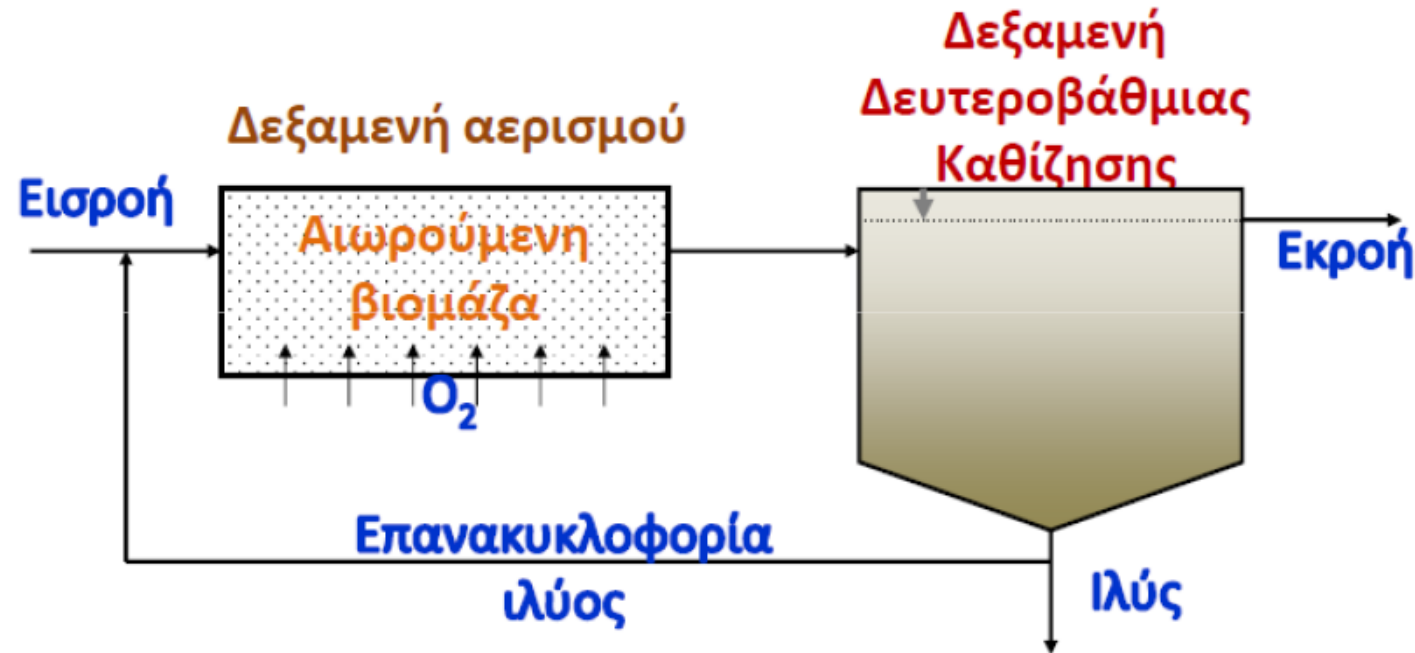
Το σύστημα ενεργού ιλύος αποτελείται από μία **δεξαμενή αερισμού** και μία δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Στη δεξαμενή αερισμού γίνεται ανάμιξη και αερισμός των υγρών αποβλήτων με την αιωρούμενη βιομάζα, δηλαδή με το μικροβιακό εναιώρημα.

Οι μικροοργανισμοί προσροφούν διαλυμένες οργανικές ενώσεις, τις οξειδώνουν σε  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  και νέα βιομάζα και εν συνεχεία τις απομακρύνουν από το ρεύμα των αποβλήτων.



## Διάγραμμα ροής



Σύστημα ενεργού ιλύος : δυο δεξαμενές σε σειρά

1. δεξαμενή αερισμού (ΔΑ) και
2. δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (ΔΔΚ)

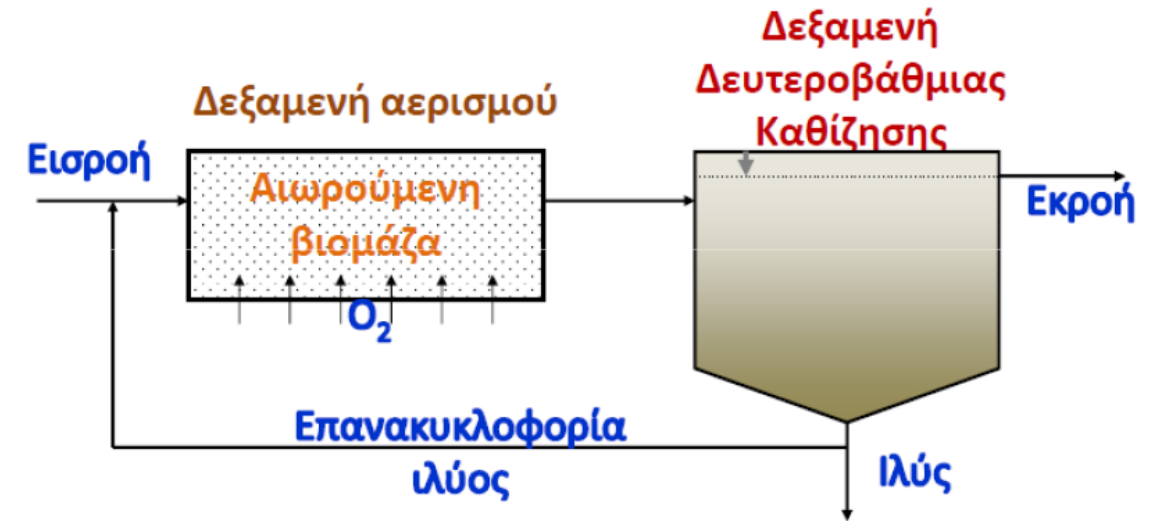
# ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στη δεξαμενή αερισμού, τα εισερχόμενα λύματα έρχονται σε επαφή με αιωρούμενα συσσωματώματα μικροοργανισμών (βιοκροκίδες), υπό αερόβιες συνθήκες.

Μέρος του οργανικού φορτίου οξειδώνεται σε απλά τελικά προϊόντα ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3$ ).

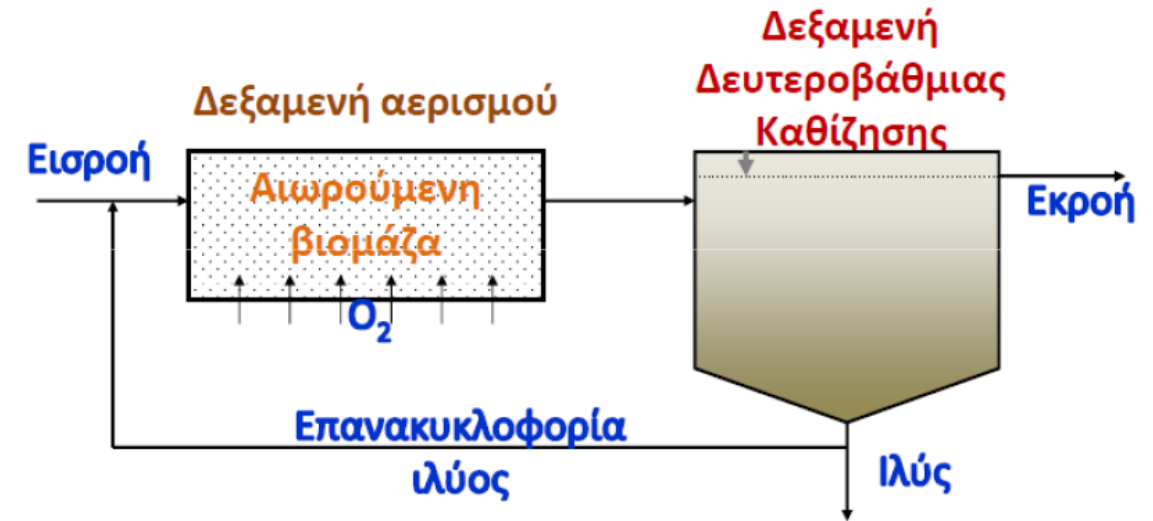
Το υπόλοιπο οργανικό φορτίο μετατρέπεται σε κυτταρικό υλικό (βιολογική διεργασία).

Στη συνέχεια, το μίγμα αποβλήτων και μικροβιακής βιομάζας (μικτό υγρό, mixed liquor) οδηγείται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου πραγματοποιείται η καθίζηση της ιλύος (φυσική διεργασία).



# ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Μέρος της ιλύος ανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού για τη διατήρηση επαρκούς συγκέντρωσης βιομάζας για την αποδόμηση των λυμάτων, ενώ το υπερκείμενο υγρό οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία ή καταλήγει στον τελικό αποδέκτη.



Οι οργανικές ενώσεις που δεν οξειδώθηκαν προς  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$ , αλλά μετατράπηκαν σε βακτηριακή μάζα, (κυτταρικό υλικό) καθιζάνουν στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Η βιομάζα που καθιζάνει ονομάζεται **ενεργός ιλύς** καθώς περιέχει ενεργούς μικροοργανισμούς. Η ενεργός ιλύς επιστρέφει (επανακυκλοφορεί) στη δεξαμενή αερισμού προκειμένου να συνεχιστεί η αποικοδόμηση του οργανικού υλικού των αποβλήτων. Συνεπώς, στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης λαμβάνει χώρα απομάκρυνση της ενεργού ιλύος μετά από τη βιολογική επεξεργασία. Η ιλύς από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία έχει **περιεκτικότητα σε στερεά 0,5-1%**.

Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία επιτυγχάνεται:

Μείωση των TSS περίπου κατά 80- 90%

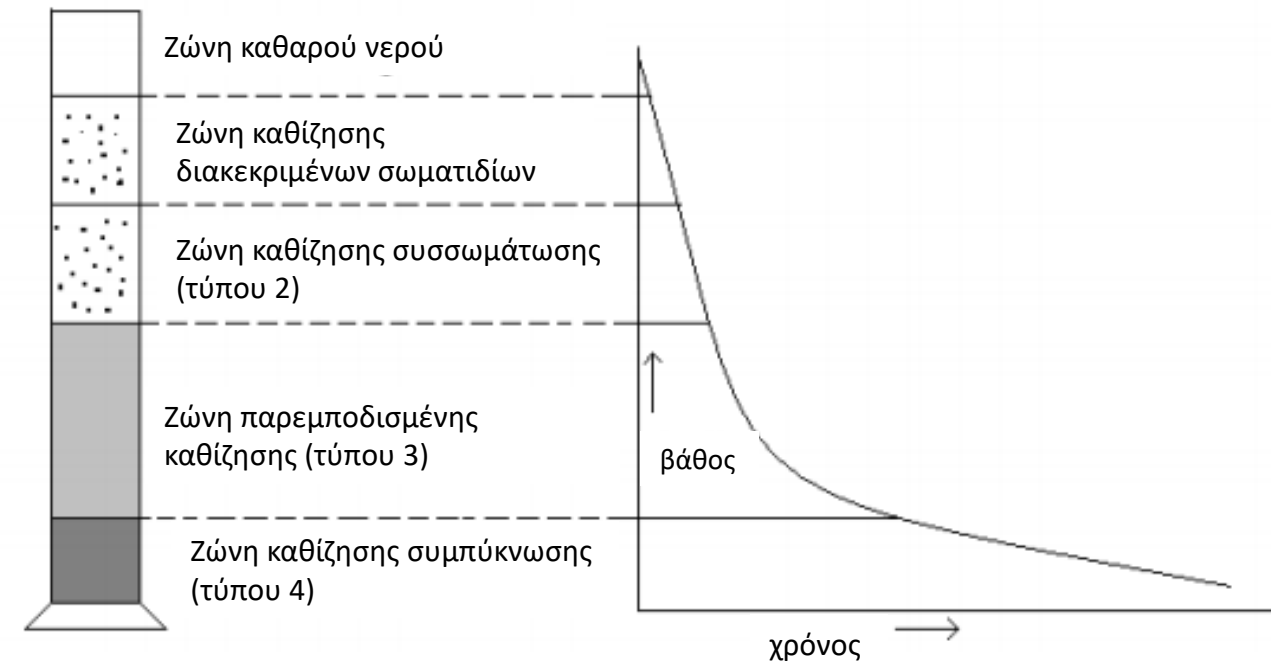
Μείωση του  $\text{BOD}_5$  (ανάλογα με τη μέθοδο και το βαθμό επεξεργασίας)

- Χαμηλότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με τεχνικά πολυπλοκότερα συστήματα (πχ επίπλευση, διήθηση)
- Συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανικά καθαριζόμενες ορθογώνιες ή κυκλικές δεξαμενές καθίζησης.
- Θα πρέπει να υπάρχουν δύο ή περισσότερες δεξαμενές έτσι ώστε η λειτουργία να μπορεί να συνεχίζεται όταν η μία δεξαμενή τίθεται εκτός λειτουργίας για συντήρηση και επιδιόρθωση.
- Πολλαπλές ορθογώνιες δεξαμενές απαιτούν λιγότερη επιφάνεια σε σχέση με τις πολλαπλές κυκλικές.

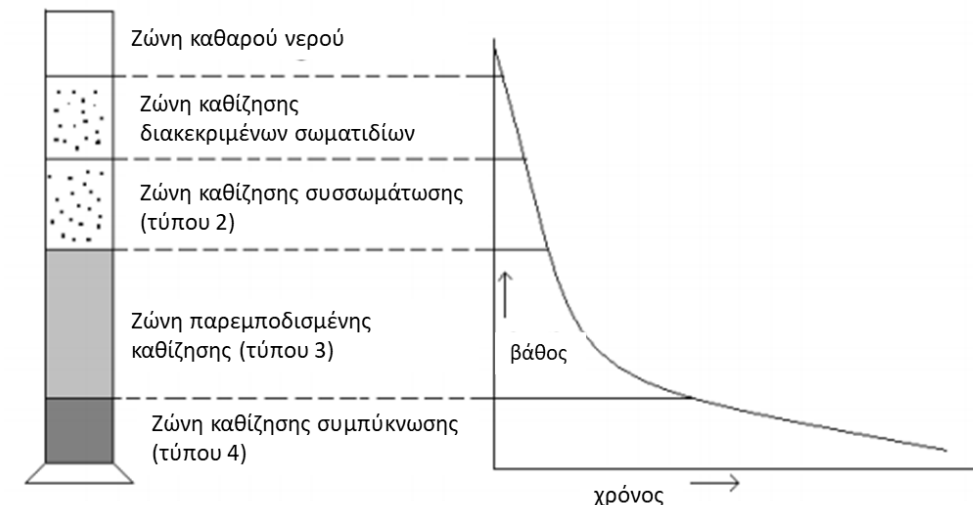
## Λειτουργία

- πλήρης παρακράτηση ενεργού ιλύος από τη δεξαμενή αερισμού
- συμπύκνωση ιλύος
- αποθήκευση ιλύος για μείωση απωλειών σε περιπτώσεις υψηλών ογκομετρικών παροχών μετά από βροχοπτώσεις
- ανακύκλωση ιλύος στη δεξαμενή αερισμού

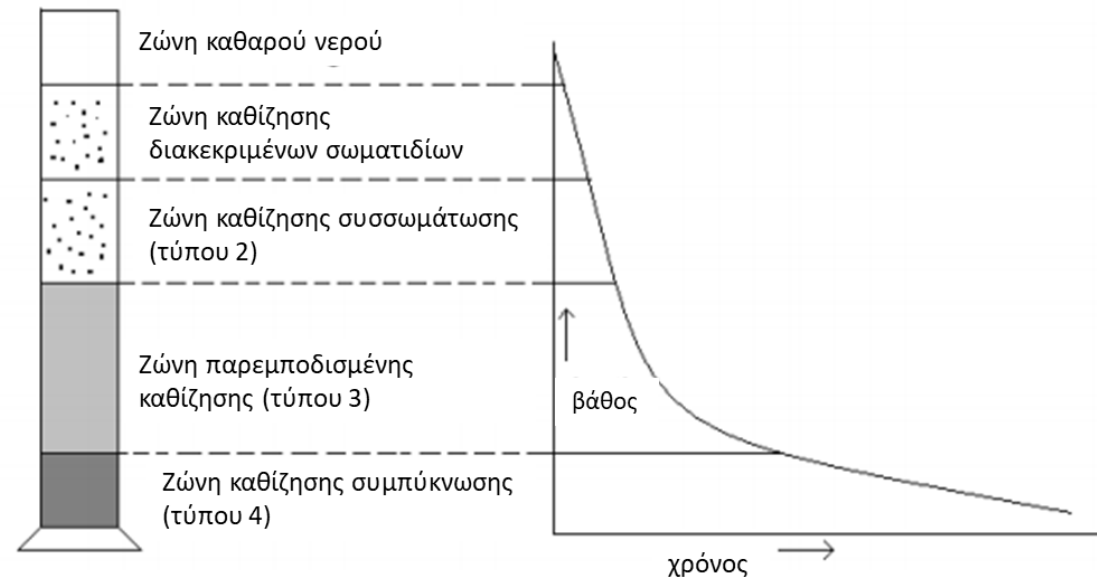
- Σε συστήματα με υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών, τόσο η ζώνη παρεμποδισμένης καθίζησης (τύπου 3) όσο και η ζώνη συμπίεσης εμφανίζονται πέραν της καθίζησης διακεκριμένων σωματιδίων και συσσωμάτωσης.
- Η καθίζηση εμφανίζεται όταν ένα πυκνό αιώρημα, αρχικά ομοιόμορφης συγκέντρωσης, τοποθετείται σε έναν κύλινδρο.
- Λόγω υψηλής συγκέντρωσης σωματιδίων, το υγρό τείνει να κινηθεί προς τα πάνω διαμέσου των διακένων των γειτονικών σωματιδίων



- Έτσι, τα σωματίδια καθιζάνουν σαν μια ζώνη ή στρώση, διατηρώντας τη σχετική θέση μεταξύ τους (παρεμποδισμένη καθίζηση). Καθώς καθιζάνουν τα στερεά σαν μια ζώνη, μια σχετικώς καθαρή στρώση νερού παράγεται πάνω από τα σωματίδια στη ζώνη καθίζησης. Ο ρυθμός καθίζησης στην περιοχή παρεμποδισμένης καθίζησης εξαρτάται από τη συγκέντρωση των στερεών και τα χαρακτηριστικά τους.
- Καθώς συνεχίζεται η καθίζηση, αρχίζει να σχηματίζεται μια συμπιεσμένη ζώνη σωματιδίων στον πυθμένα του κυλίνδρου (ζώνη συμπίεσης).
- Έτσι, στη ζώνη παρεμποδισμένης καθίζησης υπάρχει μια διαβάθμιση στη συγκέντρωση στερεών στη διεπιφάνεια με τη ζώνη συμπύκνωσης.



- Λόγω της μεταβλητότητας της φύσης των στερεών και της συγκέντρωσης, η δοκιμή καθίζησης είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών καθίζησης.
- Δύο διαφορετικές εκδοχές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εργαστηριακές δοκιμές:
  - 1) Δοκιμή καθίζησης ενός όγκου - single (batch) settling test
  - 2) Μέθοδος ροής στερεών (σειρά δοκιμών με διαφορετική συγκέντρωση στερεών) - solid flux method



## Απαιτούμενη επιφάνεια βάσει του single batch test

- Ο τελικός ρυθμός υπερχείλισης για το σχεδιασμό ΔΔΚ βασίζεται σε:
  - απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση
  - απαιτούμενη επιφάνεια για πάχυνση
  - απαιτούμενη επιφάνεια για απομάκρυνση
- Δεδομένου ότι η απαιτούμενη επιφάνεια για τη ζώνη ελεύθερης καθίζησης είναι μικρότερη από την απαιτούμενη επιφάνεια για πάχυνση, ο ρυθμός ελεύθερης καθίζησης είναι ο ρυθμιστικός παράγοντας.
- Στην περίπτωση ενεργού ιλύος όπου μπορεί να υπάρχουν χαλαροί φλόκοι σωματιδίων, θεωρείται ότι η ταχύτητα ελεύθερης καθίζησης των σωματιδίων ελέγχει το σχεδιασμό

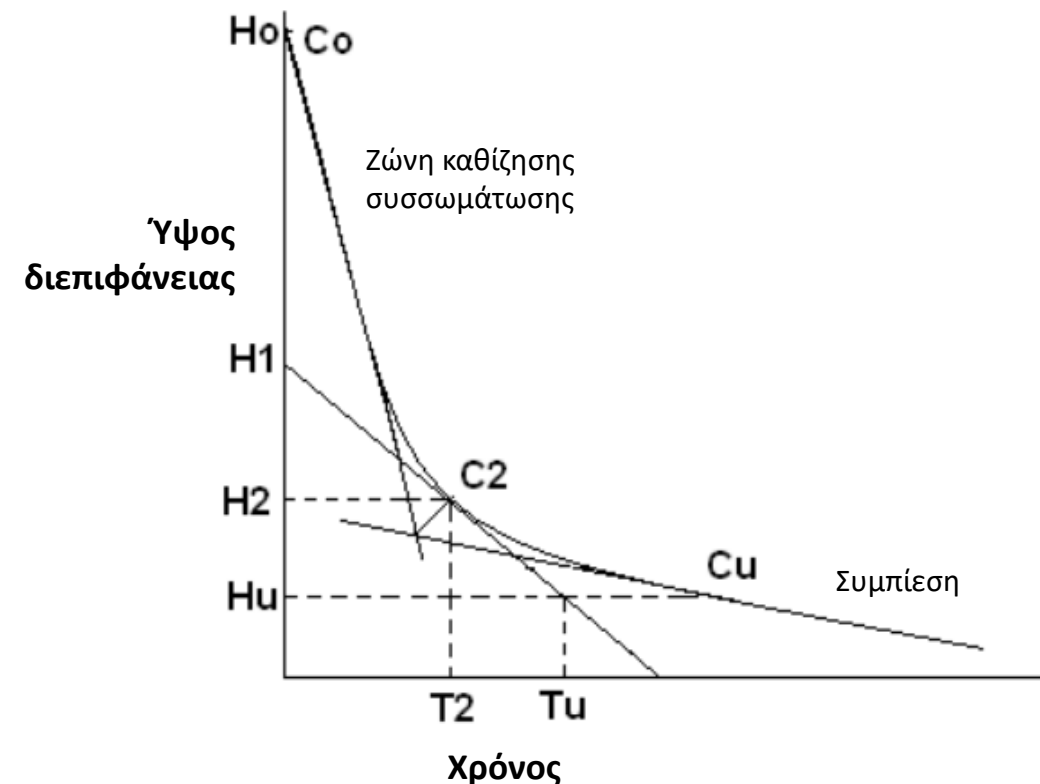
## Απαιτούμενη επιφάνεια βάσει του single batch test

- Για στήλη ύψους  $H_o$  (m) και ομοιόμορφη συγκέντρωση στερεών  $C_o$ , η θέση της διεπιφάνειας με το χρόνο δίνεται στο σχήμα:
- Ο ρυθμός με τον οποίο η διεπιφάνεια υποχωρεί ισούται με την κλίση της καμπύλης σε κάθε χρονικό σημείο.
- Η απαιτούμενη επιφάνεια  $A$  για πάχυνση:

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

$Q$  = παροχή στη δεξαμενή ( $m^3/s$ )

$t_u$  = χρόνος που απαιτείται για να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση υπορροής



- Η κρίσιμη συγκέντρωση που ελέγχει την ικανότητα διαχείρισης ιλύος στη δεξαμενή εμφανίζεται σε ένα ύψος  $H_2$  (m) όπου η συγκέντρωση είναι  $C_2$  (η  $C_2$  προσδιορίζεται επεκτείνοντας την εφαπτομένη και διχοτομώντας τη γωνία τομής)
- Ο χρόνος  $t_u$  μπορεί να προσδιοριστεί ακολούθως:

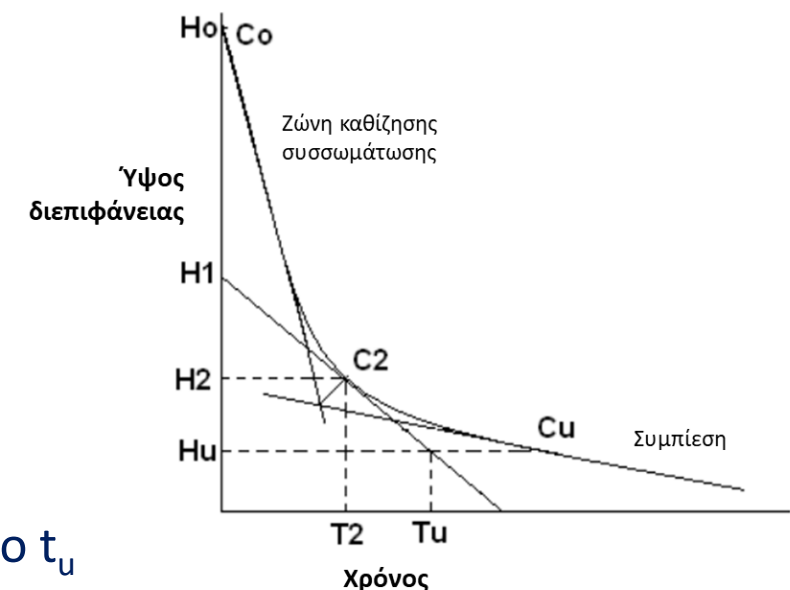
α) φέρνουμε μια οριζόντια γραμμή σε βάθος  $H_u$  (m) που αντιστοιχεί στο βάθος όπου τα στερεά είναι στην επιθυμητή συγκέντρωση υπορροής  $C_u$ .

Η τιμή του  $H_u$  (m) είναι:

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

β) φέρνουμε μια εφαπτομένη στην καμπύλη καθίζησης στο σημείο  $C_2$ .

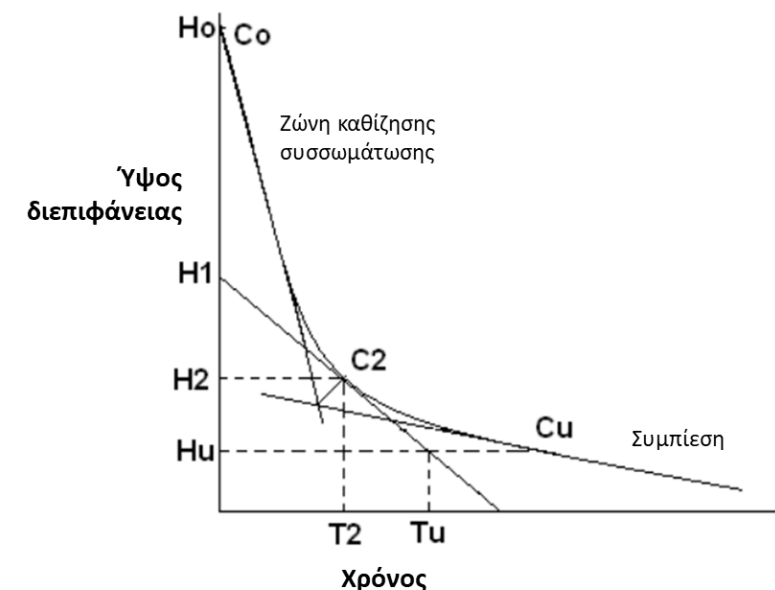
γ) φέρνουμε μια κατακόρυφη από την τομή της εφαπτομένης και της οριζόντιας γραμμής από το  $H_u$ . Αυτή η κατακόρυφη γραμμή προσδιορίζει το  $t_u$



- Με αυτήν την τιμή  $t_u$  υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια για πάχυνση:

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

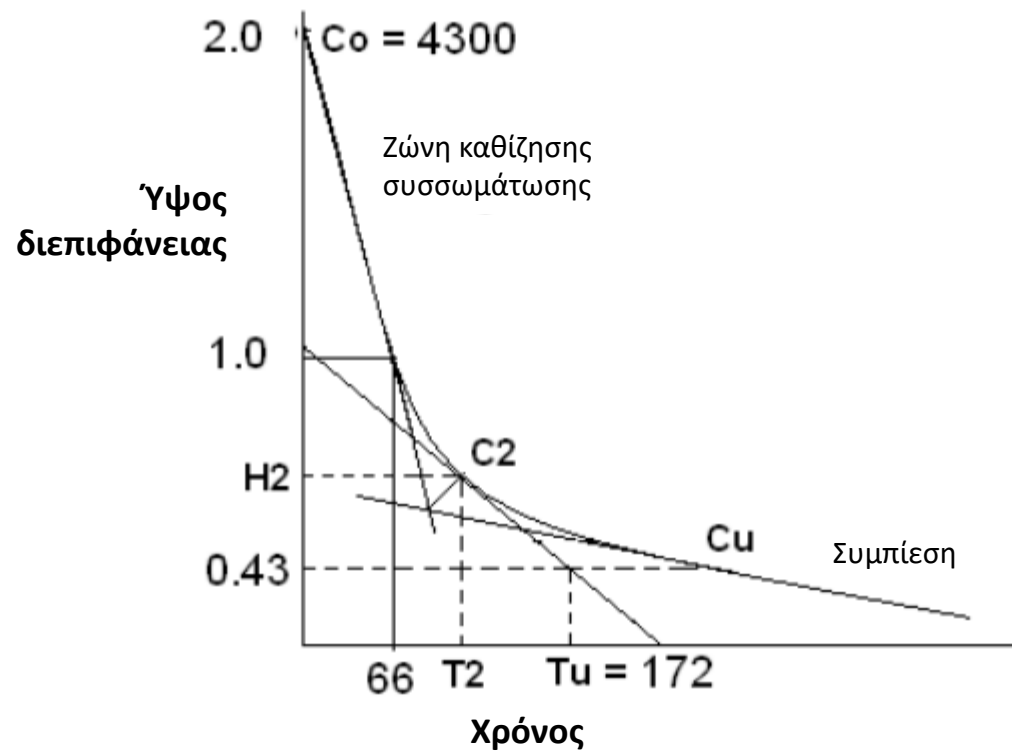
- Στη συνέχεια προσδιορίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση. Η μεγαλύτερη από τις δύο επιφάνειες είναι ο παράγοντας ελέγχου.
- Αν και η  $C_u$  στη δοκιμή καθίζησης θα εμφανίζεται σε μεγαλύτερο χρόνο, λόγω της συνεχούς απομάκρυνσης ιλύος από τον πυθμένα αυτό το χρονικό σημείο μπορεί να μην εμφανιστεί στη ΔΔΚ, συνεπώς το  $t_u$  υπολογίζεται από την εφαπτομένη.



# ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Παράδειγμα

Να υπολογιστεί ο όγκος μιας ΔΔΚ για ενεργό ιλύ. Σε κύλινδρο καθίζησης ύψους 2 m γίνεται δοκιμή καθίζησης, και παράγεται η καμπύλη καθίζησης του σχήματος, για αρχική συγκέντρωση στερεών  $C_o = 4300 \text{ mg/L}$ . Να προσδιοριστεί η επιφάνεια συγκέντρωση παχυμένης ιλύος  $C_u = 20 \text{ g/L}$  με παροχή  $500 \text{ m}^3/\text{d}$ . Επιπρόσθετα, να προσδιοριστεί η φόρτιση στερεών σε  $\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$  και ο ρυθμός υπερχείλισης ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ )



## Παράδειγμα

### 1. Απαιτούμενη επιφάνεια για πάχυνση

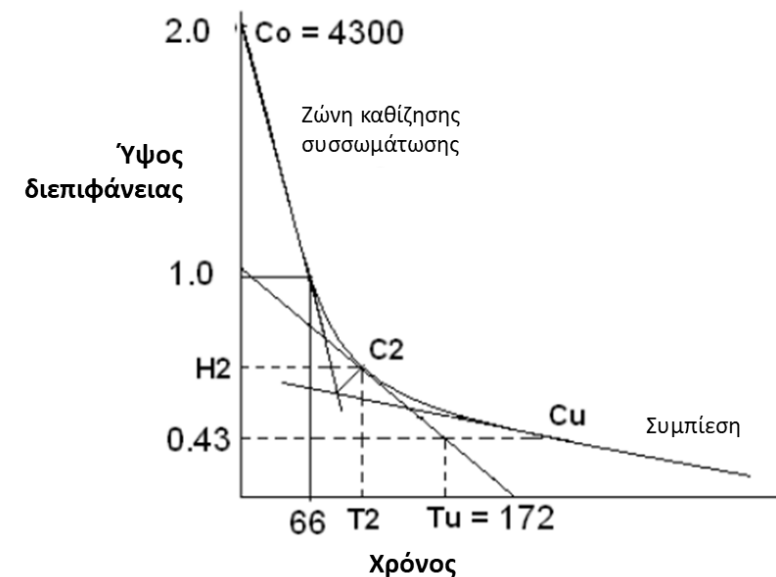
$$H_u = \frac{C_o \cdot H_o}{C_u} = \frac{4300 \cdot 2,0}{20000} = 0,43 \text{ m}$$

2. Φέρνουμε οριζόντια γραμμή στο ύψος  $H_u = 0,430 \text{ m}$

3. Φέρνουμε εφαπτομένη στην καμπύλη καθίζησης στο  $C_2$ , το σημείο ισαπόστασης της ζώνης μεταξύ της παρεμποδισμένης καθίζησης και καθίζησης συμπύκνωσης. Η τομή της εφαπτομένης στο  $C_2$  και της οριζόντιας γραμμής είναι στο  $t_u = 172 \text{ min}$ .

Έτσι η απαιτούμενη επιφάνεια

$$A = \frac{Q \cdot t_u}{H_o} = \frac{500 \cdot 172}{24 \cdot 60 \cdot 2} = 29,86 \text{ m}^2$$



## Παράδειγμα

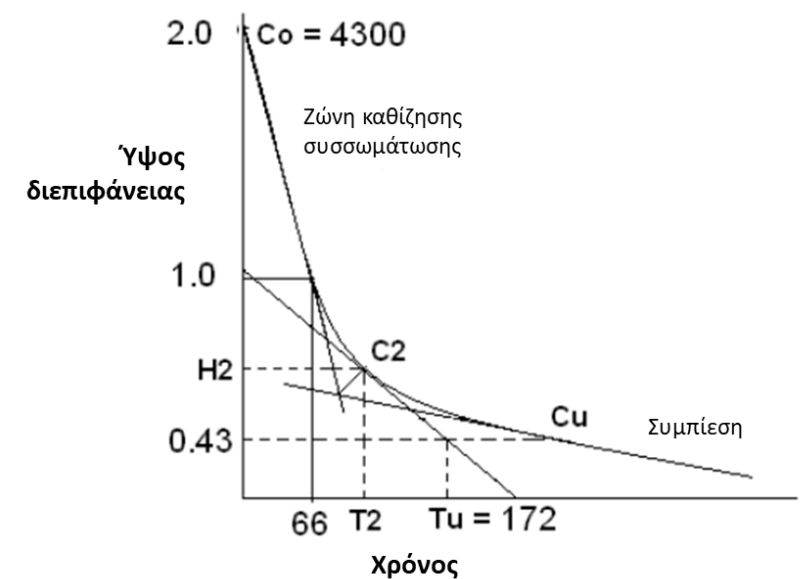
4. Αυτή η επιφάνεια πρέπει να είναι επαρκής για διαύγαση επίσης

α) προσδιορίζουμε την ταχύτητα καθίζησης  $V$  από την αρχή της ζώνης παρεμποδισμένης καθίζησης της καμπύλης (υποθέτοντας ότι τα σωματίδια που υπάρχουν στη διεπιφάνεια είναι αυτά που μας ενδιαφέρουν).

$$V = \frac{2,0-1,0}{66} = 0,91 \text{ m/h}$$

β) προσδιορίζουμε το ρυθμό υπερχείλισης: είναι ανάλογος προς τον όγκο του υγρού πάνω από την κρίσιμη ζώνη ιλύος (ιλύς απομακρύνεται απο το πυθμένα)

$$Q = (500 \text{ m}^3/\text{d}) \cdot \frac{2,0-0,43}{2,0} = 392,5 \text{ m}^3/\text{d}$$

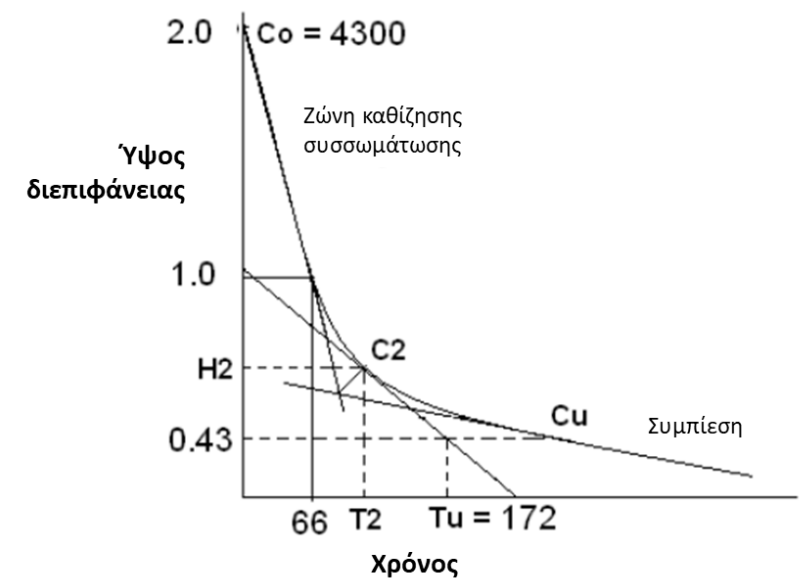


## Παράδειγμα

γ) προσδιορίζουμε την απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση διαιρώντας το ρυθμό υπερχείλισης με την ταχύτητα καθίζησης

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{392,5}{0,91} \cdot \frac{1}{24} = 17,97 \text{ m}^2$$

5. Ο ρυθμιστικός παράγοντας είναι η επιφάνεια πάχυνσης 29,86 m<sup>2</sup> καθώς ξεπερνά την επιφάνεια για διαύγαση



Παράδειγμα

6. Ρυθμός φόρτισης

$$\text{Στερεα } \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right) = \frac{(500 \text{ m}^3/\text{d}) \cdot (4300 \text{ g/m}^3)}{10^3 \text{ gm/kg}} = 2150 \text{ kg/d}$$

$$\text{Φορτιση στερεων} = \frac{(2150 \text{ kg/d})}{29,86 \text{ m}^2} = 72 \text{ kg/m}^2/\text{d}$$

7. Υδραυλική επιφανειακή φόρτιση

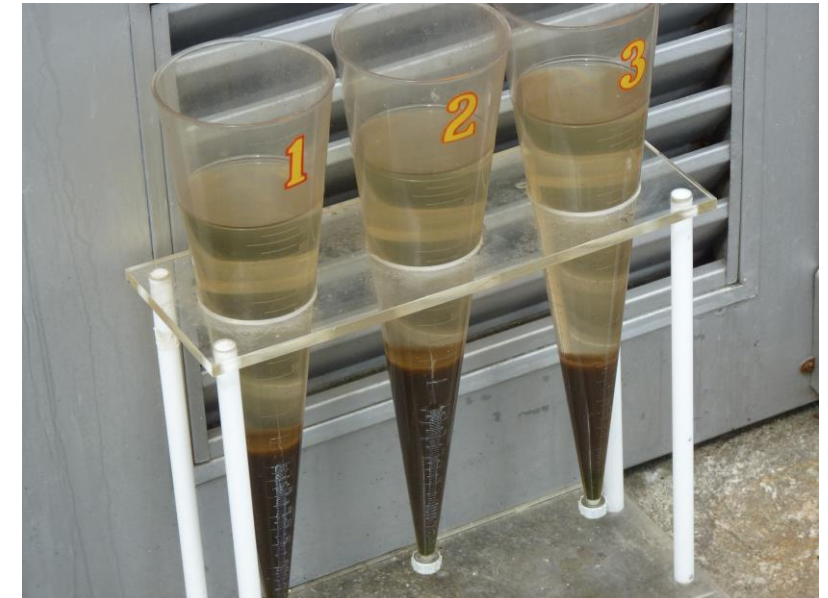
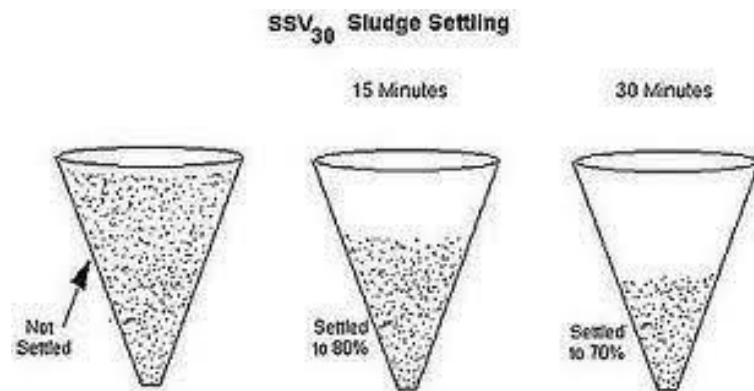
$$\text{ΥΕΦ} = \frac{392,5 \text{ m}^3/\text{d}}{29,86 \text{ m}^2} = 13,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

Αποτελεσματικότητα  $\sim$  χαρακτηριστικά ενεργού ιλύος

- Επιπλέον, ενεργός ιλύς διαφέρει σημαντικά ως προς τη μικροβιολογική της σύσταση έναντι ιλύος με ικανοποιητική καθιζησιμότητα
- Αν η βιομάζα τείνει προς διόγκωση και αιωρισμό, αδυνατεί να λειτουργήσει η διαδικασία διαχωρισμού και ανακύκλωσης ιλύος και η αποτελεσματικότητα της βιολογικής επεξεργασίας μειώνεται σημαντικά
- Όπως είδαμε και για τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, η απαιτούμενη επιφάνεια εξαρτάται από την ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων της ιλύος, η οποία εκφράζεται μέσω του Δείκτη Όγκου Ιλύος (ΔΟΙ) ή Sludge Volume Index (SVI).

## Δείκτης Όγκου Ιλύος (ΔΟΙ) ή Sludge Volume Index (SVI)

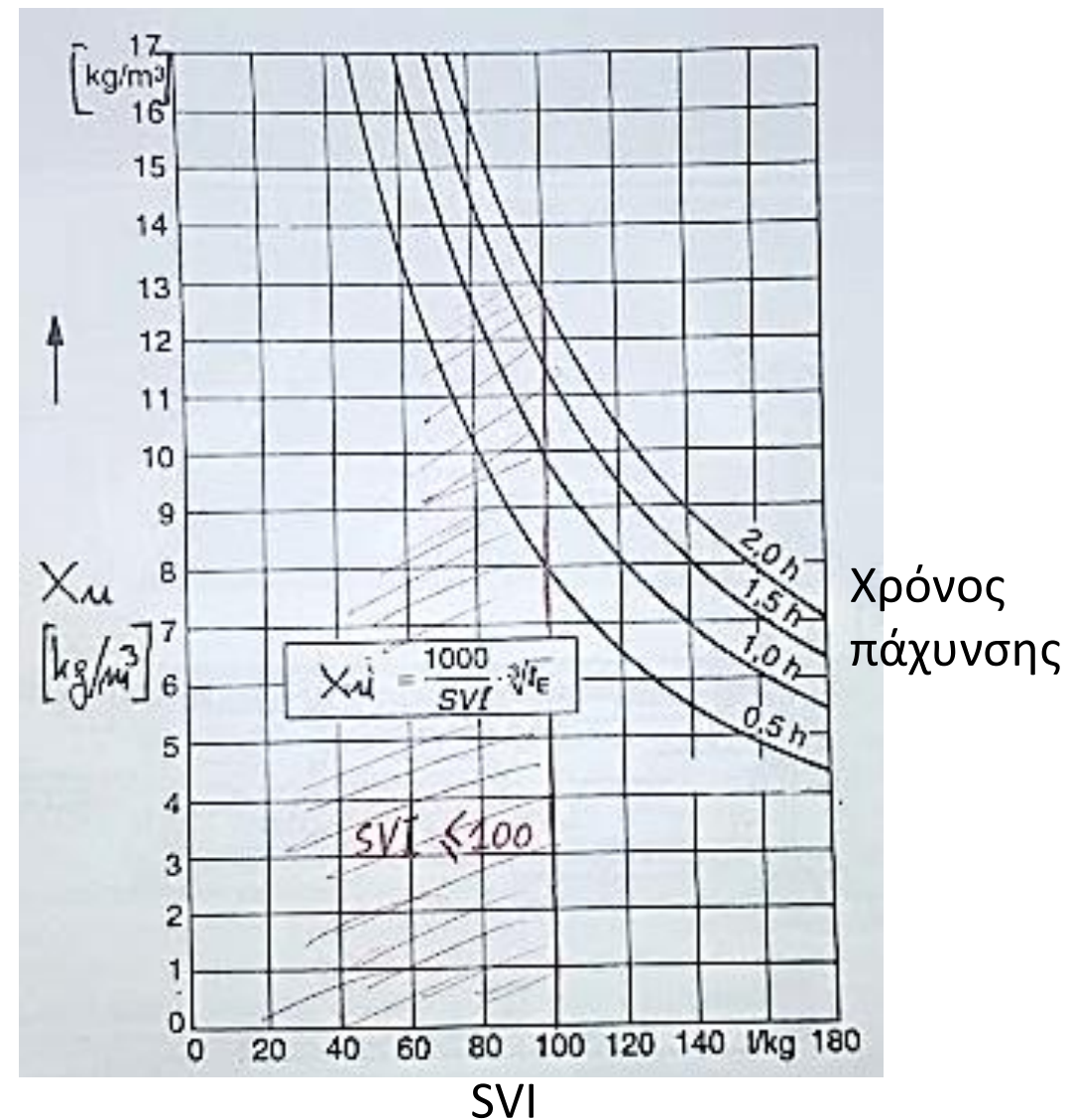
- προσδιορίζεται μέσω πειραμάτων καθίζησης σε κώνους Imhoff ή κυλίνδρους, όπου λαμβάνεται ο όγκος (mL/L) της ιλύος και μετά από μέτρηση της συγκέντρωσης στερεών (g/L) προκύπτει, από τη διαίρεση των δύο τιμών, ο ΔΟΙ (mL/g).
- τιμές 60-600 mL/g
- βιομάζα με καλή ικανότητα καθίζησης: 60-150 mL/g
- ιλύς με τάση προς αιώρηση:  $SVI > 200$  mL/g



Δείκτης Όγκου Ιλύος - Sludge Volume Index (SVI).

- $X_u$  = η συγκέντρωση στερεών στο σχήμα ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) που επικρατεί στην ανακύκλωση ιλύος (δηλ στον πυθμένα της ΔΔΚ).
- $\tau \approx$  μέσος χρόνος παραμονής (όγκος δεξαμενής)

$$X_u = \frac{1000}{SVI} \cdot \sqrt[3]{\tau}$$



Σε περιπτώσεις υψηλών τιμών MLSS (η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή αερισμού) ή ιδιαίτερα κακής καθιζησιμότητας, μπορεί η τιμή του SVI να είναι πλασματική.

Πχ, για  $MLSS = 4000 \text{ mg/L}$  ( $=4 \text{ g/L}$ ) και ο όγκος της ιλύος μετά από 30 λεπτά εξακολουθεί πρακτικά να ισούται με τον όγκο του κυλίνδρου (έστω 990 mL), το υπολογιζόμενο  $SVI=247,5$  είναι πλασματικό.

Πράγματι, είναι πιθανό με αραίωση των MLSS, πχ σε  $3,3 \text{ g/L}$ , και επανάληψη του πειράματος ο όγκος της ιλύος να εξακολουθεί να είναι 990 mL, οπότε προκύπτει νεό  $SVI=300$ . Η αντιπροσωπευτική τιμή SVI θα προκύψει με περαιτέρω αραίωση των MLSS, πχ  $1 \text{ g/L}$ , που θα οδηγήσει σε όγκο ιλύος σαφώς μικρότερο του 1 L, έστω 500 mL, οπότε το  $SVI=500$ .

Το γεγονός ότι η τιμή αυτή είναι αντιπροσωπευτική μπορεί να επιβεβαιωθεί με επανάληψη του πειράματος με ακόμη πιο αραιό MLSS, πχ 0,5 g/L, και επιβεβαίωση του  $SVI=500$  στο βαθμό που ο όγκος της ιλύος έχει κατ' αναλογία μειωθεί (στα 250 mL).

Η εκτέλεση του πειράματος χωρίς αρραίωση των MLSS οδηγεί συχνά σε λανθασμένη εκτίμηση του δείκτη.

Ο προσδιορισμός του δείκτη DSVI (αραιωμένος) είναι σκόπιμος, ο οποίος είναι ουσιαστικά ο SVI, αλλά προσδιοριζόμενος με επαρκή αρραίωση του ανάμικτου υγρού, ώστε ο όγκος της ιλύος να είναι σημαντικά μικρότερος του όγκου του κυλίνδρου (πχ 250 mL).

Άλλος τρόπος εκτέλεσης του πειράματος είναι σε ογκομετρικό κύλινδρο μεγαλύτερου όγκου από 1 λίτρο, με μηχανισμό αργής ανάδευσης. (stirred SVI - SSVI)

Όλοι αυτοί οι δείκτες είναι γνωστοί ως δείκτες καθιζησιμότητας.

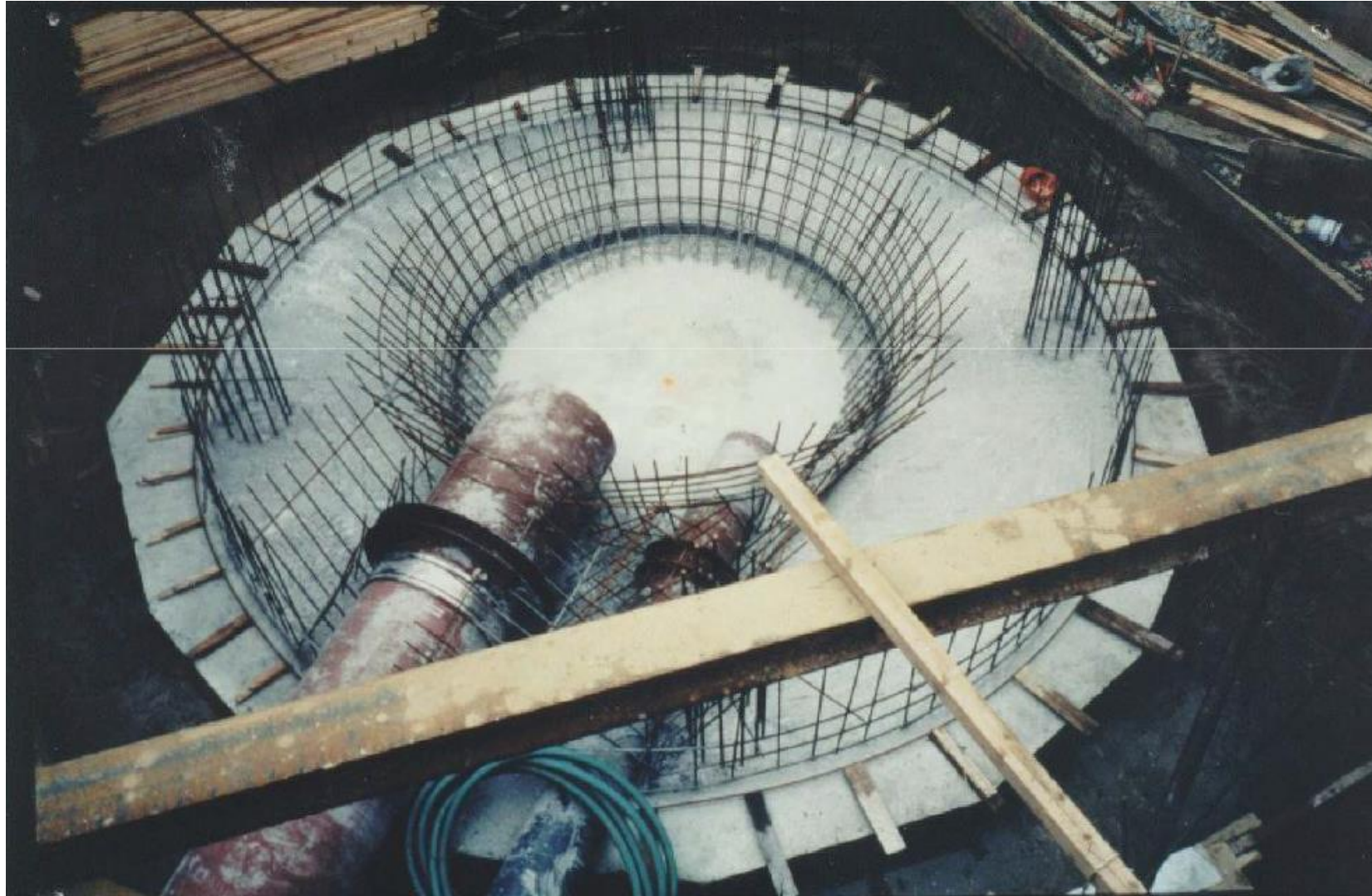
Οι DSVI-SSVI είναι γενικά μικρότεροι του SVI και πιο αντιπροσωπευτικοί της καθίζησης στις ΔΔΚ, και χρησιμοποιούνται συχνότερα.

*Η πρόβλεψη των χαρακτηριστικών καθίζησης της ιλύος είναι ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα και η αντιμετώπιση της κακής καθιζησιμότητας αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα.*

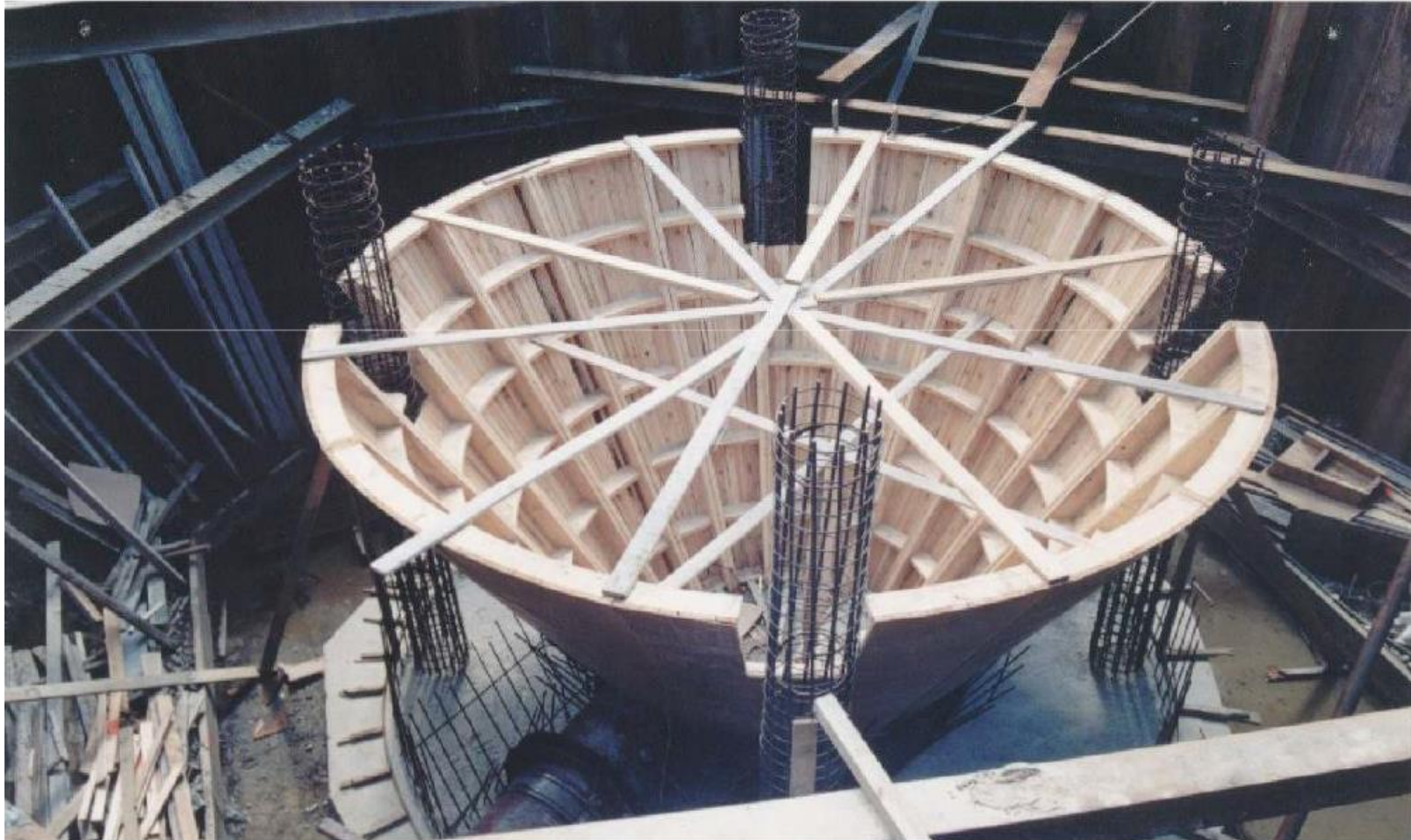
Αγωγός εξόδου καθαρών



Κώνος ιλύος (α' φάση κατασκευής)



Κώνος ιλύος (β' φάση κατασκευής)



# ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

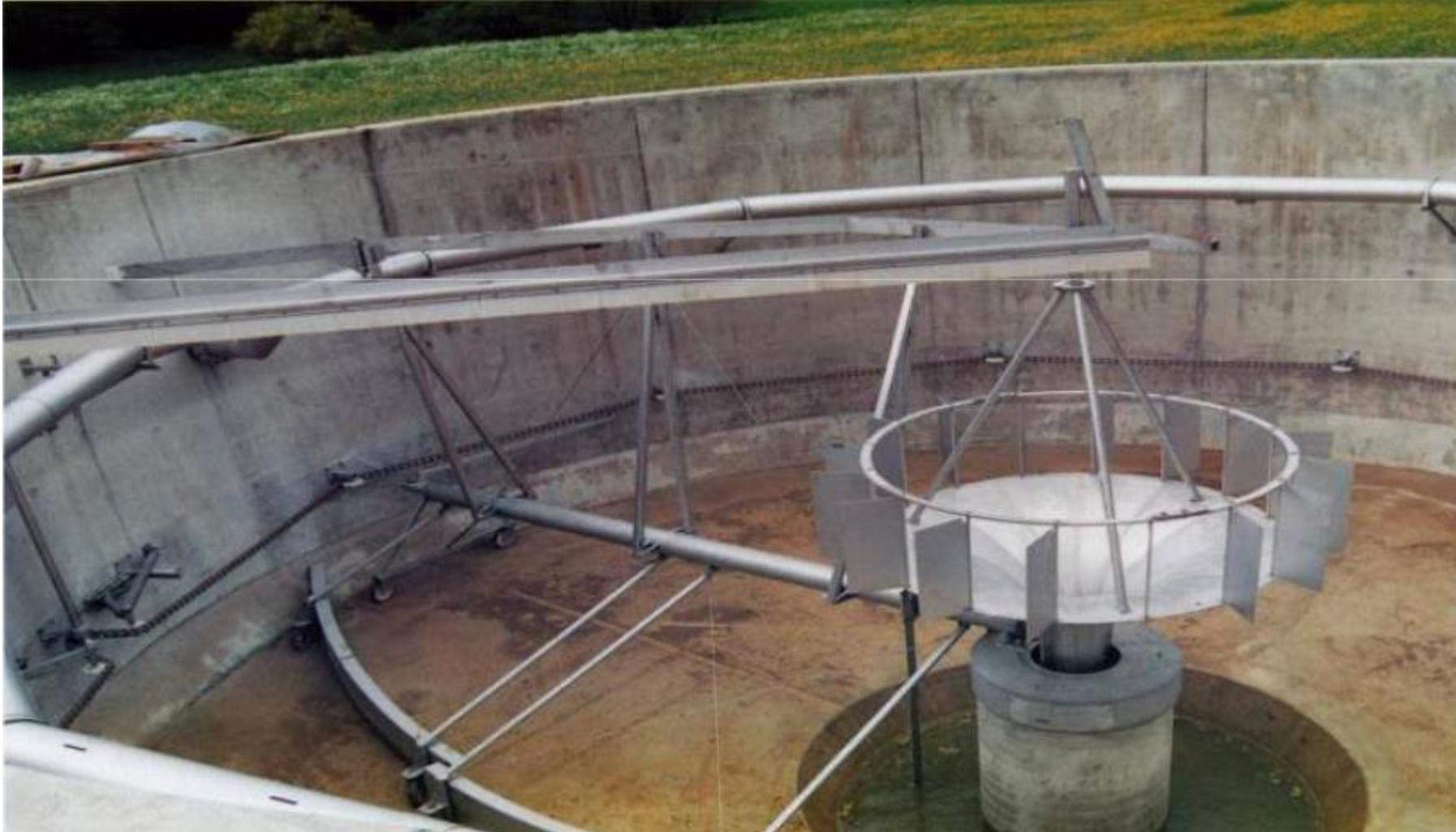
Λεπτομέρεια εξόδου καθαρού νερού



Ειδικό προστατευτικό τοιχίο



Κώνος συλλογής ιλύος



Κώνος συλλογής ιλύος



## Ορθογωνική Δεξαμενή Καθίζησης



# ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Κυκλική Δεξαμενή Καθίζησης



Όπως και οι ΔΠΚ, οι ΔΔΚ σχεδιάζονται σύμφωνα με το κριτήριο της **Επιφανειακής Φόρτισης Στερεών** ( $\text{kg/m}^2/\text{d}$ ), στην οποία υπεισέρχεται η ταχύτητα καθίζησης κροκίδων και ο μέσος χρόνος παραμονής ( $\tau$ ).

$$\text{φόρτιση στερεων } L_s = \frac{(1 + r) \cdot Q \cdot X_{\text{MLSS}}}{A}$$

$Q$  = παροχή λυμάτων ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$A$  = επιφάνεια δεξαμενής ( $\text{m}^2$ )

$X_{\text{MLSS}}$  = συγκέντρωση ανάμικτου υγρού ( $\text{g/L}$ )

$r$  = συντελεστής επανακυκλοφορίας

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

- **Υδραυλικός χρόνος παραμονής** των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού που εκφράζει τον μέσο χρόνο αερισμού των λυμάτων
- **Χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών** στο σύστημα που εκφράζει την ηλικία των μικροοργανισμών στο σύστημα
- **Φορτίο ιλύος (F/M)**, λαμβάνει τιμές από 0.05-1.0 Kg BOD<sub>5</sub> ανά Kg βιομάζας ανά ημέρα που εκφράζει το λόγο τροφής προς μικροοργανισμούς στη δεξαμενή αερισμού
- **Υδραυλικό φορτίο** δεξαμενής καθίζησης που εκφράζει τον όγκο λυμάτων που εφαρμόζονται ανά ημέρα στη δεξαμενή καθίζησης =  $Q/A$

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

| Παράμετρος                                                    | Τυπολογία                                                                | Μέγεθος                                      |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Υδραυλικός χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού | $t = V/Q$                                                                | 3.5-36 h                                     |
| Χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στο σύστημα              | $t_c = \frac{MLVSS \cdot V}{(Q_{out} \cdot SS_{out}) + (Q_w \cdot X_w)}$ | 3-40 d                                       |
| Φορτίο ιλύος (F/M)                                            | $F/M = \frac{(Q_{in} \cdot BOD_{in})}{(MLVSS \cdot V)}$                  | 0.05-1.0 Kg BOD <sub>5</sub> / Kg βιομάζας*d |
| Υδραυλικό φορτίο δεξαμενής καθίζησης                          | $V_c = Q/A$                                                              | 12-41 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d       |

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

- $MLVSS$  = η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή αερισμού (mg  $MLVSS/l$ )
- $V$  = ο όγκος της δεξαμενής αερισμού ( $m^3$ )
- $BOD_{in}$  = η συγκέντρωση του οργανικού φορτίου στα εισερχόμενα απόβλητα (mg  $BOD/L$ )
- $Q_u$  = η παροχή της αποβαλλόμενης ιλύος ( $m^3/h$ )
- $Q_{in}$  = η παροχή των εισερχόμενων αποβλήτων στη δεξαμενή αερισμού ( $m^3/h$ )
- $Q_{out} = Q_{in} - Q_u$  = η παροχή των επεξεργασμένων αποβλήτων ( $m^3/h$ )
- $SS_{out}$  = η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στα επεξεργασμένα απόβλητα (mg  $MLVSS/L$ )
- $X_u$  = η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στην αποβαλλόμενη ιλύ (mg  $MLVSS/L$ )

## ΥΔΑΤΟΦΡΑΚΤΗΣ: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΗ

- Σε μεγάλες δεξαμενές: τοποθέτηση στα  $2/3$  ή  $3/4$  της ακτινικής απόστασης από το κέντρο
- Σε μικρότερες δεξαμενές, στην περίμετρο
- Ένα εμπόδιο μπορεί να παρέχεται για να απομακρύνει τα κύματα πυκνότητας μακριά από τον υδατοφράκτη υπερχείλισης
- Η ανοδική ταχύτητα στην περιοχή του υδατοφράκτη πρέπει να είναι  $3,5-7 \text{ m/h}$
- Η φόρτιση:
  - $< 375 \text{ m}^3/\text{m/d}$
  - $< 250 \text{ m}^3/\text{m/d}$  αν τοποθετείται στην ζώνη συγκέντρωσης ρευμάτων πυκνότητας
  - $< 125 \text{ m}^3/\text{m/d}$  για μέση παροχή και  $< 250 \text{ m}^3/\text{m/d}$  για μέγιστη παροχή σε μικρές δεξαμ.
- Σχεδιάζεται συνήθως για ρυθμούς υπερχείλισης σε κατά την παροχή αιχμής

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

| Είδος επεξεργασίας                            | Υδραυλικό φορτίο<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d) |       | Φόρτιση στερεών<br>(kg/m <sup>2</sup> /d) |       | Βάθος (m) | Χρόνος παραμονής<br>(h) |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|-----------|-------------------------|
|                                               | Μέση τιμή                                               | Αιχμή | Μέση τιμή                                 | Αιχμή |           |                         |
| Καθίζηση μετά από ενεργό ιλύ (δεξ αερισμού)   | 16-24                                                   | 40-80 | 3-6                                       | 9     | 3,5-5     | 1,5-2                   |
| Καθίζηση μετά από παρατεταμένο αερισμό        | 8-16                                                    | 24-32 | 1-5                                       | 7     | 3,5-5     | 1,5-2                   |
| Καθίζηση μετά από ενεργό ιλύ καθαρού οξυγόνου | 16-32                                                   | 40-48 | 5-7                                       | 10    | 3,5-5     | 1,5-2                   |
| Καθίζηση μετά από βιολογικά φίλτρα            | 16-24                                                   | 40-48 | 3-5                                       | 8     | 3-4       | 1,5-2                   |

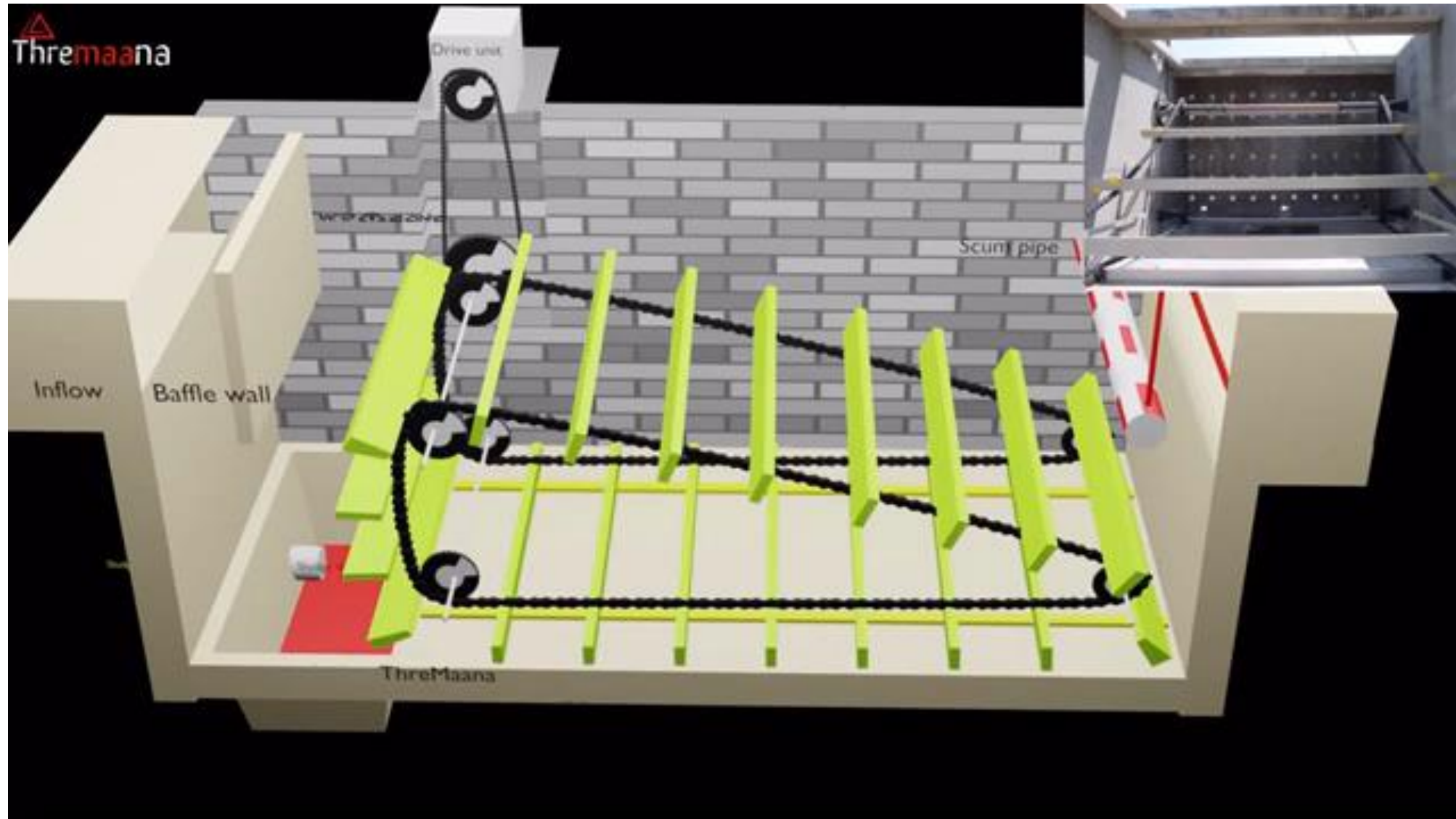
## Τυπικές τιμές

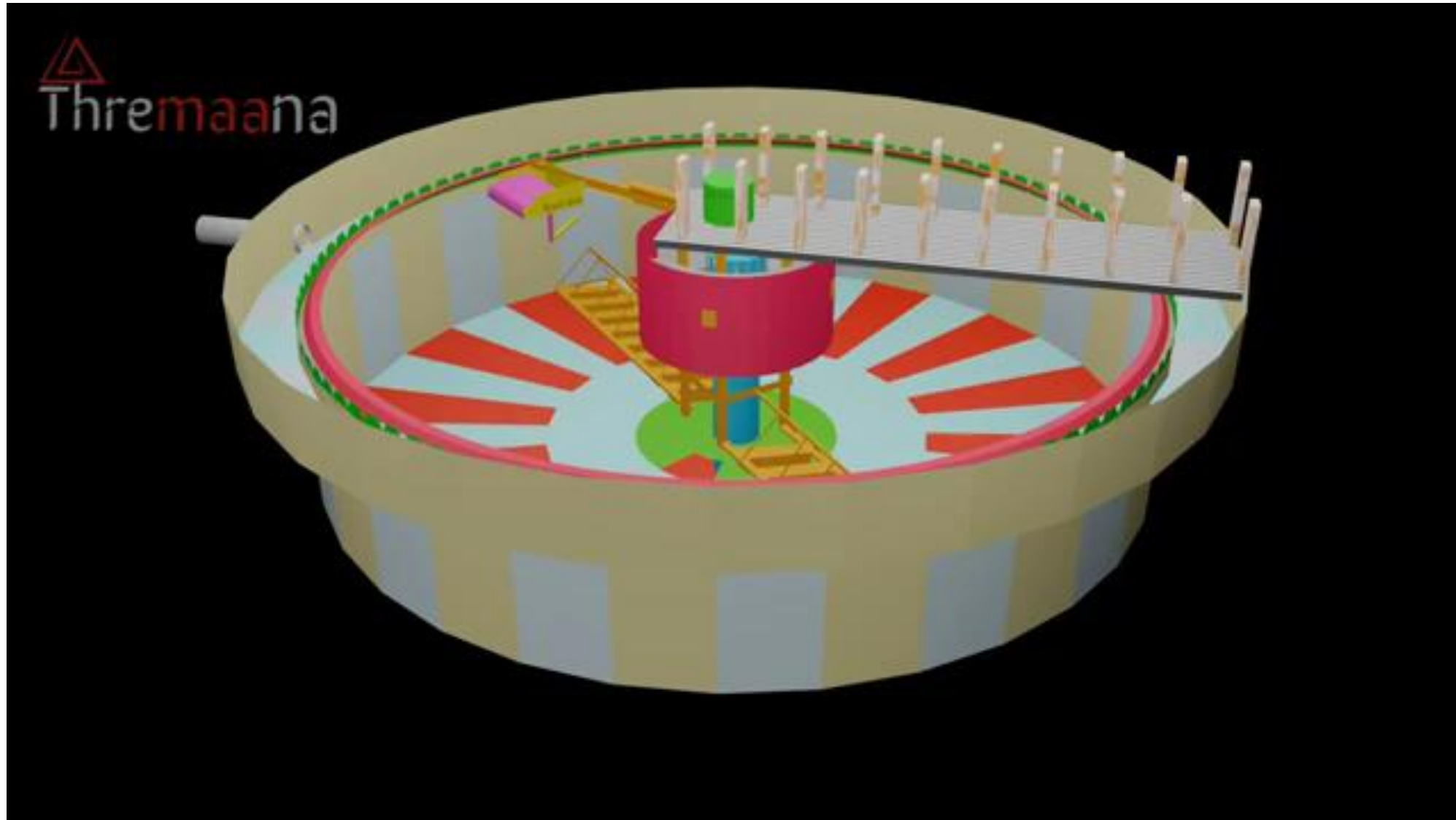
- Ρυθμός υπερχείλισης 20-34 m/d για τη μέση παροχή για καλό διαχωρισμό υγρού και στερεών

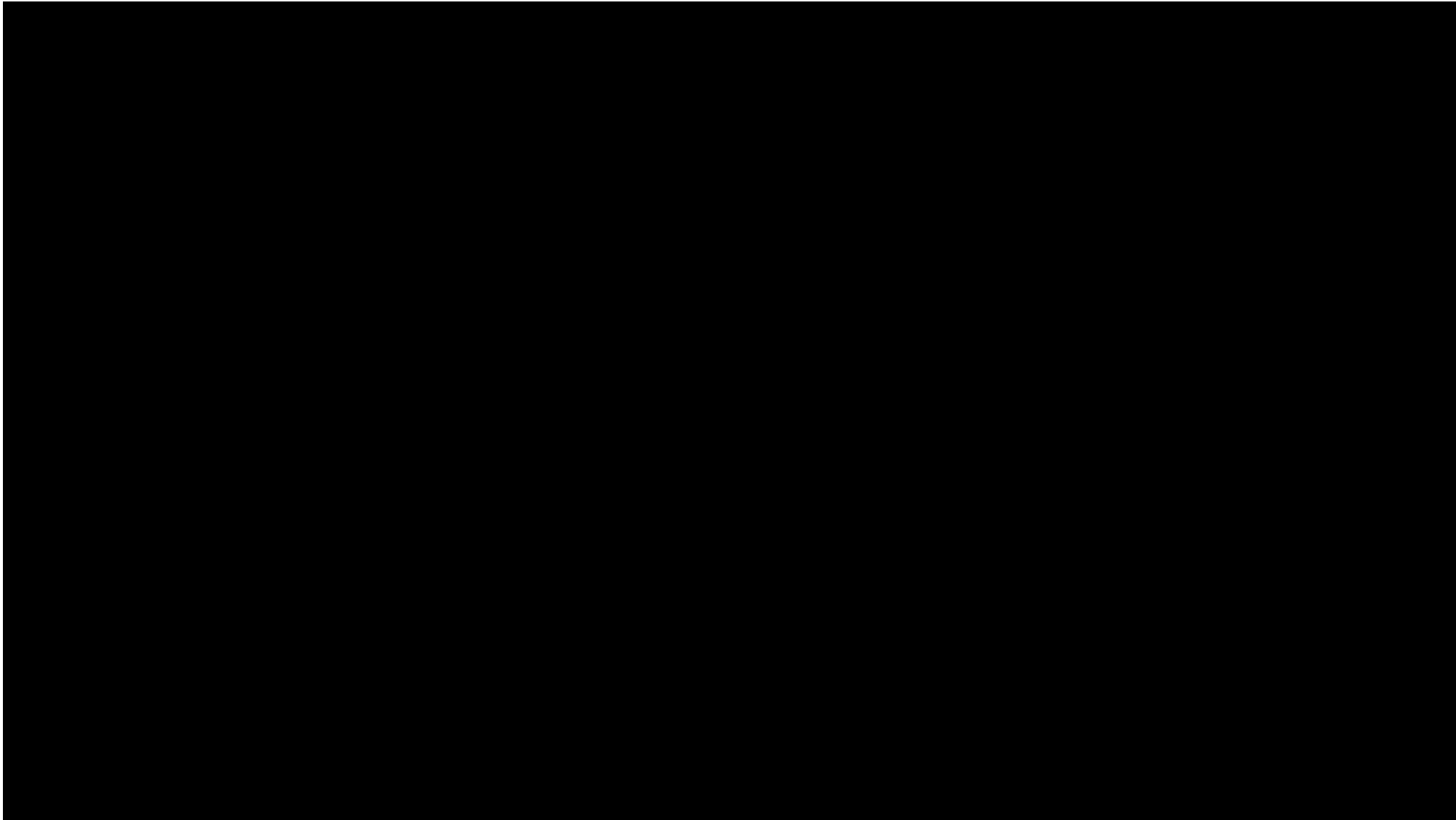
| Διάμετρος δεξαμενής (m) | Πλευρικό βάθος νερού |              |
|-------------------------|----------------------|--------------|
|                         | ελάχιστο             | προτεινόμενο |
| <12                     | 3,0                  | 3,4          |
| 12-20                   | 3,4                  | 3,7          |
| 20-30                   | 3,7                  | 4,0          |
| 30-42                   | 4,0                  | 4,3          |
| >42                     | 4,3                  | 4,6          |

- Ο ρυθμός φόρτισης υδατοφράκτη στη  $\Delta\Delta K \leq 185 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

# ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ







Η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης σε μια ΕΕΛ πρέπει να μπορεί να επεξεργαστεί φορτίο MLSS 2860 mg/L. Η παροχή στην ΔΔΚ είναι 0,300 m<sup>3</sup>/s, εκ των οποίων το μισό είναι επιστρεφόμενη ροή. Προσδιορίστε τις διαστάσεις της ΔΔΚ και το μήκος του υδατοφράκτη.

Δίνεται SVI=175, μέση επιφανειακή φόρτιση 33 m/f

Η διάμετρος της ΔΔΚ υπολογίζεται ως εξής:

επιφάνεια

$$A_s = \frac{(0,150 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})(86400 \frac{\text{s}}{\text{d}})}{33 \text{ m/d}} = 392,73 \text{ m}^2$$

Εφόσον μόνο το μισό της παροχής διαφεύγει από την επιφάνεια της δεξαμενής (το υπόλοιπο διαφεύγει από τον πυθμένα), μόνο το μισό του υδραυλικού φορτίου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού υπερχείλισης.

Η διάμετρος τότε θα είναι

$$392,73 = \frac{\pi D^2}{4} \longrightarrow D = (500,04)^{1/2} = 22,36 \text{ m} \approx 22 \text{ m}$$

Από τον πίνακα επιλέγουμε πλευρικό βάθος νερού 4 m.

Ελέγχουμε τώρα το φορτίο στερεών. Χρησιμοποιώντας  $1 \text{ mg/L} = 1 \text{ g/m}^3$

$$SL = \frac{(2860 \frac{\text{g}}{\text{m}^3})(0,300 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\frac{\pi(22 \text{ m})^2}{4}} = \frac{858,00 \frac{\text{g}}{\text{s}}}{380,13 \text{ m}^2} \times 10^{-3} \text{ kg/g} \times 86400 \frac{\text{s}}{\text{d}} = 195 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{d}}$$

Ελέγχοντας την τιμή αυτή από το σχήμα, βρίσκουμε ότι για έναν  $SVI = 175$ , έχουμε ένα μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο  $200 \text{ kg/m}^2/\text{d}$ .

Το φορτίο στον υδατοφράκτη είναι:

$$WL = \frac{0,150 \cdot 86400 \text{ s/d}}{\pi \cdot 22} = 187,51 \text{ m/d}$$

Εκτιμήστε το σχεδιασμό της ακόλουθης δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης σε σχέση με το χρόνο παραμονής, ρυθμό υπερχειλίσης και φορτίο υδατοφράκτη

Παροχή =  $0,150 \text{ m}^3/\text{d}$

SS εισροής =  $280 \text{ mg/L}$

Συγκέντρωση ιλύος =  $6,0\%$

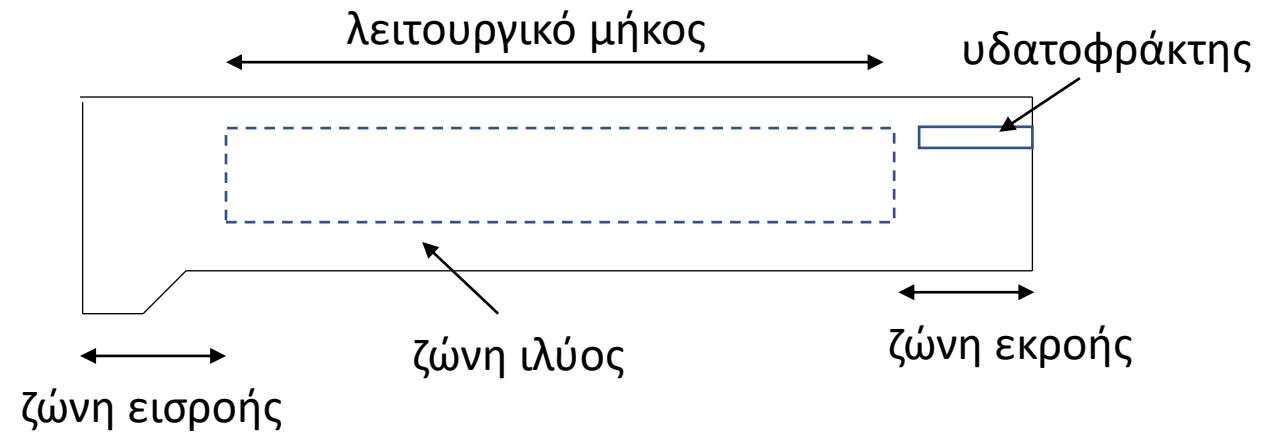
Απόδοση =  $60\%$

Μήκος (λειτουργικό) =  $40 \text{ m}$

Πλάτος =  $10 \text{ m}$

Βάθος νερού =  $2 \text{ m}$

Μήκος υδατοφράκτη =  $75 \text{ m}$



Χρόνος παραμονής

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{40 \cdot 10 \cdot 2}{0,150} = 5333,3 \text{ s} = 1,5 \text{ h}$$

Λογική τιμή χρόνου παραμονής.

Ρυθμός υπερχείλησης:

$$V_o = \frac{0,150}{40 \cdot 10} = 3,75 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 86400 \frac{\text{s}}{\text{d}} = 32 \text{ m/d}$$

Φόρτιση υδατοφράκτη:

Αποδεκτή τιμή.

$$WL = \frac{0,150}{75} = 0,0020 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{m} \times 86400 \frac{\text{s}}{\text{d}} = 172,8 \text{ m/d}$$

Αποδεκτή τιμή.

Σχεδιάστε ΔΔΚ για επεξεργασία 10 MLD εκροής από συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος. Τα MLSS στη δεξαμενή αερισμού είναι 3000 mg/L και ο συντελεστής αιχμής 2.

MLD = million liters per day

Θεωρούμε ρυθμό επιφανειακής φόρτισης  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  για τη μέση παροχή.

Τότε, η απαιτούμενη επιφάνεια  $= 1000 / 20 = 500 \text{ m}^2$

Ο ρυθμός υπερχείλισης στην παροχή αιχμής  $= 20000 / 500 = 40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  (μεταξύ 40-50)

## Έλεγχος φόρτισης στερεών

Για τη μέση παροχή, φόρτιση στερεών  $= 10000 \times 3/500 = 60 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{d}$

Για παροχή αιχμής, φόρτιση στερεών  $= 20000 \times 3/500 = 120 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{d}$

Διάμετρος δεξαμενής ( $500 \text{ m}^2$ )  $= 25,24 \text{ m}$

Για χρόνο παραμονής 2 h, άρα ο όγκος  $= 10000 \times 2/24 = 833,33 \text{ m}^3$

Έτσι, βάθος δεξαμενής  $= 833,33 / 500 = 1,67 \text{ m}$

Για βάθος 2 m + 0,3 m για συσσώρευση ιλύος και 0,4 για άνω τοιχώματα, συνολικό βάθος  $= 2,7 \text{ m}$

## Έλεγχος φόρτισης υδατοφράκτη

φόρτιση  $= 10000 / (\pi \times D) = 126,18 \text{ m}^3/\text{m}/\text{d}$ , άρα είναι ασφαλές.

# ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Για το σχεδιασμό δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης, μια στήλη ύψους 3,5 m και διαμέτρου 25 cm πληρώνεται με αστικό λύμα. Αρχικά τα λύματα στη στήλη υφίστανται ανάδευση για την επιβολή συνθηκών ομογενοποίησης. Η αρχική συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών είναι 300 mg/L. Σε χρόνο μηδέν, σταματά η ανάδευση και τα λύματα υπόκεινται σε καθίζηση, ενώ από τα σημεία δειγματοληψίας που βρίσκονται στα τοιχώματα της στήλης λαμβάνονται δείγματα σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται σε βάθη 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 και 3 m. Τα αποτελέσματα για διάφορους χρόνους δίνονται στον πίνακα.

Ποιο το αναμενόμενο ποσοστό απομάκρυνσης στερεών σωματιδίων σε μια δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης όταν ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 100 min και το βάθος της 3 m;

|           | Χρόνος δειγματοληψίας (min) |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Βάθος (m) | 30                          | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 |
| 0,5       | 149                         | 106 | 67  | 46  | 38  | 28  |
| 1         | 218                         | 154 | 113 | 79  | 66  | 50  |
| 1,5       | 237                         | 185 | 144 | 113 | 86  | 70  |
| 2         | 257                         | 205 | 165 | 133 | 109 | 85  |
| 2,5       | 268                         | 217 | 175 | 146 | 121 | 95  |
| 3         | 274                         | 227 | 187 | 158 | 133 | 112 |

Για το σχεδιασμό δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης ελήφθη ενεργός ιλύς από πιλοτική μονάδα και μελετήθηκε η καθίζηση των στερεών σε μια στήλη 1,5 m. Το ύψος της ενεργού ιλύος στη στήλη ήταν 1 m. Η συγκέντρωση των στερεών ήταν 3600 mg/L. Αρχικά, η ενεργός ιλύς αναδεύτηκε ώστε να επέλθει ομοιογένεια. Σε χρόνο μηδέν, η ανάδευση σταμάτησε και άρχισε η καθίζηση των στερεών. Το ύψος της διεπιφάνειας ιλύος-νερού ως συνάρτηση του χρόνου καταγράφεται στον πίνακα.

| Χρόνος (min)          | 0 | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |
|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ύψος διεπιφάνειας (m) | 1 | 0,84 | 0,68 | 0,57 | 0,45 | 0,37 | 0,31 | 0,27 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,17 |

Ποια η απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης, ώστε η ιλύς που θα καθιζάνει να έχει συγκέντρωση στερεών 12000 mg/L;

Η παροχή ενεργού ιλύος που θα παχυνθεί ανέρχεται σε 120 m<sup>3</sup>/h.

Ακόμη να υπολογισθεί η φόρτιση στερεών (kg/m<sup>2</sup>/d) και ο ρυθμός υπερχείλισης (m/d)