

# Προεπεξεργασία

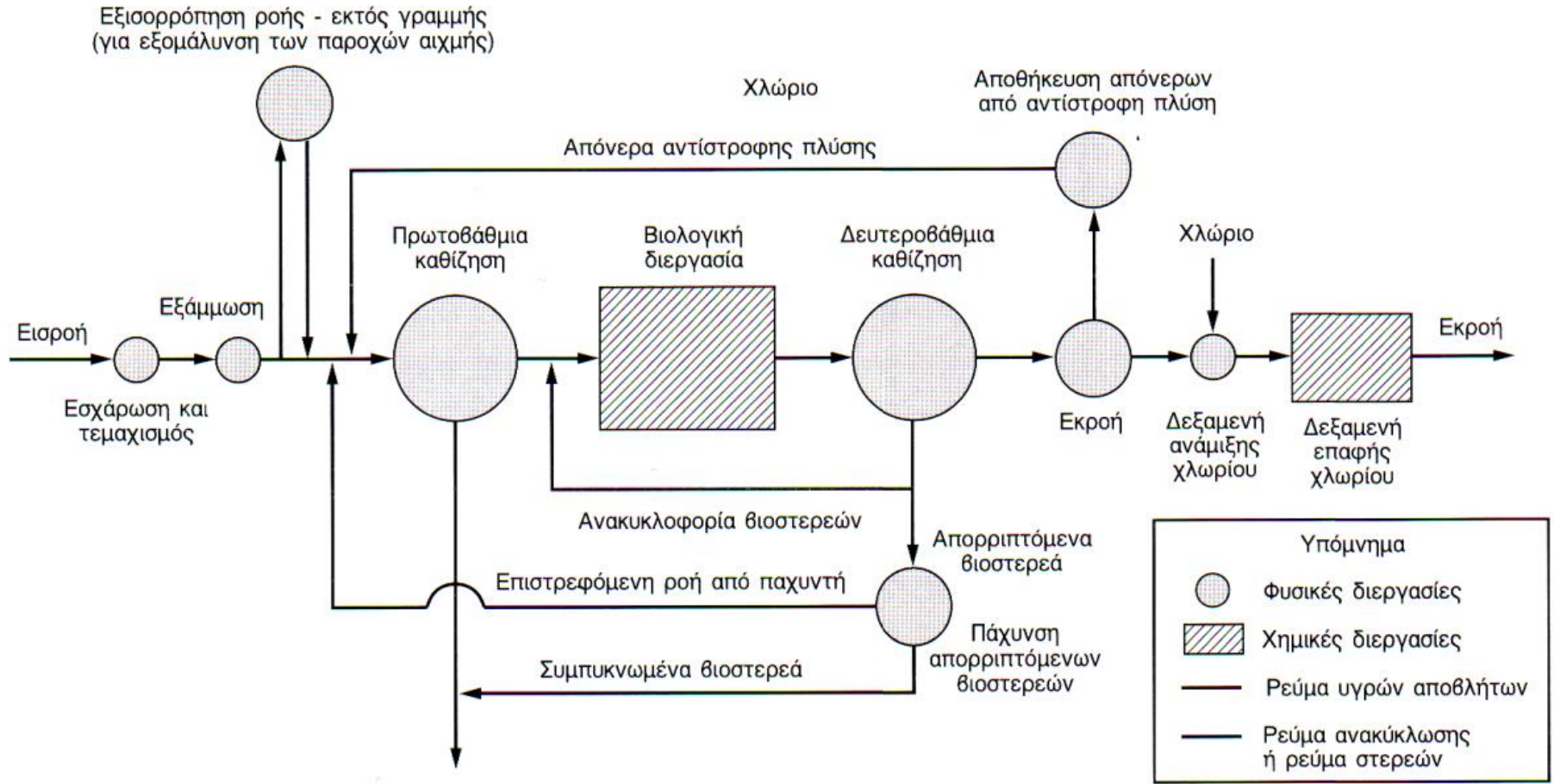
Καθηγητής Π. Μελίδης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών  
Αποβλήτων

# Φυσικές διεργασίες

1. Εσχάρωση
2. Ελάττωση των χονδρών στερεών (τεμαχισμό, θραύση, άλεση, εσχαρισμάτων)
3. Εξισορρόπηση ροής
4. Ανάμιξη ροής
5. Ανάμιξη και συσσωμάτωση
6. Εξάμμωση
7. Καθίζηση
8. Διαύγαση υψηλού ρυθμού
9. Διαχωρισμός με επιτάχυνση της βαρύτητας (δίνη)
10. Επίπλευση
11. Μεταφορά οξυγόνου
12. Αερισμός

# Φυσικές διεργασίες



Προς μονάδες επεξεργασίας στερεών και βιοστερεών (βλέπε Κεφάλαιο 14)

(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

Διάταξη των φυσικών διεργασιών στο διάγραμμα ροής μιας ΜΕΛ

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών σωματιδίων από τα υγρά απόβλητα με διαχωρισμό με βαρύτητα - πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διεργασίες

Η καθίζηση είναι ο διαχωρισμός αιωρούμενων σωματιδίων βαρύτερα από το νερό με τη δράση της βαρύτητας.

Η **επιταχυνόμενη καθίζηση** με βαρύτητα περιλαμβάνει την απομάκρυνση των σωματιδίων σε αιώρηση με καθίζηση λόγω βαρύτητας, σε πεδίο επιτάχυνόμενης ροής.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων (discrete particle settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση σωματιδίων με βαρύτητα σε ένα αιώρημα με μικρή συγκέντρωση στερεών σε ένα πεδίο σταθερής επιτάχυνσης. Τα σωματίδια καθιζάνουν ως διακεκριμένα σωματίδια και δεν υπάρχει καμία σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών σωματιδίων	Απομάκρυνση μικρών χαλικιών και άμμου από υγρά απόβλητα
Καθίζηση με συσσωμάτωση	Αναφέρεται σε ένα μάλλον αραιό αιώρημα σωματιδίων τα οποία συγχωνεύονται ή συσσωματώνονται κατά τη διεργασία της καθίζησης. Τα σωματίδια αυξάνουν τη μάζα τους με τη συσσωμάτωση και καθιζάνουν με μεγαλύτερο ρυθμό	Απομάκρυνση ενός μέρους των TSS σε μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης και στα αρχικά τμήματα των εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης. Επίσης απομακρύνονται χημικά συσσωματώματα σε δεξαμενές καθίζησης
Ενισχυμένη καθίζηση με συσσωμάτωση	Αναφέρεται στην προσθήκη ενός αδρανούς μέσου και ενός πολυμερούς σε ένα μερικά συσσωματωμένο αιώρημα για να προωθηθεί η ταχεία καθίζηση και η βελτίωση της απομάκρυνσης των στερεών. Ένα μέρος του ανακτημένου μέσου ανακυκλώνεται στη διεργασία	Απομάκρυνση ενός μέρους των TSS σε μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, σε υγρά απόβλητα από παντοροϊκά συστήματα και σε βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Επίσης μειώνεται η τιμή του BOD και η συγκέντρωση φωσφόρου

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων (discrete particle settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση σωματιδίων με βαρύτητα σε ένα αιώρημα με μικρή συγκέντρωση στερεών σε ένα πεδίο σταθερής επιτάχυνσης. Τα σωματίδια καθιζάνουν ως διακεκριμένα σωματίδια και δεν υπάρχει καμία σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών σωματιδίων	Απομάκρυνση μικρών χαλικιών και άμμου από υγρά απόβλητα
Καθίζηση με συσσωμάτωση	Αναφέρεται σε ένα μάλλον αραιό αιώρημα σωματιδίων τα οποία συγχωνεύονται ή συσσωματώνονται κατά τη διεργασία της καθίζησης. Τα σωματίδια αυξάνουν τη μάζα τους με τη συσσωμάτωση και καθιζάνουν με μεγαλύτερο ρυθμό	Απομάκρυνση ενός μέρους των TSS σε μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης και στα αρχικά τμήματα των εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης. Επίσης απομακρύνονται χημικά συσσωματώματα σε δεξαμενές καθίζησης
Ενισχυμένη καθίζηση με συσσωμάτωση	Αναφέρεται στην προσθήκη ενός αδρανούς μέσου και ενός πολυμερούς σε ένα μερικά συσσωματωμένο αιώρημα για να προωθηθεί η ταχεία καθίζηση και η βελτίωση της απομάκρυνσης των στερεών. Ένα μέρος του ανακτημένου μέσου ανακυκλώνεται στη διεργασία	Απομάκρυνση ενός μέρους των TSS σε μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, σε υγρά απόβλητα από παντοροϊκά συστήματα και σε βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Επίσης μειώνεται η τιμή του BOD και η συγκέντρωση φωσφόρου

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων (discrete particle settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση σωματιδίων με βαρύτητα σε ένα αιώρημα με μικρή συγκέντρωση στερεών σε ένα πεδίο σταθερής επιτάχυνσης. Τα σωματίδια καθιζάνουν ως διακεκριμένα σωματίδια και δεν υπάρχει καμία σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών σωματιδίων	Απομάκρυνση μικρών χαλικιών και άμμου από υγρά απόβλητα
Καθίζηση με συσσωμάτωση	Αναφέρεται σε ένα μάλλον αραιό αιώρημα σωματιδίων τα οποία συγχωνεύονται ή συσσωματώνονται κατά τη διεργασία της καθίζησης. Τα σωματίδια αυξάνουν τη μάζα τους με τη συσσωμάτωση και καθιζάνουν με μεγαλύτερο ρυθμό	Απομάκρυνση ενός μέρους των TSS σε μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης και στα αρχικά τμήματα των εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης. Επίσης απομακρύνονται χημικά συσσωματώματα σε δεξαμενές καθίζησης
Ενισχυμένη καθίζηση με συσσωμάτωση	Αναφέρεται στην προσθήκη ενός αδρανούς μέσου και ενός πολυμερούς σε ένα μερικά συσσωματωμένο αιώρημα για να προωθηθεί η ταχεία καθίζηση και η βελτίωση της απομάκρυνσης των στερεών. Ένα μέρος του ανακτημένου μέσου ανακυκλώνεται στη διεργασία	Απομάκρυνση ενός μέρους των TSS σε μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, σε υγρά απόβλητα από παντοροϊκά συστήματα και σε βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Επίσης μειώνεται η τιμή του BOD και η συγκέντρωση φωσφόρου

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Παρεμποδιζόμενη καθίζηση (hindered settling) (επίσης καλείται καθίζηση ζώνης)	Αναφέρεται σε αιωρήματα ενδιάμεσων συγκεντρώσεων, όπου οι ενδοσωματιδιακές δυνάμεις επαρκούν για να παρεμποδίσουν την καθίζηση των γειτονικών σωματιδίων. Τα σωματίδια τείνουν να παραμένουν σε καθορισμένες θέσεις ως προς τα άλλα σωματίδια και η μάζα των σωματιδίων καθιζάνει ως ένα σύνολο. Στην επιφάνεια της μάζας που έχει καθιζήσει αναπτύσσεται μια διεπιφάνεια στερεού-υγρού	συγκεντρωση φωσφορου  Λαμβάνει χώρα σε εγκαταστάσεις δευτεροβάθμιας καθίζησης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας
Καθίζηση συμπίεσης (compression settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση στην οποία η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι τόση ώστε να σχηματίζεται μια δομή και η περαιτέρω καθίζηση μπορεί να λάβει χώρα μόνο με συμπίεση της δομής. Η συμπίεση λαμβάνει χώρα από το βάρος των σωματιδίων που προστίθενται συνεχώς στη δομή με καθίζηση από το υπερκείμενο υγρό	Συνήθως λαμβάνει χώρα στα χαμηλότερα στρώματα μιας μάζας στερεών ή βιοστερεών, όπως στον πυθμένα εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης και σε εγκαταστάσεις πάχυνσης στερεών
Καθίζηση με επιταχυνόμενη βαρύτητα (Accelerated gravity settling)	Απομάκρυνση σωματιδίων σε αιώρηση με καθίζηση με βαρύτητα σε ένα επιταχυνόμενο πεδίο	Απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα
Επίπλευση	Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων που είναι ελαφρύτερα από το νερό με επίπλευση με αέρα ή με αέριο	Απομάκρυνση λιπών και ελαίων, ελαφρών σωματιδίων που επιπλέουν, πάχυνση αιωρημάτων με στερεά



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Παρεμποδιζόμενη καθίζηση (hindered settling) (επίσης καλείται καθίζηση ζώνης)	Αναφέρεται σε αιωρήματα ενδιάμεσων συγκεντρώσεων, όπου οι ενδοσωματιδιακές δυνάμεις επαρκούν για να παρεμποδίσουν την καθίζηση των γειτονικών σωματιδίων. Τα σωματίδια τείνουν να παραμένουν σε καθορισμένες θέσεις ως προς τα άλλα σωματίδια και η μάζα των σωματιδίων καθιζάνει ως ένα σύνολο. Στην επιφάνεια της μάζας που έχει καθιζήσει αναπτύσσεται μια διεπιφάνεια στερεού-υγρού	συγκέντρωση φωσφορού  Λαμβάνει χώρα σε εγκαταστάσεις δευτεροβάθμιας καθίζησης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας
Καθίζηση συμπίεσης (compression settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση στην οποία η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι τόση ώστε να σχηματίζεται μια δομή και η περαιτέρω καθίζηση μπορεί να λάβει χώρα μόνο με συμπίεση της δομής. Η συμπίεση λαμβάνει χώρα από το βάρος των σωματιδίων που προστίθενται συνεχώς στη δομή με καθίζηση από το υπερκείμενο υγρό	Συνήθως λαμβάνει χώρα στα χαμηλότερα στρώματα μιας μάζας στερεών ή βιοστερεών, όπως στον πυθμένα εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης και σε εγκαταστάσεις πάχυνσης στερεών
Καθίζηση με επιταχυνόμενη βαρύτητα (Accelerated gravity settling)	Απομάκρυνση σωματιδίων σε αιώρηση με καθίζηση με βαρύτητα σε ένα επιταχυνόμενο πεδίο	Απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα
Επίπλευση	Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων που είναι ελαφρύτερα από το νερό με επίπλευση με αέρα ή με αέριο	Απομάκρυνση λιπών και ελαίων, ελαφρών σωματιδίων που επιπλέουν, πάχυνση αιωρημάτων με στερεά

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Παρεμποδιζόμενη καθίζηση (hindered settling) (επίσης καλείται καθίζηση ζώνης)	Αναφέρεται σε αιωρήματα ενδιάμεσων συγκεντρώσεων, όπου οι ενδοσωματιδιακές δυνάμεις επαρκούν για να παρεμποδίσουν την καθίζηση των γειτονικών σωματιδίων. Τα σωματίδια τείνουν να παραμένουν σε καθορισμένες θέσεις ως προς τα άλλα σωματίδια και η μάζα των σωματιδίων καθιζάνει ως ένα σύνολο. Στην επιφάνεια της μάζας που έχει καθιζήσει αναπτύσσεται μια διεπιφάνεια στερεού-υγρού	συγκέντρωση φωσφορού  Λαμβάνει χώρα σε εγκαταστάσεις δευτεροβάθμιας καθίζησης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας
Καθίζηση συμπίεσης (compression settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση στην οποία η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι τόση ώστε να σχηματίζεται μια δομή και η περαιτέρω καθίζηση μπορεί να λάβει χώρα μόνο με συμπίεση της δομής. Η συμπίεση λαμβάνει χώρα από το βάρος των σωματιδίων που προστίθενται συνεχώς στη δομή με καθίζηση από το υπερκείμενο υγρό	Συνήθως λαμβάνει χώρα στα χαμηλότερα στρώματα μιας μάζας στερεών ή βιοστερεών, όπως στον πυθμένα εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης και σε εγκαταστάσεις πάχυνσης στερεών
Καθίζηση με επιταχυνόμενη βαρύτητα (Accelerated gravity settling)	Απομάκρυνση σωματιδίων σε αιώρηση με καθίζηση με βαρύτητα σε ένα επιταχυνόμενο πεδίο	Απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα
Επίπλευση	Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων που είναι ελαφρύτερα από το νερό με επίπλευση με αέρα ή με αέριο	Απομάκρυνση λιπών και ελαίων, ελαφρών σωματιδίων που επιπλέουν, πάχυνση αιωρημάτων με στερεά

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Σύνοψη του φαινομένου της βαρύτητας

Είδος μηχανισμού διαχωρισμού	Περιγραφή	Εφαρμογή/Εμφάνιση
Παρεμποδιζόμενη καθίζηση (hindered settling) (επίσης καλείται καθίζηση ζώνης)	Αναφέρεται σε αιωρήματα ενδιάμεσων συγκεντρώσεων, όπου οι ενδοσωματιδιακές δυνάμεις επαρκούν για να παρεμποδίσουν την καθίζηση των γειτονικών σωματιδίων. Τα σωματίδια τείνουν να παραμένουν σε καθορισμένες θέσεις ως προς τα άλλα σωματίδια και η μάζα των σωματιδίων καθιζάνει ως ένα σύνολο. Στην επιφάνεια της μάζας που έχει καθιζήσει αναπτύσσεται μια διεπιφάνεια στερεού-υγρού	συγκέντρωση φωσφορου  Λαμβάνει χώρα σε εγκαταστάσεις δευτεροβάθμιας καθίζησης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίας
Καθίζηση συμπίεσης (compression settling)	Αναφέρεται στην καθίζηση στην οποία η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι τόση ώστε να σχηματίζεται μια δομή και η περαιτέρω καθίζηση μπορεί να λάβει χώρα μόνο με συμπίεση της δομής. Η συμπίεση λαμβάνει χώρα από το βάρος των σωματιδίων που προστίθενται συνεχώς στη δομή με καθίζηση από το υπερκείμενο υγρό	Συνήθως λαμβάνει χώρα στα χαμηλότερα στρώματα μιας μάζας στερεών ή βιοστερεών, όπως στον πυθμένα εγκαταστάσεων δευτεροβάθμιας καθίζησης και σε εγκαταστάσεις πάχυνσης στερεών
Καθίζηση με επιταχυνόμενη βαρύτητα (Accelerated gravity settling)	Απομάκρυνση σωματιδίων σε αιώρηση με καθίζηση με βαρύτητα σε ένα επιταχυνόμενο πεδίο	Απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα
Επίπλευση	Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων που είναι ελαφρύτερα από το νερό με επίπλευση με αέρα ή με αέριο	Απομάκρυνση λιπών και ελαίων, ελαφρών σωματιδίων που επιπλέουν, πάχυνση αιωρημάτων με στερεά

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα - Περιγραφή

Η καθίζηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση

Άμμου,

TSS (πρωτοβάθμια καθίζηση)

Βιολογικών κροκίδων (δευτεροβάθμια καθίζηση)

Χημικών κροκίδων

Πύκνωση των στερεών σε παχυντές λάσπης.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## **Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα - Περιγραφή**

Ο πρωταρχικός σκοπός είναι η παραγωγή μιας διαυγασμένης εκροής, ενώ είναι επίσης σημαντικό να παραχθεί λάσπη με μια συγκέντρωση στερεών που να μπορεί να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί εύκολα.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα - Περιγραφή

Με βάση τη συγκέντρωση και την τάση των σωματιδίων να αλληλεπιδρούν, υπάρχουν τέσσερις τύποι καθίζησης με βαρύτητα:

- (1) διακεκριμένων σωματιδίων,
- (2) συσσωμάτωσης,
- (3) παρεμποδισμένη (επίσης καλείται ζώνης) και
- (4) με συμπίεση.

Άλλες διεργασίες διαχωρισμού με βαρύτητα περιλαμβάνουν την καθίζηση υψηλού ρυθμού, την καθίζηση με επιταχυνόμενη βαρύτητα και την επίπλευση

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων** - Η καθίζηση των διακεκριμένων, μη συσσωματωμένων σωματιδίων μπορεί να αναλυθεί με τους κλασσικούς νόμους της καθίζησης που διατυπώθηκαν από τους Newton και Stocke.

Ο νόμος του Newton δίνει την τελική ταχύτητα των σωματιδίων **εξισώνοντας τη βαρυτική δύναμη των σωματιδίων με τη δύναμη της τριβής**. Η δύναμη βαρύτητας δίνεται

$$F_G = (\rho_p - \rho_w)gV_p$$

όπου  $F_G$  = δύναμη βαρύτητας,  $MLT^{-2}$  ( $kg \cdot m / s^2$ )  
 $\rho_p$  = πυκνότητα του σωματιδίου,  $ML^{-3}$  ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_w$  = πυκνότητα του νερού,  $ML^{-3}$  ( $kg/m^3$ )  
 $g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας,  $LT^{-2}$  ( $9.81 m^2/s$ )  
 $V_p$  = όγκος του σωματιδίου,  $L^3$  ( $m^3$ )

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων

Η δύναμη βαρύτητας δίνεται

$$F_G = (\rho_p - \rho_w)gV_p$$

όπου  $F_G$  = δύναμη βαρύτητας,  $MLT^{-2}$  ( $kg \cdot m / s^2$ )  
 $\rho_p$  = πυκνότητα του σωματιδίου,  $ML^{-3}$  ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_w$  = πυκνότητα του νερού,  $ML^{-3}$  ( $kg/m^3$ )  
 $g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας,  $LT^{-2}$  ( $9.81 \text{ m}^2/s$ )  
 $V_p$  = όγκος του σωματιδίου,  $L^3$  ( $m^3$ )



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων

Η **δύναμη της τριβής** εξαρτάται από την ταχύτητα του σωματιδίου, την πυκνότητα του ρευστού, το ιξώδες του ρευστού, τη διάμετρο του σωματιδίου και το συντελεστή τριβής  $C_d$  (αδιάστατος)

$$F_d = \frac{C_d A_p \rho_w v_p^2}{2}$$

$F_d$  = δύναμη της τριβής,  $MLT^{-2}$  ( $kg \cdot m / s^2$ )

$C_d$  = συντελεστής τριβής (αδιάστατος)

$A_p$  = επιφάνεια εγκάρσιας διατομής ή προεκβολή της επιφάνειας των σωματιδίων στην κατεύθυνση της ροής,  $L^2$  ( $m^2$ )

$v_p$  = ταχύτητα καθίζησης σωματιδίου,  $LT^{-1}$  ( $m/s$ )

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων

Εξισώνοντας τη δύναμη βαρύτητας με τη δύναμη τριβής για σφαιρικά σωματίδια προκύπτει ο νόμος του **Newton**

$$v_{p(t)} = \sqrt{\frac{4g}{3C_d} \left( \frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right) d_p} \approx \sqrt{\frac{4g}{3C_d} (sg_p - 1) d_p}$$

$v_p$  = τελική ταχύτητα σωματιδίου,  $LT^{-1}$  (m/s)

$d_p$  = διάμετρος σωματιδίου, L (m)

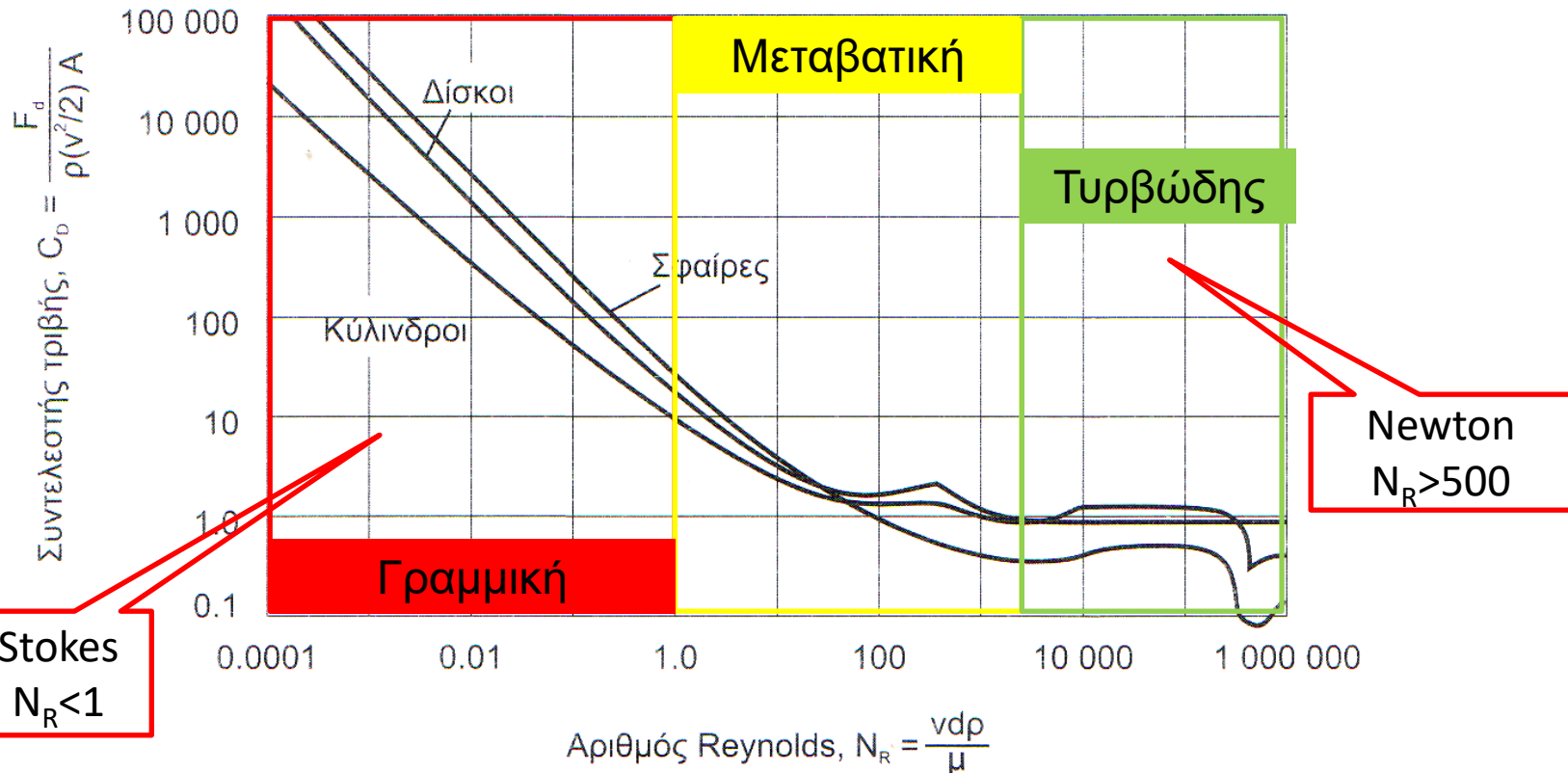
$sg_p$  = σχετική πυκνότητα του σωματιδίου

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων

Ο συντελεστής  $C_d$  παίρνει διάφορες τιμές ανάλογα αν η ροή από το σωματίδιο είναι γραμμική ή τυρβώδης

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται ως συνάρτηση του αριθμού Reynolds



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων

Αν και το σχήμα των σωματιδίων επηρεάζει την τιμή του συντελεστή τριβής, για περίπου σφαιρικά σωματίδια, η καμπύλη προσεγγίζεται με

$$C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$$

$$N_R = \frac{v_p d_p \rho_w}{\mu} = \frac{v_p d_p}{\nu}$$

$\mu$  = δυναμικό ιξώδες,  $\text{MTL}^{-2}$  ( $\text{N}\cdot\text{s} / \text{m}^2$ )

$\nu$  = κινηματικό ιξώδες,  $\text{L}^2\text{T}^{-1}$  ( $\text{m}^2 / \text{s}$ )

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων

για μη σφαιρικά σωματίδια η καμπύλη προσεγγίζεται με

$$v_{p(t)} = \sqrt{\frac{4g}{3C_d\phi} \left( \frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right)} \approx \sqrt{\frac{4g}{3C_d\phi} (sg_p - 1)d_p}$$

$\phi$  είναι συντελεστής σχήματος με τιμές από 1 για σφαίρες, 2 για κόκκους άμμου και πάνω από 20 για συσσωματώματα

Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου σφαιρικά σωματίδια !!!

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων- Καθίζηση στην γραμμική περιοχή

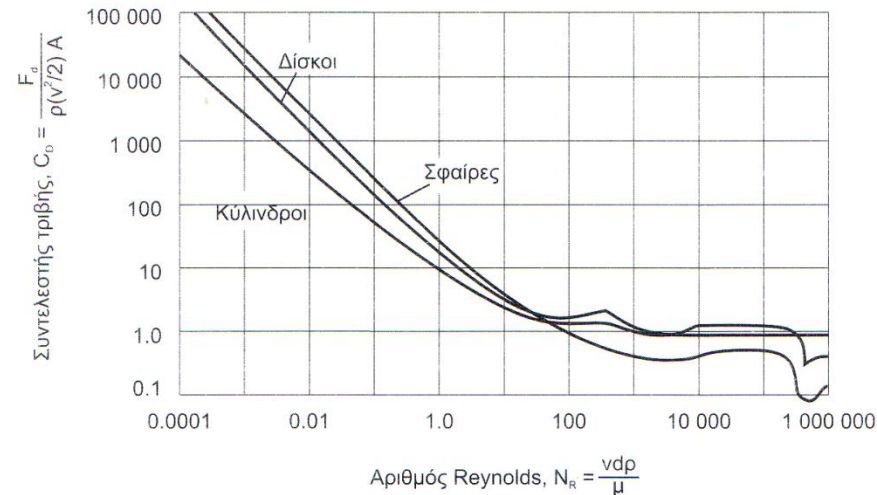
Για  $N_R < 1$ , το ιξώδες είναι η κυρίαρχη δύναμη που καθορίζει την καθίζηση και επικρατεί ο πρώτος όρος, για μη σφαιρικά σωματίδια η καμπύλη προσεγγίζεται με

$$C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 \quad \longrightarrow \quad C_d = \frac{24}{N_R}$$

Θεωρώντας σφαιρικά σωματίδια και αντικαθιστώντας τον πρώτο όρο από τον συντελεστή τριβής προκύπτει ο **νόμος του Stokes** και η δύναμη τριβής

$$v_p = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu} \approx \frac{g(sg_p - 1)d_p^2}{18\nu}$$

$$F_D = 3\pi\mu v_p d_p$$

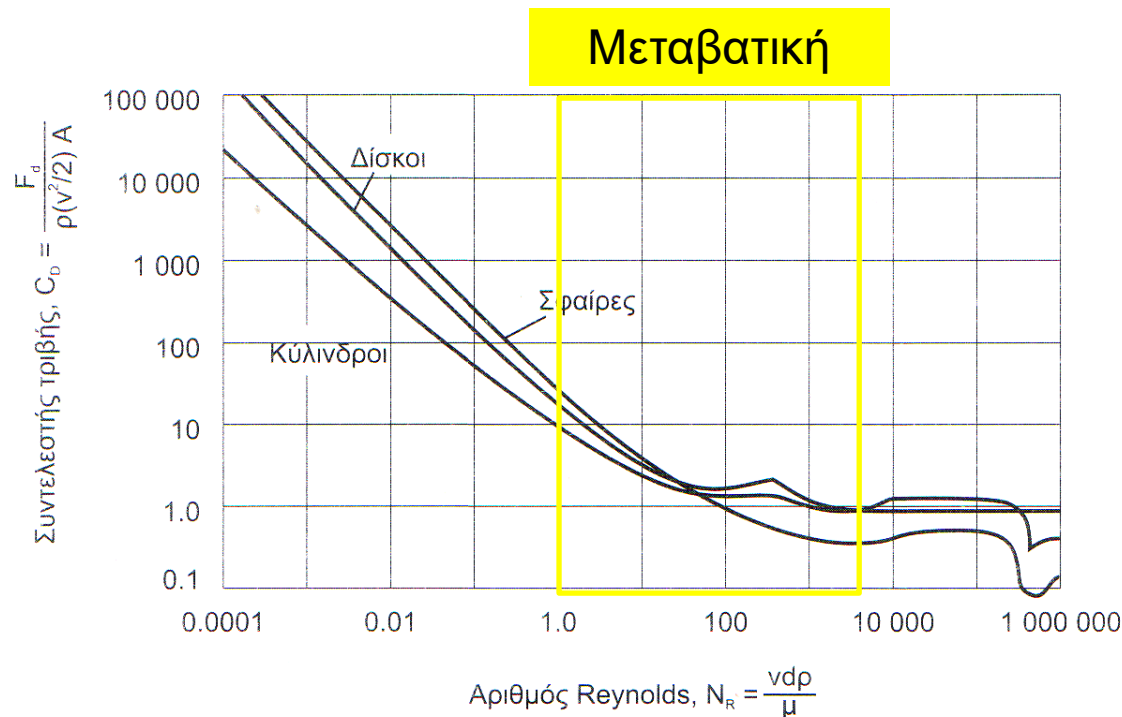


# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων- Καθίζηση στην μεταβατική περιοχή

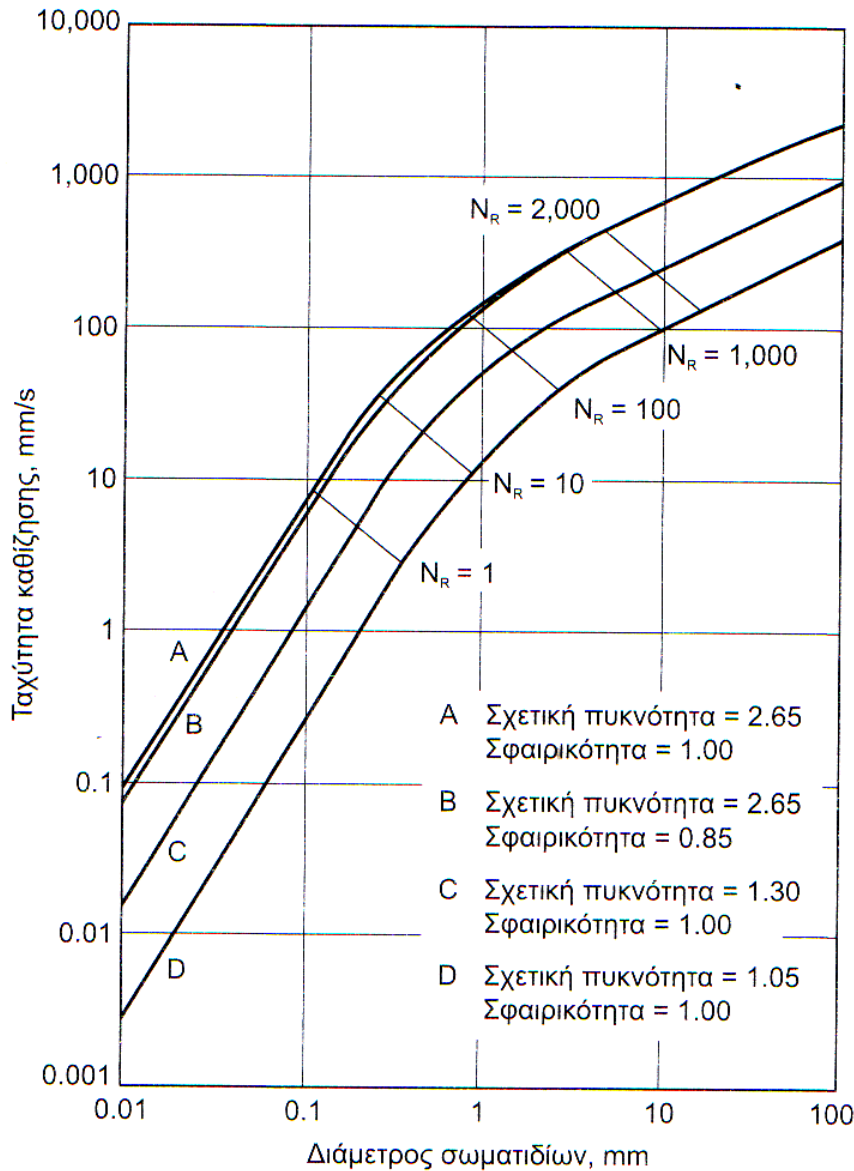
$$F_G = (\rho_p - \rho_w)gV_p$$

Χρησιμοποιείται ο τύπος και προσδιορίζεται η ταχύτητα καθίζησης με την χρήση των διαγραμμάτων και μία επαναληπτική διαδικασία (παράδειγμα)



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων- Καθίζηση στην μεταβατική περιοχή



Ταχύτητες καθίζησης για διάφορα μεγέθη σωματιδίων κάτω από διάφορες συνθήκες στους 20°C

(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)



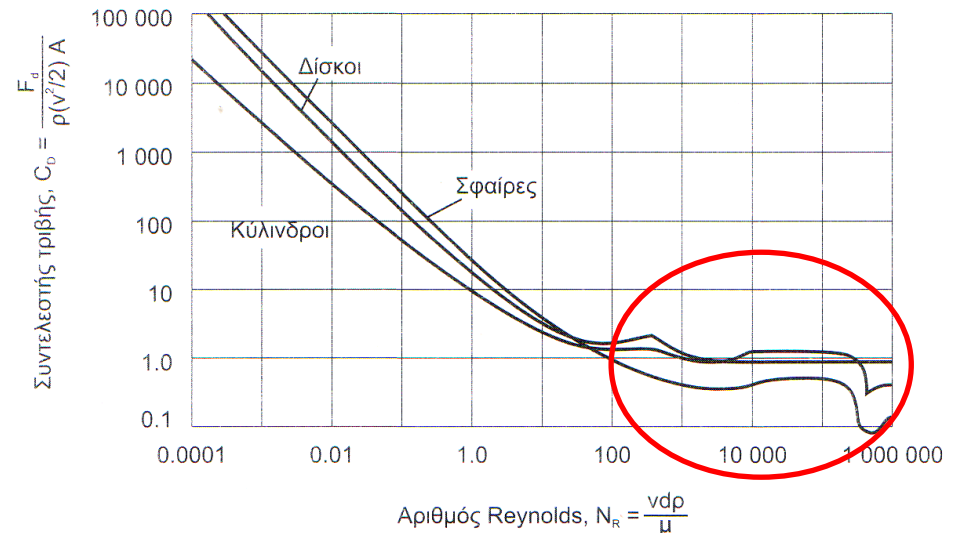
# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων- Καθίζηση στην Τυρβώδη περιοχή

Στην τυρβώδη περιοχή, οι **δυνάμεις αδράνειας** κυριαρχούν και μειώνεται η επίδραση των δύο πρώτων όρων στην εξίσωση του συντελεστή τριβής.

$$C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$$

Για την καθίζηση στην τυρβώδη περιοχή χρησιμοποιείται η τιμή 0.4 για το συντελεστή τριβής.



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία Καθίζησης Σωματιδίων- Καθίζηση στην Τυρβώδη περιοχή

Αν η τιμή 0.4 αντικατασταθεί στην εξίσωση τελικής ταχύτητας σωματιδίου για το συντελεστή τριβής, η εξίσωση που προκύπτει είναι

$$v_p = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu} \approx \frac{g(sg_p - 1)d_p^2}{18\nu} \quad \text{εξίσωση τελικής ταχύτητας σωματιδίου}$$

$$v_p = \sqrt{3.33g \left( \frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right) d_p} \approx \sqrt{3.33g(sg_p - 1)d_p}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Άσκηση:** Εφαρμογή των εξισώσεων καθίζησης

Προσδιορισμός της Τελικής Ταχύτητας Καθίζησης Σωματιδίων με :

Μέση διάμετρο 0,5mm,

Συντελεστή σχήματος 0,85,

Σχετική πυκνότητα 2,65

στους 20οC με κινηματικό ιξώδες  $1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

## Λύση

Προσδιορισμός της τελικής ταχύτητας καθίζησης για ένα σωματίδιο με την χρήση του νόμου του Stokes:

$$v_p = \frac{g(sg_p - 1)d_p^2}{18\nu} = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2)(2.65 - 1)(0.5 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{18(1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 0.224 \text{ m/s}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Λύση

2. Έλεγχος του αριθμού Reynolds:

$$N_R = \frac{\rho v_p d_p}{\nu} = \frac{0.85(0.224 \text{ m/s})(0.5 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 94.9$$

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός Reynolds που προκύπτει είναι μεγάλος (>1) και επομένως η χρήση του νόμου του Stokes δεν ήταν η κατάλληλη

Συνεπώς χρησιμοποιούμε τον νόμο του Newton για τον προσδιορισμό της ταχύτητας καθίζησης στην μεταβατική περιοχή

$$v_p = \sqrt{\frac{4g(sg-1)d}{3C_d}}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Λύση

Ο όρος του συντελεστή τριβής  $C_d$  εξαρτάται από τον αριθμό  $Re$  ο οποίος πάλι είναι συνάρτηση της ταχύτητας καθίζησης

Λόγω του ότι δεν είναι γνωστή η ταχύτητα καθίζησης λαμβάνεται μια υποθετική αρχική τιμή, ακολούθως υπολογίζεται ο αριθμός  $Re$ , με αυτό υπολογίζεται ο  $C_d$ , και αυτός εφαρμόζεται στον νόμο του Newton για τον προσδιορισμό της ταχύτητας καθίζησης

Η λύση επιτυγχάνεται με την προσέγγιση της αρχικής με την τελική ταχύτητα καθίζησης (επαναληπτική διαδικασία)

$$v_p = \sqrt{\frac{4g(sg-1)d}{3C_d}}$$

$$C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Λύση

3. Για την πρώτη υποθετική τιμή της ταχύτητας καθίζησης χρησιμοποιούμε την τιμή που υπολογίσαμε με τον νόμο του Stoke, προσδιορίζουμε τον αριθμό  $Re$  και ακολούθως τον  $C_d$

$$C_d = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 = \frac{24}{94.9} + \frac{3}{\sqrt{94.9}} + 0.34 = 0.901$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Λύση

4. Αυτόν τον χρησιμοποιούμε στην εξίσωση του Newton για τον προσδιορισμό της τιμής της ταχύτητας καθίζησης του σωματιδίου

$$v_p = \sqrt{\frac{4g(sg-1)d}{3C_d}} = \sqrt{\frac{4(9.81\text{ m/s}^2)(2.65-1)(0.5 \times 10^{-3}\text{ m})}{3 \times 0.901}} = 0.109\text{ m/s}$$

Η τιμή αυτή δεν συμφωνεί με την αρχική 0,224 m/s και απαιτείται δεύτερη επανάληψη

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Λύση

5. Για την 2<sup>η</sup> επανάληψη υποθέτουμε μια ταχύτητα καθίζησης 0,09m/s και υπολογίζουμε εκ νέου το Re, υπολογίζουμε τον Cd και τον εφαρμόζουμε εκ νέου στον τύπο του Newton

$$N_R = \frac{0.85(0.09 \text{ m/s})(0.5 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1.003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 38.1$$

$$C_d = \frac{24}{38.1} + \frac{3}{\sqrt{38.1}} + 0.34 = 1.456$$

$$v_p = \sqrt{\frac{4(9.81 \text{ m/s}^2)(2.65 - 1)(0.5 \times 10^{-3} \text{ m})}{3 \times 1.456}} = 0.086 \text{ m/s}$$



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Λύση

5. Παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές της τελικής ταχύτητας, η υποθετική  $0,09 \text{ m/s}$  και η υπολογιζόμενη  $0,086 \text{ m/s}$  δεν συμπίπτουν εντούτοις είναι πολύ κοντά. Θα έπρεπε να γίνουν περεταίρω επαναλήψεις μέχρι την καλύτερη δυνατή προσέγγιση

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων – Σχεδιασμός ΔΚ

Στο σχεδιασμό των δεξαμενών καθίζησης, η συνηθισμένη διαδικασία είναι να **επιλέγεται** ένα **σωματίδιο** με μια τελική **ταχύτητα**  $u_c$  και να **σχεδιάζεται η δεξαμενή** έτσι ώστε να απομακρύνονται όλα τα σωματίδια που έχουν μια **τελική ταχύτητα ίση ή μεγαλύτερη από  $u_c$**

Ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται διαυγασμένο νερό είναι ίσος με:

$$Q = Av_c$$

όπου  $Q =$  παροχή,  $L^3T^{-1}$  ( $m^3/s$ )

$A =$  επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης,  $L^2$  ( $m^2$ )

$u_c =$  ταχύτητα καθίζησης του σωματιδίου,  $LT^{-1}$  ( $m/s$ )

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων – Σχεδιασμός ΔΚ

Αναδιατάσσοντας την εξίσωση προκύπτει:

$$v_c = \frac{Q}{A} = \text{ταχύτητα υπερχείλισης, } LT^{-1} (m^3 / m^2 \cdot d)$$

Έτσι, η κρίσιμη ταχύτητα είναι ισοδύναμη με την ταχύτητα υπερχείλισης ή με την ταχύτητα επιφανειακής φόρτισης.

Στο σχεδιασμό της καθίζησης διακεκριμένων σωματιδίων η απόδοση της δεξαμενής είναι ανεξάρτητη από το βάθος

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Για καθίζηση με **συνεχή ροή**, το **μήκος της δεξαμενής και ο χρόνος** του μοναδιαίου όγκου στη δεξαμενή του νερού (χρόνος παραμονής) **πρέπει να είναι τέτοια** ώστε όλα τα σωματίδια με ταχύτητα σχεδιασμού  $v_c$  **να καθιζάνουν** στον πυθμένα της δεξαμενής.

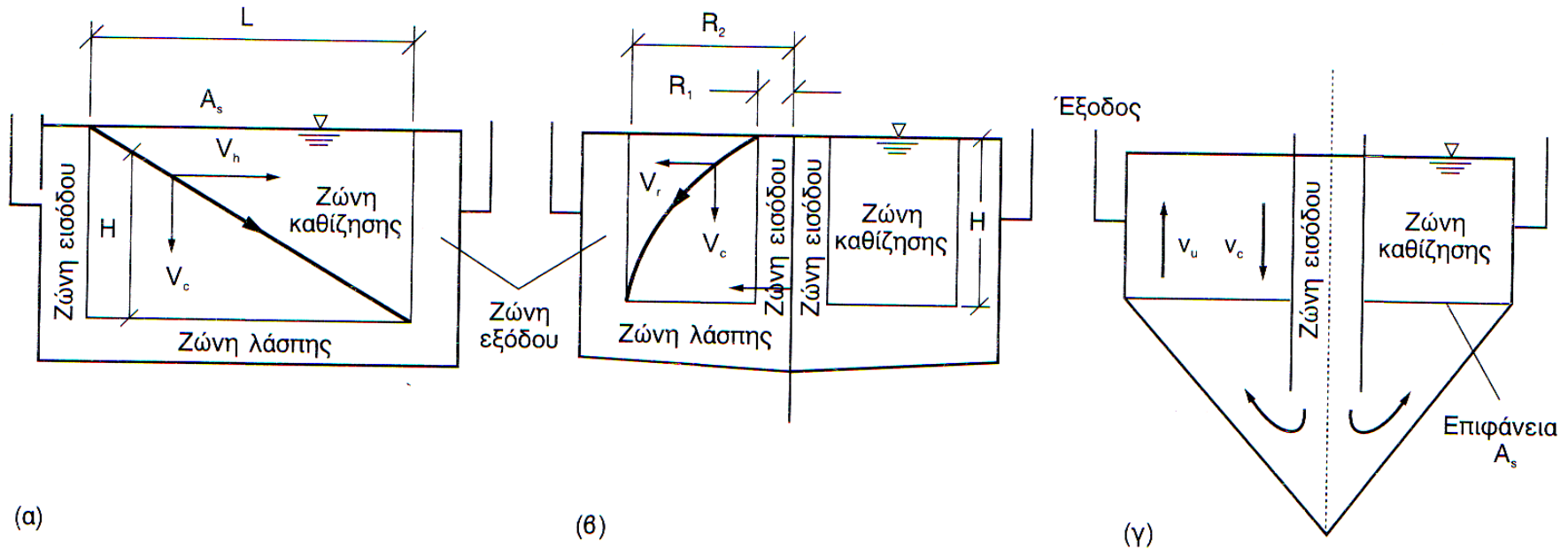
Η ταχύτητα σχεδιασμού, ο χρόνος παραμονής και το βάθος δεξαμενής σχετίζονται ως εξής (σε ιδανικές συνθήκες σχεδιασμού):

$$v_c = \frac{\text{βάθος}}{\text{χρόνος παραμονής}}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Η ιδανική καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε τρεις διαφορετικούς τύπους δεξαμενών καθίζησης α) ορθογώνια, β) κυκλική, γ) ανοδικής ροής

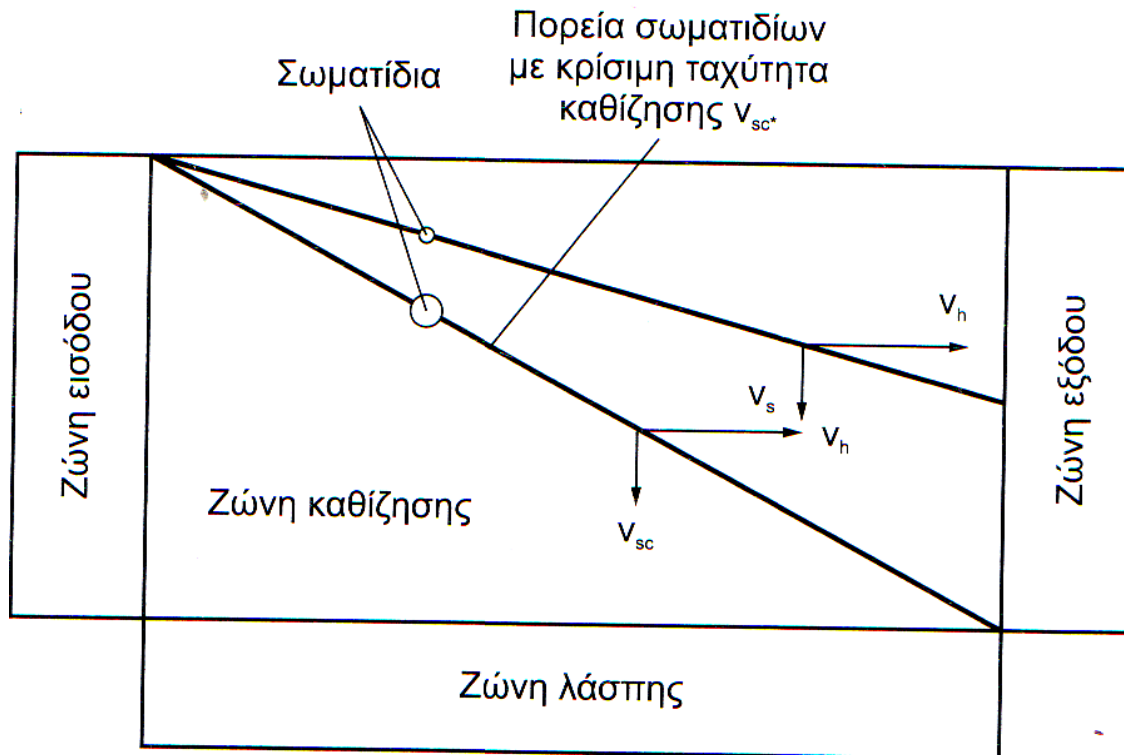


(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Τα σωματίδια που έχουν **ταχύτητα πτώσης μικρότερη από  $u_c$**  δε θα απομακρυνθούν κατά τη διάρκεια του χρόνου που διαρκεί η καθίζηση (σηματικό διάγραμμα ιδανικής καθίζησης δ.σ.)



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Υποθέτοντας ότι τα σωματίδια με διάφορα μεγέθη **κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το βάθος της δεξαμενής στην είσοδο**, τα σωματίδια με **ταχύτητα καθίζησης μικρότερη από  $u_c$**  θα απομακρυνθούν **μερικώς** σύμφωνα με τον λόγο

$$X_r = \frac{v_p}{v_c}$$

( $X_r$  το κλάσμα των σωματιδίων που απομακρύνονται με ταχύτητα καθίζησης  $u_p$ )

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Στα περισσότερα αιωρήματα που απαντώνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, υπάρχει ένα μεγάλο εύρος στα μεγέθη των σωματιδίων.

Επομένως για να υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης για ένα δεδομένο χρόνο καθίζησης, είναι σημαντικό να εξεταστεί η συνολική περιοχή ταχυτήτων καθίζησης του συστήματος

Οι ταχύτητες καθίζησης προκύπτουν από μια δοκιμή σε στήλη καθίζησης.

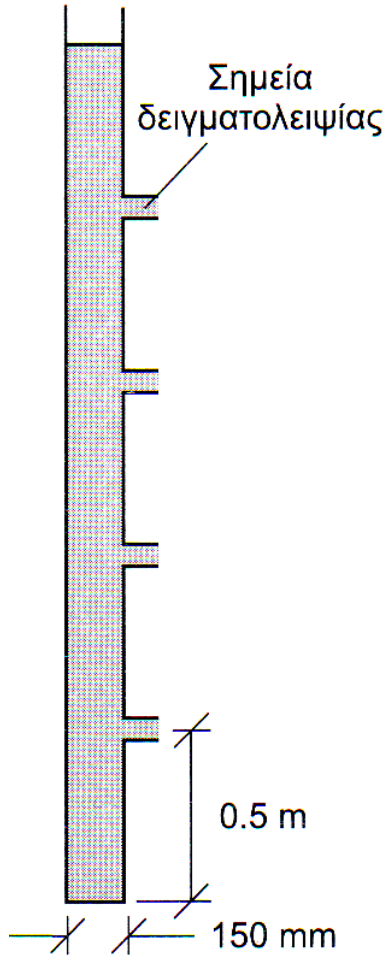
Τα δεδομένα για την καθίζηση σωματιδίων χρησιμοποιούνται για να σχεδιαστεί η καμπύλη της ταχύτητας καθίζησης όπως φαίνεται ακολούθως:



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Σχηματικό διάγραμμα για την ανάλυση της καθίζησης:

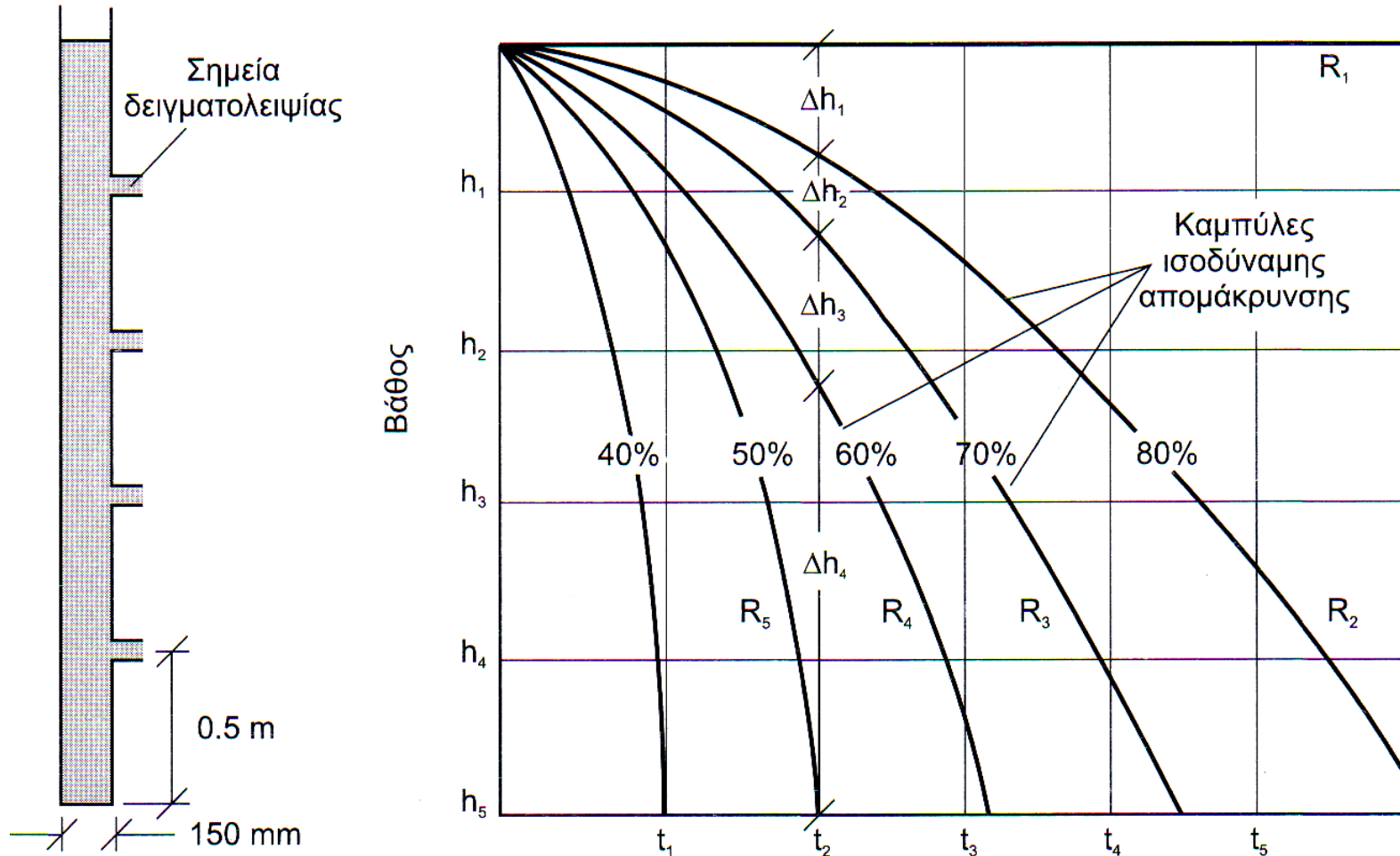


- Η συγκέντρωση των αιωρουμένων στερεών διατηρείται σταθερή στην αρχή με την βοήθεια αναδευτήρα
- Η θερμοκρασία επίσης διατηρείται σταθερή
- Η στήλη έχει βάθος  $h_5$  π.χ. 2,5 m και διάμετρο 0,14m και τέσσερις οπές δειγματοληψίας σε βάθη  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  και  $h_4$
- Λαμβάνονται δείγματα σε τακτικά χρονικά διαστήματα και μετράται η συγκέντρωση των αιωρουμένων στερεών

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Σχηματικό διάγραμμα για την ανάλυση της καθίζησης:



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων) Χρόνος

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Για ένα δεδομένο ρυθμό διαύγασης  $Q = v_c * A$  μόνον τα σωματίδια με ταχύτητα μεγαλύτερη από  $v_c$  θα απομακρυνθούν πλήρως ενώ τα εναπομείναντα σωματίδια θα απομακρυνθούν ανάλογα με τον λόγο  $v_p / v_c$ . Το ολικό κλάσμα δίνεται από την εξίσωση:

$$\text{Κλάσμα που απομακρύνεται} = (1 - X_c) + \int_0^{x_c} \frac{v_p}{v_c} dx$$

όπου  $1 - X_c =$  κλάσμα σωματιδίων με ταχύτητα  $v_p$  μεγαλύτερη από  $v_c$

$$\int_0^{x_c} \frac{v_p}{v_c} dx = \begin{array}{l} \text{κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνεται} \\ \text{με ταχύτητα } v_p \text{ μικρότερη από } v_c \end{array}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Για διακεκριμένα σωματίδια σε μία δεδομένη περιοχή καθίζησης

$$\text{Ολικό κλάσμα που απομακρύνεται} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{v_{n_i}}{v_c} (n_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

όπου  $v_n$  = μέση ταχύτητα σωματιδίων στην περιοχή ταχύτητας  $i$   
 $n_i$  = αριθμός σωματιδίων στην περιοχή ταχύτητας  $i$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) - παράδειγμα

Προσδιορίστε την απόδοση απομάκρυνσης σε μία ΔΚ με κρίσιμη ταχύτητα υπερχείλισης  $2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων που περιέχουν σωματίδια με την παρακάτω κατανομή ταχύτητας καθίζησης. Να σχεδιασθεί το ιστόγραμμα για την εισροή και εκροή

Ταχύτητα καθίζησης m/h	Αριθμός σωματιδίων/L
0,0-0,5	30
0,5-1,0	50
1,0-1,5	90
1,5-2,0	110
2,0-2,5	100
2,5-3,0	70
3,0-3,5	30
3,5-4,0	20
<b>Σύνολο</b>	<b>500</b>

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

Δημιουργία ενός πίνακα για τον υπολογισμό της εκατοστιαίας απομάκρυνσης για κάθε μέγεθος σωματιδίου

Περιοχή ταχύτητας καθίζησης		Μέση ταχύτητα καθίζησης	Αριθμός σωματιδίων εισροής	Κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνονται	Αριθμός σωματιδίων που απομακρύνονται	Σωματίδια που παραμένουν στην εκροή	Απόδοση απομάκρυνσης
m/h							%
0	0,5						
0,5	1						
1	1,5						
1,5	2						
2	2,5						
2,5	3						
3	3,5						
3,5	4						
Σύνολο							

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

Υπολογισμός της μέσης ταχύτητας καθίζησης λαμβάνοντας τη μέση τιμή της κάθε περιοχής  
Για την πρώτη περιοχή ταχύτητας, η μέση ταχύτητα καθίζησης είναι  $(0,0+0,5)/2 = 0,25\text{m/h}$

Περιοχή ταχύτητας καθίζησης		Μέση ταχύτητα καθίζησης	Αριθμός σωματιδίων εισροής	Κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνονται	Αριθμός σωματιδίων που απομακρύνονται	Σωματίδια που παραμένουν στην εκροή	Απόδοση απομάκρυνσης
m/h							
0	0,5	0,25					
0,5	1	0,75					
1	1,5	1,25					
1,5	2	1,75					
2	2,5	2,25					
2,5	3	2,75					
3	3,5	3,25					
3,5	4	3,75					
Σύνολο							

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

Εισαγωγή του αριθμού σωματιδίων που μετρήθηκαν για κάθε περιοχή ταχύτητας καθίζησης

Περιοχή ταχύτητας καθίζησης		Μέση ταχύτητα καθίζησης	Αριθμός σωματιδίων εισροής	Κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνονται	Αριθμός σωματιδίων που απομακρύνονται	Σωματίδια που παραμένουν στην εκροή	Απόδοση απομάκρυνσης
m/h			$\times 10^{-5}$				
0	0,5	0,25	30				
0,5	1	0,75	50				
1	1,5	1,25	90				
1,5	2	1,75	110				
2	2,5	2,25	100				
2,5	3	2,75	70				
3	3,5	3,25	30				
3,5	4	3,75	20				
Σύνολο			500				



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

Υπολογισμός του κλάσματος απομάκρυνσης για κάθε περιοχή ταχύτητας διαιρώντας τη μέση ταχύτητα καθίζησης με την κρίσιμη ταχύτητα υπερχείλισης (2m/h)

Για την πρώτη περιοχή ταχύτητας: κλάσμα που απομακρύνεται =  $u_{n1}/u_c = 0,25/2 = 0,125$

Περιοχή ταχύτητας καθίζησης		Μέση ταχύτητα καθίζησης	Αριθμός σωματιδίων εισροής	Κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνονται	Αριθμός σωματιδίων που απομακρύνονται	Σωματίδια που παραμένουν στην εκροή	Απόδοση απομάκρυνσης
m/h			$\times 10^{-5}$				
0	0,5	0,25	30	0,125			
0,5	1	0,75	50	0,375			
1	1,5	1,25	90	0,625			
1,5	2	1,75	110	0,875			
2	2,5	2,25	100				
2,5	3	2,75	70				
3	3,5	3,25	30				
3,5	4	3,75	20				
Σύνολο			500				

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

Όταν το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο από 1,0 εισάγουμε την τιμή 1,0 επειδή όλα τα σωματίδια απομακρύνονται

Περιοχή ταχύτητας καθίζησης		Μέση ταχύτητα καθίζησης	Αριθμός σωματιδίων εισροής	Κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνονται	Αριθμός σωματιδίων που απομακρύνονται	Σωματίδια που παραμένουν στην εκροή	Απόδοση απομάκρυνσης
m/h			$\times 10^{-5}$				
0	0,5	0,25	30	0,125			
0,5	1	0,75	50	0,375			
1	1,5	1,25	90	0,625			
1,5	2	1,75	110	0,875			
2	2,5	2,25	100	1			
2,5	3	2,75	70	1			
3	3,5	3,25	30	1			
3,5	4	3,75	20	1			
Σύνολο			500				

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

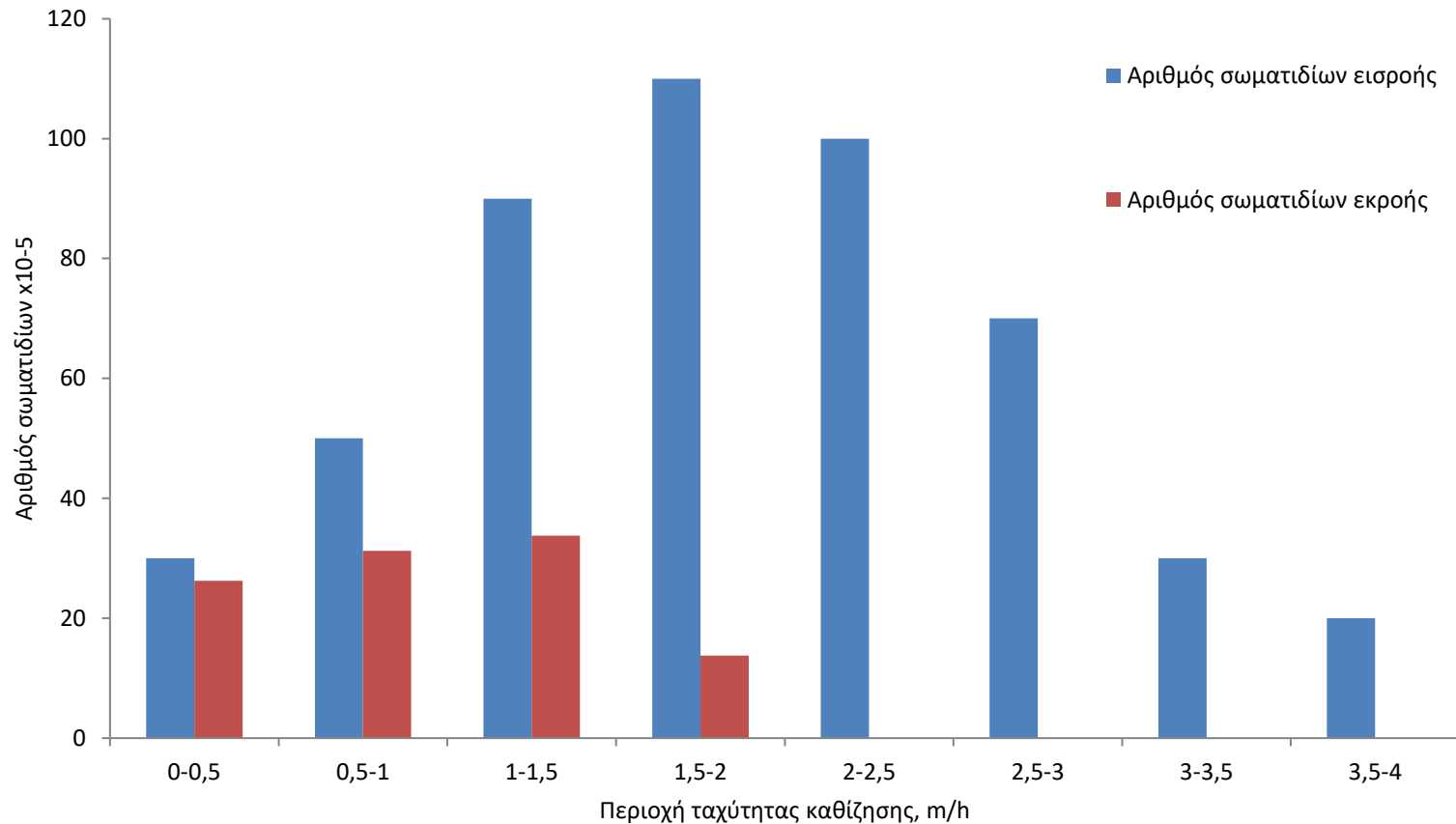
Πολλαπλασιασμός των σωματιδίων της εισροής με την εκατοστιαία απομάκρυνση

Περιοχή ταχύτητας καθίζησης		Μέση ταχύτητα καθίζησης	Αριθμός σωματιδίων εισροής	Κλάσμα σωματιδίων που απομακρύνονται	Αριθμός σωματιδίων που απομακρύνονται	Σωματίδια που παραμένουν στην εκροή	Απόδοση απομάκρυνσης
m/h			$\times 10^{-5}$		$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	%
0	0,5	0,25	30	0,125	3,75	26,25	
0,5	1	0,75	50	0,375	18,75	31,25	
1	1,5	1,25	90	0,625	56,25	33,75	
1,5	2	1,75	110	0,875	96,25	13,75	
2	2,5	2,25	100	1	100	0	
2,5	3	2,75	70	1	70	0	
3	3,5	3,25	30	1	30	0	
3,5	4	3,75	20	1	20	0	
Σύνολο			500		395,0	105,0	79

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική) -παράδειγμα

Ιστόγραμμα σωματιδίων για την εισροή και εκροή



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Σωματιδίου με Συσσωμάτωση

Τα σωματίδια σε σχετικά αραιά διαλύματα δε θα βρίσκονται ως διακεκριμένα σωματίδια αλλά θα συγχωνευτούν καθώς καθιζάνουν. Καθώς λαμβάνει χώρα η συσσωμάτωση, η μάζα του σωματιδίου αυξάνεται και καθιζάνει γρηγορότερα.

Ο βαθμός στον οποίο συμβαίνει η συσσωμάτωση εξαρτάται

1. από την πιθανότητα επαφής, που μεταβάλλεται με την ταχύτητα υπερχείλισης,
2. το βάθος της δεξαμενής,
3. την κλίση της ταχύτητας στο σύστημα,
4. τη συγκέντρωση των σωματιδίων και την περιοχή μεγέθους σωματιδίων.

Η επίδραση αυτών των μεταβλητών μπορεί να προσδιορισθεί μόνο με δοκιμές καθίζησης

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Σωματιδίου με Συσσωμάτωση

1. Τα χαρακτηριστικά καθίζησης ενός αιωρήματος από συσσωματωμένα σωματίδια εκτιμούνται **χρησιμοποιώντας μια δοκιμή σε στήλη καθίζησης**.
2. Τυχαία διάμετρος αλλά το ύψος πρέπει να είναι ίσο με το βάθος της προτεινόμενης δεξαμενής.
3. Ένα διάλυμα με αιωρούμενα σωματίδια εισάγεται στη στήλη - ομοιόμορφη κατανομή μεγέθους των σωματιδίων από την κορυφή προς τον πυθμένα.
4. Για να περιοριστούν φαινόμενα εξαναγκασμένης μεταφοράς, πρέπει να λαμβάνεται φροντίδα ώστε να διατηρείται μια ομοιόμορφη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
5. Η καθίζηση πρέπει να λαμβάνει χώρα κάτω από συνθήκες ηρεμίας. Η διάρκεια της δοκιμής πρέπει να είναι ισοδύναμη με το χρόνο καθίζησης στην προτεινόμενη, δεξαμενή.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Σωματιδίου με Συσσωμάτωση

Στο τέλος του χρόνου καθίζησης, απομακρύνεται η ιλύς που έχει καθιζάνει και έχει συσσωρευτεί στον πυθμένα της στήλης, το υπολειπόμενο υγρό αναμιγνύεται και προσδιορίζονται τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) του υγρού.

Τα TSS του υγρού συγκρίνονται με τα TSS του δείγματος πριν από την καθίζηση για να βρεθεί η εκατοστιαία απομάκρυνση

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Σωματιδίου με Συσσωμάτωση

Η πιο παραδοσιακή μέθοδος: χρησιμοποιείτε μια στήλη με σημεία δειγματοληψίας τοποθετημένα ανά διαστήματα περίπου 0.5m.

Σε διάφορα χρονικά διαστήματα λαμβάνονται δείγματα από τα σημεία δειγματοληψίας και αναλύονται για αιωρούμενα στερεά.

Η **εκατοστιαία απομάκρυνση** υπολογίζεται σε κάθε δείγμα και τα διάφορα σημεία τοποθετούνται σε ένα **διάγραμμα** ως προς το **χρόνο και το βάθος** όπως σχεδιάζονται οι **ισοϋψείς** γραμμές σε ένα τοπογραφικό διάγραμμα.

Από τις καμπύλες προσδιορίζεται η ταχύτητα υπερχείλισης σε διάφορες καθιζήσεις σημειώνοντας την τιμή όπου η καμπύλη τέμνει τον άξονα  $x$ .

Η ταχύτητα καθίζησης  $u_c$  είναι:



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Σωματιδίου με Συσσωμάτωση - Παραδοσιακή μέθοδος

Η ταχύτητα καθίζησης  $v_c$  είναι

$$v_c = \frac{H}{t_c}$$

$H$  = ύψος της στήλης καθίζησης, L (m)

$t_c$  = χρόνος που απαιτείται για να επιτευχθεί ένα δεδομένος βαθμός απομάκρυνσης, T (min)

Και το κλάσμα των σωματιδίων που απομακρύνονται δίνεται από

$$R, \% = \sum_{h=1}^n \left( \frac{\Delta h_n}{H} \right) \left( \frac{R_n + R_{n+1}}{2} \right)$$

$R$  = απομάκρυνση των TSS, %

$n$  = αριθμός της ισοδύναμης απομάκρυνσης

$\Delta h_n$  = απόσταση μεταξύ των καμπυλών ίσης απομάκρυνσης, L (m)

$H$  = ολικό ύψος της στήλης καθίζησης, L (m)

$R_n$  = καμπύλη  $n$  ίσης απομάκρυνσης

$R_{n+1}$  = καμπύλη  $n + 1$  ίσης απομάκρυνσης

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Απομάκρυνση Αιωρούμενων Συσσωματωμένων Στερεών

### - Παράδειγμα

Απομάκρυνση των Αιωρούμενων Συσσωματωμένων Στερεών Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της δοκιμής καθίζησης που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-24, προσδιορίστε την ολική απομάκρυνση των στερεών όταν ο χρόνος παραμονής είναι  $t_2$  και το βάθος είναι  $h_5$ . Επίσης, αποδείξτε ότι θα ληφθεί το ίδιο αποτέλεσμα όταν τα στερεά προσδιορίζονται μετά από καθίζηση.

### Λύση

1. Προσδιορίστε την εκατοστιαία απομάκρυνση.

$$\begin{aligned} \text{Ποσοστιαία απομάκρυνση} &= \frac{\Delta h_1}{h_5} \times \frac{R_1 + R_2}{2} + \\ & \frac{\Delta h_2}{h_5} \times \frac{R_2 + R_3}{2} + \frac{\Delta h_3}{h_5} \times \frac{R_3 + R_4}{2} + \frac{\Delta h_4}{h_5} \times \frac{R_4 + R_5}{2} \end{aligned}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Απομάκρυνση Αιωρούμενων Συσσωματωμένων Στερεών - Παράδειγμα

2. Από τις καμπύλες που φαίνονται στο Σχήμα 5-24, η ολική απομάκρυνση για καθίζηση σε συνθήκες ηρεμίας είναι 65.7%. Οι υπολογισμοί ακολουθούν.

$\frac{\Delta h_n}{h_5} \times \frac{R_n + R_{n+1}}{2} =$	ποσοστό απομάκρυνσης
$0.20 \times \frac{100 + 80}{2} =$	18.00
$0.11 \times \frac{80 + 70}{2} =$	8.25
$0.15 \times \frac{70 + 60}{2} =$	9.75
$\frac{0.54}{1.00} \times \frac{60 + 50}{2} =$	$\frac{29.70}{65.70}$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Απομάκρυνση Αιωρουμένων Συσσωματωμένων Στερεών

### - Παράδειγμα

3. Προσδιορίστε την απομάκρυνση αν το υγρό είχε υποστεί ανάμιξη και είχαν μετρηθεί τα στερεά.
- α. Υποθέστε ότι η αρχική συγκέντρωση των στερεών είναι ίση με 100 και στο τέλος της περιόδου καθίζησης η συγκέντρωση των στερεών στην κορυφή της στήλης είναι ίση με το μηδέν.
  - β. Σχηματίστε έναν πίνακα υπολογισμών και προσδιορίστε τα εναπομείναντα στερεά μετά την καθίζηση.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Απομάκρυνση Αιωρούμενων Συσσωματωμένων Στερεών - Παράδειγμα

$\Delta h \times \frac{TSS_n + TSS_{n+1}}{2} =$	μέση συγκέντρωση TSS
$0.20 \times \frac{0 + 20}{2} =$	2.00
$0.11 \times \frac{20 + 20}{2} =$	2.75
$0.15 \times \frac{30 + 40}{2} =$	5.25
$0.54 \times \frac{40 + 50}{2} =$	<u>24.30</u>
	34.30

Το ποσοστό απομάκρυνσης είναι  $R_t = 100 - 34.30 = 65.70$

### Σχόλιο

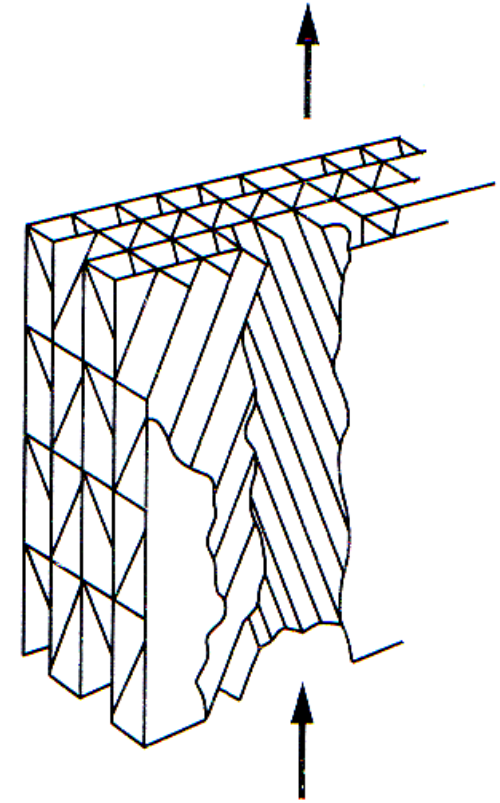
Προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι αποκλίσεις από τις βέλτιστες συνθήκες που απαντώνται στο πεδίο, η ταχύτητα καθίζησης ή η ταχύτητα υπερχειλίσης που προκύπτουν από τη δοκιμή σε στήλες συχνά πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή 0.65 έως 0.85 και οι χρόνοι παραμονής πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή 1.25 έως 1.5.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Κεκλιμένης Επιφάνειας και Αγωγού

Είναι διατάξεις μικρού βάθους που αποτελούνται από δίσκους σε διάταξη ή δέσμες μικρών πλαστικών σωλήνων με διάφορες γεωμετρίες, που χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά καθίζησης σε δεξαμενές καθίζησης.

Βασίζονται στη θεωρία ότι η καθίζηση εξαρτάται κυρίως από την επιφάνεια καθίζησης παρά από το χρόνο παραμονής.



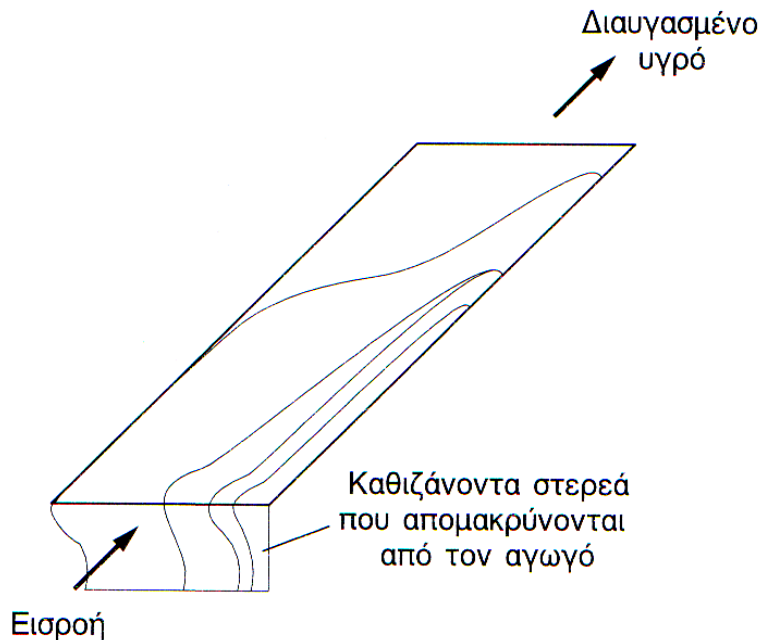
(a)

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Κεκλιμένης Επιφάνειας και Αγωγού

Χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων για πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια καθίζηση.

Ωστόσο, στις εφαρμογές πρωτοβάθμιας καθίζησης θα πρέπει να υπάρχουν λεπτές εσχάρες ανάντη της διεργασίας καθίζησης για να εμποδιστεί η έμφραξη των επιφανειών ή των αγωγών.



# Διαχωρισμός με βαρύτητα

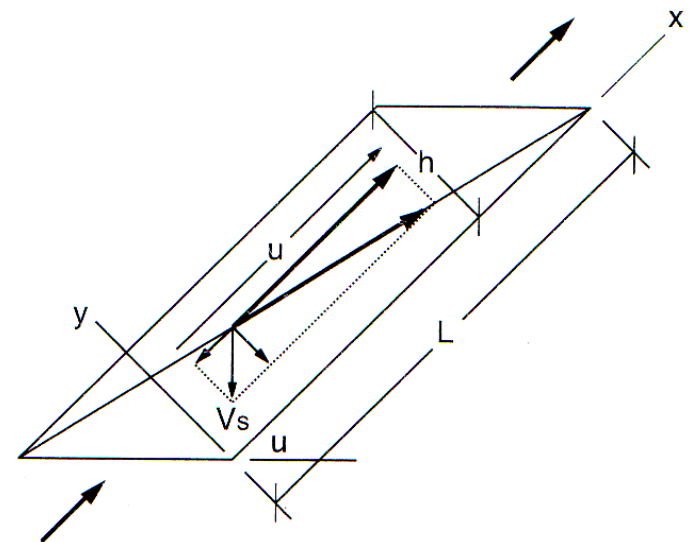
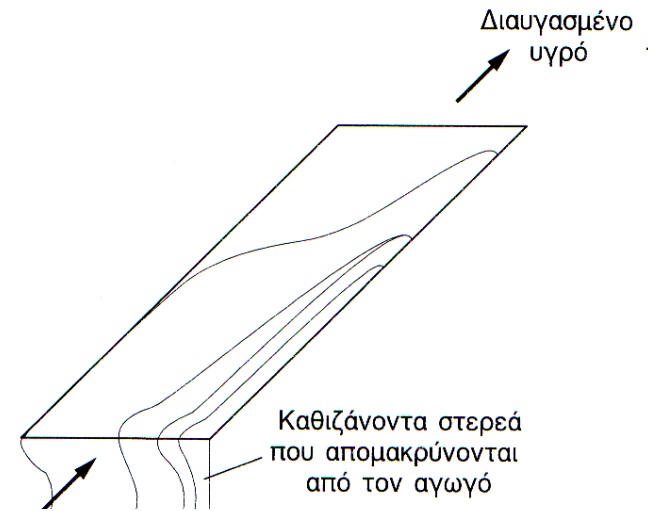
## Καθίζηση Κεκλιμένης Επιφάνειας και Αγωγού

Συνήθως τοποθετούνται υπό γωνία μεταξύ  $45^\circ$  και  $60^\circ$  πάνω από την οριζόντια επιφάνεια έτσι ώστε να αυτοκαθαρίζονται.

Όταν η γωνία αυξάνεται πάνω από  $60^\circ$ , μειώνεται η απόδοση.

Αν οι επιφάνειες και οι αγωγοί έχουν κλίση μικρότερη από  $45^\circ$ , τα στερεά θα τείνουν να συγκεντρώνονται μέσα τους.

Το ελάχιστο διάστημα μεταξύ των επιφανειών είναι 50 mm (5 cm)

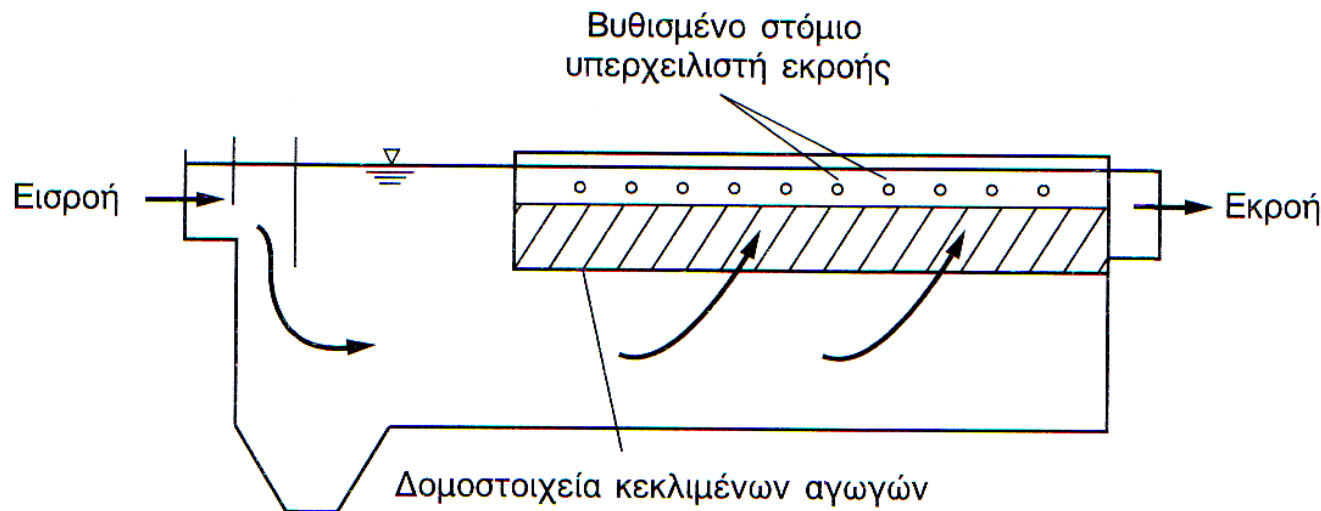




# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Κεκλιμένης Επιφάνειας και Αγωγού

Μειονέκτημα είναι η βιολογική ανάπτυξη και παραγωγή οσμών  
Καταπολεμάτε με απομάκρυνση των συσσωρευμένων στερεών  
Πρέπει να συλλέγονται τακτικά τα στερεά ώστε να παρεμποδίζεται  
η επανααιώρηση  
Πρέπει να δοθεί προσοχή στην ισοδύναμη κατανομή της παροχής

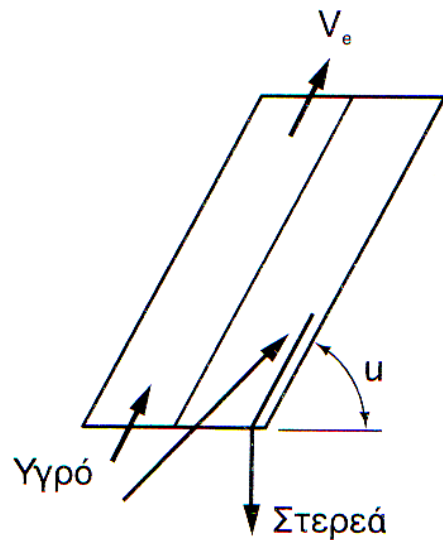


# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Κεκλιμένης Επιφάνειας και Αγωγού

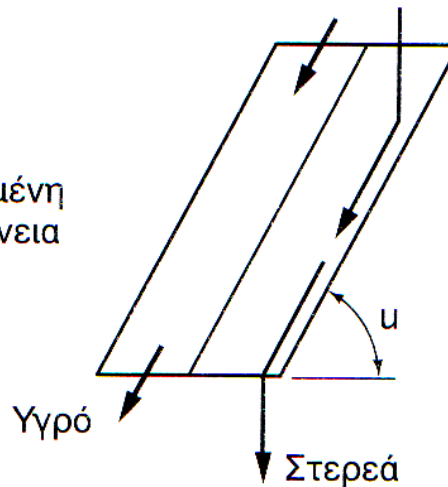
Εναλλακτικές συνθήκες ροή διαμέσου διατάξεων καθίζησης αγωγού

α) αντιρροή, β) ομορροή, γ) εγκάρσια της ροής

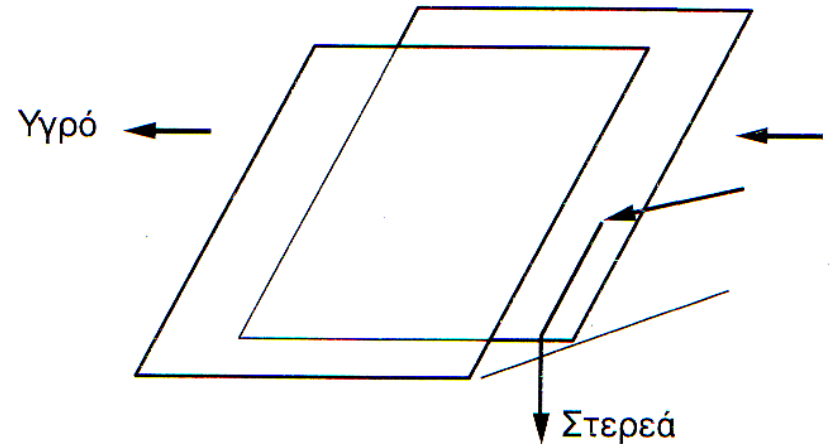


(α) Αντιρροή

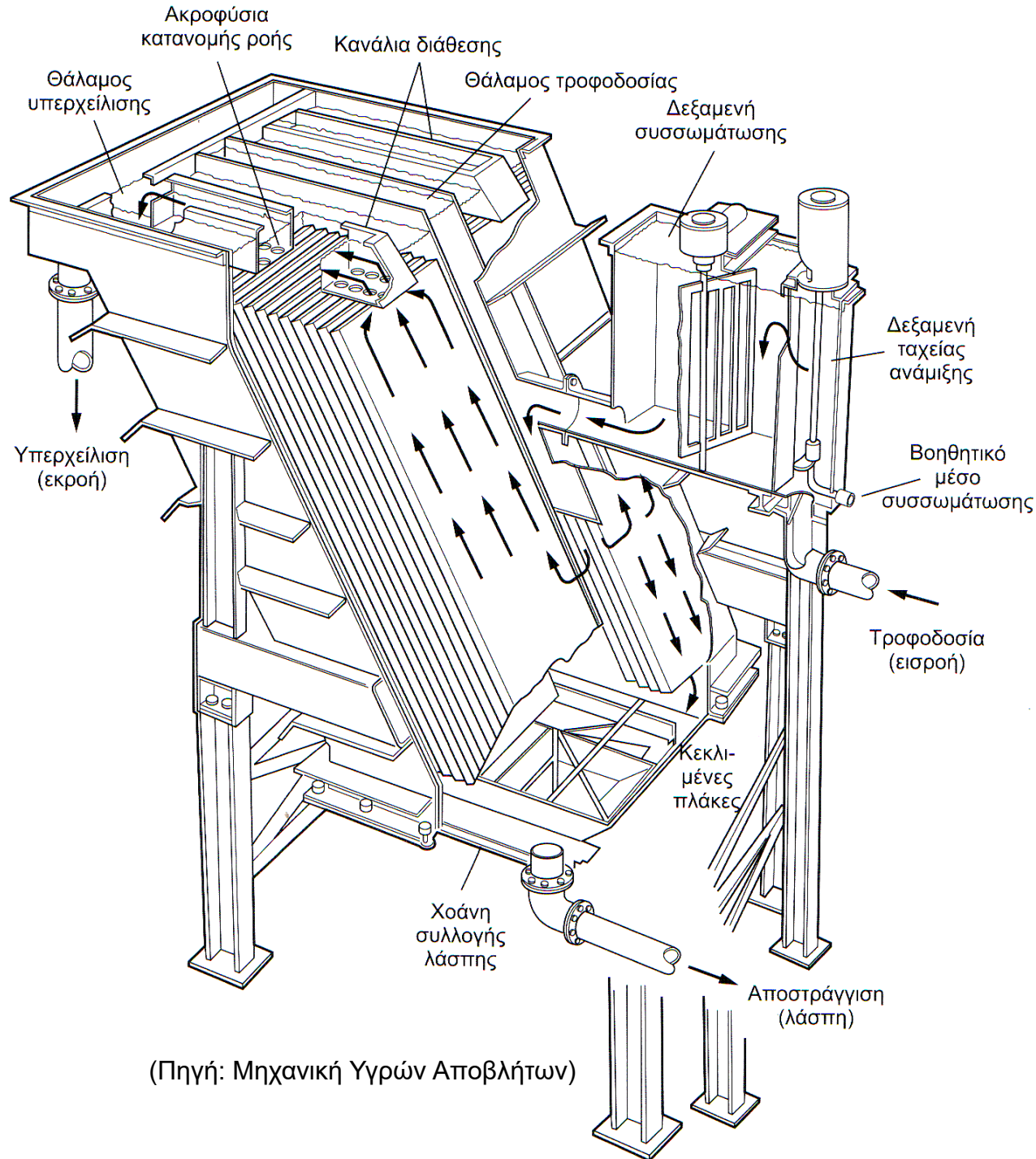
Κεκλιμένη  
επιφάνεια



(β) Ομορροή



(γ) Εγκάρσια της ροής



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

Διάταξη  
 καθίζησης με  
 επιφάνειες  
 Lammella

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

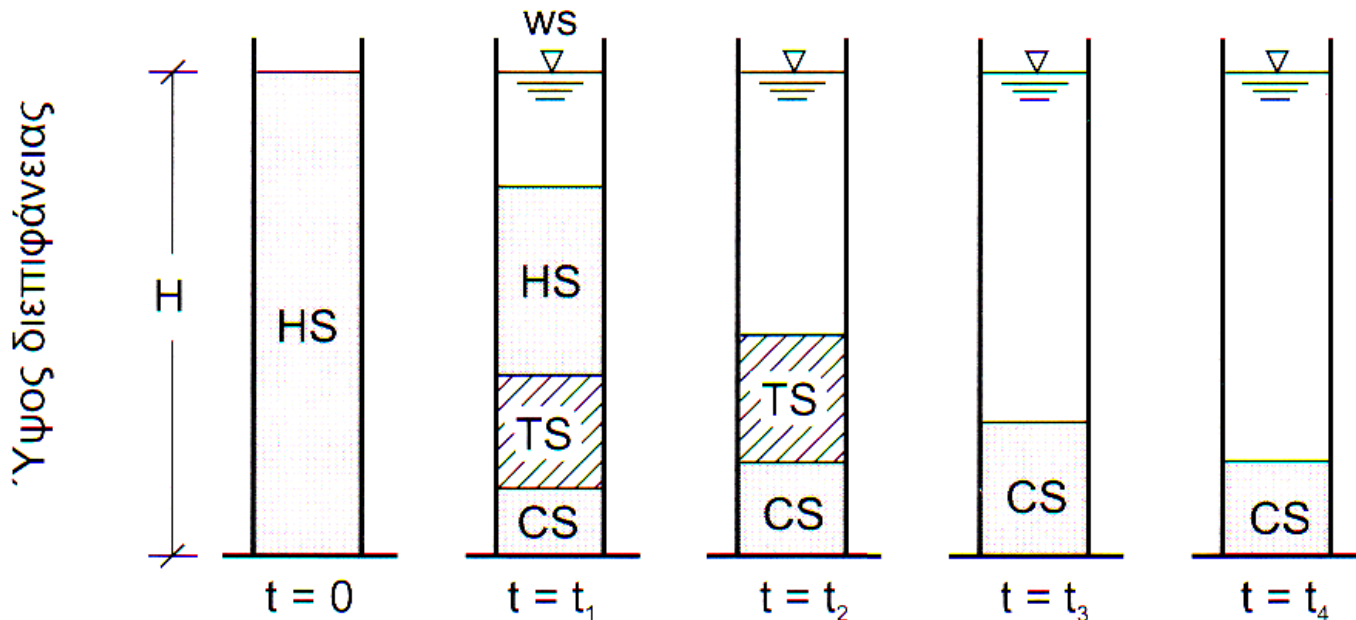
Σε συστήματα που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών, συνήθως λαμβάνει χώρα παρεμποδισμένη καθίζηση και καθίζηση συμπίεσης μαζί με την καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων και την καθίζηση συσσωμάτωσης.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης των σωματιδίων, το υγρό τείνει να κινηθεί προς τα πάνω μέσω των κενών που υπάρχουν στα σωματίδια σε επαφή.

Ως αποτέλεσμα, τα σωματίδια σε επαφή τείνουν να καθιζάνουν ως μια ζώνη ή στρώμα, διατηρώντας την ίδια σχετική θέση το ένα με το άλλο.



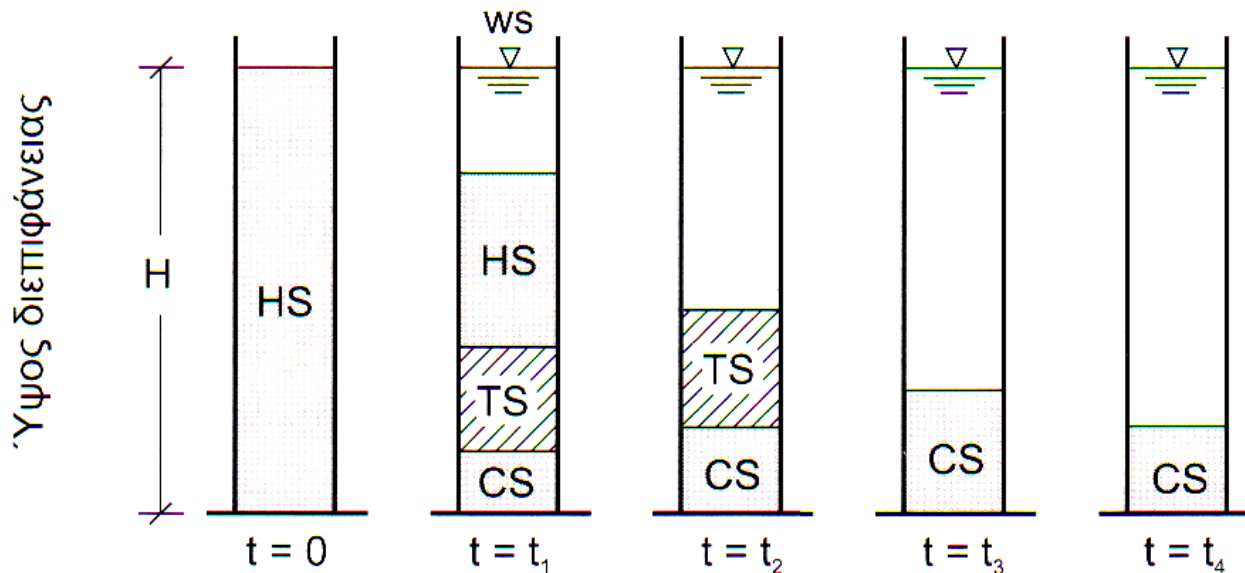
# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Το φαινόμενο είναι γνωστό ως παρεμποδισμένη καθίζηση.

Καθώς τα σωματίδια καθιζάνουν, παράγεται ένα σχετικά καθαρό στρώμα νερού πάνω από τα σωματίδια στην περιοχή καθίζησης.

Τα διασκορπισμένα, σχετικά ελαφρά σωματίδια που παραμένουν συνήθως καθιζάνουν ως διακεκριμένα ή συσσωματωμένα σωματίδια.

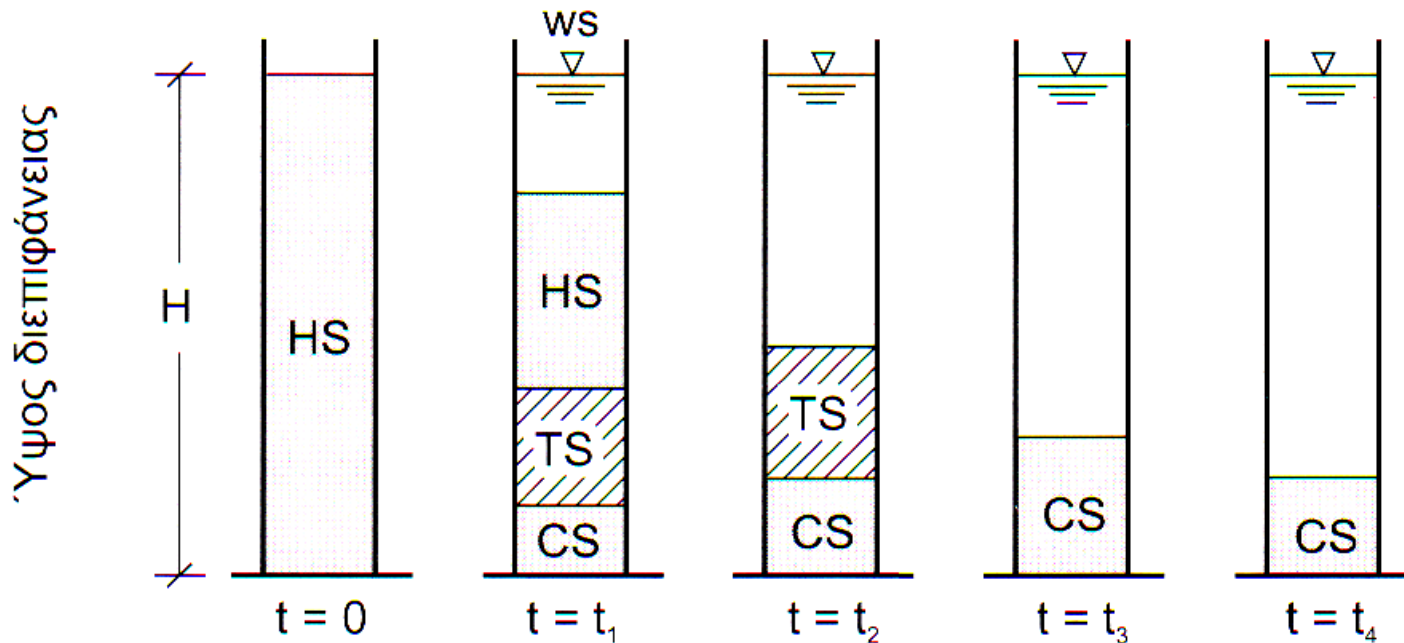


# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Στις περισσότερες περιπτώσεις, αναπτύσσεται μια διακριτή διεπιφάνεια μεταξύ της ανώτερης περιοχής και της περιοχής παρεμποδισμένης καθίζησης.

Ο ρυθμός καθίζησης στην περιοχή της παρεμποδισμένης καθίζησης είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης των στερεών και των χαρακτηριστικών τους.

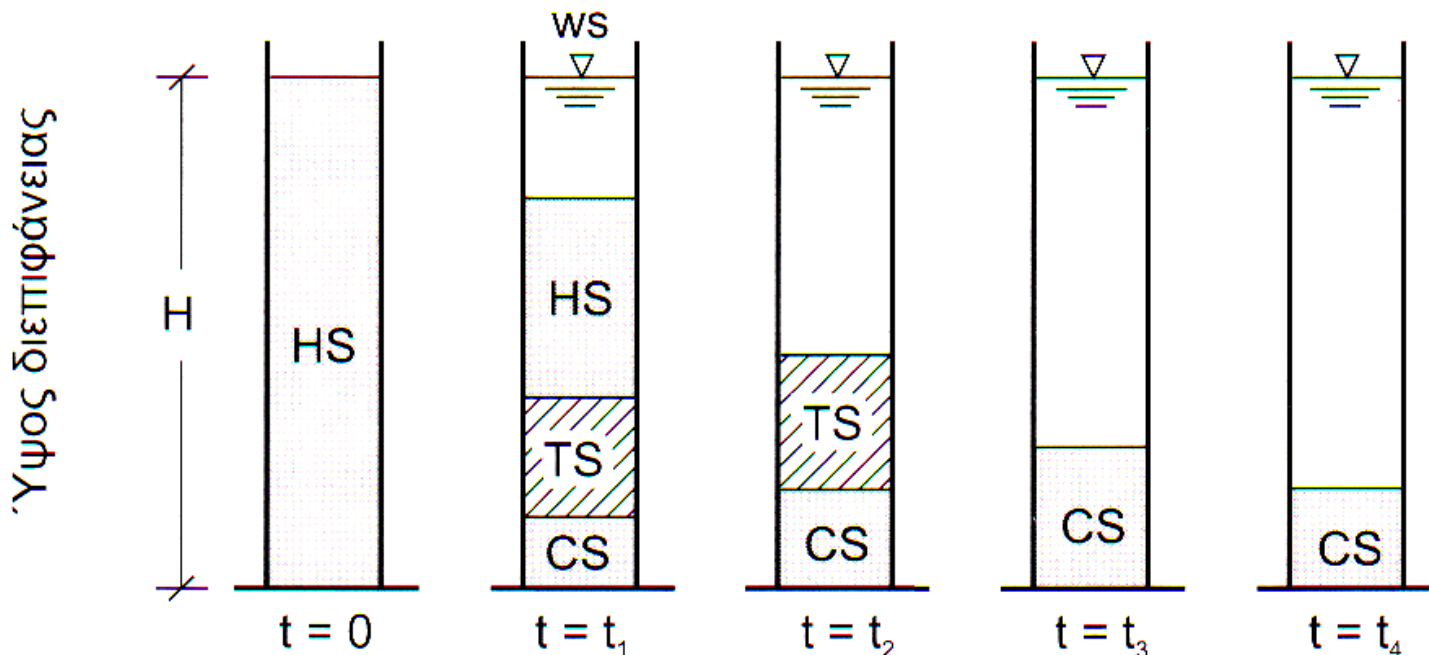


# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Καθώς συνεχίζεται η καθίζηση, ένα συμπιεσμένο στρώμα σωματιδίων αρχίζει να σχηματίζεται στον πυθμένα του κυλίνδρου στην περιοχή της συμπιεσμένης καθίζησης.

Τα σωματίδια φαίνεται ότι σχηματίζουν μια δομή στην οποία υπάρχει φυσική στενή επαφή μεταξύ τους.





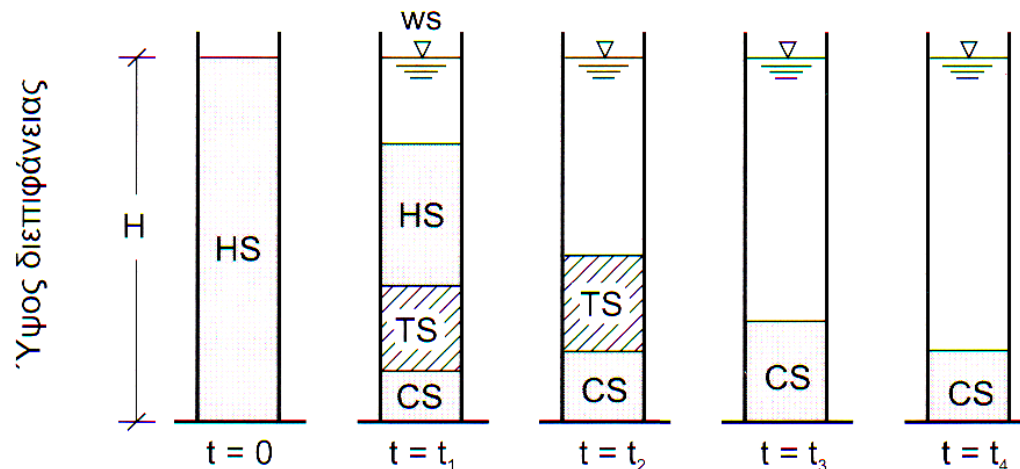
# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Καθώς σχηματίζονται τα συμπιεσμένα στρώματα:

οι περιοχές που περιέχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις στερεών από αυτές στην περιοχή συμπίεσης εκτείνονται μέχρι επάνω στον κύλινδρο.

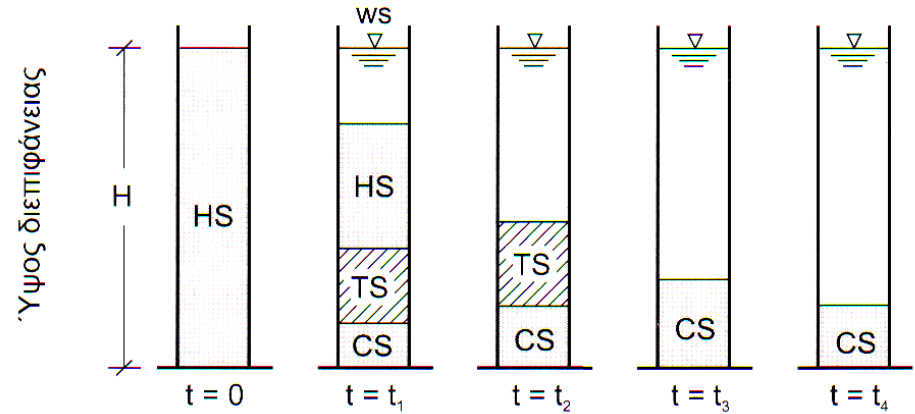
περιέχει μια διαβάθμιση στη συγκέντρωση στερεών, από αυτή που βρίσκεται στη διεπιφάνεια της περιοχής καθίζησης έως αυτή που βρίσκεται στην περιοχή της συμπιεσμένης καθίζησης.



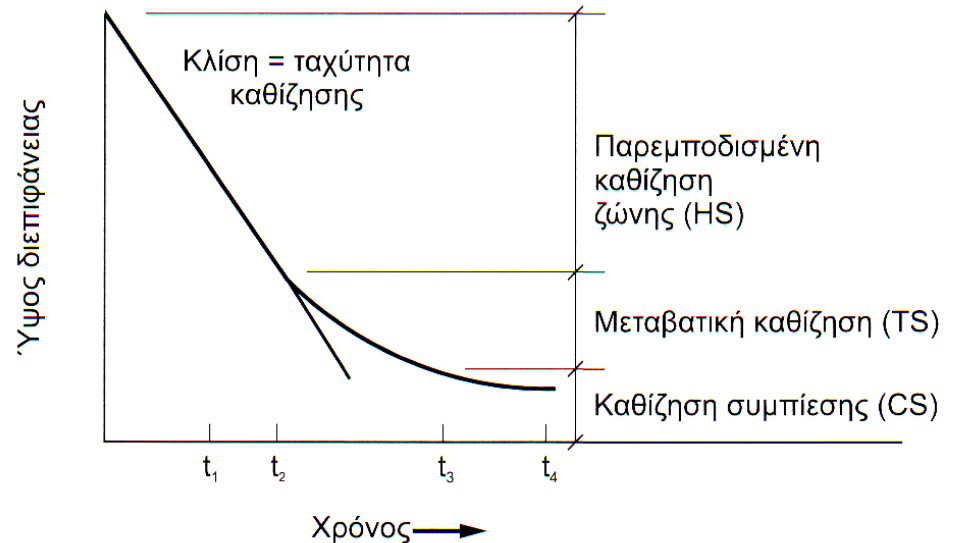
# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Οι διάφορες φάσεις καθίζησης και η αντίστοιχη καμπύλη καθίζησης της διεπιφάνειας



(α)



(β)

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)

Απαιτούνται συνήθως δοκιμές καθίζησης για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά καθίζησης των αιωρημάτων.

Με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από δοκιμές στηλών καθίζησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν **δύο διαφορετικές προσεγγίσεις** σχεδιασμού προκειμένου να προκύψει η απαιτούμενη επιφάνεια των εγκαταστάσεων καθίζησης / πάχυνσης.

Στην πρώτη προσέγγιση, χρησιμοποιούνται τα στοιχεία που προκύπτουν από μια ή παραπάνω **δοκιμές καθίζησης ασυνεχούς λειτουργίας**.

Στη δεύτερη προσέγγιση (μέθοδος ροής στερεών), χρησιμοποιούνται στοιχεία από μια σειρά **δοκιμών καθίζησης που πραγματοποιήθηκαν με διαφορετική συγκέντρωση στερεών**.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)** - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας

Για σχεδιαστικούς σκοπούς, η τελική ταχύτητα υπερχείλισης πρέπει να βασίζεται στην εξέταση των ακόλουθων παραγόντων:

- (1) την επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση,
- (2) την επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση και
- (3) το ρυθμό απομάκρυνσης της λάσπης.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης) - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας**

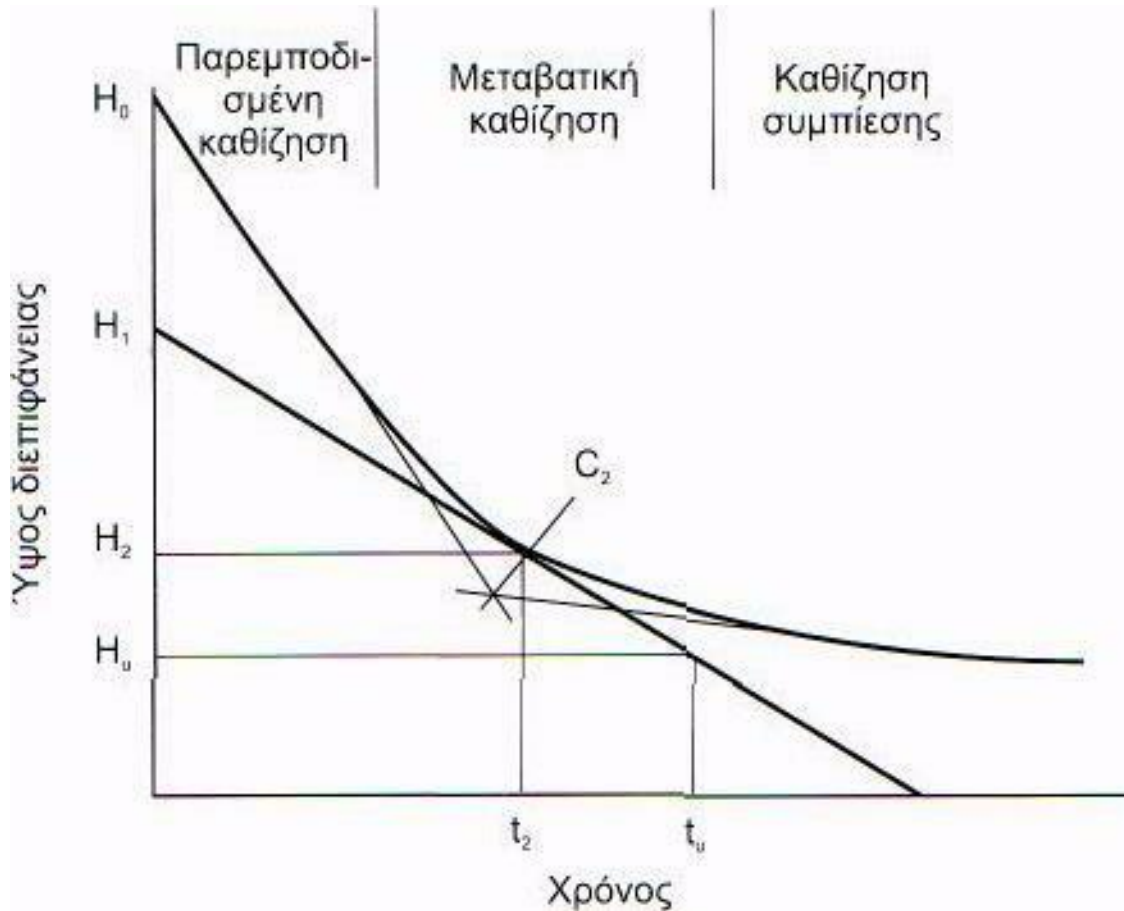
Χρησιμοποιούνται οι δοκιμές καθίζησης στήλης για να προσδιοριστεί η επιφάνεια που απαιτείται για την περιοχή ελεύθερης καθίζησης.

Ωστόσο, επειδή η επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση είναι συνήθως μεγαλύτερη από την επιφάνεια που απαιτείται για καθίζηση, ο ρυθμός ελεύθερης καθίζησης είναι σπάνια το ελέγχων στάδιο.

Στην περίπτωση της ενεργού ιλύος, όπου μπορεί να υπάρχουν διασκορπισμένα ελαφρά συσσωματώματα, είναι πιθανό ότι η ταχύτητα καθίζησης των ελεύθερων συσσωματωμάτων μπορεί να ελέγχει το σχεδιασμό.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης) - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας



Γραφική ανάλυση των καμπυλών καθίζησης ζώνης

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)** - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας

Προσδιορισμός της απαίτησης σε επιφάνεια για πάχυνση.

Μια στήλη ύψους  $H_0$  πληρώνεται με ένα αιώρημα στερεών με ομοιόμορφη συγκέντρωση  $C_0$ .

Η θέση της διεπιφάνειας καθώς περνάει ο χρόνος και καθιζάνει το αιώρημα δίνεται στο Σχήμα.

Ο ρυθμός με τον οποίο η διεπιφάνεια υποχωρεί είναι ίσος με την κλίση της καμπύλης σε αυτό το χρονικό σημείο.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)** - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας

Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο, η επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση δίνεται από την Εξίσωση

$$A = \frac{Qt_u}{H_0}$$

$A$  = επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση λάσπης,  $L^2$  ( $m^2$ )

$Q$  = παροχή εισροής στη δεξαμενή,  $L^3T^{-1}$  ( $m^3/s$ )

$H_0$  = αρχικό ύψος διεπιφάνειας στη στήλη,  $L$  ( $m$ )

$t_u$  = χρόνος για να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση στη ζώνη συμπίεσης,  $T$  ( $s$ )

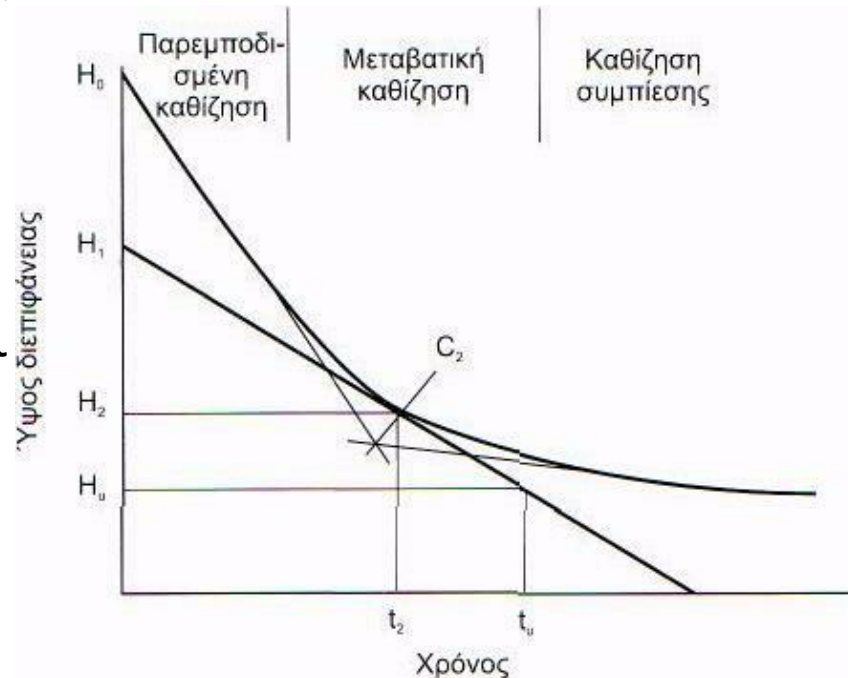


# Διαχωρισμός με βαρύτητα

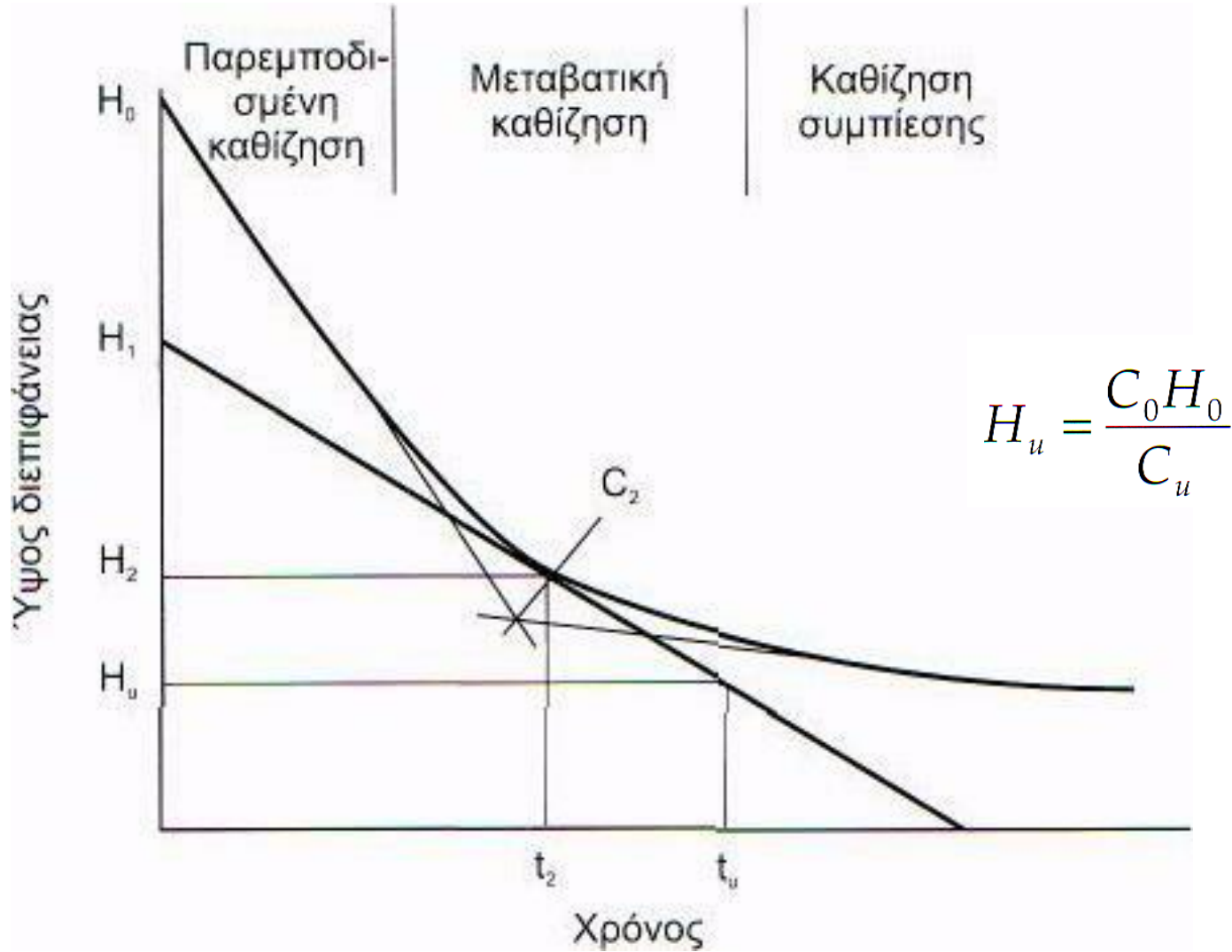
**Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)** - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας

Η κρίσιμη συγκέντρωση που ελέγχει την ικανότητα κατακράτησης των στερεών της δεξαμενής συμβαίνει σε ύψος  $H_2$  όπου η συγκέντρωση είναι  $C_2$ .

Αυτό το σημείο προσδιορίζεται επεκτείνοντας τις εφαπτόμενες στις περιοχές παρεμποδισμένης καθίζησης και συμπιεσμένης καθίζησης στην καμπύλη καθίζησης έως το σημείο τομής και διχοτομώντας τη γωνία που σχηματίζεται



Ο χρόνος  $t_u$  μπορεί να προσδιοριστεί ως ακολούθως



Παράδειγμα: καθίζηση κρυσταλλοποιήσιμου κρυσταλλικού υλικού που βρέχεται από νερό σε βρόμους και έτσι επιβραδύνεται η καθίζηση λόγω της πρόσδεσης των κόκκων στο νερό. Ο χρόνος  $t_u$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

**Παρεμποδισμένη Καθίζηση (Ζώνης)** - Απαιτήσεις σε Επιφάνεια με Βάση τα Αποτελέσματα Δοκιμών Ασυνεχούς Λειτουργίας

Με αυτή την τιμή του χρόνου  $t_u$ , η επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την Εξίσωση

$$A = \frac{Qt_u}{H_0}$$

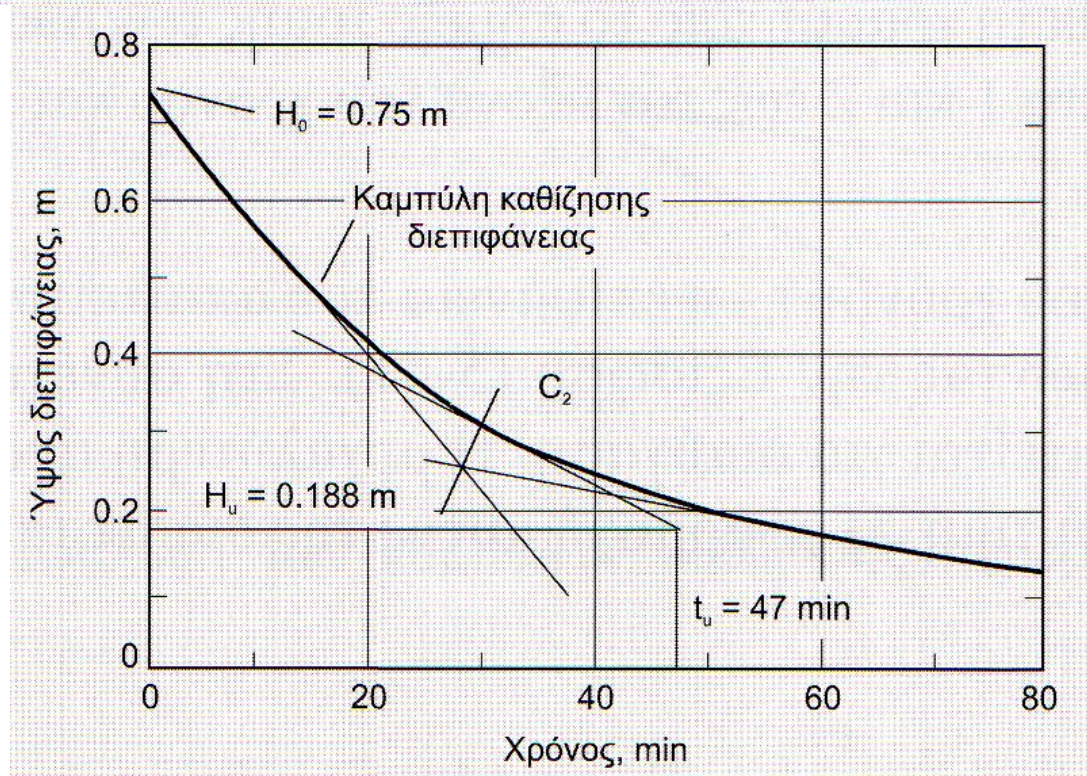
Στη συνέχεια, προσδιορίζεται η επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση.

Η μεγαλύτερη από τις δύο τιμές επιφανειών είναι η τελική τιμή.

Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας απεικονίζεται στο παρακάτω παράδειγμα

# Διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής καθίζησης ενεργού ιλύος

Διαστασιολόγηση μιας Δεξαμενής Καθίζησης Ενεργού Ιλύος Η καμπύλη καθίζησης που φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα προέκυψε από ενεργό ιλύ με αρχική συγκέντρωση στερεών  $C_0 = 3\ 000\ \text{mg/L}$ . Το αρχικό ύψος της διεπιφάνειας στη στήλη καθίζησης ήταν  $0.75\ \text{m}$  (2.5 ft). Προσδιορίστε την επιφάνεια που απαιτείται για να προκύψει η συγκέντρωση στερεών μετά την πάχυνση,  $C_u = 12,000\ \text{mg/L}$  με ολική παροχή  $3800\ \text{m}^3/\text{d}$  (1Mgal/d). Επίσης, προσδιορίστε τη φόρτιση των στερεών ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) και την ταχύτητα υπερχείλισης ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ).



# Διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής καθίζησης ενεργού ιλύος

## Λύση

1. Προσδιορίστε την επιφάνεια που απαιτείται για πάχυνση χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (5-42).

α. Προσδιορίστε την τιμή του  $H_u$

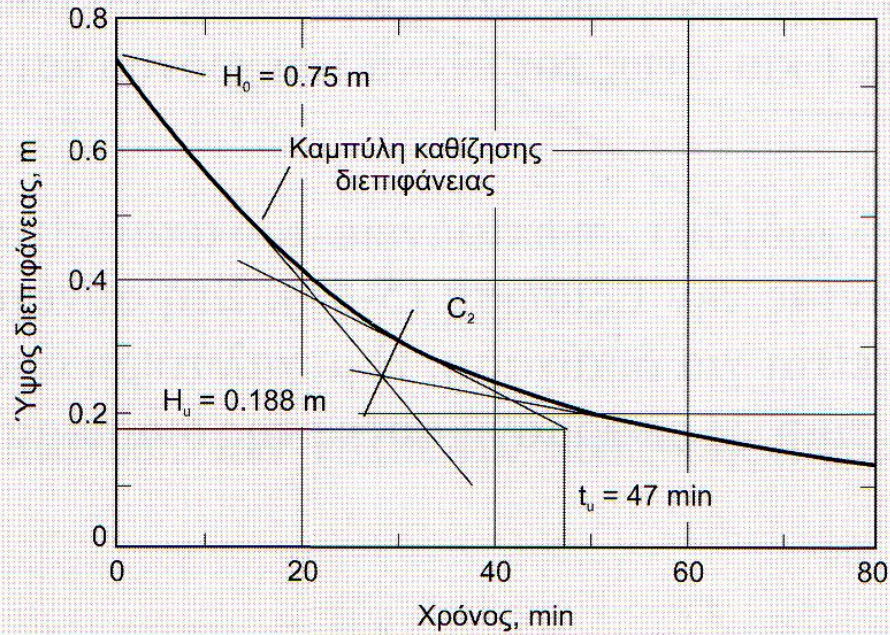
$$H_u = \frac{C_0 H_0}{C_u} = \frac{(300 \text{ mg/L})(0.75 \text{ m})}{(12000 \text{ mg/L})} = 0.188 \text{ m}$$

Στην ακόλουθη καμπύλη καθίζησης, κατασκευάζεται μια οριζόντια γραμμή σε  $H_u = 0.188 \text{ m}$ . Στη συνέχεια, κατασκευάζεται μια εφαπτομένη στην καμπύλη καθίζησης στο  $C_2$ , το ενδιάμεσο σημείο της περιοχής ανάμεσα στην παρεμποδισμένη και στην συμπιεσμένη καθίζηση. Το σημείο  $C_2$  προσδιορίζεται διχοτομώντας τη γωνία που σχηματίζεται από τις δύο εφαπτόμενες. Η τομή της εφαπτόμενης στο  $C_2$  και της γραμμής  $H_u = 0.188 \text{ m}$  καθορίζει το χρόνο  $t_u$ . Έτσι,  $t_u = 47 \text{ min}$  και η απαιτούμενη επιφάνεια είναι

$$A = \frac{Qt_u}{H_u} = \left[ \frac{(3800 \text{ m}^3/\text{d})}{(24 \text{ h/d})(60 \text{ min/h})} \right] \left( \frac{47 \text{ min}}{0.75 \text{ m}} \right) = 165 \text{ m}^2$$

# Διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής καθίζησης ενεργού ιλύος

2. Προσδιορίστε την επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση.



# Διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής καθίζησης ενεργού ιλύος

2. Προσδιορίστε την επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση.

α. Προσδιορίστε την ταχύτητα υποχώρησης της διεπιφάνειας  $v$ . Η ταχύτητα υποχώρησης προσδιορίζεται υπολογίζοντας την κλίση της εφαπτόμενης που σχεδιάστηκε από το αρχικό τμήμα της καμπύλης καθίζησης της διεπιφάνειας. Η υπολογιζόμενη ταχύτητα αντιπροσωπεύει τη μη-παρεμποδισμένη ταχύτητα καθίζησης της λάσπης.

$$v = \left( \frac{0.75 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{29.5 \text{ m}} \right) \left( \frac{60 \text{ min}}{h} \right) = 0.92 \text{ m/h}$$

β. Προσδιορίστε την ταχύτητα διαύγασης. Επειδή η ταχύτητα αυτή είναι ανάλογη με τον όγκο του υγρού πάνω από την κρίσιμη ζώνη λάσπης, μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$Q = 3800 \text{ m}^3/d \left( \frac{0.75 \text{ m} - 0.188 \text{ m}}{0.75 \text{ m}} \right) = 2847 \text{ m}^3/d$$

# Διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής καθίζησης ενεργού ιλύος

2. Προσδιορίστε την επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση.

γ. Προσδιορίστε την επιφάνεια που απαιτείται για διαύγαση. Η απαιτούμενη επιφάνεια υπολογίζεται διαιρώντας την ταχύτητα διαύγασης με την ταχύτητα καθίζησης.

$$A = \frac{Q_c}{v} = \frac{(2487 \text{ m}^3 / \text{d})}{(24 \text{ h/d})(0.91 \text{ m/h})} = 129 \text{ m}^2$$

3. Η περιοχή ελέγχου είναι η περιοχή πάχυνσης ( $165 \text{ m}^2$ ) επειδή υπερβαίνει την περιοχή που απαιτείται για διαύγαση ( $129 \text{ m}^2$ ).

4. Προσδιορίστε τη φόρτιση των στερεών, ως εξής:

$$\text{Στερεά, kg/d} = \frac{(3800 \text{ m}^3 / \text{d})(3000 \text{ g/m}^3)}{(10^3 \text{ g/kg})} = 11400 \text{ kg/d}$$

$$\text{Φόρτιση στερεών} = \frac{(11400 \text{ kg/d})}{165 \text{ m}^2} = 69.1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$$



# Διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής καθίζησης ενεργού ιλύος

5. Προσδιορίστε το ρυθμό υδραυλικής φόρτισης.

$$\text{Ρυθμός υδραυλικής φόρτισης} = \frac{(3800 \text{ m}^3/\text{d})}{165 \text{ m}^2} = 23.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Απαιτούμενη Επιφάνεια με Βάση την Ανάλυση της Ροής Στερεών

Στην ανάλυση της ροής στερεών, υποτίθεται ότι η δεξαμενή καθίζησης λειτουργεί σε μόνιμες συνθήκες.

**Μέσα στη δεξαμενή, η ροή των στερεών** προς τα κάτω οφείλεται στην καθίζηση λόγω βαρύτητας και στη μεταφορά της συμπιεσμένης λάσπης η οποία αντλείται συνεχώς και απομακρύνεται από τη δεξαμενή.

Η ανάλυση της ροής στερεών **χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η απόδοση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων** και για να αποκτηθούν πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό νέων εγκαταστάσεων που πρόκειται να επεξεργαστούν τα ίδια απόβλητα.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση συμπίεσης

Ο όγκος που απαιτείται για τη λάσπη στην περιοχή συμπίεσης μπορεί να υπολογιστεί με δοκιμές καθίζησης.

Η ταχύτητα πύκνωσης έχει βρεθεί ότι είναι ανάλογη με τη διαφορά του **βάθους σε χρόνο t** και του βάθους στο οποίο η λάσπη θα καθιζάνει μετά από μια **μακρά χρονική περίοδο**.

Η πάχυνση σε μεγάλο χρόνο μπορεί να προσομοιωθεί ως μια συνάρτηση πρώτης τάξης, όπως δίνεται από την Εξίσωση:

$$H_t - H_\infty = (H_2 - H_\infty)e^{-i(t-t_2)}$$

$H_t$  = ύψος της λάσπης σε χρόνο t, L

$H_2$  = βάθος της λάσπης μετά από μακρά περίοδο καθίζησης, της τάξης των 24h, L

$H_\infty$  = ύψος της λάσπης σε χρόνο  $t_2$ , L

i = σταθερά για ένα δεδομένο αιώρημα

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση συμπίεσης

Η ανάδευση εξυπηρετεί τη συμπίεση των στερεών στην περιοχή συμπίεσης διασπώντας τα συσσωματώματα και επιτρέποντας τη διαφυγή του νερού.

Συχνά χρησιμοποιούνται κάθετοι σωλήνες στον εξοπλισμό καθίζησης προκειμένου να κινηθούν τα νερά και να γίνει καλύτερη συμπίεση.

# Απομάκρυνση άμμου

## Απομάκρυνση άμμου

Η απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα μπορεί να επιτευχθεί με εξαμμωτές ή με φυγοκεντρικό διαχωρισμό των στερεών.

Οι εξαμμωτές σχεδιάζονται για την απομάκρυνση

χαλικιών,

αμμοχάλικου,

τέφρας ή

άλλων βαριών στερεών υλικών που έχουν ταχύτητα καθίζησης ή σχετική πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή των οργανικών σηπτικών στερεών στα υγρά απόβλητα.

# Απομάκρυνση άμμου

## Απομάκρυνση άμμου

Οι εξαμμωτές συνήθως τοποθετούνται μετά από τις σχάρες και πριν τη πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης.

Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των βαριών οργανικών στερεών.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις, οι εξαμμωτές προηγούνται των εγκαταστάσεων εσχάρωσης.

Γενικά, η εγκατάσταση των διατάξεων εσχάρωσης μπροστά από τους εξαμμωτές διευκολύνει τη λειτουργία και τη συντήρηση των διατάξεων απομάκρυνσης της άμμου.

# Απομάκρυνση άμμου

## Απομάκρυνση άμμου

Όταν είναι επιθυμητή η τοποθέτηση των εξαμμωτών πριν από τις αντλίες υγρών αποβλήτων, τοποθετούνται σε σημαντικό βάθος με επιπρόσθετο κόστος.

Για αυτό συνήθως θεωρείται πιο οικονομικό να αντλούνται τα υγρά απόβλητα μαζί με την άμμο και οι εξαμμωτές να τοποθετούνται σε μια κατάλληλη θέση πριν από τις άλλες μονάδες της εγκατάστασης επεξεργασίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αντλίες μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερη συντήρηση.

# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη Εξαμμωτών

Οι εξαμμωτές χρησιμοποιούνται για

- (1) να προστατεύσουν τον κινούμενο μηχανικό εξοπλισμό από τριβές και από μη φυσική φθορά,
- (2) να μειώσουν το σχηματισμό αποθέσεων σε αγωγούς, κανάλια και σωληνώσεις και
- (3) να μειώσουν τη συχνότητα καθαρισμού των χωνευτών που προκαλείται από υπερβολική συσσώρευση άμμου.

Η απομάκρυνση της άμμου είναι ουσιώδης όταν προηγείται από φυγόκεντρες αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας και αντλίες διαφράγματος υψηλής πίεσης.



# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη Εξαμμωτών

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι εξαμμωτών:

- οριζόντιας ροής σε ορθογώνια ή τετράγωνη διάταξη,
- αεριζόμενοι ή
- τύπου δίνης.

Στον τύπο οριζόντιας ροής, η ροή περνάει μέσα από μια δεξαμενή σε οριζόντια κατεύθυνση και η γραμμική ταχύτητα της ροής ελέγχεται από τις διαστάσεις της μονάδας, τη θύρα διανομής της εισροής και τον υπερχειλιστή στην έξοδο της εκροής.

Ο αεριζόμενος τύπος αποτελείται από μια δεξαμενή αερισμού με ελικοειδή ροή όπου η ελικοειδής ταχύτητα αναπτύσσεται και ελέγχεται από τις διαστάσεις της δεξαμενής και την ποσότητα του αέρα που παρέχεται στη μονάδα.

# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη Εξαμμωτών

Ο τύπος δίνης αποτελείται από μια κυλινδρική δεξαμενή στην οποία η ροή εισάγεται εφαπτομενικά έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ροή τύπου δίνης.

Ο διαχωρισμός της άμμου οφείλεται στις δυνάμεις βαρύτητας και στις φυγόκεντρες δυνάμεις.

Ο σχεδιασμός των εξαμμωτών βασίζεται συνήθως στην απομάκρυνση σωματιδίων άμμου με σχετική πυκνότητα 2.65 και σε θερμοκρασία υγρών αποβλήτων 15.5°C.

Ωστόσο, η ανάλυση των δεδομένων απομάκρυνσης άμμου δείχνει ότι η σχετική πυκνότητα κυμαίνεται από 1.3 έως 2.7.

# Απομάκρυνση άμμου

## Ορθογώνιοι Εξαμμοωτές Οριζόντιας Ροής

Ο πιο παλιός τύπος εξαμμοωτή που χρησιμοποιείται είναι ο ορθογώνιος οριζόντιας ροής, ελεγχόμενης ταχύτητας.

Αυτές οι μονάδες σχεδιάστηκαν για να διατηρείται η ταχύτητα περίπου 0.3 m/s και να παρέχεται αρκετός χρόνος στα σωματίδια της άμμου για να καθιζήσουν στον πυθμένα του καναλιού.

Η ταχύτητα σχεδιασμού θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε τα περισσότερα οργανικά σωματίδια να μεταφέρονται μέσα από το θάλαμο, να επανααιωρούνται τα οργανικά σωματίδια που τυχόν έχουν καθιζήσει, ενώ θα επιτρέπεται η καθίζηση των βαρύτερων σωματιδίων της άμμου.

# Απομάκρυνση άμμου

## Ορθογώνιοι Εξαμμοωτές Οριζόντιας Ροής

Ο σχεδιασμός των ορθογώνιων εξαμμοωτών οριζόντιας ροής βασίζεται ότι κάτω από τις πιο δυσμενείς συνθήκες **τα ελαφρύτερα σωματίδια άμμου** θα φτάσουν στον πυθμένα του καναλιού πριν την έξοδο τους.

Κανονικά οι εξαμμοωτές σχεδιάζονται για να **απομακρύνονται όλα τα σωματίδια άμμου** που συγκρατούνται σε ένα κόσκινο με διάμετρο 0.21 mm, αν και πολλές δεξαμενές έχουν σχεδιαστεί για να απομακρύνονται σωματίδια άμμου που συγκρατούνται σε κόσκινο διαμέτρου 0.15 mm.

Το **μήκος του καναλιού** εξαρτάται από το βάθος που απαιτείται, με βάση την ταχύτητα καθίζησης και το τμήμα ελέγχου της ροής.

# Απομάκρυνση άμμου

## Ορθογώνιοι Εξαμμητές Οριζόντιας Ροής

Η επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής εξαρτάται από το ρυθμό της παροχής και από τον αριθμό των καναλιών.

Επίσης πρέπει να προβλεφθούν ανοχές για το τυρβώδες στην είσοδο και την έξοδο.

Η απομάκρυνση της άμμου από τους εξαμμητές οριζόντιας ροής επιτυγχάνεται συνήθως με έναν ατέρμονα μεταφορέα με ξέστρα, κάδους και άροτρα.

Η ανύψωση της απομακρυνόμενης άμμου γίνεται με κοχλιωτούς μεταφορείς ή με ανυψωτήρες κάδων που απομακρύνουν την άμμο για καθαρισμό ή διάθεση.

Σε μικρές μονάδες οι εξαμμητές καθαρίζονται μερικές φορές χειρωνακτικά.

# Απομάκρυνση άμμου

## Ορθογώνιοι Εξαμμοωτές Οριζόντιας Ροής

### Τυπικά δεδομένα σχεδιασμού

	Μονάδες Η.Π.Α			Μονάδες S.I.		
	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Χρόνος παραμονής	s	45 – 90	60	s	45 – 90	60
Οριζόντια ταχύτητα	ft/s	0.8 – 1.3	1.0	m/s	0.25 – 0.4	0.3
Ταχύτητα καθίζησης για απομάκρυνση:						
0.21 mm (65-mesh) σωματιδίων	ft/min <sup>α</sup>	3.2 – 4.2	3.8	m/min <sup>α</sup>	1.0 – 1.3	1.15
0.15 mm (65-mesh) σωματιδίων	ft/min <sup>α</sup>	2.0 – 3.0	2.5	m/min <sup>α</sup>	0.6 – 0.9	0.75
Υδραυλικές απώλειες σε ένα τμήμα ελέγχου ως % του βάθους στο κανάλι	%	30 – 40	36 <sup>β</sup>	%	30 – 40	36 <sup>β</sup>
Επιπλέον μήκος που απαιτείται για το τυρβώδες στην είσοδο και έξοδο	%	25 – 50	30	%	25 – 50	30

<sup>α</sup> Όταν η σχετική πυκνότητα της άμμου είναι σημαντικά μικρότερη από 2.65, πρέπει να χρησιμοποιούνται μικρότερες ταχύτητες.

<sup>β</sup> Για τη ρύθμιση με μετρητή Parshall.

# Απομάκρυνση άμμου

## Τετράγωνοι Εξαμμοωτές Οριζόντιας Ροής

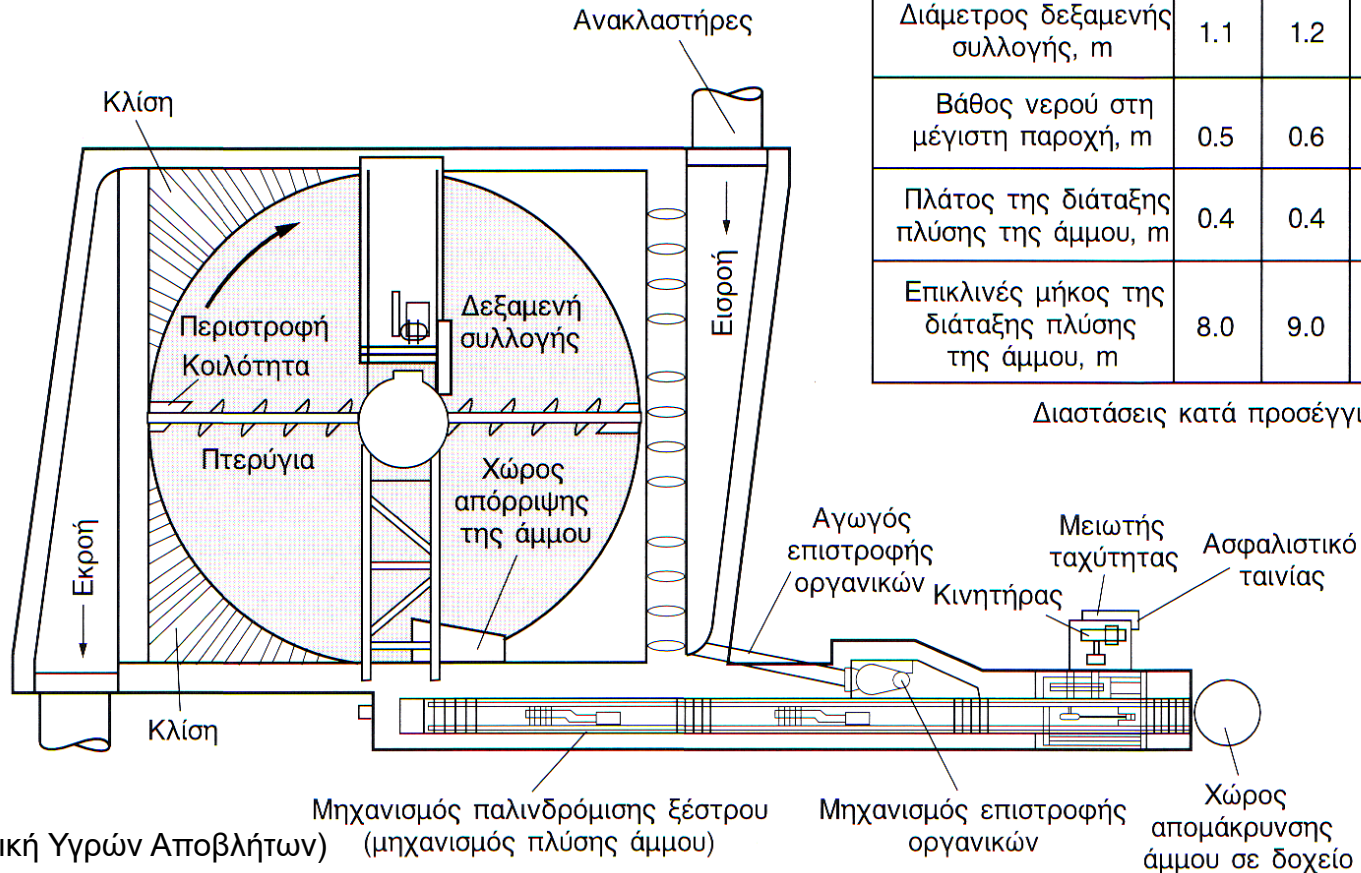
Οι τετράγωνοι εξαμμοωτές οριζόντιας ροής έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο από 60 χρόνια.

Η εισροή σε αυτές τις μονάδες κατανέμεται σε όλη την έκταση της δεξαμενής με μια σειρά ανακλαστήρων ή θυρών και τα υγρά απόβλητα ρέουν σε ευθεία γραμμή κατά μήκος της δεξαμενής και υπερχειλίζουν από έναν υπερχειλιστή με ελεύθερη ροή.

Γενικά, είναι προτιμότερο να κατασκευάζονται τουλάχιστον δύο μονάδες όταν χρησιμοποιούνται τετράγωνοι εξαμμοωτές ορθογώνιας ροής.

# Απομάκρυνση άμμου

## Τετράγωνοι Εξαμμητές Οριζόντιας Ροής



Διάμετρος δεξαμενής συλλογής, m	3.0	6.0	9.0	12.0
άμμος 0.21 mm	0.17	0.70	1.58	2.80
Μέγιστη ροή, m <sup>3</sup> /s				
άμμος 0.15 mm	0.11	0.45	1.02	1.81
Διάμετρος δεξαμενής συλλογής, m	1.1	1.2	1.4	1.5
Βάθος νερού στη μέγιστη παροχή, m	0.5	0.6	0.9	1.1
Πλάτος της διάταξης πλύσης της άμμου, m	0.4	0.4	0.7	0.7
Επικλινές μήκος της διάταξης πλύσης της άμμου, m	8.0	9.0	10	12.0

Διαστάσεις κατά προσέγγιση



# Απομάκρυνση άμμου

## Τετράγωνοι Εξαμμοτές Οριζόντιας Ροής

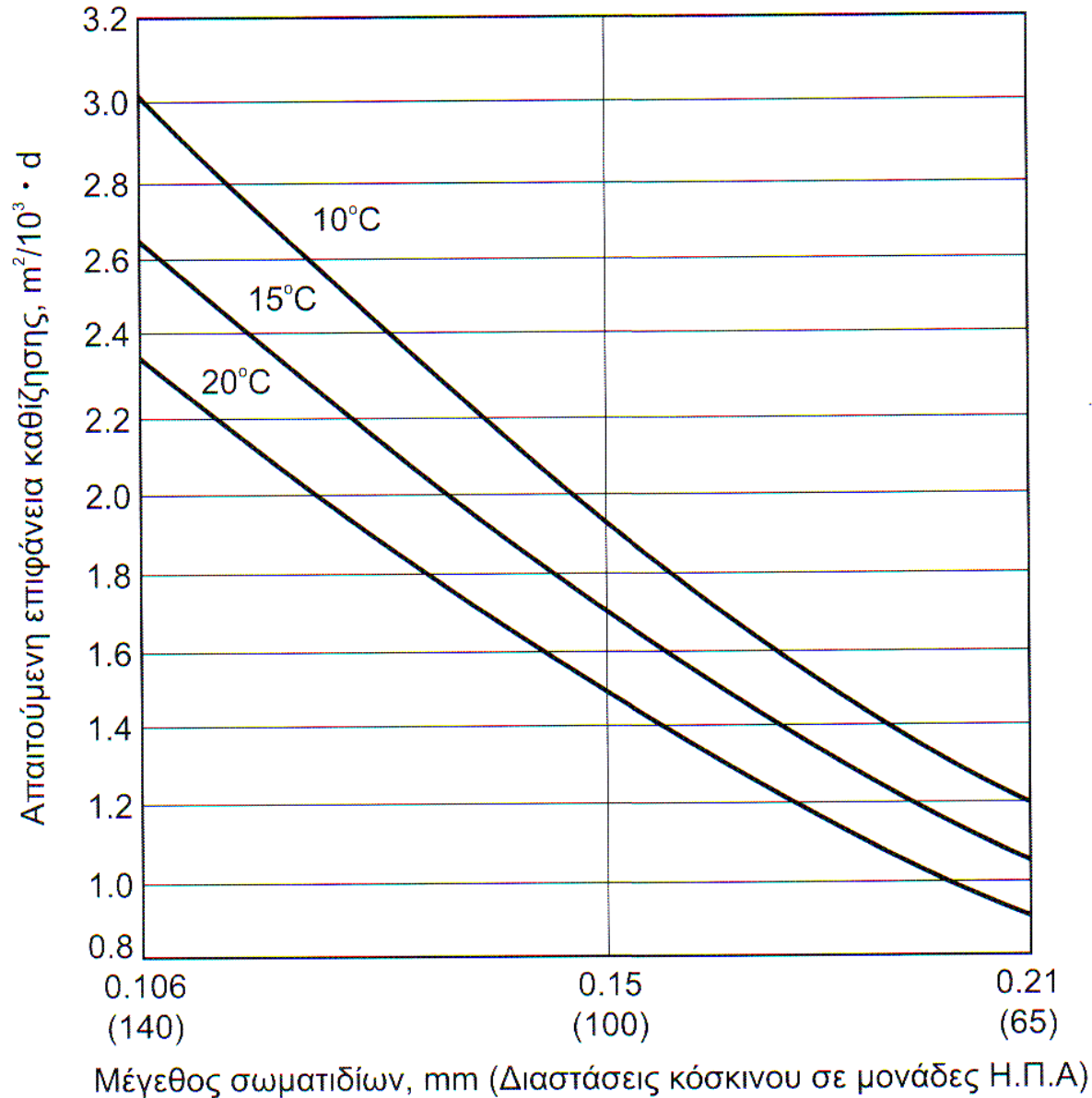
Αυτοί οι τύποι εξαμμοτών σχεδιάζονται με βάση την ταχύτητα υπερχείλισης που εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων και από τη θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων.

Συνήθως, σχεδιάζονται για να απομακρυνθεί το 95% των σωματιδίων με διάμετρο 0.15 mm σε παροχή αιχμής.

Μια τυπική μορφή τέτοιων σχεδιαστικών καμπυλών δίνεται στο ακόλουθο σχήμα

# Απομάκρυνση άμμου

## Τετράγωνοι Εξαμμητές Οριζόντιας Ροής



Επιφάνεια που απαιτείται για την καθίζηση σωματιδίων άμμου με σχετική πυκνότητα 2,65 σε υγρά απόβλητα και δεδομένες θερμοκρασίες

# Απομάκρυνση άμμου

## Τετράγωνοι Εξαμμοτές Οριζόντιας Ροής

Τα στερεά απομακρύνονται με ένα περιστρεφόμενο μηχανισμό ξέστρων προς ένα φρεάτιο αποστράγγισης στο πλευρικό τοίχωμα της δεξαμενής.

Η άμμος που έχει καθιζάνει μετακινείται κυκλικά με ένα περιστρεφόμενο μηχανισμό ξέστρου ή μπορεί να αντληθεί από τη δεξαμενή διαμέσου ενός εξαμμοτή κυκλώνα ώστε να διαχωριστούν τα εναπομείναντα οργανικά υλικά και να γίνει πύκνωση της άμμου.

Η συμπυκνωμένη άμμος στη συνέχεια πλένεται ξανά σε μια διάταξη πλύσης χρησιμοποιώντας ένα βυθισμένο παλινδρομικό ξέστρο ή ένα κεκλιμένο κοχλιόδρομο.

Με τις δύο μεθόδους, τα οργανικά στερεά διαχωρίζονται από την άμμο και επιστρέφουν στη δεξαμενή, δίνοντας μια πιο καθαρή και ξηρή άμμο

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές

Στους αεριζόμενους εξαμμωτές, ο αέρας εισάγεται από τη μια πλευρά της ορθογώνιας δεξαμενής για να δημιουργηθεί μια ελικοειδής ροή κάθετη στη ροή μέσα από τη δεξαμενή.

Τα βαρύτερα σωματίδια της άμμου που έχουν υψηλότερες ταχύτητες καθίζησης καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής.

Τα ελαφρύτερα, κυρίως οργανικά σωματίδια, παραμένουν σε αιώρηση και περνούν μέσα από τη δεξαμενή.

Η ταχύτητα της περιστροφής ή ανάδευσης καθορίζει το μέγεθος των σωματιδίων τα οποία θα απομακρυνθούν με δεδομένη σχετική πυκνότητα.

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές

Όταν η ταχύτητα είναι πολύ μεγάλη, η άμμος θα μεταφερθεί έξω από τη δεξαμενή, ενώ όταν είναι πολύ μικρή, η οργανική ύλη θα απομακρυνθεί με την άμμο.

Ευτυχώς, η ποσότητα του αέρα ρυθμίζεται εύκολα.

Με κατάλληλη ρύθμιση, μπορεί να επιτευχθεί 100% απομάκρυνση και η άμμος θα είναι καλά πλυμένη.

(Η άμμος που δεν είναι καλά πλυμένη και περιέχει οργανικό υλικό έχει δυσάρεστη οσμή και ελκύει έντομα.)

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές

Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές σχεδιάζονται για να απομακρύνονται σωματίδια με διάμετρο 0.21 mm ή μεγαλύτερα, με χρόνους παραμονής 2- ή 5- λεπτών κατά την ωριαία παροχή αιχμής.

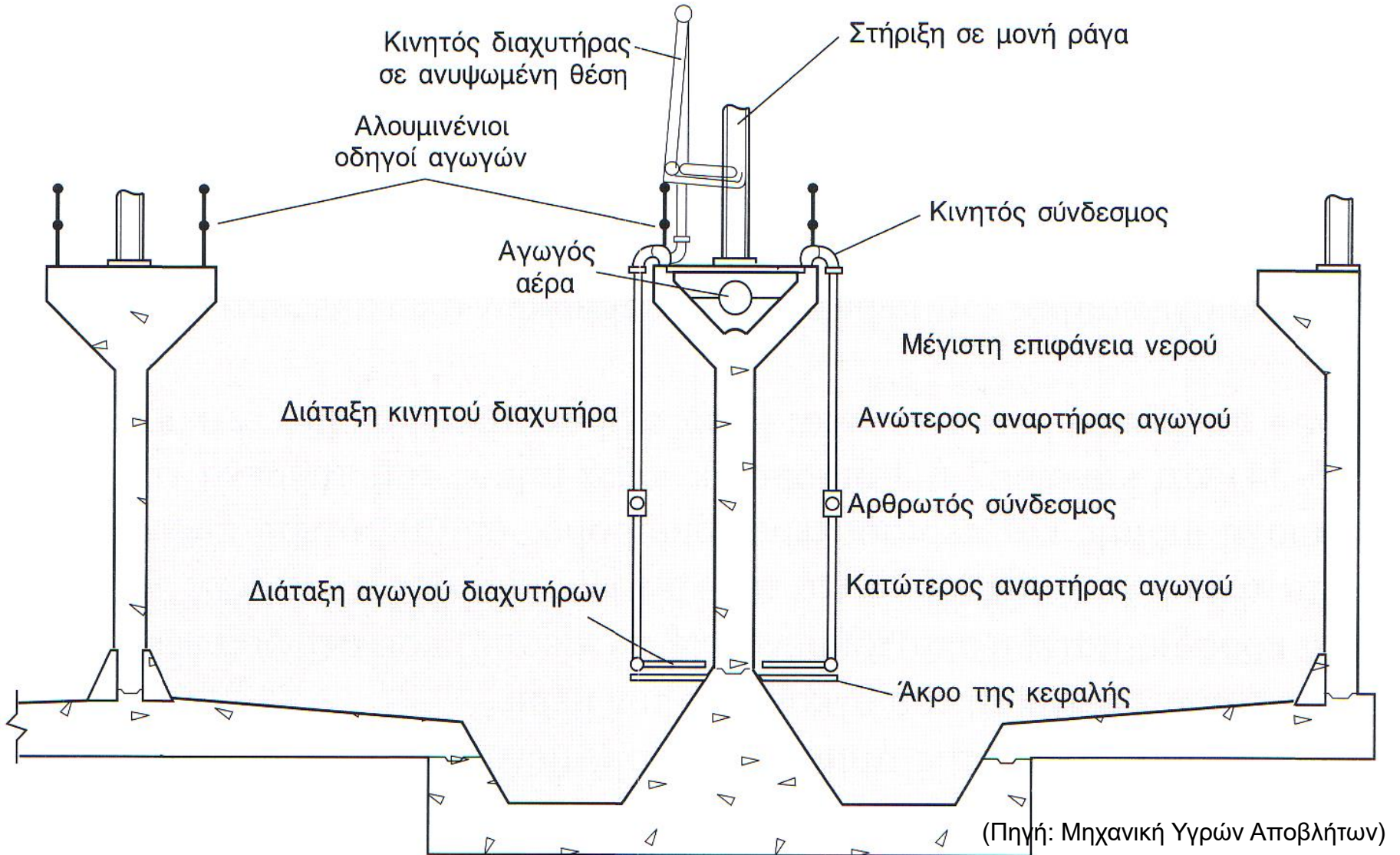
Η εγκάρσια διατομή της δεξαμενής είναι παρόμοια με αυτή που ισχύει για ελικοειδή κυκλοφορία σε δεξαμενές αερισμού ενεργού ιλύος, εκτός από μια χοάνη άμμου με βάθος 0.9 m με επικλινή τοιχώματα, που τοποθετείται κατά μήκος μιας πλευράς της δεξαμενής κάτω από τους διαχυτήρες αερισμού (Σχήμα).

Οι διαχυτήρες τοποθετούνται 0.45 έως 0.6 m πάνω από τον πυθμένα.

Ανακλαστήρες εισόδου και εξόδου χρησιμοποιούνται συχνά για υδραυλικό έλεγχο και βελτίωση της απόδοσης απομάκρυνσης άμμου.

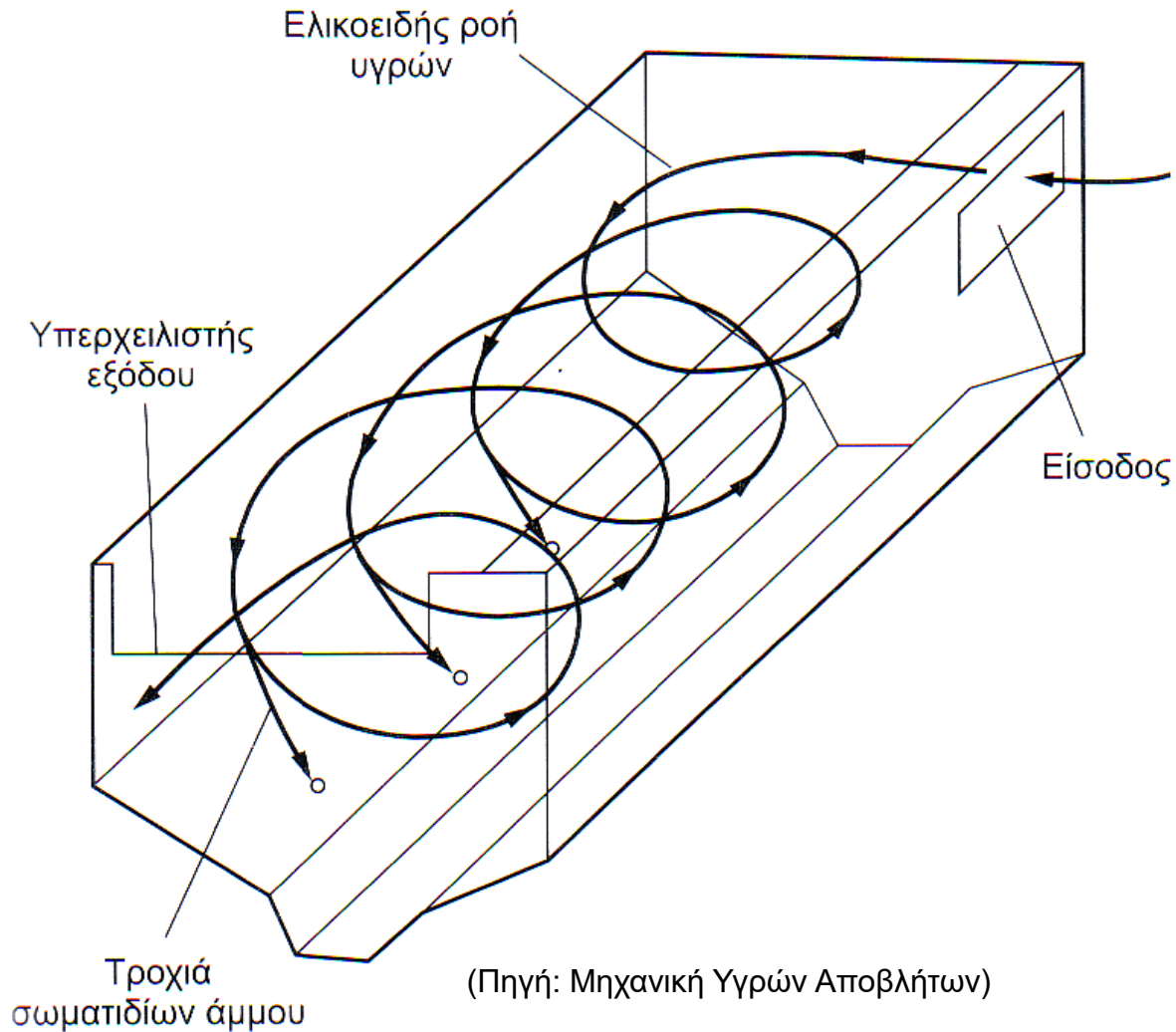
# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές



# Απομάκρυνση άμμου

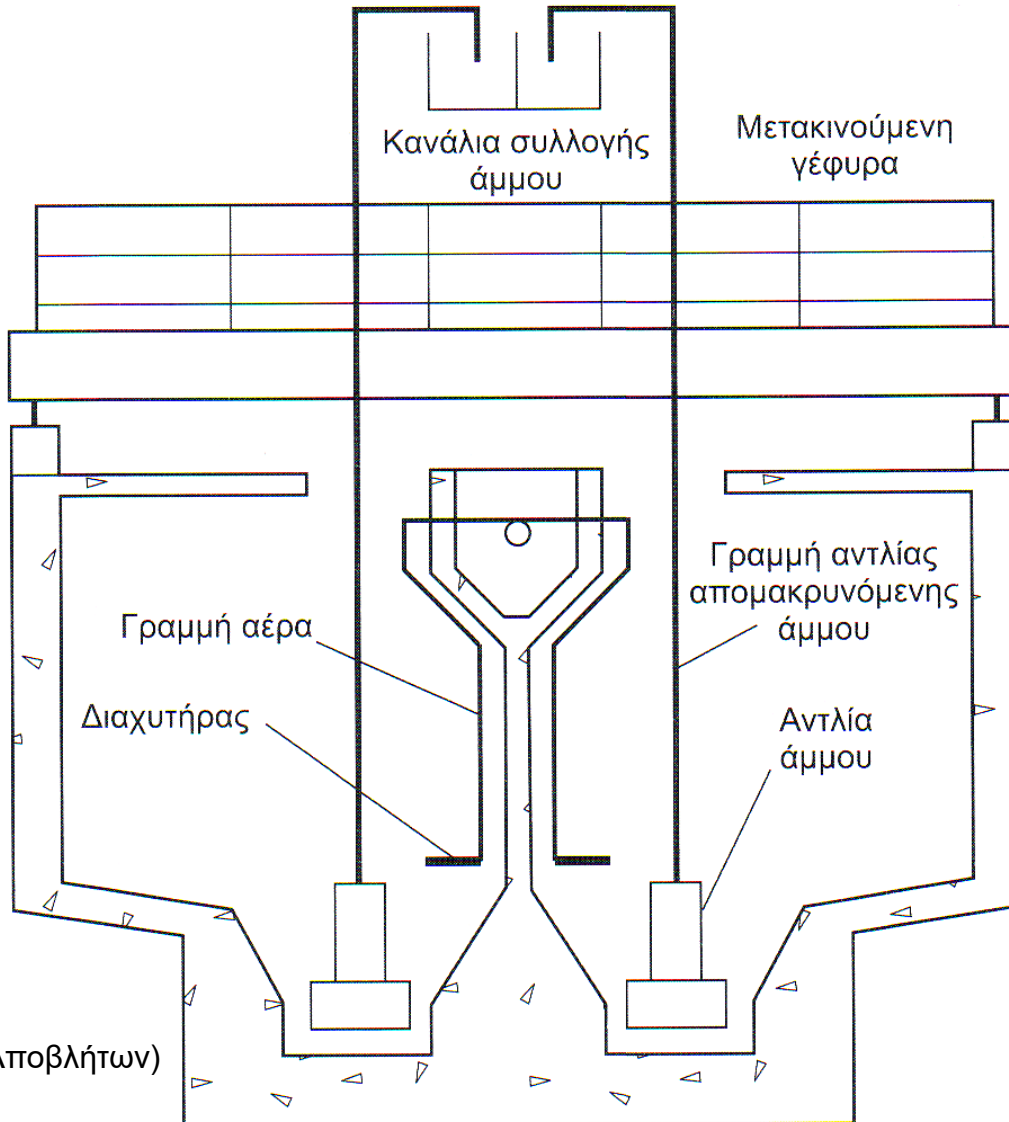
## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές





# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές – βασικά στοιχεία σχεδιασμού

Παράμετροι	Μονάδες Η.Π.Α			Μονάδες S.I.		
	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Χρόνος παραμονής σε παροχή αιχμής	min	2-5	3	min	2-5	3
Διαστάσεις:						
Βάθος	ft	7-16		m	2-5	
Μήκος	ft	25-65		m	7.5-20	
Πλάτος	ft	8-23		m	2.5-7	
Λόγος πλάτους- βάθους	Λόγος	1:1 to 5:1	1.5:1	Λόγος	1:1 to 5:1	1.5:1
Λόγος μήκους - πλάτους	Λόγος	3:1 to 5:1	4:1	Λόγος	3:1 to 5:1	4:1
Παροχή αέρα ανά μονάδα μήκους	ft <sup>3</sup> /ft·min	3-8		m <sup>3</sup> /m·min	0.2-0.5	
Ποσότητα άμμου	ft <sup>3</sup> /Mgal	0.5-27	2	m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0.004-0.20	0.015

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές - σχεδιασμός

**Σχεδιασμός ενός Αεριζόμενου Εξαμμωτή** Σχεδιάστε έναν αεριζόμενο εξαμμωτή για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. Η μέση παροχή είναι  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  και εφαρμόζεται η καμπύλη του συντελεστή αιχμής όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-13.

### Λύση

1. Καθορίστε την παροχή αιχμής για το σχεδιασμό. Υποθέστε ότι ο αεριζόμενος εξαμμωτής θα σχεδιαστεί για παροχή αιχμής 1-ημέρας. Από το Σχήμα 3-11, ο συντελεστής αιχμής βρέθηκε 2.75 και η παροχή σχεδιασμού αιχμής είναι:

$$\text{Παροχή αιχμής} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s} \times 2.75 = 1.38 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Προσδιορίστε τον όγκο του εξαμμωτή. Επειδή είναι απαραίτητο να αποστραγγίζεται η δεξαμενή περιοδικά για συντήρηση, θα χρησιμοποιηθούν δύο δεξαμενές. Υποθέστε ότι ο μέσος χρόνος παραμονής για τη παροχή αιχμής είναι 3 min.

$$\text{Όγκος εξαμμωτή, } m^3 \text{ (καθένας)} = \left( \frac{1}{2} \right) (1.38 \text{ m}^3/\text{s}) \times 3 \text{ min} \times 60 \text{ s/min} = 124.2 \text{ m}^3$$

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές - σχεδιασμός

3. Προσδιορίστε τις διαστάσεις κάθε εξαμμωτή. Χρησιμοποιήστε λόγο πλάτους προς βάθος 1.2:1 και υποθέστε ότι το βάθος είναι 3 m.

α.  $\text{Πλάτος} = 1.2(3\text{ m}) = 3.6\text{ m}$

β.  $\text{Μήκος} = \frac{\text{όγκος}}{\text{πλάτος} \times \text{βάθος}} = \frac{124.2\text{ m}^3}{3\text{ m} \times 3.6\text{ m}} = 11.5\text{ m}$

4. Προσδιορίστε το χρόνο παραμονής σε κάθε εξαμμωτή σε μέση παροχή.

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές - σχεδιασμός

$$\text{Χρόνος παραμονής} = \frac{124.2 \text{ m}^3}{(0.25 \text{ m}^3/\text{s})} = 496.8 \text{ s} \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 8.28 \text{ min}$$

5. Προσδιορίστε την απαιτούμενη παροχή αέρα. Υποθέστε ότι  $0.3 \text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{m}$  μήκους θα είναι επαρκές.

$$\text{Απαιτούμενος αέρας (με βάση το μήκος)} = 1.15 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{m} = 3.45 \text{ m}^3/\text{min} \text{ για κάθε εξαμμωτή}$$

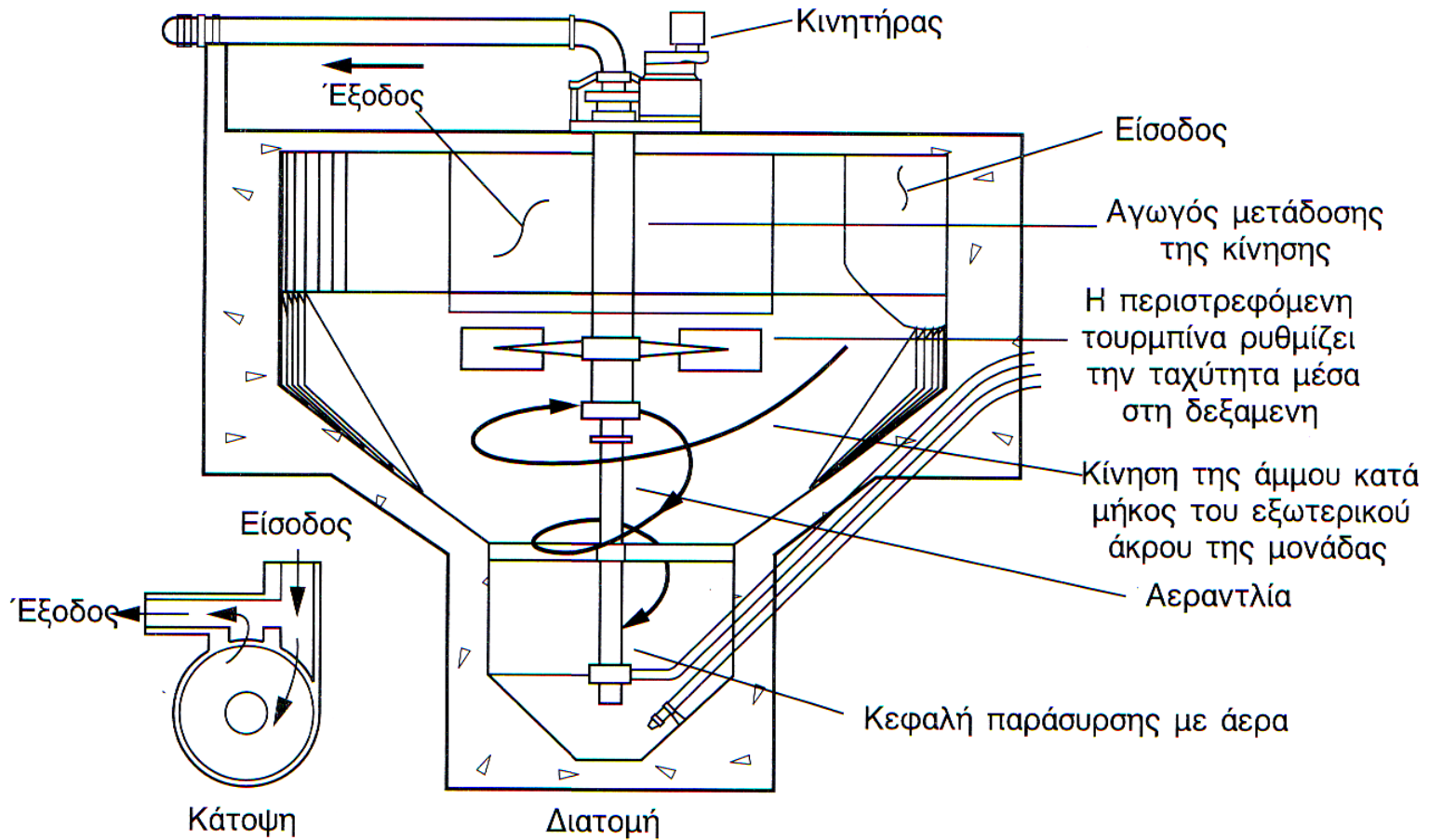
$$\text{Ολική απαίτηση σε παροχή αέρα} = 3.45 \times 2 = 6.9 \text{ m}^3/\text{min}$$

6. Εκτιμήστε την ποσότητα άμμου σε παροχή αιχμής. Υποθέστε μια τιμή  $0.05 \text{ m}^3/10^3 \text{ m}^3$  σε παροχή αιχμής.

$$\text{Όγκος άμμου} = \left[ (1.38 \text{ m}^3/\text{s}) (86400 \text{ s/d}) (0.05 \text{ m}^3/10^3 \text{ m}^3) \right] = 5.96 \text{ m}^3/\text{d}$$

# Απομάκρυνση άμμου

## Εξαμμωτές δίνης

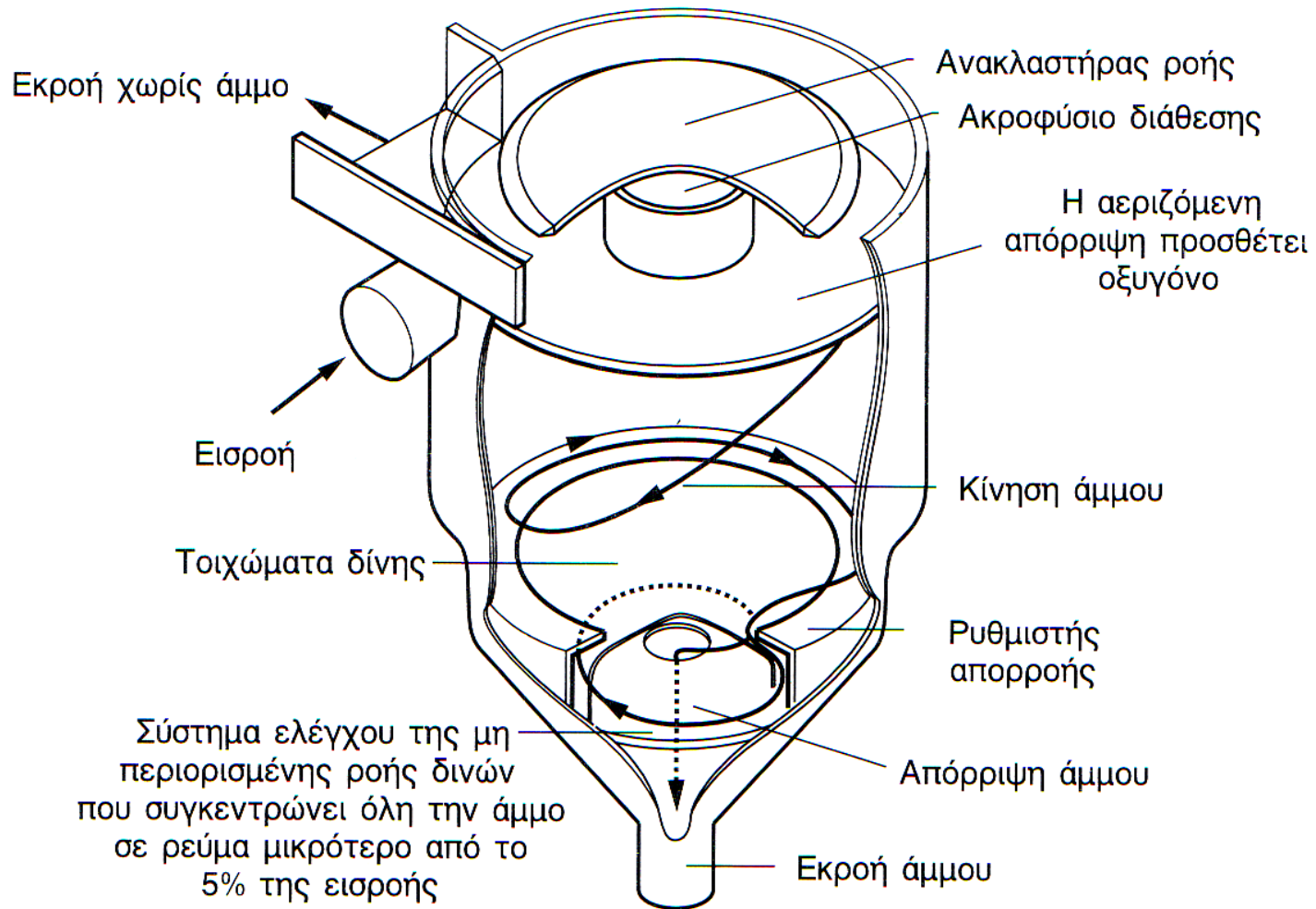


(a)

(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Απομάκρυνση άμμου

## Εξαμμωτές δίνης



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Απομάκρυνση άμμου

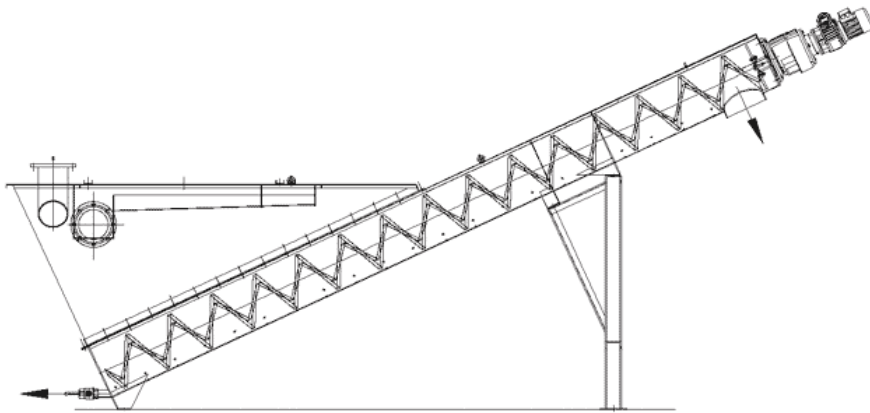
Εξαμμωτές δίνης (vortex ): τυπικές πληροφορίες σχεδιασμού

Παράμετρος	Μονάδες	Πεδίο	Τυπικές τιμές
Χρόνος παραμονής	s	20-30	30
Διάμετρος			
Επάνω	m	1.2-7.2	
Κάτω	m	0.9-1.8	
Ύψος	m	2.7-4.8	
Ποσοστιαία αφαίρεση			
0,30 mm	%	92-98	95
0.24 mm	%	80-90	85
0.15 mm	%	60-70	65



# Απομάκρυνση άμμου

Διαχωρισμός και πλύσιμο άμμου



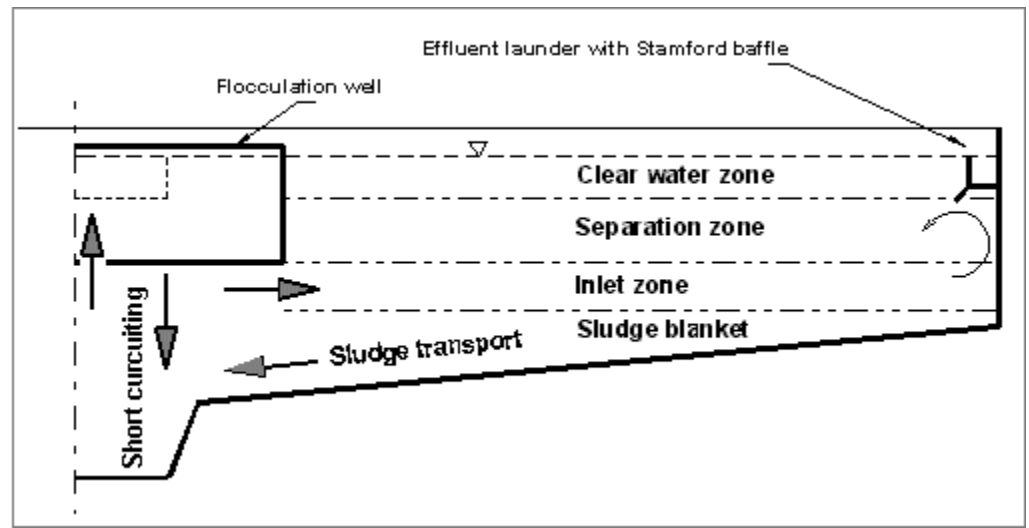
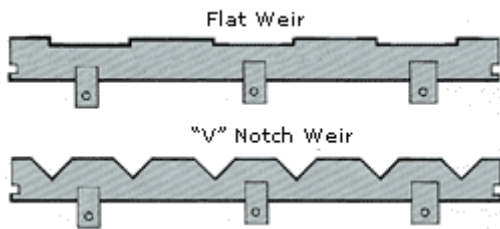
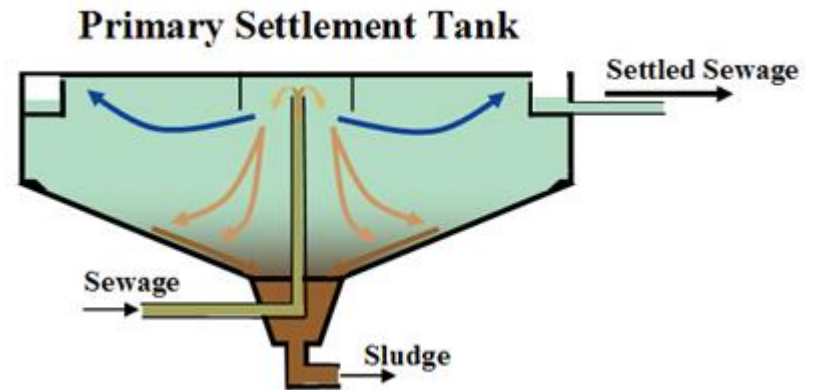
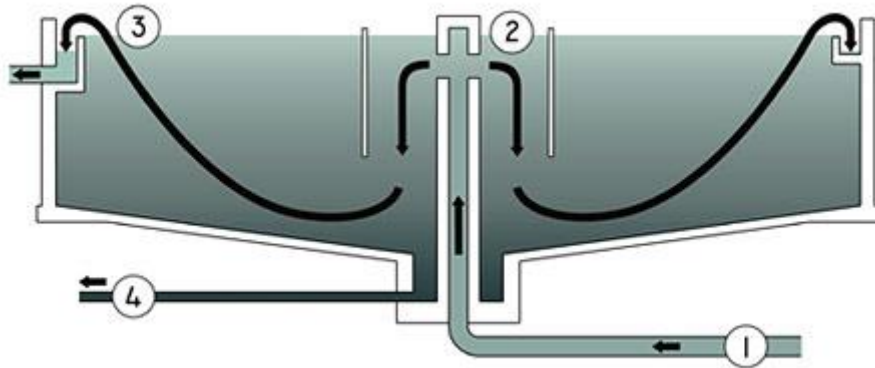
# Απομάκρυνση άμμου

**Διαχωρισμός και πλύσιμο άμμου**



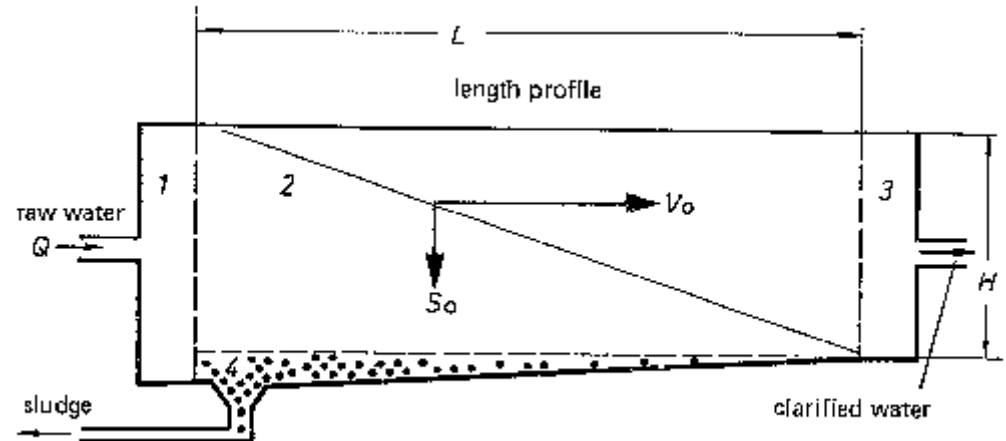
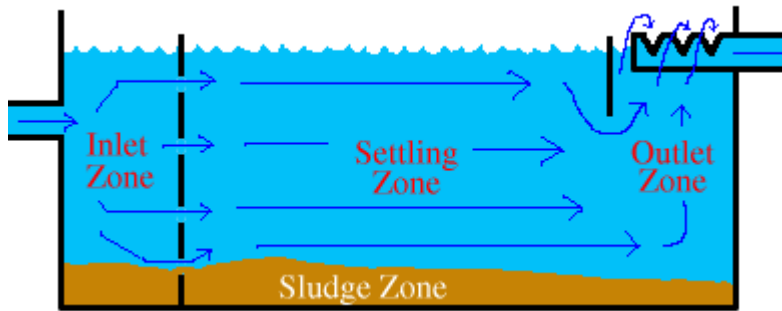
# Πρωτοβάθμια καθίζηση

Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης



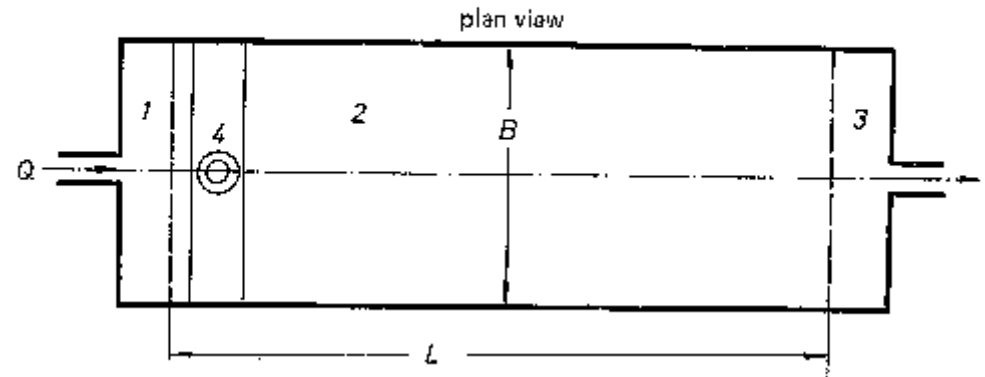
# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης



$L$  = length  
 $B$  = width  
 $H$  = depth

1 inlet zone  
2 settling zone  
3 outlet zone  
4 sludge zone



# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Τυπικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά για δεξαμενές Α καθίζησης

Παράμετρος	Μονάδες	Πεδίο	Τυπικές τιμές
<b>Δεξαμενές Α καθίζησης που ακολουθούνται από δευτεροβάθμια επεξεργασία</b>			
Χρόνος παραμονής	h	1.5-2.5	2.0
Ταχύτητα υπερχείλισης			
Μέση παροχή	$m^3/m^2.d$	30-50	40
Ωριαία παροχή αιχμής	$m^3/m^2.d$	80-120	100
Φόρτιση υπερχειλιστή	$m^3/m^2.d$	125-500	250
<b>Α βάθμια καθίζηση με επιστροφή αποβλήτων ενεργού ιλύος</b>			
Χρόνος παραμονής	h	1.5-2.5	2.0
Ταχύτητα υπερχείλισης			
Μέση παροχή	$m^3/m^2.d$	24-32	28
Ωριαία παροχή αιχμής	$m^3/m^2.d$	48-70	60
Φόρτιση υπερχειλιστή	$m^3/m^2.d$	125-500	250

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

Τυπικές διαστάσεις για ορθογώνιες και κυκλικές δεξαμενές  
Α καθίζησης

Παράμετρος	Μονάδες	Πεδίο	Τυπικές τιμές
<b>Ορθογώνιες:</b>			
Βάθος	m	3-4.9	2.0
Μήκος	m	15-90	
Πλάτος	m	32-24	40
Ταχύτητα ξέστρων	m/min	0.6-1.2	100
<b>Α βάθμια καθίζηση με επιστροφή αποβλήτων ενεργού ιλύος</b>			
Βάθος	m	3-4.9	4.3
Διάμετρος	m	3-60	12-45
Κλίση πυθμένα	mm/mm	1/16-1/6	281/12
Ταχύτητα ξέστρων	m/min	0.02-0.05	0.03

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης Λύση

1) Υπολογίστε την απαιτούμενη επιφάνεια. Σε συνθήκες μέσης παροχής, η απαιτούμενη επιφάνεια είναι

$$A=Q/OR = (20.000 \text{ m}^3/\text{d})/40 (\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}) = 500 \text{ m}^2$$

2) Προσδιορίστε το μήκος της δεξαμενής (2 δεξαμενές).

$$L=A/W = 500 \text{ m}^2/2 \times 6\text{m} = 41,7 \text{ m}$$

προς χάριν ευκολίας, οι διαστάσεις της επιφάνειας θα στρογγυλοποιηθούν σε 6 m x 42 m (=252 m<sup>2</sup>).

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

**Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης**

**Λύση**

3) Υπολογίστε το χρόνο παραμονής και την ταχύτητα υπερχείλισης στη μέση παροχή. Χρησιμοποιώντας το υποτιθέμενο πλευρικό βάθος νερού των 4 m

$$\text{Όγκος δεξαμενής} = 4\text{m} \times 2(42\text{m} \times 6\text{m}) = 2016 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Ταχύτητα υπερχείλισης} &= Q/A = (20.000 \text{ m}^3/\text{d})/2(6\text{m} \times 42\text{m}) \\ &= 39.7\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Χρόνος παραμονής} &= \text{όγκος}/Q = (2016 \text{ m}^3)(24\text{h}/\text{d})/(20.000\text{m}^3/\text{d}) \\ &= 2,42\text{h} \end{aligned}$$



# Πρωτοβάθμια καθίζηση

**Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης**

**Λύση**

4) Υπολογίστε το χρόνο παραμονής και την ταχύτητα υπερχείλισης στην παροχή αιχμής

$$\begin{aligned}\text{Ταχύτητα υπερχείλισης} &= Q/A = (50.000 \text{ m}^3/\text{d})/2(6\text{m} \times 42\text{m}) \\ &= 99.2\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Χρόνος παραμονής} &= \text{όγκος}/Q = (2016 \text{ m}^3)(24\text{h}/\text{d})/(50.000\text{m}^3/\text{d}) \\ &= 0,97\text{h}\end{aligned}$$

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

**Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης**

**Λύση**

5) Υπολογίστε την ταχύτητα παράσυρσης χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες τιμές:

Σταθερά συνοχής =  $k = 0.05$

Σχετική πυκνότητα =  $s = 1.25$

Επιτάχυνση της βαρύτητας =  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Διάμετρος σωματιδίων =  $d = 100 \text{ }\mu\text{m} = 100 \times 10^{-6} \text{ m}$

Συντελεστής τριβής Darcy-Weisbach  $f = 0.025$

$$V_H = \{8k(s-1)gd/f\}^{1/2} = [(8)(0.05)(0.25)(9.81)(100 \times 10^{-6})/0.025]^{1/2}$$
$$= 0.063 \text{ m/s}$$

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης Λύση

6) Συγκρίνετε την ταχύτητα παράσυρσης που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα με την οριζόντια ταχύτητα κατά την παροχή αιχμής (η παροχή αιχμής διαιρεμένη με την εγκάρσια επιφάνεια μέσα από την οποία περνάει η ροή).

Η οριζόντια ταχύτητα κατά την παροχή αιχμής διαμέσου της δεξαμενής καθίζησης είναι

$$V = Q/A_x = [(50.000\text{m}^3/\text{d})/2(6\text{m} \times 4\text{m})][1/(24\text{h}/\text{d})(3600\text{s}/\text{h})]$$
$$= 0.012 \text{ m/s}$$

Η τιμή της οριζόντιας ταχύτητας, ακόμη και στην παροχή αιχμής, είναι σημαντικά μικρότερη από την ταχύτητα παράσυρσης. Έτσι, τα υλικά που καθιζάνει δεν πρόκειται να επαναιωρηθούν

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης Λύση

7) Να εκτιμήσετε τον ρυθμό απομάκρυνσης του BOD και των TSS στη μέση παροχή και στην παροχή αιχμής,

α. Στη μέση παροχή:

$$\text{Απομάκρυνση BOD} = t/\alpha + bt = 2.42/0.018 + (0.020)(2.42) = 36\%$$

$$\text{Απομάκρυνση TSS} = t/\alpha + bt = 2.42/0.0075 + (0.014)(2.42) = 58\%$$

β. Στη παροχή αιχμής:

$$\text{Απομάκρυνση BOD} = t/\alpha + bt = 0,97/0.018 + (0.020)(2.42) = 26\%$$

$$\text{Απομάκρυνση TSS} = t/\alpha + bt = 0,97/0.0075 + (0.014)(2.42) = 46\%$$

# Βιβλιογραφία

1. Μηχανική Υγρών Αποβλήτων  
G. Tchobanoglous, F. Burton, H. Stensel,  
Metcalf & Eddy, Inc,
2. Biological wastewater treatment  
L. Grady, G. Daigger, H. Lim, Marcel Dekker, Inc.,  
New York