

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

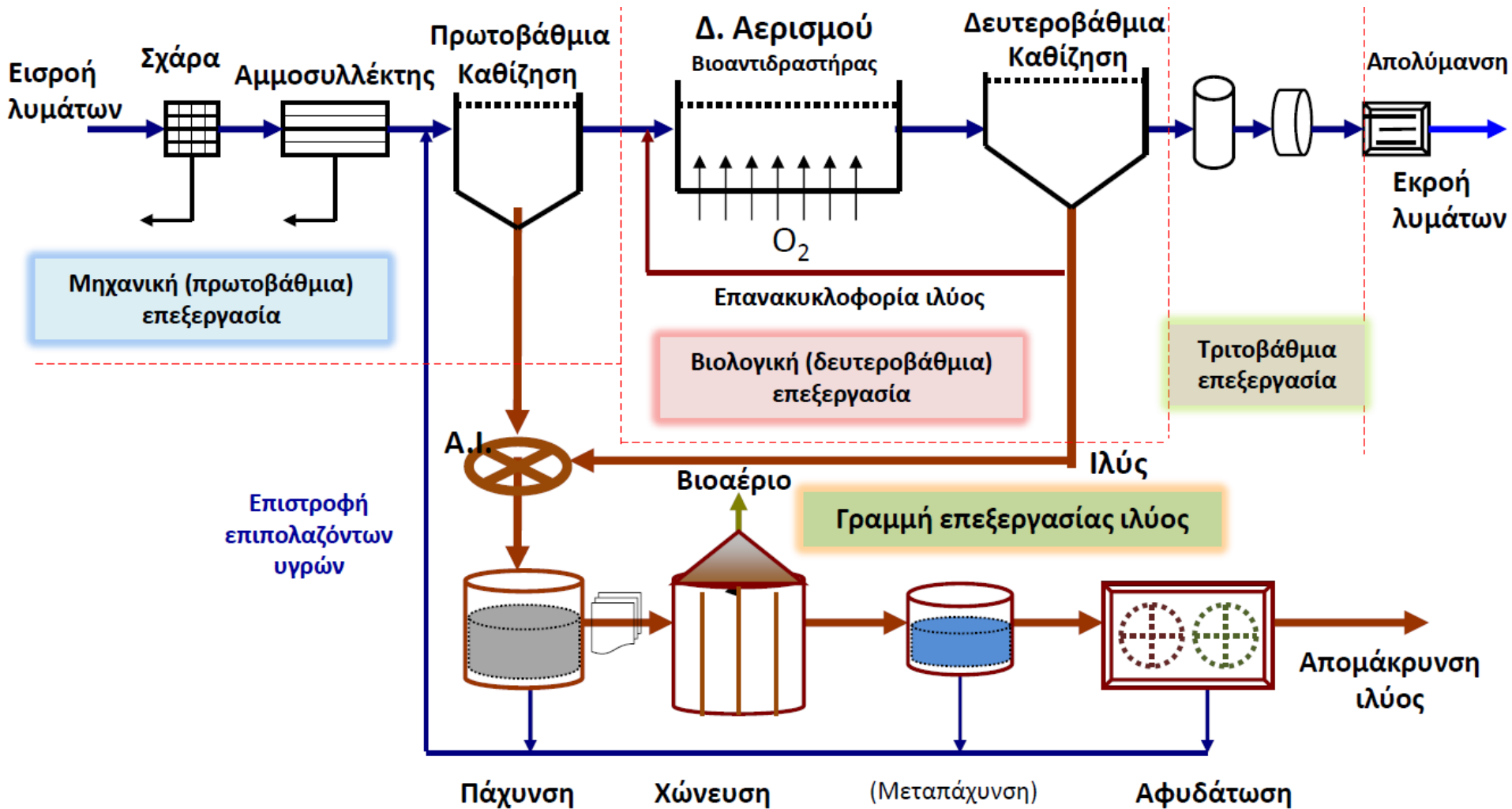
Διάλεξη 2: Προεπεξεργασία ΥΑ

Ανέστης Βλυσίδης
Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ

Τι είδαμε στο προηγούμενο μάθημα

- Εισαγωγή του μαθήματος
 - Αντικείμενο – Ορισμοί - Γενικοί μέθοδοι επεξεργασίας
 - Υγρά, Στερεά, Αέρια
- Ποσοτικά χαρακτηριστικά ΥΑ
 - Υπολογισμό (αυλάκια Parshall)
 - Εκτίμηση
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά ΥΑ
 - Φυσικά / Χημικά / Βιολογικά
 - Οργανικά
 - Ανόργανα

Επεξεργασία Αστικών Λυμάτων



ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Με την προεπεξεργασία **στοχεύουμε** να **προστατεύσουμε** τις κυρίως διεργασίες της μονάδας από **ορισμένα χαρακτηριστικά** των αποβλήτων που ενδέχεται να δημιουργήσουν **πρόβλημα** στη λειτουργία τους.

Μικρή επίδραση στη μείωση του BOD_5

Οι διεργασίες αυτές για ΑΥΑ είναι:

- Σχάρισμα
- Αμμοσυλλογή
- Λιποσυλλογή
- Εξισορρόπηση Παροχής

Για Βιομηχανικά ΥΑ
συνήθως χρειάζεται και
εξουδετέρωση.

Διεργασίες Προεπεξεργασίας ΑΥΑ

Σχάρισμα

Απομάκρυνση στερεών
(Δημιουργία προβλημάτων στις εγκαταστάσεις)

Αμμοσυλλέκτης

Απομάκρυνση άμμου και χαλικιών (grit)
(Προστασία των διεργασιών που ακολουθούν)

Λιποσυλλέκτη

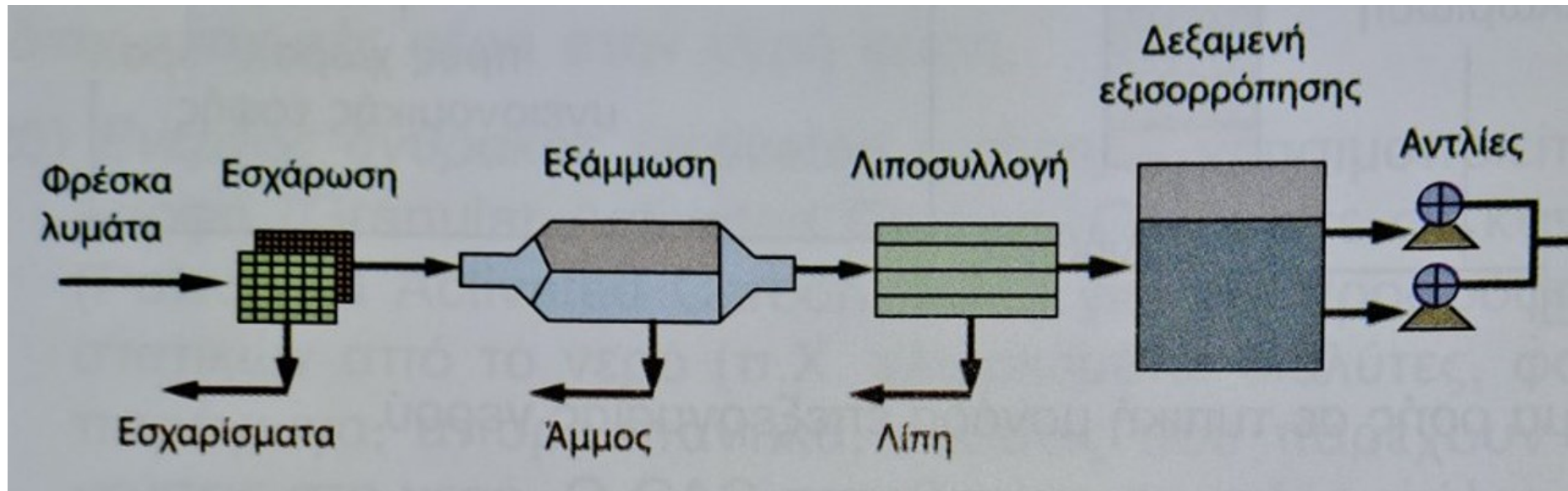
Αφαίρεση των **λιπών** και των **ελαίων (FOGs)**
(Εμποδίζουν τη δημιουργία ιλύος με καλές ιδιότητες καθίζησης και προξενούν ανεπιθύμητο αφρισμό)

Δεξαμενή
εξισορρόπησης

Εξουδετέρωση των ημερήσιων διακυμάνσεων
προσφέροντας **σταθερή παροχή** στις
διεργασίες που έπονται.

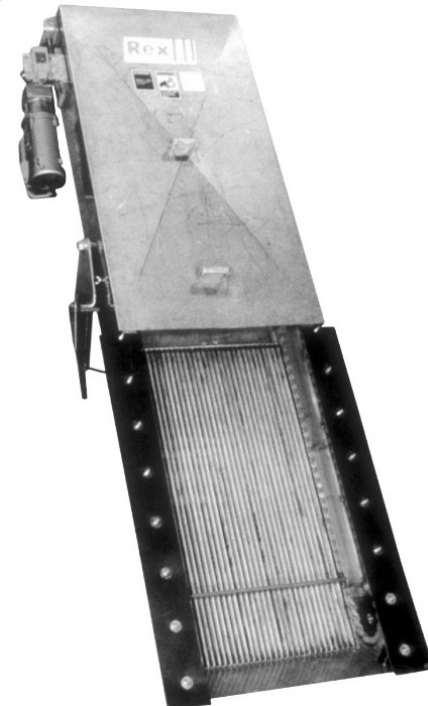
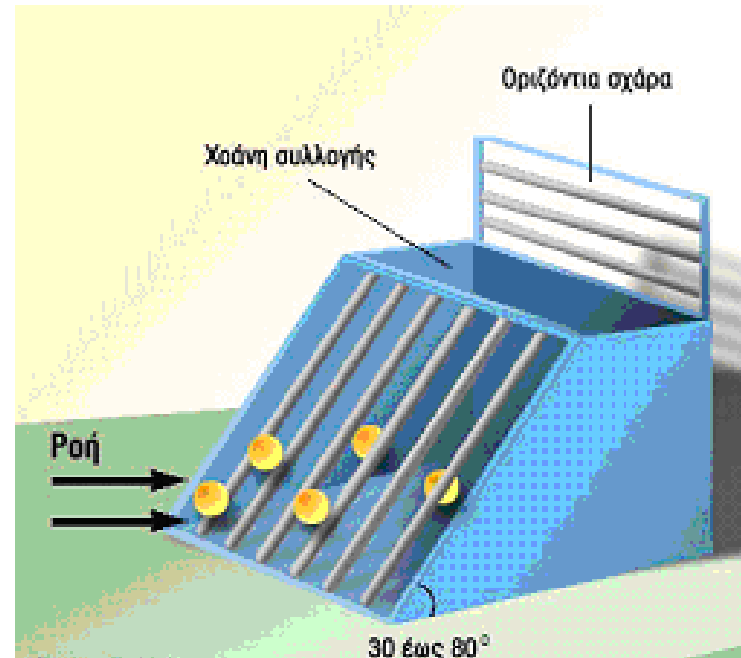
- + Ανύψωση της στάθμης των λυμάτων μέχρι το επίπεδο της προεπεξεργασίας.
- + Σύστημα **απόσμησης** για εξουδετέρωση των έντονων οσμών.
- + Εγκατάσταση για **υποδοχή βοθρολυμάτων** (πιο ισχυρό φορτίο).

ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ



Σχάρισμα (1)

- Οι σχάρες (bar racks) στοχεύουν στην απομάκρυνση των **χονδρών στερεών**.
- Η βασική παράμετρος σχεδιασμού είναι το **μέγεθος των διάκενων** της σχάρας, σύμφωνα με το οποίο τις διακρίνουμε σε χονδρές και λεπτές.



Σχάρισμα (2)

Διαχωρισμός στερεών με τη βοήθεια σχαρών:

Υπάρχουν 2 είδη εσχάρων:

- οι **χειροκίνητες** εσχάρες που χρειάζονται καθαρισμό με τσουγκράνα (φράζουν εύκολα)
- οι **μηχανικές εσχάρες** που διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού με μηχανικό χτένι

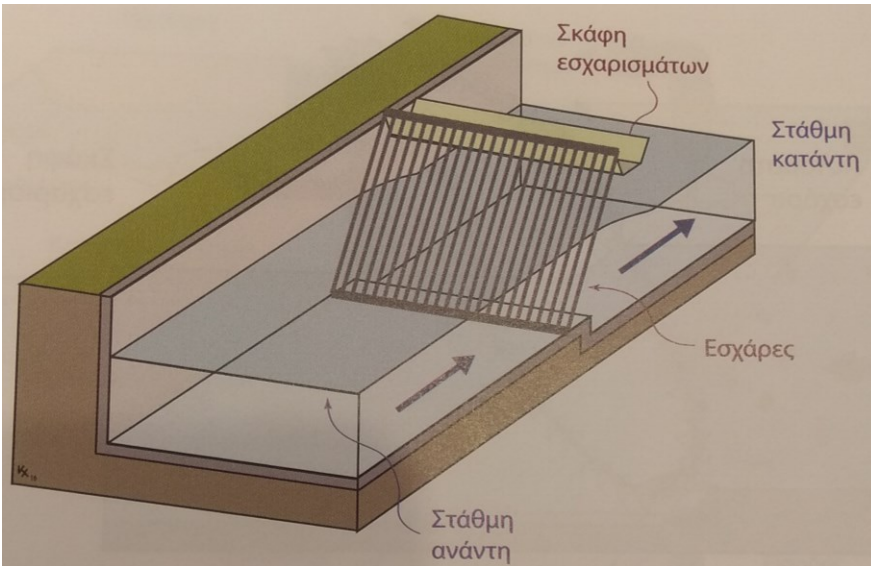
Μεγέθη:

- **Χοντρή** σχάρα, διάκενα 3-10 cm
- **Μεσαία** σχάρα, διάκενα 1-3 cm
- **Λεπτή** σχάρα, διάκενα 0,3-1 cm



Σχάρισμα (3)

Σταθερή σχάρα χειρωνακτικού καθαρισμού

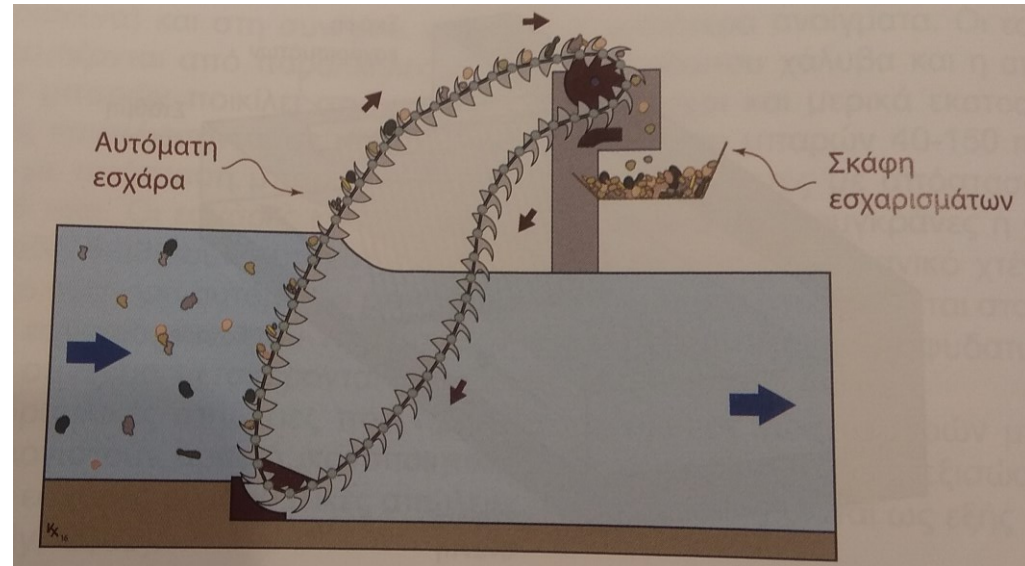


Γωνία 30° - 80° σε σχέση με την οριζόντια ροή του νερού

Μπορεί να τοποθετηθούν και σε σειρά
40-150 mm , 6-40 mm , 3-6 mm

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

Σχάρα με αυτόματο & συνεχές σύστημα καθαρισμού



Τα **εσχαρίσματα** που προκύπτουν **συμπιέζονται** ελαφρά, **αφυδατώνονται** και στη συνέχεια μεταφέρονται σε ΧΥΤΑ.

Τυπικά χαρακτηριστικά εσχαρισμάτων:

Πυκνότητα: $600-1000 \text{ kg/m}^3$

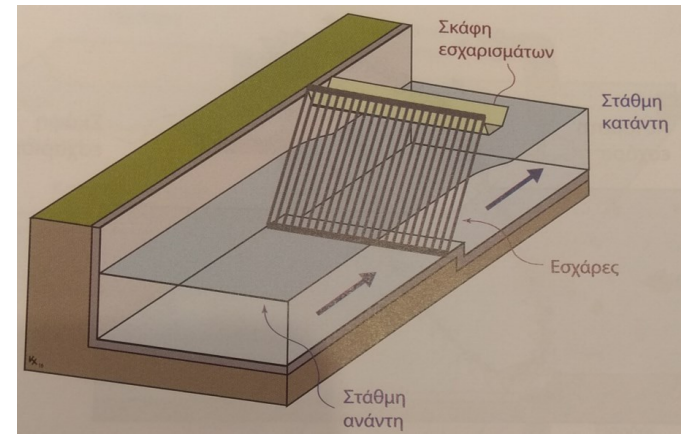
Υγρασία: 75-90%

Πτητικά στερεά: 80-90%

Απόδοση ενέργειας κατά την καύση: $13000-18000 \text{ kJ/kg}$



Σχεδιασμός Σχάρας (1)



- Η **ταχύτητα ροής** στο κανάλι της σχάρας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από **0,4 m/s**, ώστε να μη γίνεται εναπόθεση στερεών
- Ενώ η ταχύτητα ροής στα διάκενα πρέπει να είναι μικρότερη από **1,0-1,2 m/s** για να μη παρασύρονται τα συγκρατούμενα στερεά.
- Η ράβδοι έχουν τυπικά
 - Πάχος 5-20 mm
 - Βάθος 25-75 mm
 - **Διάκενα 25-50 mm**
- Το κανάλι έχει πλάτος 0,6-2 m και βάθος όχι πάνω από 0,4 m
- Η υδραυλική απώλεια κυμαίνεται από 150 – 200 mm

Τυπική ποσότητα στερεών είναι 0,01-0,03 m³/d/1000 κατοίκους
για διάκενα: 25-75mm

Σχεδιασμός Σχάρας (2)

Επιλέγουμε το μέγεθος δ των διακένων (25-50 mm) της σχάρας και το πλάτος d της ράβδου (5-20 mm), οπότε υπολογίζουμε το κλάσμα διέλευσης f :

$$f = \frac{\delta}{d + \delta}$$

Επιλέγουμε την ταχύτητα ροής v στο κανάλι. Τότε η απαιτούμενη επιφάνεια ροής A είναι: Όπου: v η ταχύτητα ροής στο κανάλι ($> 0,4 \text{ m/s}$), c συντελεστής με τιμή 0,1-0,3 για απλές σχάρες και 0,4-0,5 για αυτόματες μηχανικές σχάρες.

$Q_{\max}$: η μέγιστη παροχή, αν δεν είναι γνωστή εκτιμάται από Q_{average} με τον συντελεστή αιχμής c_p :

$$A = \frac{Q_{\max}}{v \cdot f \cdot c}$$

$$Q_{\max} = c_p \cdot Q_{\text{average}} = \left(1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{\text{average}}}}\right) \cdot Q_{\text{average}}$$

Επιλέγουμε το βάθος ροής h , οπότε το απαιτούμενο πλάτος είναι :

$$W = \frac{A}{h}$$

Αν η σχάρα έχει κλίση γωνίας ϕ ως προς την οριζόντιο, τότε το απαιτούμενο μήκος των ράβδων L είναι:

$$L = \frac{h}{\eta \mu \phi}$$

Σχεδιασμός Σχάρας (3)

Η ταχύτητα ροής στα διάκενα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1,2 m/s

$$V_{\text{διακ}} = \frac{v}{f}$$

Η υδραυλική απώλεια (πτώση πίεσης ΔP) δια μέσου της σχάρας σε m δίνεται από την σχέση:

$$\Delta P = 2,34 \cdot \left(\frac{d}{\delta} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v^2}{2g} \eta \mu \phi$$

Η εξίσωση δείχνει ότι η πτώση πίεσης **αυξάνεται με το τετράγωνο της ταχύτητας (v^2)**, δηλαδή αν **διπλασιαστεί η ταχύτητα, η απώλεια πίεσης γίνεται τετραπλάσια!**

Παράδειγμα 1

Σχεδιάστε απλή σχάρα για Πληθυσμιακό
Ισοδύναμο 10.000 κατοίκων.

Υποθέστε 200 L / (κάτοικο · d)

Τι άλλες υποθέσεις πρέπει να κάνουμε;

Σύμφωνα με την **Οδηγία 91/271/ΕΟΚ** για την επεξεργασία αστικών λυμάτων,
1 Π.Ι. αντιστοιχεί σε:

- **60 g BOD₅/ημέρα** ή **90 g COD/ημέρα**

- **150 L -300 L λυμάτων/ημέρα** (Μέση παραγωγή αστικών λυμάτων)

Λύση Παραδείγματος 1

1. $Q_{\max}$ από Q_{average}

$$Q_{\max} = c_p \cdot Q_{\text{average}} = \left(1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{\text{average}}}}\right) \cdot Q_{\text{average}} = 46,3 L / s$$

2. Υποθέσεις για δ & d , $\delta=30\text{mm}$ & $d=20\text{mm}$

$$f = \frac{\delta}{d + \delta} = 0,6$$

3. Υποθέτουμε $c=0,2$ και επιθυμητή ταχύτητα ροής $v = 0,5 \text{ m/s}$

Επιφάνεια ροής: $A = \frac{Q_{\max}}{v \cdot f \cdot c} = 0,77 \text{ m}^2$

4. Επιλέγουμε το βάθος ροής $h=0,4 \text{ m} \rightarrow$ το πλάτος:

$$W = \frac{A}{h} = 1,925 \text{ m}$$

5. Αν η γωνία ϕ είναι 45° τότε L :

$$L = \frac{h}{\eta \mu \phi} = 0.57 \text{ m}$$

6. $V_{\text{διακ}} = \frac{v}{f} = 0,5 / 0,6 = 0,83 \text{ m/s}$

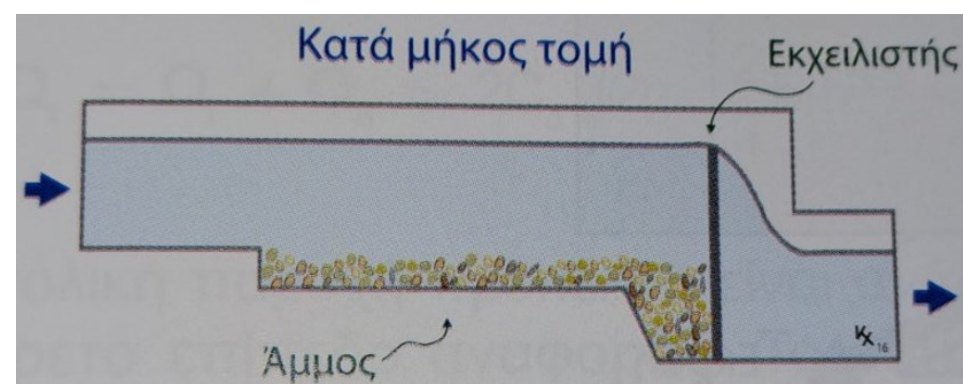
$$\Delta P = 2,34 \cdot \left(\frac{d}{\delta}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v^2}{2g} \eta \mu \phi = 36,2 \text{ mm}$$

Εσχαρισμός στην Ψυτάλλεια



Αμμοσυλλογή (Εξάμμωση)

Αμμοσυλλογή (Εξάμμωση)



- Η μονάδα αυτή στοχεύει στην απομάκρυνση σωματιδίων διαμέτρου **μεγαλύτερης από 200 μm** .
- Η αμμοσυλλογή γίνεται σε δεξαμενές-αμμοσυλλέκτες που βασίζονται στην **καθίζηση**.
- Η άμμος τυπικά έχει:
 - διάμετρο **$d=0,200 \text{ mm}$** και
 - ειδική βαρύτητα **$s=2,65$**
 - για την οποία αρκεί να εξασφαλισθεί **μέγιστη επιφανειακή φόρτιση (Q/A) $0,022 \text{ m/s}$** .
- Η ταχύτητα ροής μπορεί να σχεδιαστεί να είναι **$0,30 \text{ m/s}$** .

Θεωρία της Καθίζησης

Για την καλύτερη μελέτη της **καθίζησης** των **αιωρούμενων σωματιδίων** έχουμε την ταξινόμηση σε ιδανικά συστήματα που εξετάζονται ώστε να ληφθούν χρήσιμες κατευθύνσεις για την κατανόηση της συμπεριφοράς περισσότερο σύνθετων καταστάσεων και χωρίζονται σε **4 κατηγορίες** (τύπους):

Κατηγορία 1: Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε αιώρημα **μικρής συγκέντρωσης** όπου η **συσσωμάτωση** μεταξύ των σωματιδίων είναι **σχεδόν ανύπαρκτη**, π.χ. η *καθίζηση άμμου*.

Κατηγορία 2: Αιωρούμενα σωματίδια σε **μικρή συγκέντρωση** τα οποία **συσσωματώνονται προς μεγαλύτερου μεγέθους καθώς καθιζάνουν**.
πχ. η *καθίζηση αραιής διασποράς μετά από θρόμβωση με χημικές ενώσεις*.

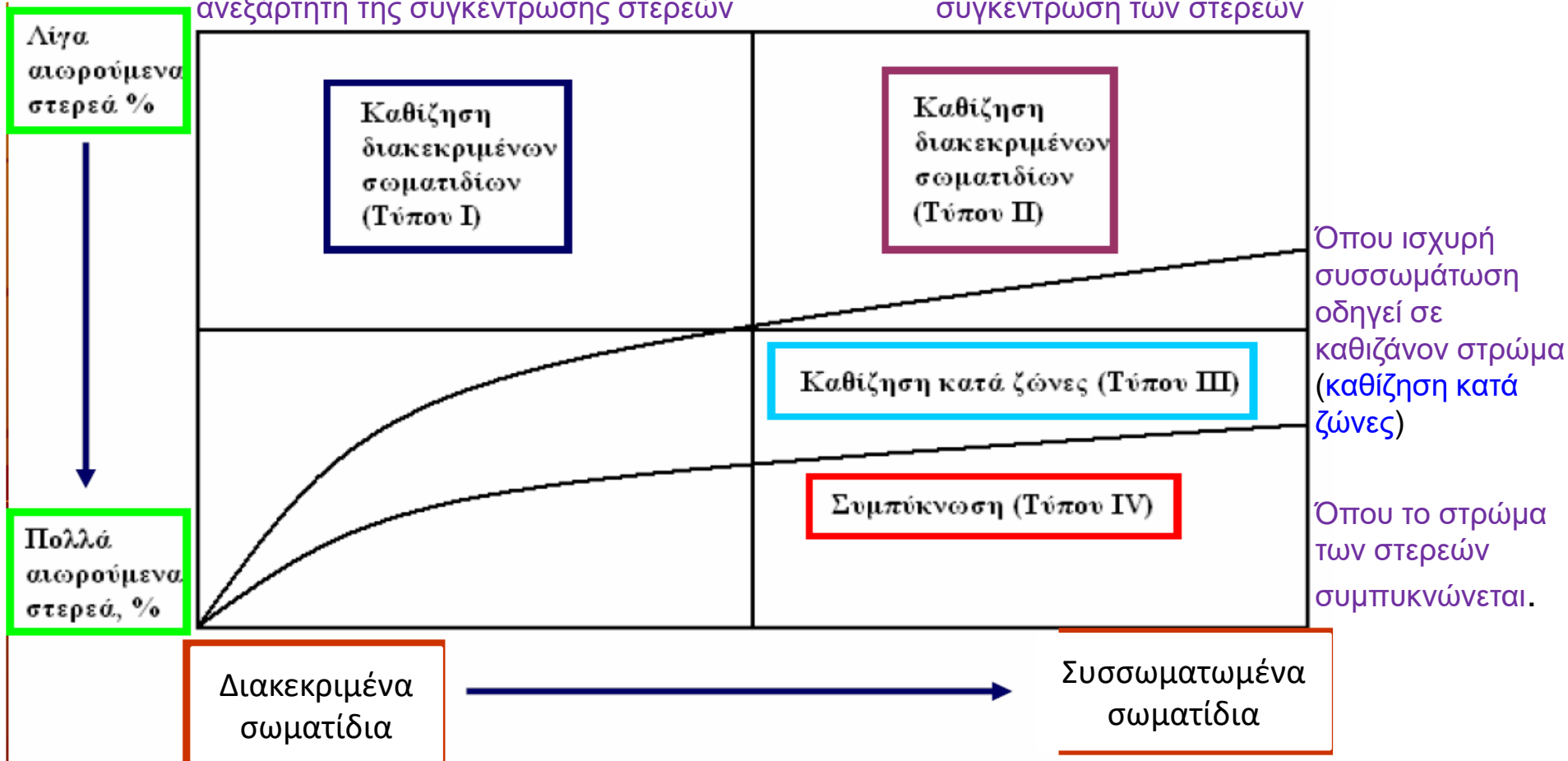
Κατηγορία 3: Είναι η **παρεμποδιζόμενη καθίζηση** ή καθίζηση σε ζώνες. Παρατηρείται σε **υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ** τα οποία καθιζάνοντας **σχηματίζουν ζώνες (διαφορετικής συγκέντρωσης)** που εκτείνονται σε όλο το κατερχόμενο μέτωπο καθίζησης. πχ. *καθίζηση βιολογικής λάσπης*.

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

Συσχετισμός μεταξύ Τύπων Καθίζησης, Συγκέντρωσης ΑΣ και Βαθμού Συσσωμάτωσης

τα σωματίδια καθιζάνουν χωρίς αλληλεπίδραση με ταχύτητα ανεξάρτητη της συγκέντρωσης στερεών

Καθίζηση με συσσωμάτωση η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών



Καθίζηση τύπου I Τα σωματίδια αποκτούν τελική ταχύτητα v_c την οποία βρίσκουμε εξισορροπώντας τις ασκούμενες δυνάμεις. Η πρώτη δύναμη F_1 είναι η δύναμη που ασκείται από το πεδίο βαρύτητας και δίνεται από την εξίσωση:

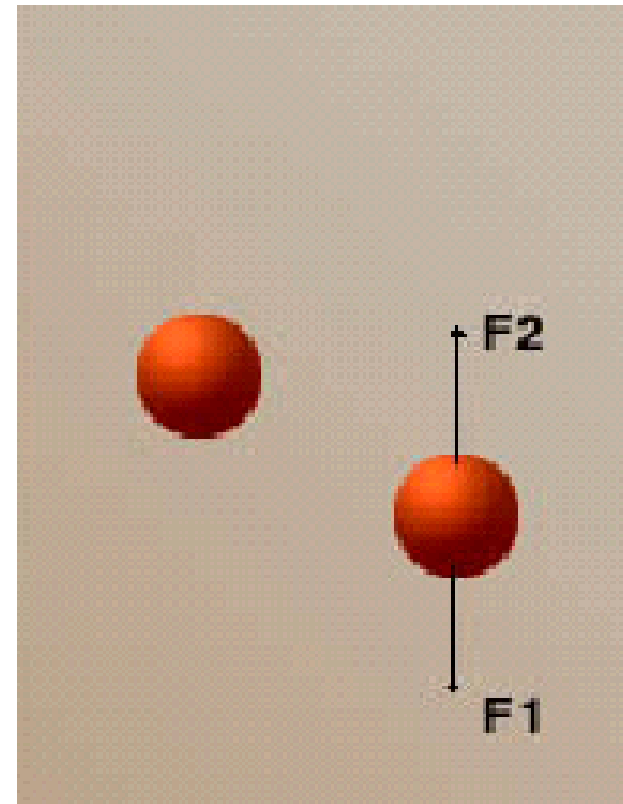
$$F_1 = (\rho_\sigma - \rho) g V = (\rho_\sigma - \rho) g \frac{\pi d^3}{6}$$

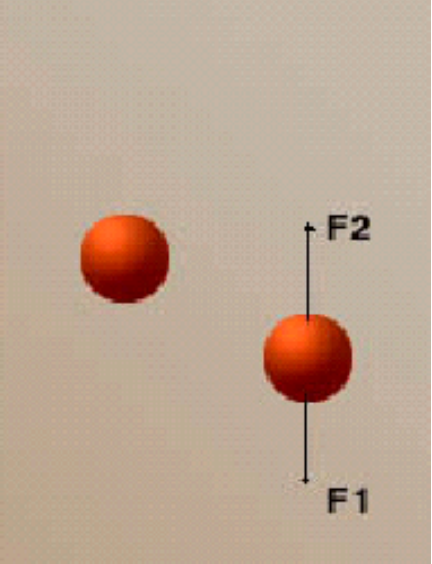
Η δύναμη αυτή εξισορροπείται από την οπισθέλκουσα F_2 :

$$F_2 = \frac{C_D A \rho v_c^2}{2} = C_D \pi d^2 \rho v_c^2 / 8$$

όπου	A	επιφάνεια προβολής ($=\pi r^2$),
	C_D	συντελεστής τριβής
	d	η διάμετρος του σωματιδίου
	ρ_σ	πυκνότητα στερεού
	ρ	πυκνότητα υγρού
	V	όγκος σωματιδίου ($=\pi d^3/6$)
	v_c	ταχύτητα σωματιδίου

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





ρ_{σ} : πυκνότητα στερεού/σωματιδίου

ρ_w : πυκνότητα νερού

C_D : συντελεστής οπισθέλκουσας

d : διάμετρος σωματιδίου

v_c : ταχύτητα σωματιδίου/καθίζησης

Η ταχύτητα καθίζησης v_c εξαρτάται από ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του σωματιδίου.

Εξισώνοντας τις δυνάμεις F_1 και F_2 :

Ισχύει όταν
 $\rho_{\sigma} > \rho_w$

$$(\rho_{\sigma} - \rho_w) g \pi \frac{d^3}{6} = C_D \pi d^2 \rho_w v_c^2 \Rightarrow v_c = \left[\frac{4}{3} \frac{g (\rho_{\sigma} - \rho_w) d}{C_D \rho_w} \right]^{1/2}$$

Η εξίσωση αυτή ονομάζεται νόμος του **Νεύτωνα** και αφορά σφαιρικά σωματίδια. (όγκος σωματιδίου, επιφάνεια προβολής)

Από τι εξαρτάται ο **συντελεστής
οπισθέλκουσας;**

Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

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

Η τιμή Re υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = \frac{V_c \rho d}{\mu}$$

V_c : ταχύτητα καθίζησης
 d : διάμετρος σωματιδίου
 μ : ιξώδες του νερού

Εξισώσεις υπολογισμού για σφαιρικά σωματίδια του συντελεστή οπισθέλκουσας ως συνάρτηση της τιμής του αριθμού Re

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

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

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

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

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

Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer, 5th Edition

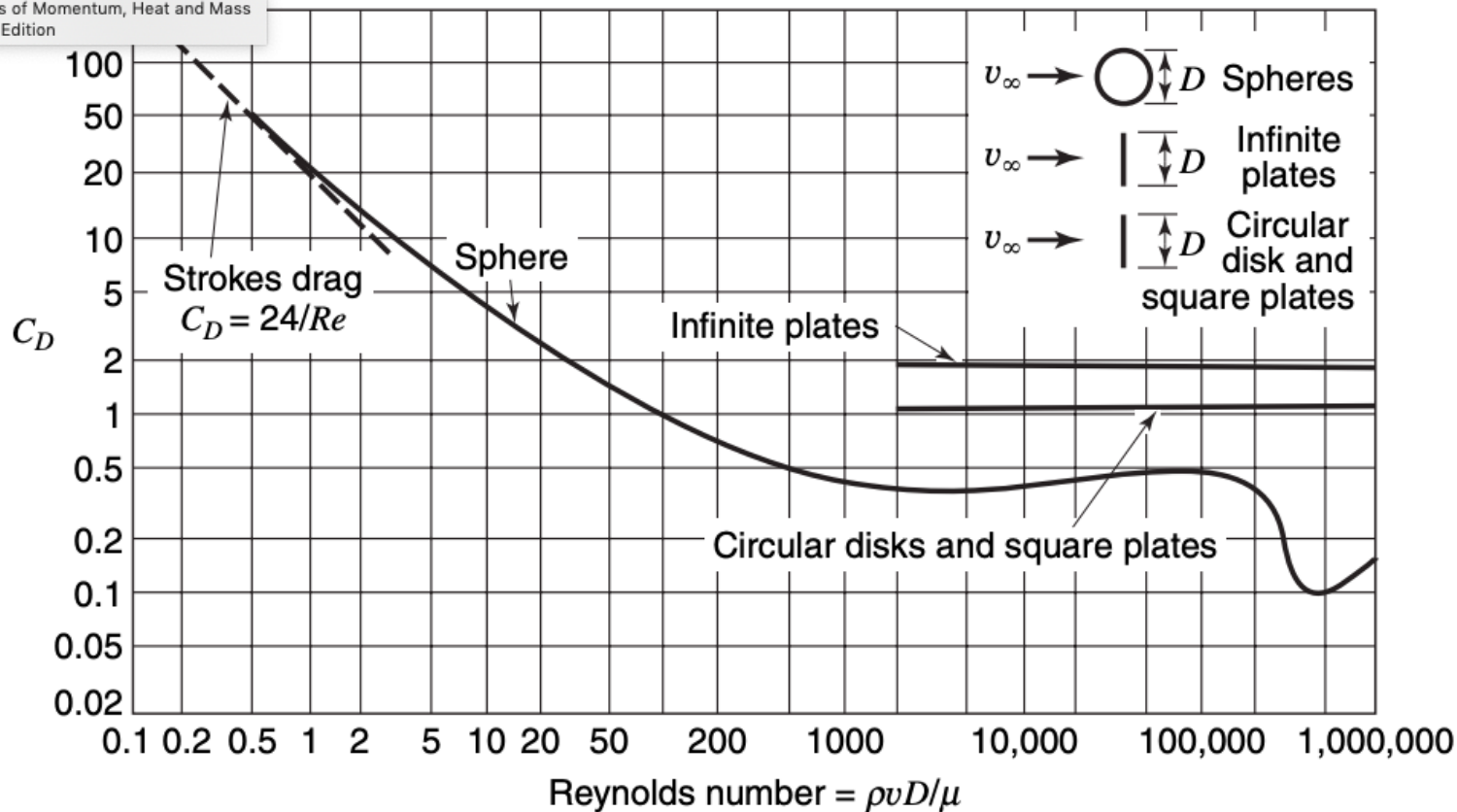


Figure 12.4 Drag coefficient versus Reynolds number for various objects.

Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων

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

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

*Χαρακτηριστικές τιμές
του συντελεστή Φ για
διακεκριμένα
σωματίδια*

Υλικό	Φ	Υλικό	Φ
Κωκ	2,25	Γύψος	4
Τάλκης	3,25	Φύλλα γραφίτη	22

ρ_σ : πυκνότητα στερεού/σωματιδίου
 ρ_w : πυκνότητα νερού
 C_D : συντελεστής οπισθέλκουσας
 d : διάμετρος σωματιδίου
 v_c : ταχύτητα σωματιδίου/καθίζησης

$$V_c = \left[\frac{4}{3} \frac{g (\rho_\sigma - \rho_w) d}{C_D \rho_w} \right]^{1/2}$$

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

Για $0,2 < Re < 10^3$ ισχύει η σχέση: $C_D \approx \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

Για $Re < 0,2$ ο πρώτος όρος υπερισχύει οπότε, $C_D \approx \frac{24\mu}{d\nu\rho}$

$$Re = \frac{V_c \rho d}{\mu}$$

Αντικαθιστώντας έχουμε:

$$v_c = \frac{g (\rho_\sigma - \rho) d^2}{18\mu}$$

Η εξίσωση αυτή ονομάζεται νόμος του **Stokes**.

Προβλέπει ότι η ταχύτητα καθίζησης είναι ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου του σωματιδίου.

Στον σχεδιασμό δεξαμενών καθίζησης για αμμοσυλλογή, η συνήθης διαδικασία είναι η επιλογή **κάποιου σωματιδίου με τελική ταχύτητα v_c** (που αντιστοιχεί σε κάποια διάμετρο d) **και ο σχεδιασμός της δεξαμενής γίνεται ούτως ώστε όλα τα σωματίδια με ταχύτητα $> v_c$ να απομακρυνθούν.**

Ο ρυθμός παροχής "καθαρού" νερού (νερού που περιέχει σωματίδια διαμέτρου μικρότερης από d είναι τότε:

$$Q = A v_c \Rightarrow v_c = \frac{Q}{A}$$

Όπου: **A** η επιφάνεια της δεξαμενής ($L \cdot W$) και v_c η ταχύτητα καθίζησης.

Από αυτή τη σχέση βλέπουμε ότι για την **Καθίζηση Τύπου Ι**, η ταχύτητα καθίζησης **ΔΕΝ** εξαρτάται από το βάθος της δεξαμενής, αλλά **ΜΟΝΟ** από την **επιφανειακή φόρτιση (Q/A)**

0

4

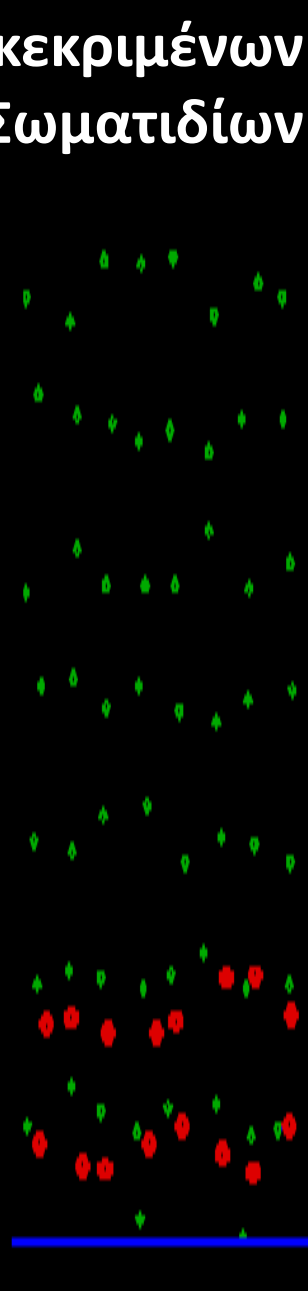
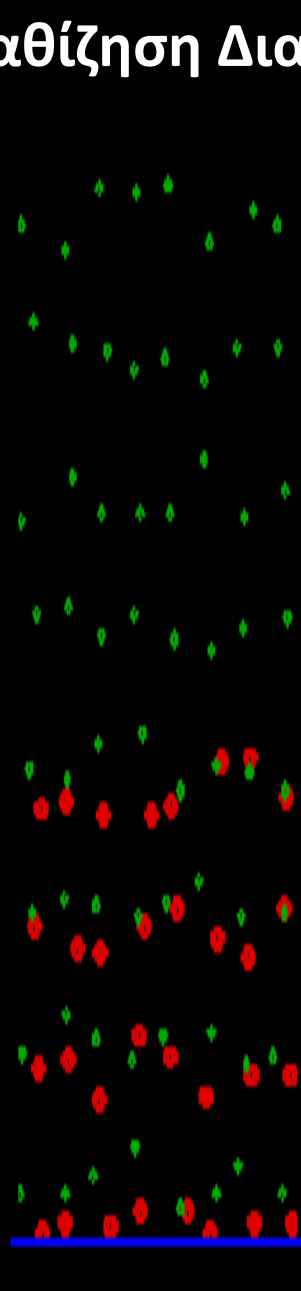
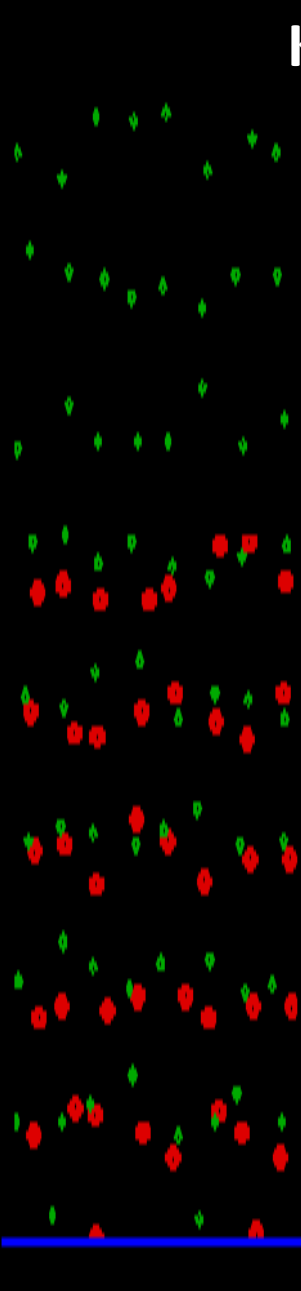
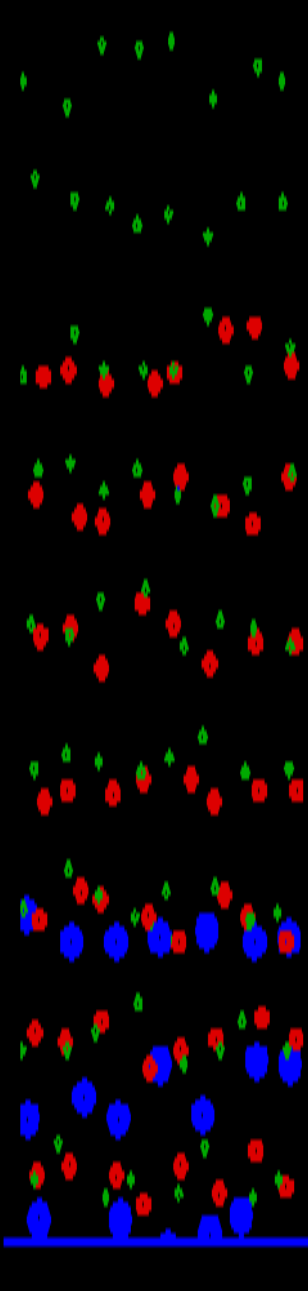
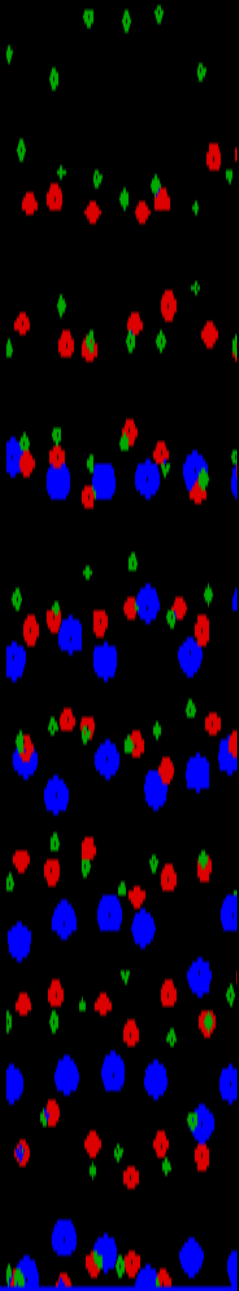
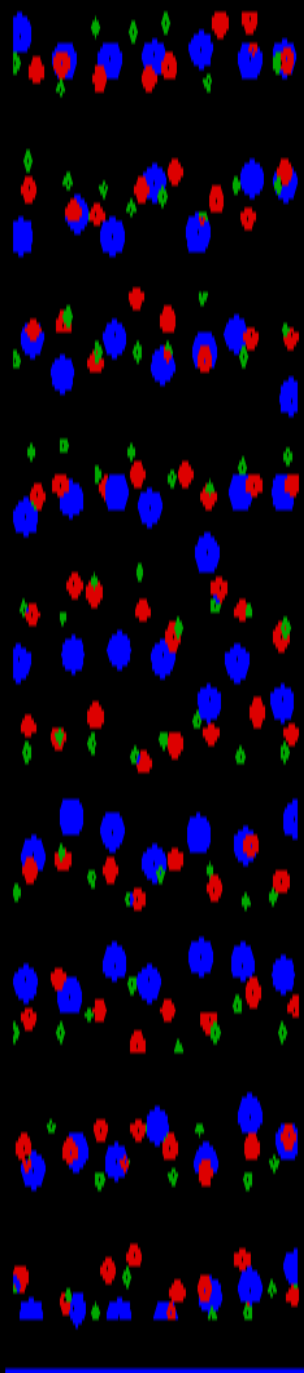
8

12

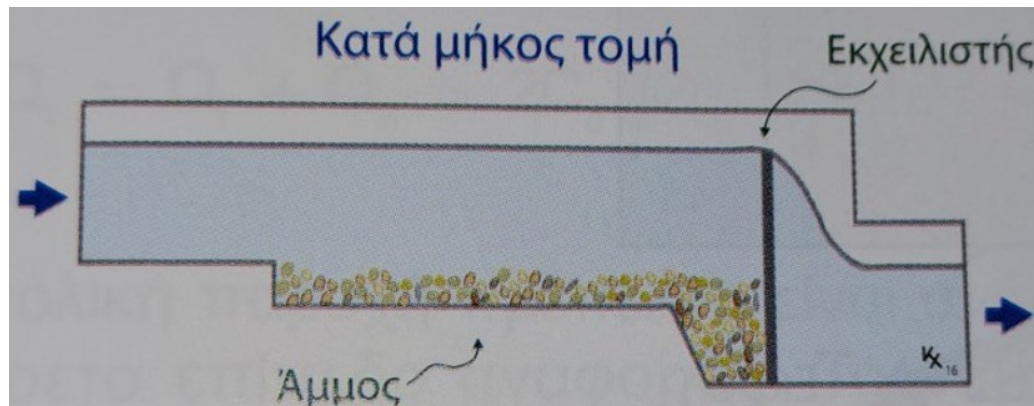
16

20

Καθίζηση Διακεκριμένων
Σωματιδίων



Ποιοι είναι οι σημαντικοί παράμετροι σχεδιασμού σε έναν αμμοσυλλέκτη;



Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων σε Ιδανική Δεξαμενή

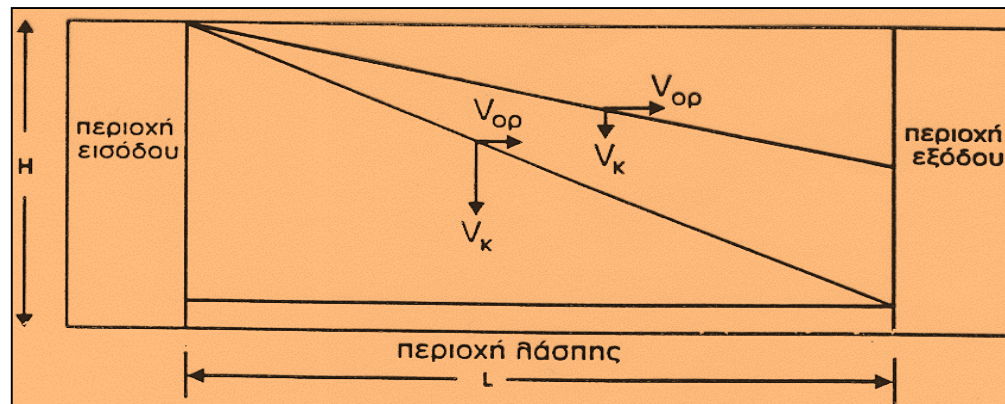
Αμμοσυλλέκτες → Δεξαμενές Καθίζησης Τύπου Ι.

Το μήκος της δεξαμενής και ο χρόνος παραμονής πρέπει να εξασφαλίζουν ότι όλα τα σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης v_c (ή μεγαλύτερη) (δλδ για μεγαλύτερα σωματίδια) συγκρατούνται στο βυθό.

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

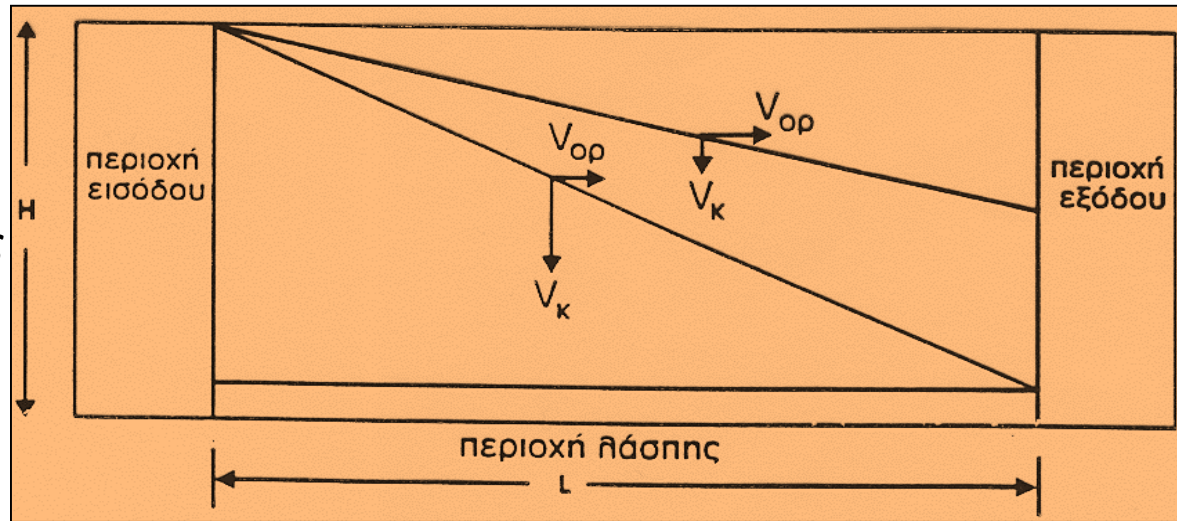
$V = L * W * H$, όπου L = μήκος, W = πλάτος και H = ύψος

$A = W * L$ (επιφανειακό εμβαδόν)



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

*Ιδανική
περιοχή
καθίζησης
ορθογωνικής
διατομής,
Μήτρακας,
2001*



Παραδοχές:

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

Όλα τα σωματίδια με $v_p > v_c$ θα απομακρυνθούν.

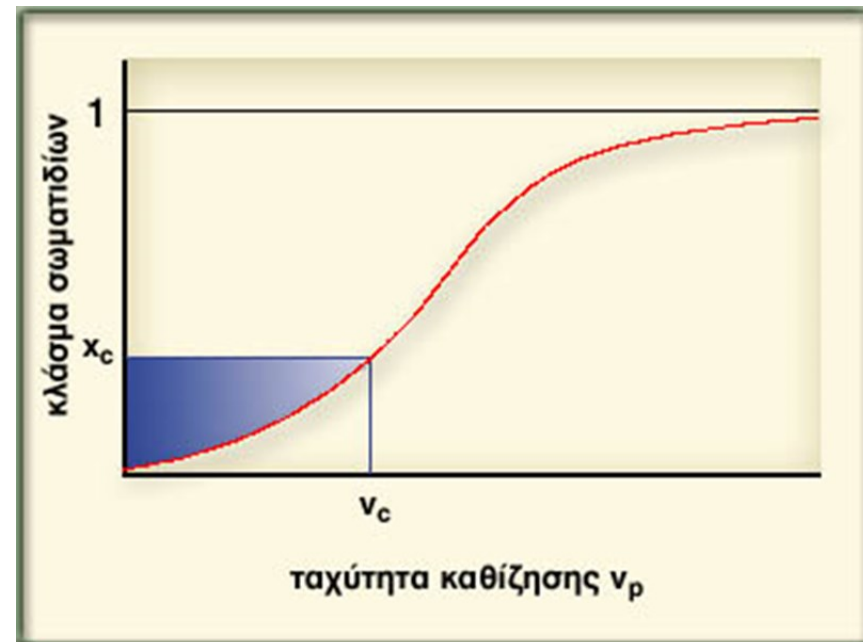
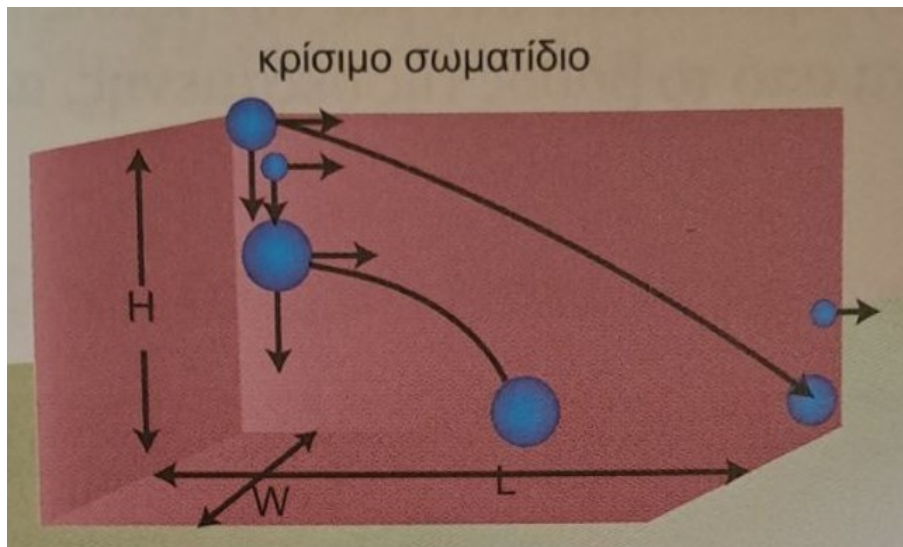
Όλα τα σωματίδια με $v_p < v_c$ θα απομακρυνθούν κατά κλάσμα: $X_r = \frac{v_p}{v_c}$

Το συνολικό κλάσμα των σωματιδίων που θα απομακρυνθούν δίνεται από την εξίσωση:

$$X_a = 1 - X_c + \int_0^{x_c} \frac{v_p}{v_c} dx$$

Όπου $1 - X_c$ το κλάσμα των σωματιδίων με $v_p > v_c$ (...όλα αφαιρούνται)

$\frac{v_p}{v_c}$ το κλάσμα των αφαιρούμενων
σωματιδίων με $v_p < v_c$



Σχήμα 5.7 Κλάσμα σωματιδίων συναρτήσει ταχύτητας καθίζησης

Solids Removal in Sedimentation Tank

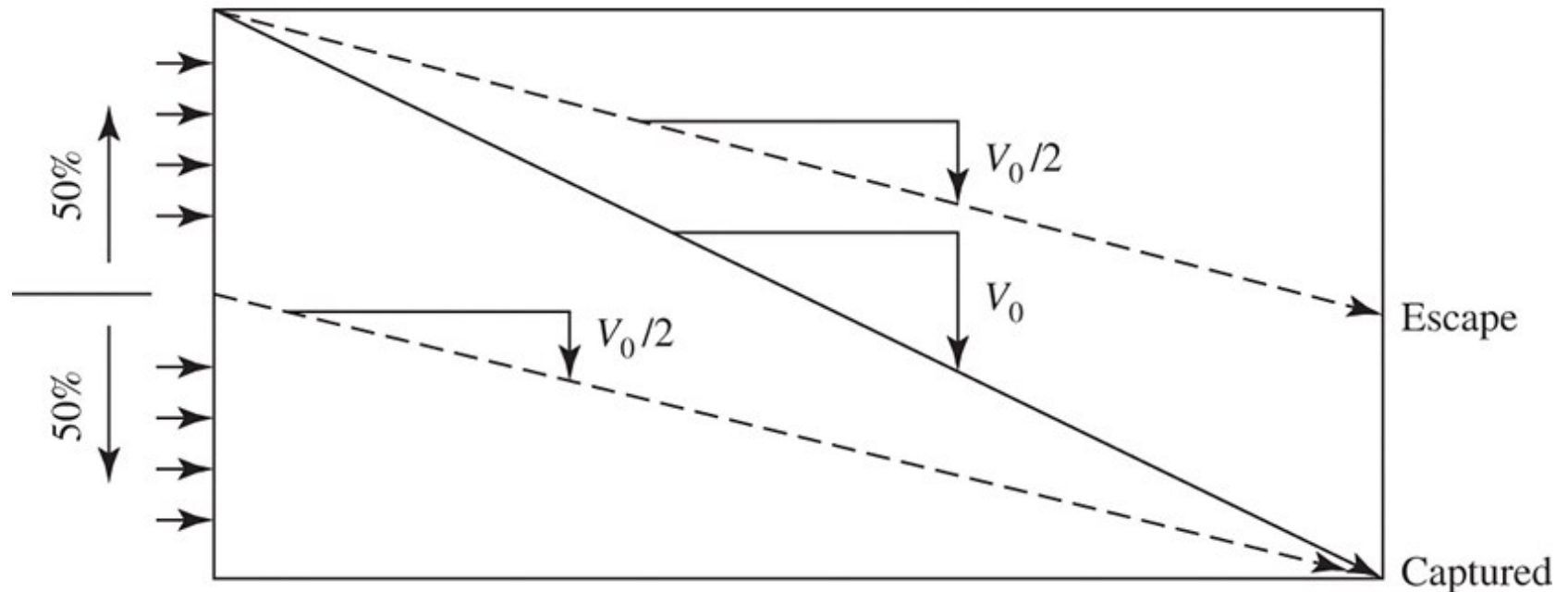


Figure 6-35: Partial solids removal in ideal sedimentation tank

Αν Q είναι η παροχή στην δεξαμενή, W το πλάτος και H το βάθος, τότε η **οριζόντια ταχύτητα** είναι:

$$U = \frac{Q}{WH}$$

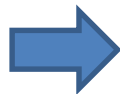
Τότε ο **χρόνος παραμονής** στον αμμοσυλλέκτη είναι:

$$t = \frac{H}{v_c} = \frac{L}{U} = \frac{LWH}{Q} = \frac{A \cdot H}{Q}$$

Υδραυλικός Χρόνος παραμονής: Ο χρόνος (t) που παραμένει το **υγρό** μέσα στη δεξαμενή ύψους H , δηλαδή ο χρόνος από όταν θα εισέλθει έως όπου υπερχειλίσει (βγει από τη δεξαμενή).

εξ' ου και

$$v_c = \frac{Q}{LW} = \frac{Q}{A}$$

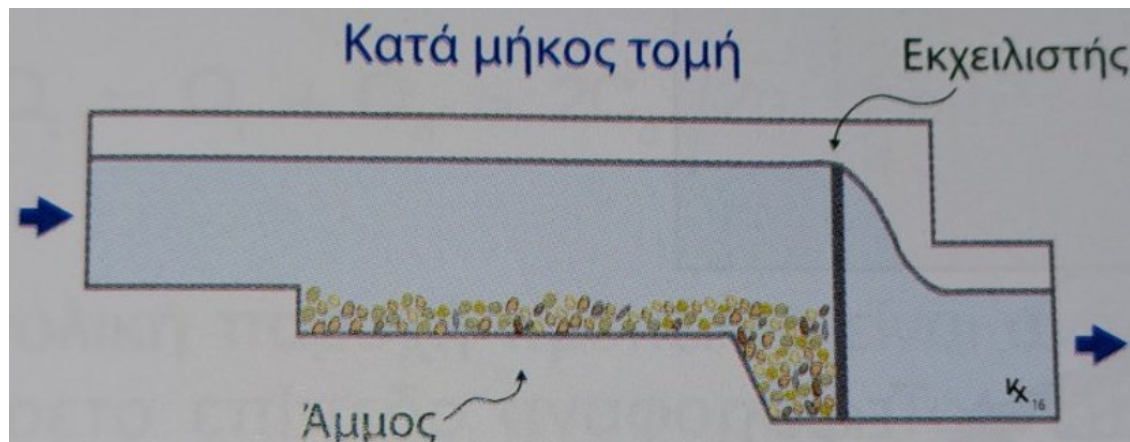


Η ταχύτητα καθίζησης ισούται με την επιφανειακή φόρτιση (παροχή ανά μονάδα επιφανείας) στον αμμοσυλλέκτη, και είναι ανεξάρτητη του βάθους του καναλιού.

Σχεδιασμός αμμοσυλλέκτη

Τους αμμοσυλλέκτες συνήθως τους σχεδιάζουμε έτσι, ώστε να έχουν **σταθερή ταχύτητα ροής** (οριζόντια ταχύτητα).

Το **σχήμα** της διατομής είναι αυτό που εξασφαλίζει σταθερή οριζόντια ταχύτητα ανεξάρτητα από το βάθος ροής όταν το κανάλι του αμμοσυλλέκτη είναι ορθογώνιας διατομής.



Διαδικασία Σχεδιασμού Αμμοσυλλέκτη

$$U = \frac{Q}{WH}$$

(α) Επιλέγεται το **πλάτος** του καναλιού W .

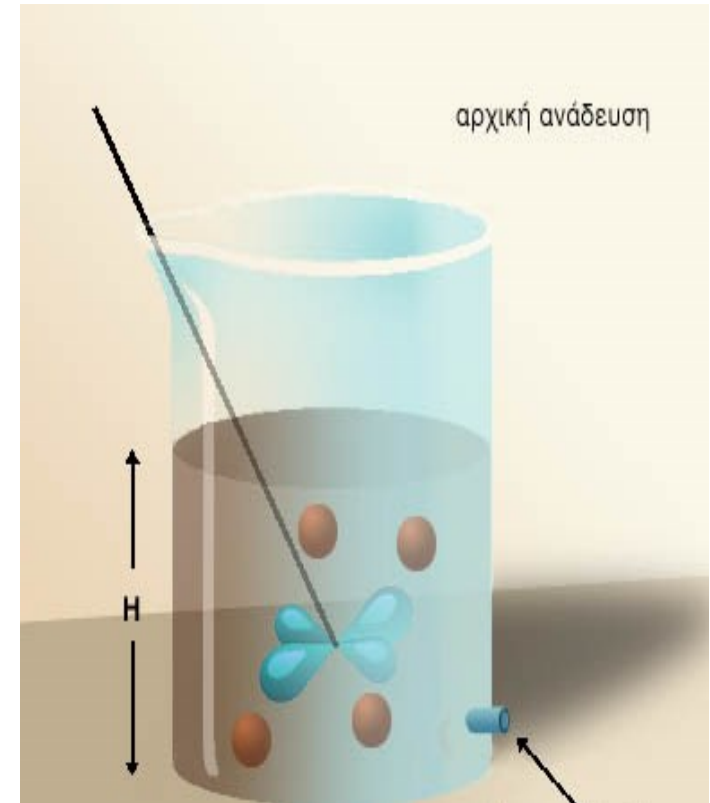
(β) Υπολογίζεται, από την μέγιστη παροχή $Q_{\max}$ το **μέγιστο ύψος ροής** $h_{\max}$ για οριζόντια ταχύτητα **$v=0,3 \text{ m/s}$** (για αποφυγή επαναιώρησης)
Το **βάθος H** του εξαμμωτή λαμβάνεται για ασφάλεια ίσο με **$2 \cdot h_{\max}$**

(γ) Βρίσκουμε την **επιφάνεια του εξαμμωτή** που αντιστοιχεί στη «σωστή» **επιφανειακή φόρτιση** ($A=W \cdot L$, δηλ το L):

- Είτε **πειραματικά** με στήλη καθίζησης
- Είτε με βάση την **απαίτηση** να απομακρυνθούν σωματίδια από ένα συγκεκριμένο μέγεθος και άνω.

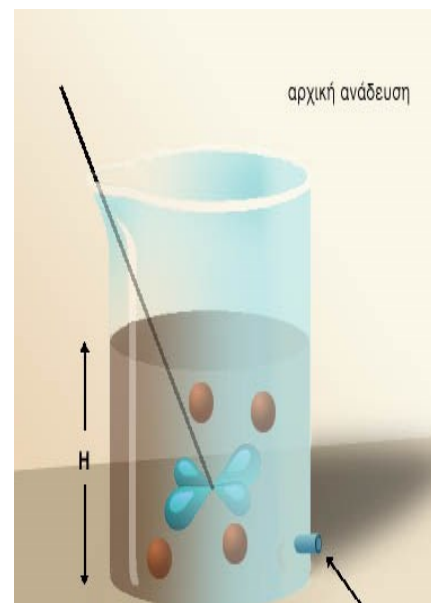
Καμπύλη Καθίζησης Τύπου Ι

- Κατασκευάζεται αρχικά καμπύλη καθίζησης, που προκύπτει από πειραματική στήλη καθίζησης βάθους 1,5 m.
- Μετά από αρχική ανάδευση, προσδιορίζεται η συγκέντρωση των στερεών στον βυθό σε τακτά χρονικά διαστήματα και εξ αυτής, το κλάσμα των στερεών που παραμένουν σε αιώρηση.



Τυπικά αποτελέσματα από πείραμα καθίζησης σε στήλη $H=1,5\text{m}$

Χρόνος καθίζησης (t,min)	Ταχύτητα $v=H/t$ (m/h)	Κλάσμα σωματιδίων* που παραμένουν στην αιώρηση
5	18	0,96
10	9	0,85
15	6	0,63
20	4,5	0,48
25	3,6	0,31
30	3	0,22
50	1,8	0,10



* Ίσο με το κλάσμα σωματιδίων με ταχύτητα μικρότερη από v

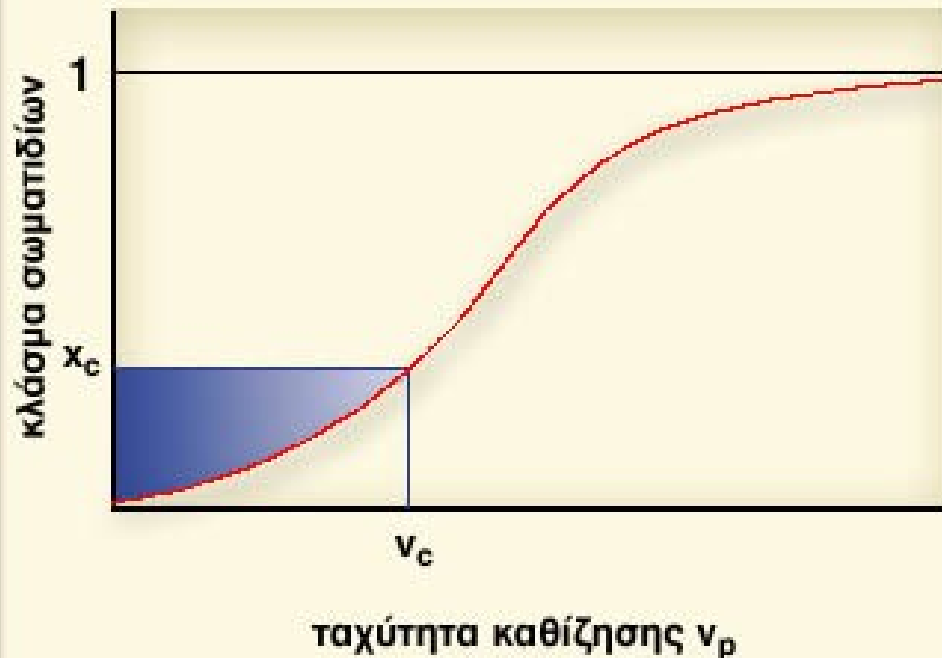
Ακολουθως κατασκευάζεται η καμπύλη που δίνεται σχηματικά στην Εικόνα.

Για κάποια επιφανειακή φόρτιση $v_c=Q/A$, το κλάσμα των σωματιδίων που απομακρύνονται δίνονται από την εξίσωση:

$$X_a = 1 - X_c + \frac{1}{v_c} \int_0^{X_c} v_p dx$$

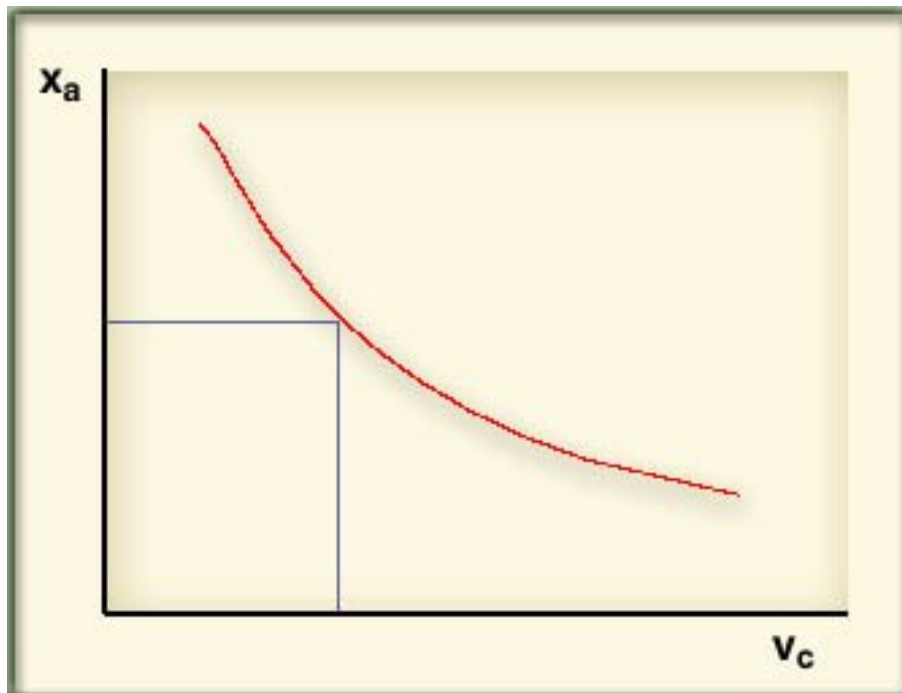
1- X_c το κλάσμα των σωματιδίων με $V_p > V_c$ (όλα αφαιρούνται)

Το ολοκλήρωμα στην σχέση ισούται με το εμβαδόν της σκιασμένης επιφάνειας της Εικόνας.



Κλάσμα σωματιδίων	
Ταχύτητα $v=H/t$ που παραμένουν στην	
(m/h)	αιώρηση
18	0,96
9	0,85
6	0,63
4,5	0,48
3,6	0,31
3	0,22
1,8	0,10

- Επαναλαμβάνεται αυτός ο υπολογισμός για διάφορες τιμές v_c και κατασκευάζεται η καμπύλη X_a **(το κλάσμα των σωματιδίων που απομακρύνονται)** ως προς v_c
- Για κάποιο **επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης**, προσδιορίζεται από το διάγραμμα η επιθυμητή επιφανειακή φόρτιση v_c .



**Κλάσμα απομακρυνόμενων
σωματιδίων συναρτήσει
της επιφανειακής φόρτισης**

$$v_c = \frac{Q}{LW} = \frac{Q}{A}$$

Σχεδιασμός με βάση την απομάκρυνση επιθυμητού τύπου και μεγέθους σωματιδίου

- Συνήθως, στους αμμοσυλλέκτες επιδιώκεται η απομάκρυνση σωματιδίων διαμέτρου **μεγαλύτερης από 0,2 mm** και ειδικού βάρους $s=2,65$ (άμμος) οπότε από τον τύπο του **Stokes**:

$$v_c = \frac{g (\rho_s - \rho) d^2}{18\mu} = \frac{9,81(2,65 - 1)(0,2 \cdot 10^{-3})^2}{18 \cdot (1,306 \cdot 10^{-6})} = 0.0275 m / s$$

- Από το v_c και γνωρίζοντας την μέγιστη παροχή Q_{max} υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια:

$$v_c = \frac{Q_{max}}{A} \Leftrightarrow A = \frac{Q_{max}}{v_c}$$

- Από το A μπορούμε να βρούμε το μήκος (L) του αμμοσυλλέκτη, όπου α συντελεστής ασφαλείας ($\sim 1-1,5$)

$$L = \alpha \frac{A}{W}$$

Παράδειγμα 2

Να **σχεδιασθεί** εξαμμωτής σταθερής ταχύτητας (ώστε να απομακρυνθεί όλη η άμμος) με τα εξής δεδομένα

Παροχές: $Q_{\max} = 60.000 \text{ m}^3/\text{d}$

$Q_{\text{ave}} = 30.000 \text{ m}^3/\text{d}$

$Q_{\min} = 12.000 \text{ m}^3/\text{d}$

Χαρακτηριστικά άμμου :

$d = 0,20 \text{ mm}$

$\rho_s = 2,65 \text{ kg/m}^3$

Ταχύτητα ροής στον εξαμμωτή $v_{\text{αποβλ}} = 0,30 \text{ m/s}$

- Ο εξαμμωτής θα αποτελείται από τρία κανάλια που θα δέχονται το 1/3 της παροχής το κάθε ένα.
- Να ελεγχθεί η περίπτωση να μη λειτουργεί το ένα κανάλι.

Λύση Παραδείγματος 2

- Τρία κανάλια $\rightarrow$ τρεις δεξαμενές εξάμμωσης
- $Q_{max}^{καναλι} = \frac{Q_{max}}{3} = 0,232 \frac{m^3}{s}$
- Επιλέγουμε πλάτος δεξαμενής $W=2m$
- Και υπολογίζουμε το ύψος της δεξαμενής:

$$U = \frac{Q_{max}^{καναλι}}{Wh_{max}} \Rightarrow h_{max} = \frac{Q_{max}^{καναλι}}{WU} = 0,39m$$

- Για λόγους ασφαλείας επιλέγεται διπλάσιο βάθος: $H = 2 * h_{max} = 0,78m$

Λύση Παραδείγματος (συνέχεια)

- Συνήθως, στους αμμοσυλλέκτες επιδιώκεται η απομάκρυνση σωματιδίων διαμέτρου **μεγαλύτερης από 0,2 mm** και ειδικού βάρους $s=2,65$ (άμμος) οπότε από τον τύπο του **Stokes**:

$$v_c = \frac{g (\rho_s - \rho) d^2}{18\mu} = \frac{9,81(2,65 - 1)(0,2 \cdot 10^{-3})^2}{18 \cdot (1,306 \cdot 10^{-6})} = 0,0275 m/s$$

- Από το v_c , και γνωρίζοντας την μέγιστη παροχή Q_{max} υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια:

$$v_c = \frac{Q_{max}}{A} \Leftrightarrow A = \frac{Q_{max}}{v_c} = \frac{0,232 m^3/s}{0,0275 m/s} = 8,41 m^2$$

- Από το A μπορούμε να βρούμε το μήκος (L) του αμμοσυλλέκτη, ($\alpha = 1,5$)

$$L = \alpha \frac{A}{W} = 1,5 \frac{8,41}{2} = 6,30 m$$

Λύση Παραδείγματος (συνέχεια)

Ο χρόνος παραμονής στον αμμοσυλλέκτη είναι:

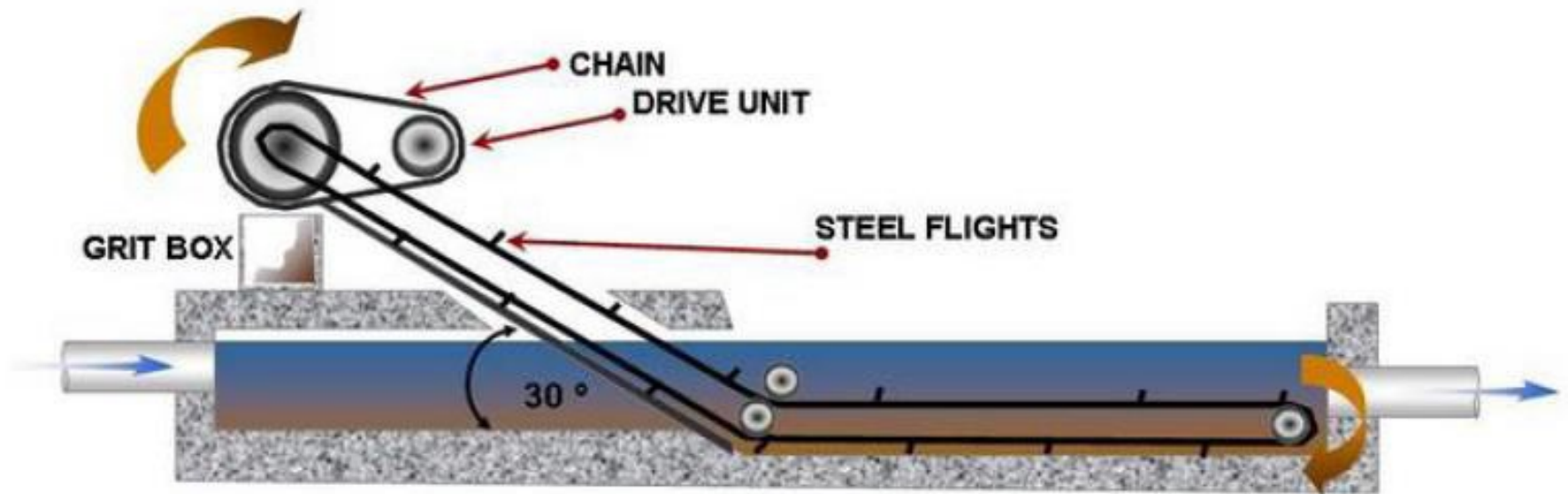
$$t = \frac{L}{U} = \frac{8,41\text{m}}{0,3\text{m/s}} = 28\text{sec}$$

- Χάλασε το ένα κανάλι $\rightarrow$ 2 δεξαμενές εξάμμωσης

- $Q_{\max}^{\text{καναλι}} = \frac{Q_{\max}}{2} = 0,347 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$U = \frac{Q_{\max}^{\text{καναλι}}}{Wh_{\max}} \Rightarrow h_{\max} = \frac{Q_{\max}^{\text{καναλι}}}{WU} = 0,58\text{m}$$

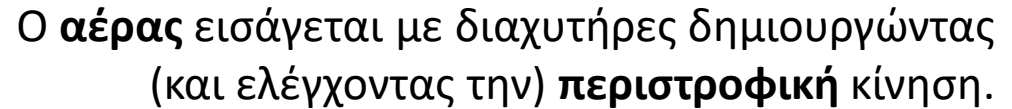
- Αφού το μέγιστο βάθος ροής είναι μικρότερο από το βάθος του αρχικού σχεδιασμού, ο σχεδιασμός είναι δεκτός $\rightarrow$ Για λόγους ασφαλείας είχε επιλεχθεί διπλάσιο βάθος: $H = 2 \cdot h_{0,\max} = 0,78\text{m}$



Περί Συντελεστών Ασφαλείας

- Κατά το **σχεδιασμό των διατάξεων** επεξεργασίας αποβλήτων (βιομηχανική κλίμακα, πραγματικά απόβλητα, δυναμικές συνθήκες)
 - Είναι συνηθισμένη η πρακτική ενσωμάτωσης **Συντελεστών Ασφαλείας (ΣΑ)**
 - Μπορούν να κυμαίνονται από **1-2**, βάσει εμπειρίας και επίπτωσης στα οικονομικά
- Η χρήση τυπικών τιμών από τη διεθνή βιβλιογραφία για μεγέθη
 - απαραίτητα στο σχεδιασμό αλλά
 - μη διαθέσιμα,
 - συνήθως εμπεριέχει ΣΑ

Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης



Ποσότητα άμμου: **40-90 m³/10⁶ m³**

Με κατάλληλη προσαρμογή της ταχύτητας είναι δυνατή η **πλήρης απομάκρυνση** της άμμου.

Άλλοι τύποι αμμοσυλλεκτών

Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης

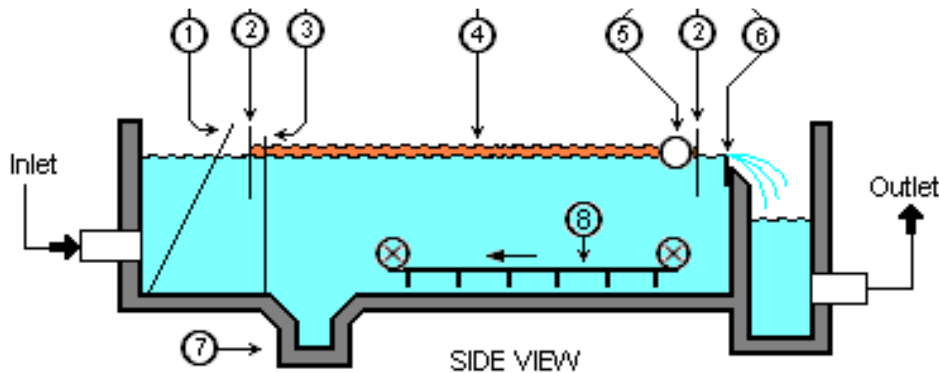


Λιποσυλλογή & Ελαιοδιαχωρισμός

Συχνά απαιτείται μετά την αμμοσυλλογή όταν τα απόβλητα περιέχουν **σημαντικές ποσότητες λιπών**.

Κάποιες φορές γίνεται **ταυτόχρονα** ο διαχωρισμός άμμου & λιπών.

Π.χ. Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης → επίπλευση με αέρα



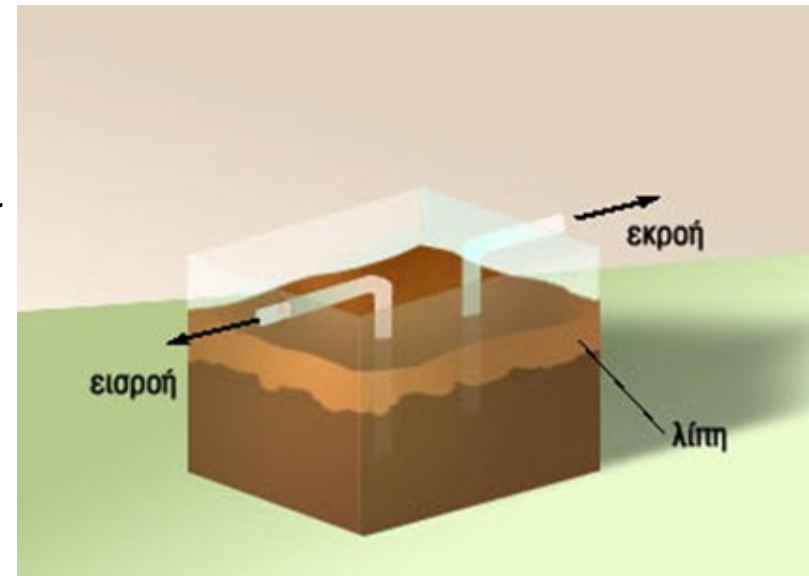
- 1 Trash trap (inclined rods)
- 2 Oil retention baffles
- 3 Flow distributors (vertical rods)
- 4 Oil layer
- 5 Slotted pipe skimmer
- 6 Adjustable overflow weir
- 7 Sludge sump
- 8 Chain and flight scraper

Άλλοι τρόποι λιποσυλλογής:

- με υπερδιήθηση,
- με **βαρύτητα**.

Λιποσυλλογή βαρύτητας

- Οι λιποσυλλέκτες είναι απλές δεξαμενές οριζόντιας ροής και ορθογωνικής διατομής όπως οι εξαμμωτές με σταθερή ταχύτητα ροής **τυπικού χρόνου παραμονής 3-5 min**
- Ο σχεδιασμός είναι **αντίστοιχος** της αμμοσυλλογής, με τη μόνη διαφορά ότι τα «σωματίδια» αντί να καθιζάνουν **συγκεντρώνονται στην επιφάνεια** (→ διαφορά πυκνότητας)
- Τα λίπη ως ελαφρότερα συλλέγονται στην επιφάνεια, η δε εκροή του (απαλλαγμένου από το λίπος) νερού γίνεται από σημείο σε **αρκετό βάθος**.



Σχεδιασμός Λιποδιαχωριστή βαρύτητας

Ο σχεδιασμός των λιποδιαχωριστών βαρύτητας βασίζεται στον υπολογισμό της **οριακής ταχύτητας ανόδου των σταγονιδίων του ελαίου** σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_{oil} = \frac{g}{18} \frac{d_{oil}^2}{\nu} \frac{\rho_{oil} - \rho_w}{\rho_w}$$

d_{oil} : η οριακή διάμετρος σταγονιδίων ελαίου
 ν : το κινηματικό ιξώδες του υγρού

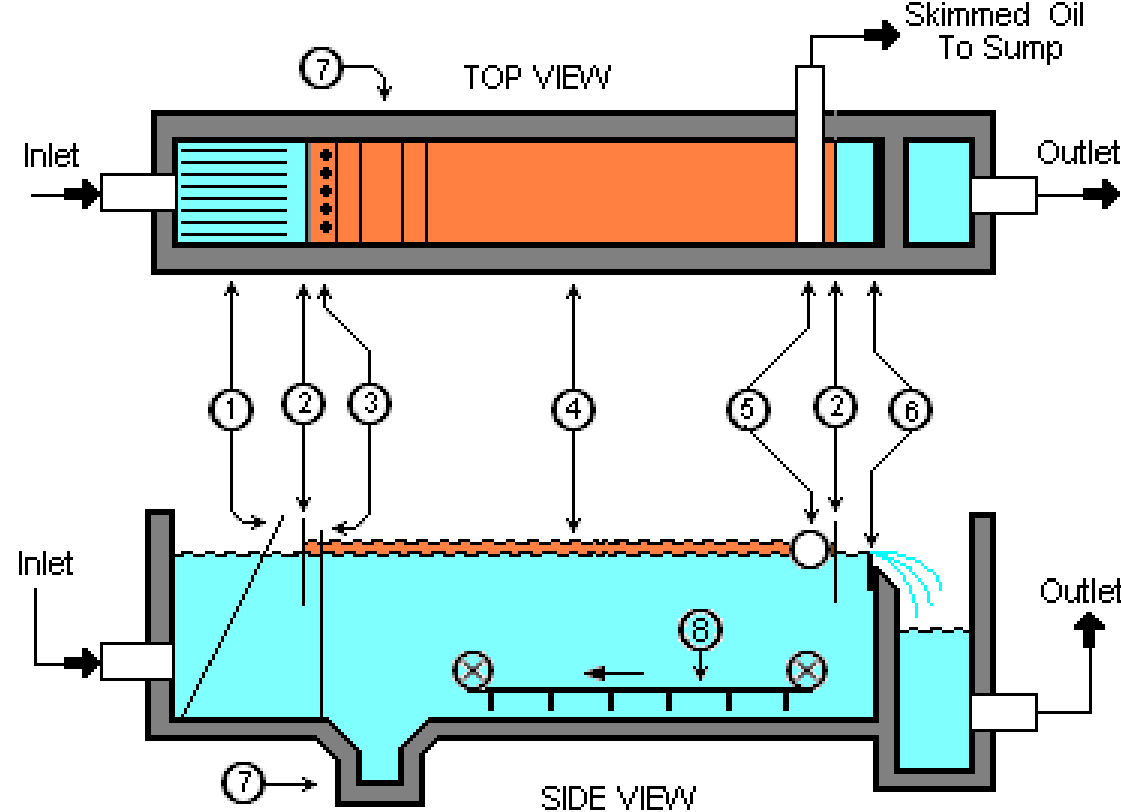
$$\nu = (0,17487 - 0,004427 T + 0,0000405 T^2) \times 10^5, \text{ m}^2/\text{s} \quad (T \text{ σε } ^\circ\text{C})$$

- Οι δεξαμενές σχεδιάζονται όπως οι εξαμμωτές με βάση τις παρακάτω προδιαγραφές:

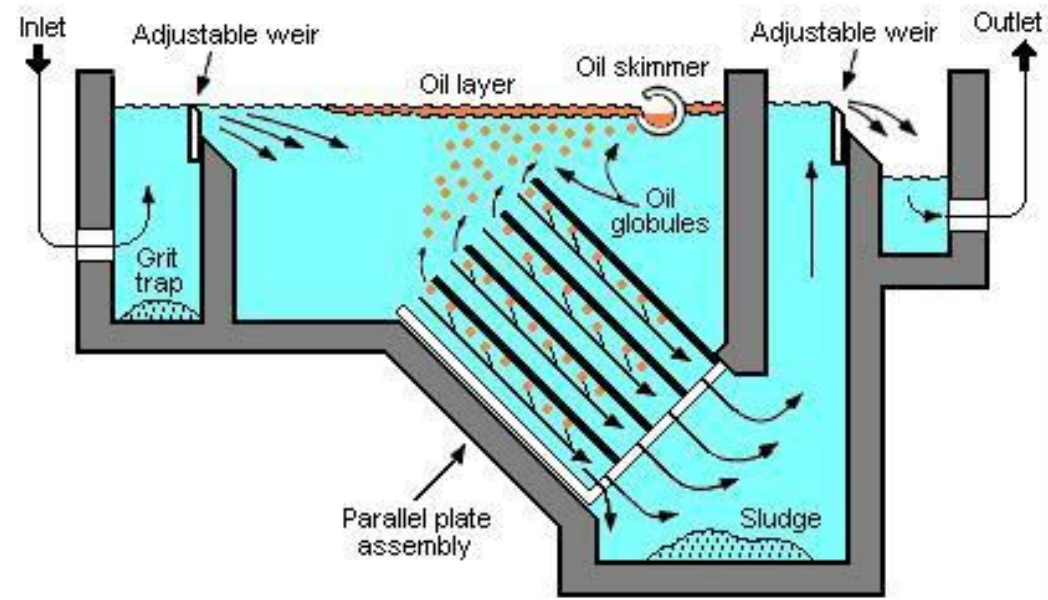
- ☐ τ τουλάχιστον 3-5 min
- ☐ $0,15 \text{ mm} \leq d_{oil}$
- ☐ $0,9 \leq v_{oil} \leq 3,6 \text{ m/h}$
- ☐ $15 \leq V \leq 55 \text{ m/h}$ (οριζόντια ταχύτητα)
- ☐ $2 \leq W \leq 6 \text{ m}$
- ☐ $1 \leq H \leq 2,5 \text{ m}$
- ☐ $0,3 \leq H/W \leq 0,5$

American Petroleum Institute Separator

Ένας τυπικός
ελαιοδιαχωριστήρας
με παράλληλες πλάκες



- 1 Trash trap (inclined rods)
- 2 Oil retention baffles
- 3 Flow distributors (vertical rods)
- 4 Oil layer
- 5 Slotted pipe skimmer
- 6 Adjustable overflow weir
- 7 Sludge sump
- 8 Chain and flight scraper



Παράδειγμα

Ελέγξτε αν ικανοποιούνται όλοι οι όροι σχεδιασμού μιας δεξαμενής διαχωρισμού ελαίων με διαστάσεις: πλάτος 3,048 m, βάθος 1,22m και μήκος ίσο με 15,24 m με μέγιστη τροφοδοσία αποβλήτου $2385 \text{ m}^3/\text{d}$.

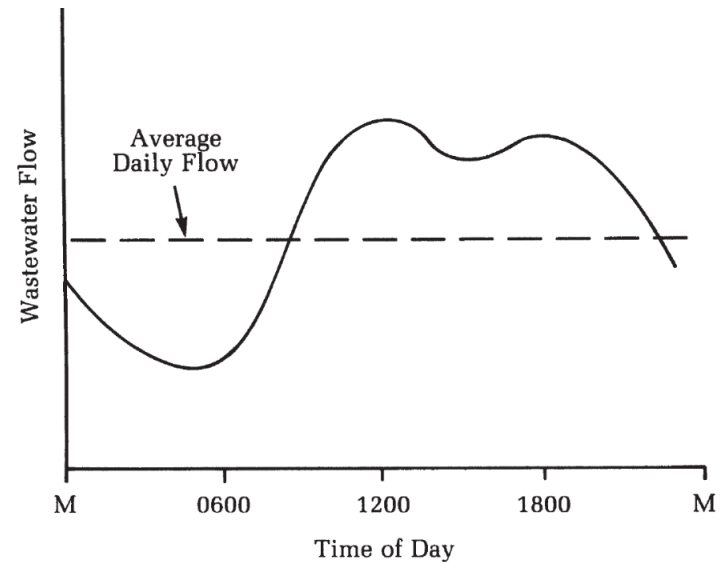
Επίσης έχουμε:

- πυκνότητα λαδιού ίση με 0,92
- θερμοκρασία 60°F και
- μέγεθος σταγονιδίων 0,015 cm.

Δεξαμενή Εξισορρόπησης

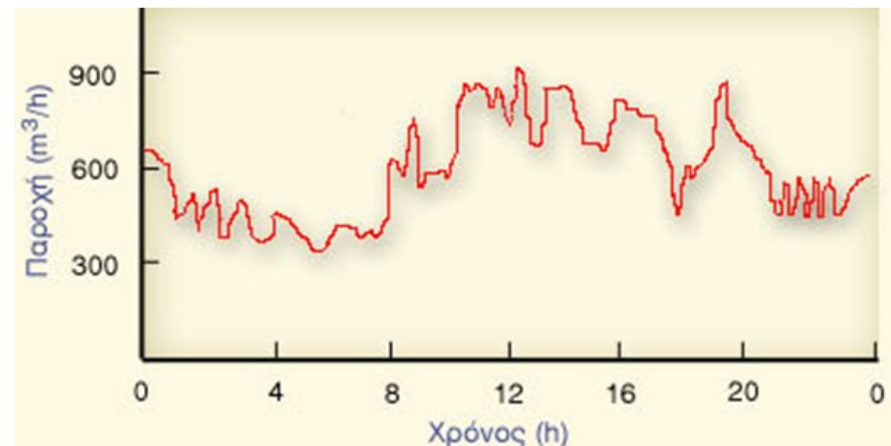
Εξισορρόπηση Παροχής

- **Δεξαμενή εξισορρόπησης:** στοχεύει στην **εξομάλυνση** της παροχής, η οποία είναι **περιοδική**.

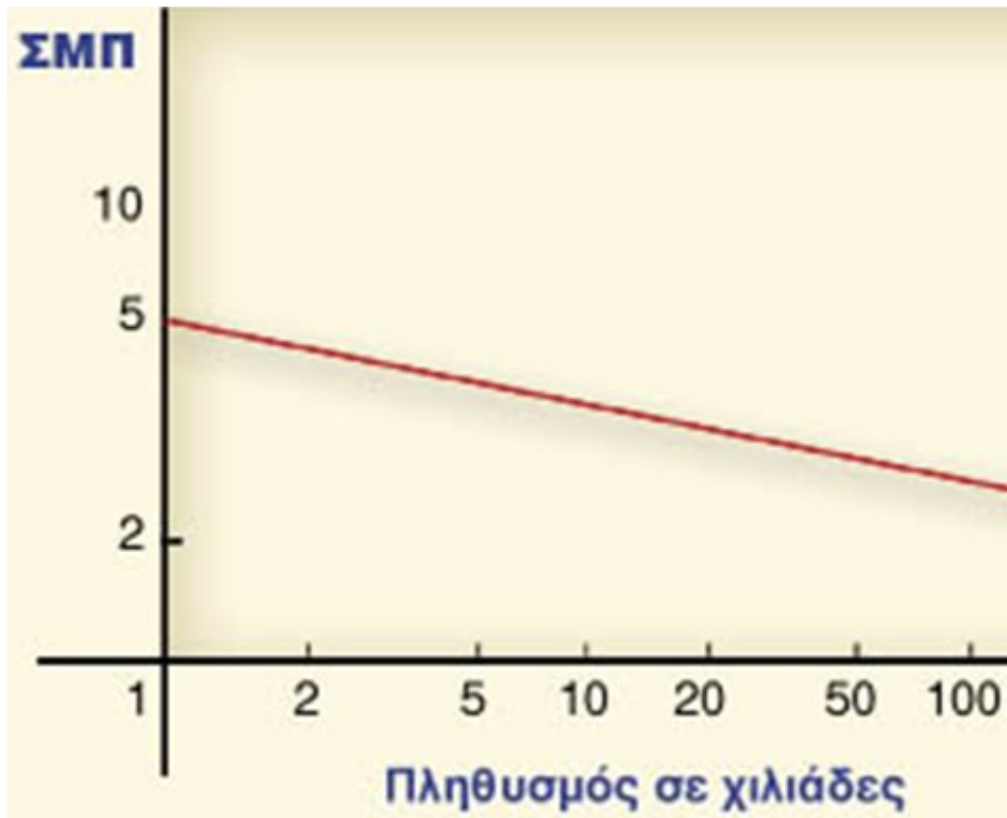


Σαν μια «ασπίδα» του δευτεροβάθμιου βιολογικού καθαρισμού.

**Διακυμάνσεις
Παροχής των Αστικών
Υγρών Αποβλήτων**



Συντελεστής μέγιστης παροχής (ΣΜΠ) = (μέγιστη ωριαία παροχή)/ (μέση ημερήσια παροχή)



Για πληθυσμιακό ισοδύναμο
μεταξύ 5.000 και 20.000
κατοίκων ο ΣΜΠ προσεγγίζεται
από τη σχέση:

$$c_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{ave}}}$$

$$Q_{\max} = c_p \cdot Q_{average} = \left(1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{average}}}\right) \cdot Q_{average}$$

Δεξαμενές Εξισορρόπησης

- **Ανάδευση**

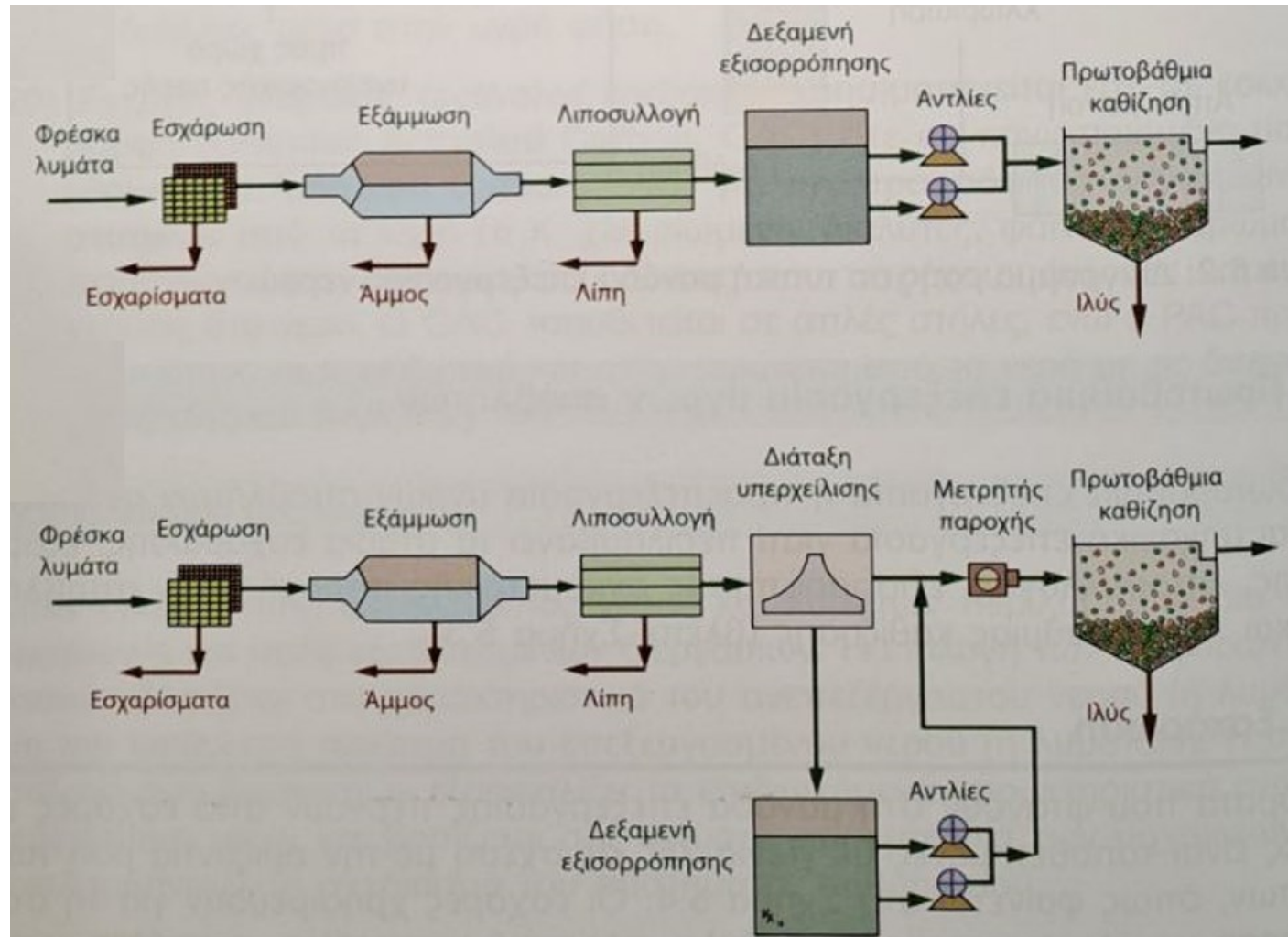
- Αποφυγή καθίζησης των αιωρούμενων στερεών
- Απαραίτητο αερισμό για **αποφυγή αναερόβιων** βιολογικών δραστηριοτήτων (δυσσομία)

- **Αποφάσεις σχεδιασμού:**

- Αν θα είναι **πάνω στη γραμμή επεξεργασίας** ή σε **παράκαμψη** (on- ή off-line) (συνήθως είναι)
- Σε **ποιο σημείο θα τοποθετηθεί** η δεξαμενή μέσα στο σύστημα επεξεργασίας (→ μετά την προεπεξεργασία και πριν την πρωτογενή καθίζηση).
- **Ο όγκος της** (Mixing tank with no reactions)

Πάνω στη γραμμή επεξεργασίας ή σε παράκαμψη (on- ή off-line)

Σε σειρά: Σ' αυτή τη διάταξη όλη η ροή διέρχεται από τη Δ.Ε. (> V δεξαμενής αλλά καλύτερη εξισορρόπηση)



Παράλληλη: Σ' αυτή τη διάταξη μόνο η επιπλέον της μέσης ημερήσιας ροή διοχετεύεται στη δεξαμενή.

Συντελεστής αιχμής

Μια αδιάστατη παράμετρος που χαρακτηρίζει την εξισορρόπηση είναι ο **συντελεστής αιχμής** (peak factor, PF) που δίνεται από τη σχέση:

$$PF = \frac{\text{μέγιστη τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους}}{\text{ελάχιστη τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους}}$$

μέσα σε έναν πλήρη κύκλο.
Στην περίπτωσή μας, το χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η **συγκέντρωση** και μπορούμε να συγκρίνουμε το **συντελεστή αιχμής** στην είσοδο με αυτόν στην έξοδο.



Παράδειγμα 4: Σχεδιασμός Δεξαμενής Εξισορρόπησης

Διατίθενται τα ακόλουθα δεδομένα για τα αστικά λύματα μίας πόλης.

Να υπολογισθεί: (i) η μέση παροχή εξόδου, (ii) ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής εξισορρόπησης, καθώς και, (iii) η συγκέντρωση BOD_5 στην έξοδό της.

Time, h	Flow, m ³ /s	BOD ₅ , mg/L	Time, h	Flow, m ³ /s	BOD ₅ , mg/L
0000	0.0481	110	1200	0.0718	160
0100	0.0359	81	1300	0.0744	150
0200	0.0226	53	1400	0.0750	140
0300	0.0187	35	1500	0.0781	135
0400	0.0187	32	1600	0.0806	130
0500	0.0198	40	1700	0.0843	120
0600	0.0226	66	1800	0.0854	125
0700	0.0359	92	1900	0.0806	150
0800	0.0509	125	2000	0.0781	200
0900	0.0631	140	2100	0.0670	215
1000	0.0670	150	2200	0.0583	170
1100	0.0682	155	2300	0.0526	130

Λύση Παραδείγματος

Πρώτος τρόπος:
Με υπολογιστικά
φύλλα

- Για τους υπολογισμούς βοηθάει να χρησιμοποιήσουμε ένα **υπολογιστικό φύλλο**.
- Μας βοηθάει να **διαλέξουμε** και την πρώτη σειρά για τους υπολογισμούς μας.
- **Πρώτο βήμα:** Υπολογισμός της μέσης ροής.

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^i (Q_i \cdot \Delta t_i)}{\sum_{i=1}^i \Delta t_i} = 0,05657 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Διευθέτηση** εκ νέου των σειρών αρχίζοντας από την πρώτη σειρά όπου ισχύει $Q_i > Q_{\text{average}}$

Time (h)	Flow (m ³ /s)
9-10	0,0631

> 0,05657 m³/s

Time (h)	Flow (m³/s)	Vol in (m³)	Vol out (m³)	Vol in - Vol out (m³)	Σ(Vol in - Vol out) (m³)
9-10	0.0631	227.16	203.655	23.505	23.505
10-11	0.067	241.2	203.655	37.545	61.05
11-12	0.0682	245.52	203.655	41.865	102.915
12-13	0.0718	258.48	203.655	54.825	157.74
13-14	0.0744	267.84	203.655	64.185	221.925
14-15	0.075	270	203.655	66.345	288.27
15-16	0.0781	281.16	203.655	77.505	365.775
16-17	0.0806	290.16	203.655	86.505	452.28
17-18	0.0843	303.48	203.655	99.825	552.105
18-19	0.0854	307.44	203.655	103.785	655.89
19-20	0.0806	290.16	203.655	86.505	742.395
20-21	0.0781	281.16	203.655	77.505	819.9
21-22	0.067	241.2	203.655	37.545	857.445
22-23	0.0583	209.88	203.655	6.225	863.67
23-24	0.0526	189.36	203.655	-14.295	849.375
0-1	0.0481	173.16	203.655	-30.495	818.88
1-2	0.0359	129.24	203.655	-74.415	744.465
2-3	0.0226	81.36	203.655	-122.295	622.17
3-4	0.0187	67.32	203.655	-136.335	485.835
4-5	0.0187	67.32	203.655	-136.335	349.5
5-6	0.0198	71.28	203.655	-132.375	217.125
6-7	0.0226	81.36	203.655	-122.295	94.83
7-8	0.0359	129.24	203.655	-74.415	20.415
8-9	0.0509	183.24	203.655	-20.415	0.12
Σύνολο	1.3577	4887.72	4887.72		
Q _{average}	0.05657				

Ο απαιτούμενος όγκος της Δ.Ε. είναι η μέγιστη αθροιστική αποθήκευση

Η Δ.Ε. έχει αδειάσει και είναι έτοιμη για τον κύκλο του επόμενου 24ωρου.

- Όγκος Δεξαμενής Εξισορρόπησης:

$$863,67 \text{ m}^3 * 1,25 = 1079,59 \text{ m}^3 \sim 1080 \text{ m}^3$$

- Η **μάζα του BOD₅** που μπαίνει **μέσα στην Δ.Ε.** είναι συναρτήσει της εισροής (**Q_{in}**), της συγκέντρωσης του [**BOD₅**]_{in} και του χρονικού διαστήματος (**Δt**)

- $M_{\text{BOD-in}} = Q_{\text{in}} * [\text{BOD}_5] * (\Delta t)$

- Η **μάζα του BOD₅** **στην έξοδο της Δ.Ε.** είναι το προϊόν της μέσης εκροής (**Q_{avg}**), της μέσης συγκέντρωσης του [**BOD_{avg}**], και του χρονικού διαστήματος (**Δt**)

- $M_{\text{BOD-out}} = Q_{\text{avg}} * [\text{BOD}_{\text{avg}}] * (\Delta t)$

Η μέση συγκέντρωση BOD_{avg} βρίσκεται από την εξίσωση:

$$BOD_{avg} = \frac{(V_i)([BOD_5]) + (V_{prev})([BOD_5]_{prev})}{V_i + V_{prev}}$$

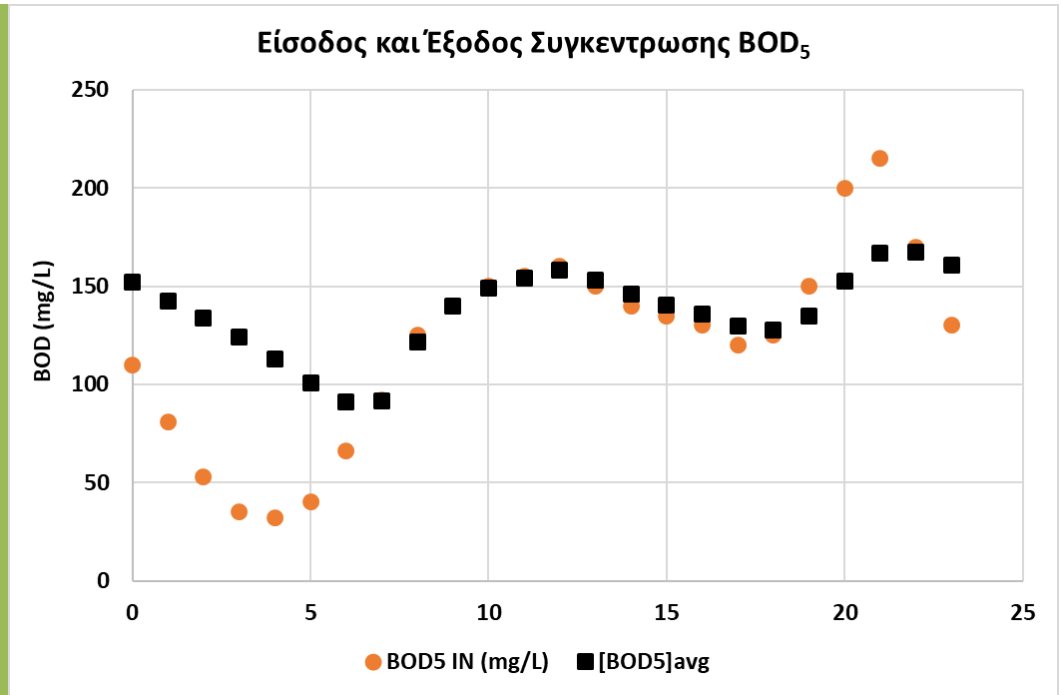
Όπου: V_i = ο όγκος της εισροής κατά την χρονική περίοδο Δt , (m^3)

$[BOD_5]$ = μέση συγκέντρωση BOD_5 κατά την χρονική περίοδο Δt , g/m^3

V_{prev} = ο όγκος του αποβλήτου στη δεξαμενή στο τέλος της προηγούμενης χρονικής περιόδου, m^3

$[BOD_5]_{prev}$ = συγκέντρωση BOD_5 στη δεξαμενή στο τέλος της προηγούμενης χρονικής περιόδου (δλδ το προηγούμενο BOD_{avg}), g/m^3

Time (h)	MBOD _{in} (kg)	[BOD5]avg	MBOD _{out} (kg)
9	31.80	140.00	28.51
10	36.18	149.11	30.37
11	38.06	153.83	31.33
12	41.36	158.24	32.23
13	40.18	153.05	31.17
14	37.80	145.89	29.71
15	37.96	140.51	28.62
16	37.72	135.86	27.67
17	36.42	129.49	26.37
18	38.43	127.89	26.04
19	43.52	134.67	27.43
20	56.23	152.61	31.08
21	51.86	166.80	33.97
22	35.68	167.43	34.10
23	24.62	160.70	32.73
0	19.05	152.11	30.98
1	10.47	142.42	29.00
2	4.31	133.61	27.21
3	2.36	123.98	25.25
4	2.15	112.79	22.97
5	2.85	100.46	20.46
6	5.37	91.06	18.55
7	11.89	91.60	18.66
8	22.91	121.65	24.78



$$PF = \frac{\text{μέγιστη τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους}}{\text{ελάχιστη τιμή του χαρακτηριστικού μεγέθους}}$$

$$PF_{\text{εισόδου}} = \frac{215}{32} = 6,72$$

$$PF_{\text{εξόδου}} = \frac{167,4}{91,1} = 1,84$$

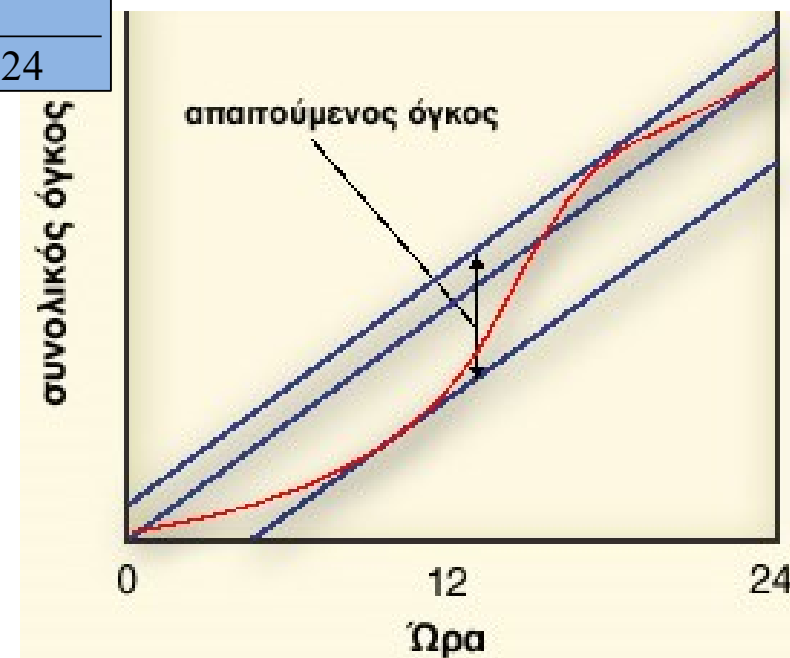
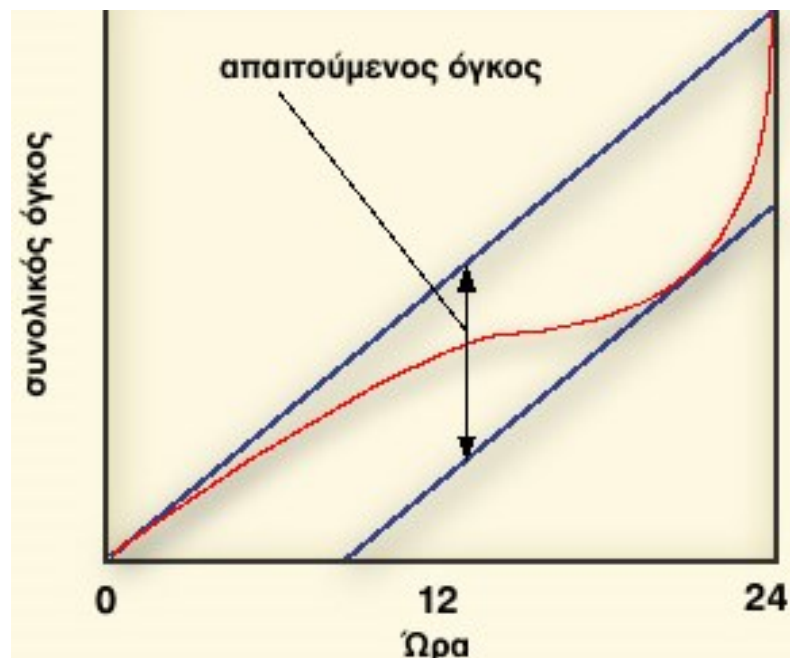
Λύση Παραδείγματος

Δεύτερος τρόπος:
Με Διαγράμματα
V αποβλήτου.

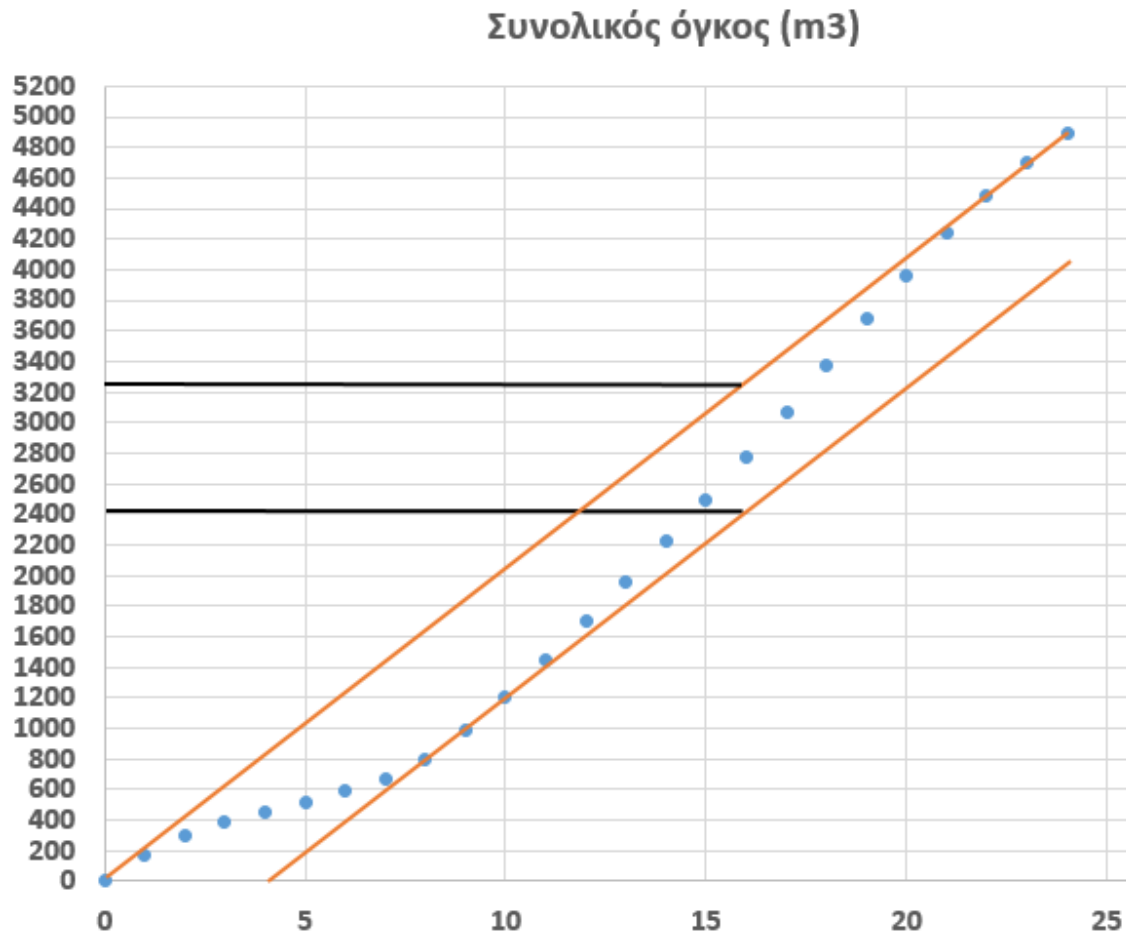
- Για να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος της ΔΕ κατασκευάζεται το διάγραμμα του όγκου αποβλήτου που έχει δεχθεί η μονάδα, από κάποια δεδομένη χρονική στιγμή για ένα 24ωρο.

Σε κάθε περίπτωση η ευθεία που ενώνει την αρχή των αξόνων με το τελικό σημείο, έχει κλίση ίση με τη μέση παροχή και ονομάζεται ευθεία μέσης παροχής.

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{24} \quad \text{ή} \quad \frac{\int_0^{24} Q(\tau) d\tau}{24}$$



Λύση Παραδείγματος

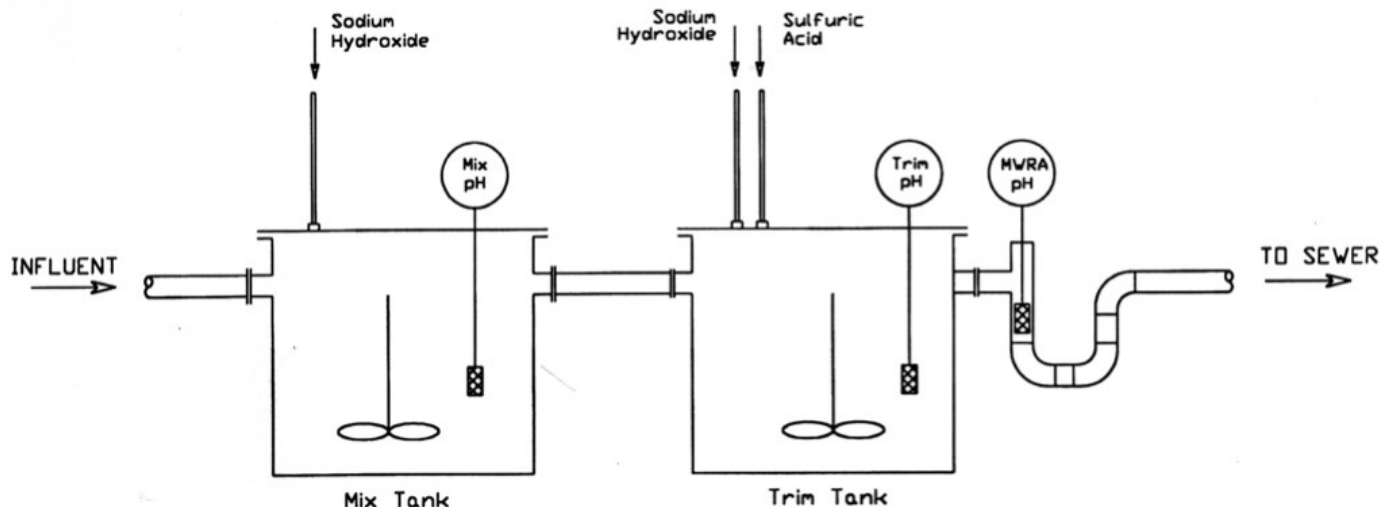


Εξουδετέρωση - Ρύθμιση pH (1)

- Τα απόβλητα πρέπει να έχουν **pH μεταξύ 6 και 9**, σύμφωνα με τις προδιαγραφές απόρριψης, ώστε να αποφευχθούν:
 - **επιπτώσεις** στην πανίδα και τη χλωρίδα (βιοποικιλότητα)
 - **διάβρωση** στην περίπτωση όξινων αποβλήτων
- Τα **αστικά λύματα** είναι συνήθως **ελαφρώς αλκαλικά**, και άρα **δεν απαιτείται διόρθωση** του pH πριν υποβληθούν σε οποιαδήποτε επεξεργασία.
- Κάποια **βιομηχανικά απόβλητα** (πλυντήρια, νερά έκπλυσης κλπ) είναι αλκαλικά και αυτά χρήζουν επεξεργασίας.
- Επεξεργασία χρήζουν επίσης τα **όξινα βιομηχανικά απόβλητα**.
- Η επεξεργασία αυτή (**εξουδετέρωση**) γίνεται ενδεχομένως και **μέσα στη δεξαμενή εξισορρόπησης** της ροής.

Εξουδετέρωση - Ρύθμιση pH (2)

- Η δεξαμενή εξουδετέρωσης αντιμετωπίζεται σαν ένας **αντιδραστήρας πλήρους ανάμειξης**.
- Ο υπολογισμός της παροχής των απαιτούμενων χημικών (NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, HCl , H_2SO_4 , CO_2) γίνεται μετά από **ανάλυση της σύστασης των αποβλήτων**.
- Η παροχή των χημικών εξουδετέρωσης μπορεί να ρυθμίζεται αυτόματα (με **δοσομετρικές αντλίες**) μέσω συνεχούς μέτρησης του **pH** στη δεξαμενή.
- Υπολογισμός παραγόμενων αλάτων (Διαλυτότητα $\rightarrow$ καταβύθιση)





Οσμές

- Σύστημα απόσμησης κατά την είσοδο των λυμάτων στην ΜΕΛ
- Δυσοσμία λόγω **αναερόβιας σήψης** τους κατά τη διαδρομή τους στο αποχετευτικό δίκτυο.
- **Συλλογή** δύσοσμου αέρα & **επεξεργασία**
- Κύρια **συστήματα** απόσμησης σε ΜΕΛ
 - Προσρόφηση σε **ενεργό άνθρακα**
 - **Πύργοι καταιονισμού** (wet scrubbing)
 - **Βιόφιλτρα** (βιοαποδόμηση)



**Akrokeramos
Facilities**

Piraeus

Psyttalia Island



Akrokeramos Facilities

Preliminary Treatment

Grit removal

Screening

Removal of heavy solids

Deodorization

Inverted Siphons



Screening

Grit removal

**Inlet Pumping
Station**

