



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



# ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ Ι ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

*Διδάσκων: Επίκουρος Καθηγητής Αθ. Στασινάκης*



# Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

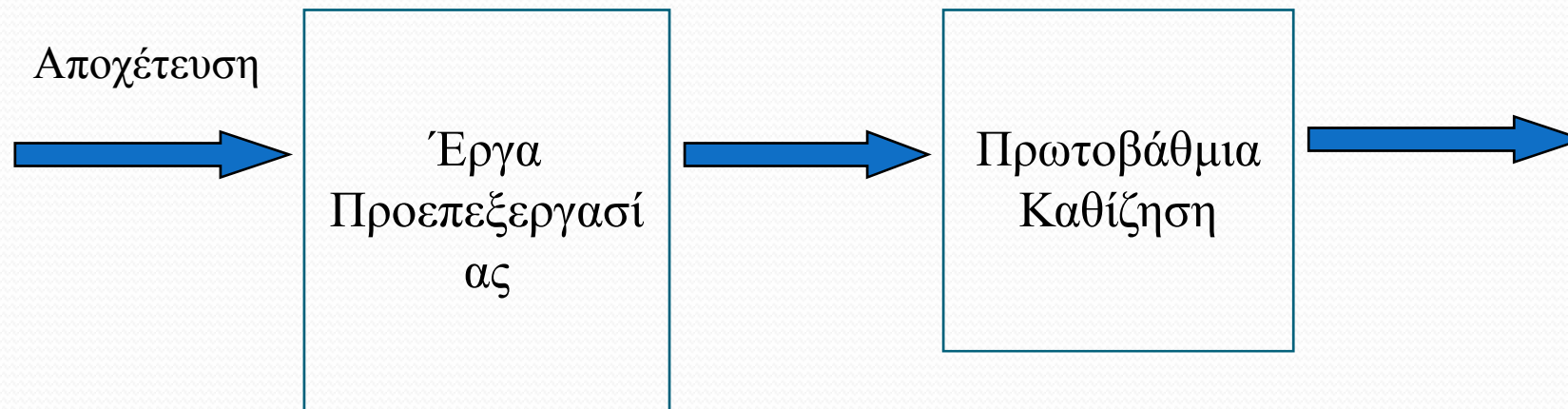
Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ



- ✓ Κατασκευή σε ανοιχτούς χώρους
- ✓ Αυτόνομη ύπαρξη (π.χ. Ψυτάλλεια, Imhoff) – Προαιρετική ύπαρξη (π.χ. Μυτιλήνη)

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Στόχοι:

## 1. Απομάκρυνση οργανικών αιωρούμενων στερεών

✓ Απομάκρυνση SS: 50-70%

✓ Απομάκρυνση BOD: 25-40%

- Μείωση απαίτησης σε οξυγόνο στα επόμενα στάδια
- Μείωση όγκου δεξαμενών αερισμού
- Μείωση όγκου αποβαλλόμενης ενεργού ιλύος

## 2. Δεξαμενή εξισορρόπησης

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Σχεδιασμός Δεξαμενών

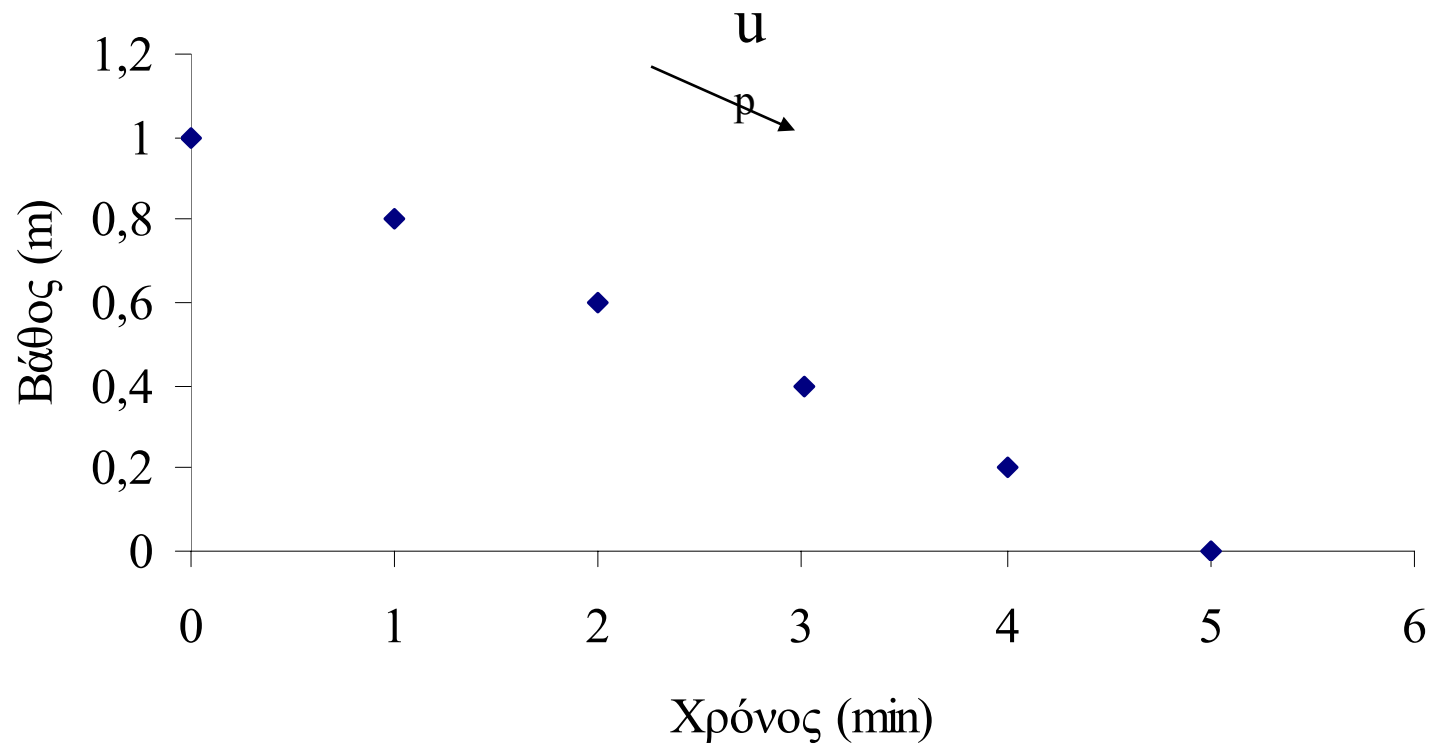
- ✓ Χρήση εμπειρικών κριτηρίων
  - Επιφανειακό φορτίο,  $q$  : 30-50 m<sup>3</sup> λυμάτων/m<sup>2</sup> επιφάνειας δεξαμενής ανά ημέρα
  - Χρόνος παραμονής,  $\theta$  : 1,5-3,0 ώρες
- ✓ Χρήση πιλοτικών μονάδων (ίδιο βάθος με έργο)
- ✓ Χρήση σωλήνων καθίζησης (υιοθέτηση συντελεστών ασφαλείας)

$$q_{\text{πραγμ}} = (0,50-0,65) q_{\text{έργα}}$$

$$t_{\text{πραγμ}} = (2,0-4,0) t_{\text{έργα}}$$

## Επιφανειακό Φορτίο, $q$

Σωματίδια ίδιου μεγέθους, χωρίς τάση συσσωμάτωσης



# ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Διακεκριμένα σωματίδια

$$F_G = (p_p - p_w) \times g \times V_p$$

Όπου:

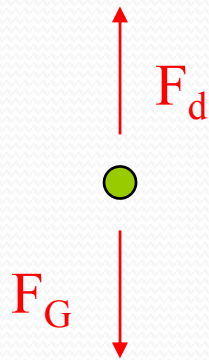
$F_G$ : βαρυτική δύναμη (kg m/s<sup>2</sup>)

$p_p$ : πυκνότητα σωματιδίου (kg/m<sup>3</sup>)

$p_w$ : πυκνότητα νερού (kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$V_p$ : όγκος σωματιδίου (m<sup>3</sup>)



$$F_d = \frac{C_d \times A_p \times p_w \times u_p^2}{2}$$

Όπου:

$F_d$ : δύναμη αντίστασης (kg m/s<sup>2</sup>)

$C_d$ : συντελεστής αντίστασης

$A_p$ : εμβαδόν της προβολής του σωματιδίου σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της κίνησης (m<sup>2</sup>)

$u_p$ : ταχύτητα καθίζησης σωματιδίου (m/s)



# ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Διακεκριμένα σωματίδια

Σε περίπτωση σταθερής ταχύτητας,  $\Sigma F = 0$ :

$$u_p = \sqrt{\frac{2 \times (p_p - p_w) \times g \times V_p}{C_d \times A_p \times \rho_w}}$$

Για σφαιρικά σωματίδια:

$$V_p = \frac{\pi \times d_p^3}{6}$$

$$A_p = \frac{\pi \times d_p^2}{4}$$

$$u_p = \sqrt{\frac{4 \times g \times d_p}{3 \times C_d} \left( \frac{p_p - p_w}{\rho_w} \right)}$$

Νόμος  
Newton

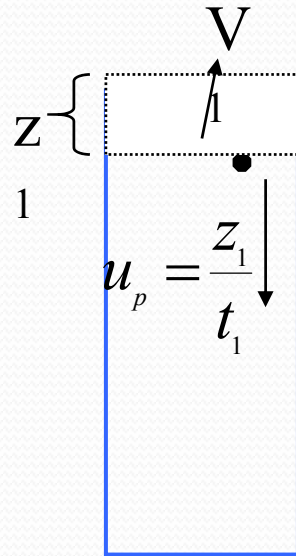
Όπου:

$d_p$ : διάμετρος  
σωματιδίου (m)

Αύξηση  $d_p \Rightarrow$  Αύξηση  $u_p$

## Επιφανειακό Φορτίο, q

Σωματίδια ίδιου μεγέθους, χωρίς τάση συσσωμάτωσης



$$Q = \frac{V_1}{t_1} \Rightarrow Q = \frac{A \times Z_1}{t_1} \Rightarrow Q = A \times u_p \Rightarrow \frac{Q}{A} = u_p$$

← πλήρης  
απομάκρυνση  
στερεών

Όπου:

$Q$  = παροχή καθαρού νερού ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )

$V_1$  = όγκος καθαρού νερού ( $\text{m}^3$ )

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

$u_p$  = ταχύτητα καθίζησης σωματιδίου ( $\text{m/s}$ )

$q$  = επιφανειακό φορτίο ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ day}$ )  
 $q = \frac{Q}{A}$

Σχέση διαμέτρου σωματιδίου – επιφανειακής φόρτισης ?

# ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Διακεκριμένα σωματίδια

$$u_p = \sqrt{\frac{4 \times g \times d_p}{3 \times C_d} \left( \frac{p_p - p_w}{p_w} \right)}$$

Αύξηση  $d_p \Rightarrow$  Αύξηση  $u_p \Rightarrow$  Αύξηση  $q$   
Υπαρξη μεγαλύτερων σωματιδίων στα απόβλητα  $\Rightarrow$  Υιοθέτηση  
υψηλότερης υδραυλικής φόρτισης

# ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Σωματίδια Κατηγορίας I

Παράδειγμα I – Υπολογισμός ικανότητας απομάκρυνσης στερεών σε ΔΠΚ

Υπολογίστε την ικανότητα απομάκρυνσης στερεών σε ΔΠΚ με  $q = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ .  
Δίνονται οι ταχύτητες καθίζησης των σωματιδίων.

Ταχύτητα καθίζησης σωματιδίων (m/h) (Αριθμός / lt)	Αριθμός
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>

# ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Σωματίδια Κατηγορίας I

Παράδειγμα I – Υπολογισμός ικανότητας απομάκρυνσης στερεών σε ΔΠΚ

$u_p$ (m/h)	Μέση $u_p$ (m/h)	N (Αριθμός / lt)	$X_R$ (Μέση $u_p/q$ )	$N_{Απομ}$ (Αριθμός / lt)	$N_{Παραμ}$ (Αριθμός / lt)
0.0-0.5	0.25	30	0.125	3.75	26.25
0.5-1.0	0.75	50	0.375	18.75	31.25
1.0-1.5	1.25	90	0.625	56.25	33.75
1.5-2.0	1.75	110	0.875	96	14
2.0-2.5	2.25	100	1.0	100	0
2.5-3.0	2.75	70	1.0	70	0
3.0-3.5	3.25	30	1.0	30	0
3.5-4.0	3.75	20	1.0	20	0
<b>Σύνολο</b>		<b>500</b>		<b>394.75</b>	<b>105.25</b>

$$X_R = \frac{u_p}{q}$$

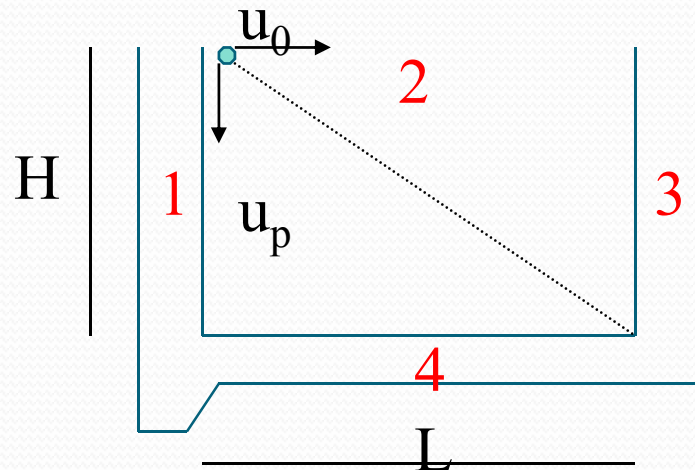
# ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

## Σωματίδια Κατηγορίας I

Παράδειγμα I – Υπολογισμός ικανότητας  
απομάκρυνσης στερεών σε ΔΠΚ

$$\text{Απομάκρυνση(\%)} = \frac{394.75}{500} \times 100 = 78.95\%$$

## ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ, $\theta$



Ζώνη 1: είσοδος νερού

Ζώνη 2: οριζόντια εμβολοειδής κίνηση νερού

Ζώνη 3: έξοδος νερού

Ζώνη 4: συσσώρευση ιλύος

$$t = \frac{L}{u_0} = \frac{H}{u_p} = \frac{H}{q} = \frac{H \times A}{Q} = \frac{V}{Q} = \theta$$

### Παραδοχές

Συνεχής οριζόντια ροή και καθίζηση σε ήρεμες συνθήκες

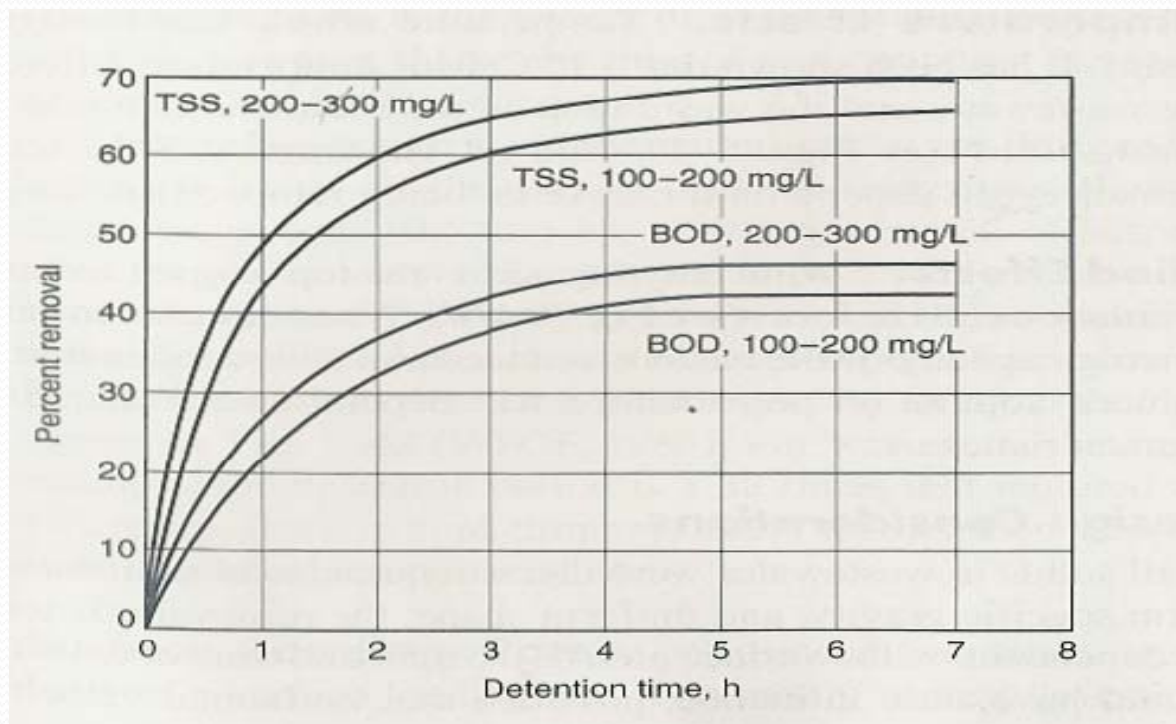
Ομοιόμορφη οριζόντια ταχύτητα σε όλη τη δεξαμενή

Διακεκριμένα σωματίδια

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Απομάκρυνση BOD, TSS

- ✓ Συσσωμάτωση αυξάνεται με το χρόνο παραμονής





# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣ

## Απομάκρυνση BOD, TSS

$$R = \frac{\theta}{\alpha + (b \times \theta)}$$

Όπου:

R = ικανότητα απομάκρυνσης

$\theta$  = υδραυλικός χρόνος παραμονής σχεδιασμού  
(hours)

$\alpha$ ,  $b$  = εμπειρικές σταθερές

	$\alpha$	$b$
BOD	0,018	0,020
TSS	0,0075	0,014

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

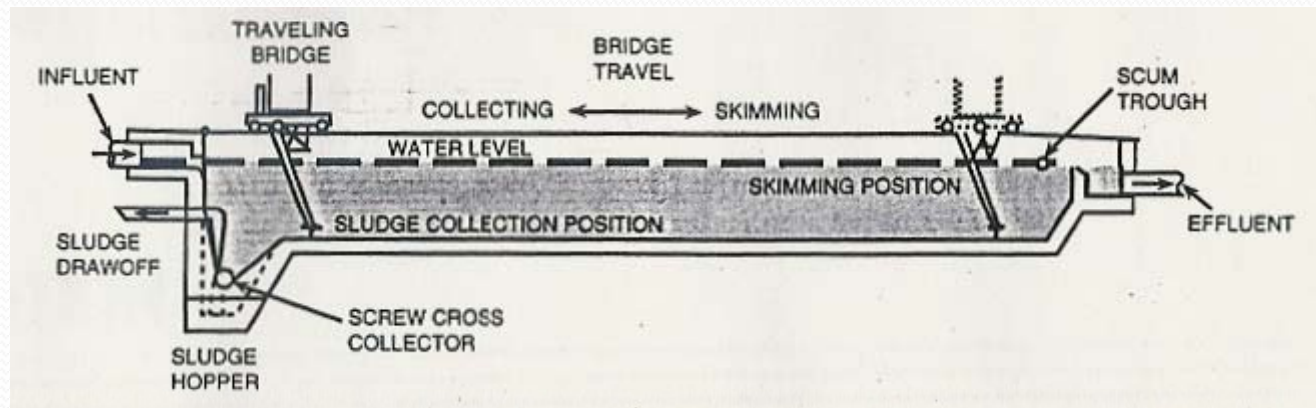
Είδη Δεξαμενών

- ✓ Ορθογωνικές
- ✓ Κυκλικές

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Ορθογωνικές Δεξαμενές

Οριζόντια, ομαλή ροή ρευστού



Συλλογή ιλύος - ελαίων

Μηχανισμός τύπου γέφυρας

Κλίση πυθμένα προς σημείο εισόδου λυμάτων

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Ορθογωνικές Δεξαμενές

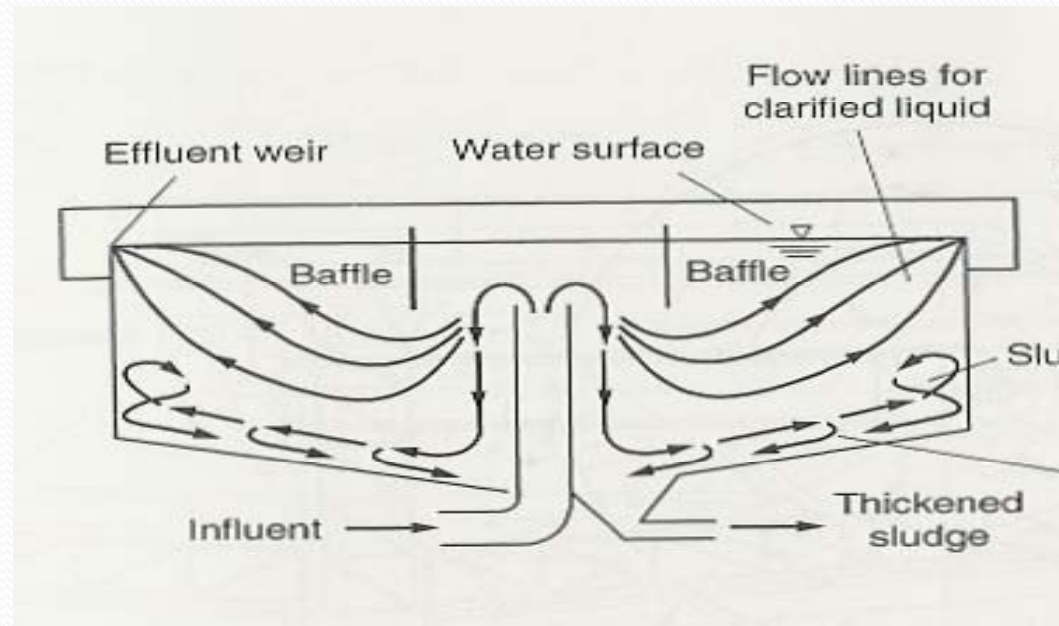
Παράμετρος	Εύρος Τιμών	Τυπική Τιμή
Βάθος (m)	3-4,9	4,3
Μήκος (m)	15-90	24-40
Πλάτος (m)	3-24	5-10
Ταχύτητα ξέστρων (m/mn)	0.6-1.2	0.9
$\theta$ (h)	1.5-2.5	2
$q$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> day)	30-50	40

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Κυκλικές Δεξαμενές

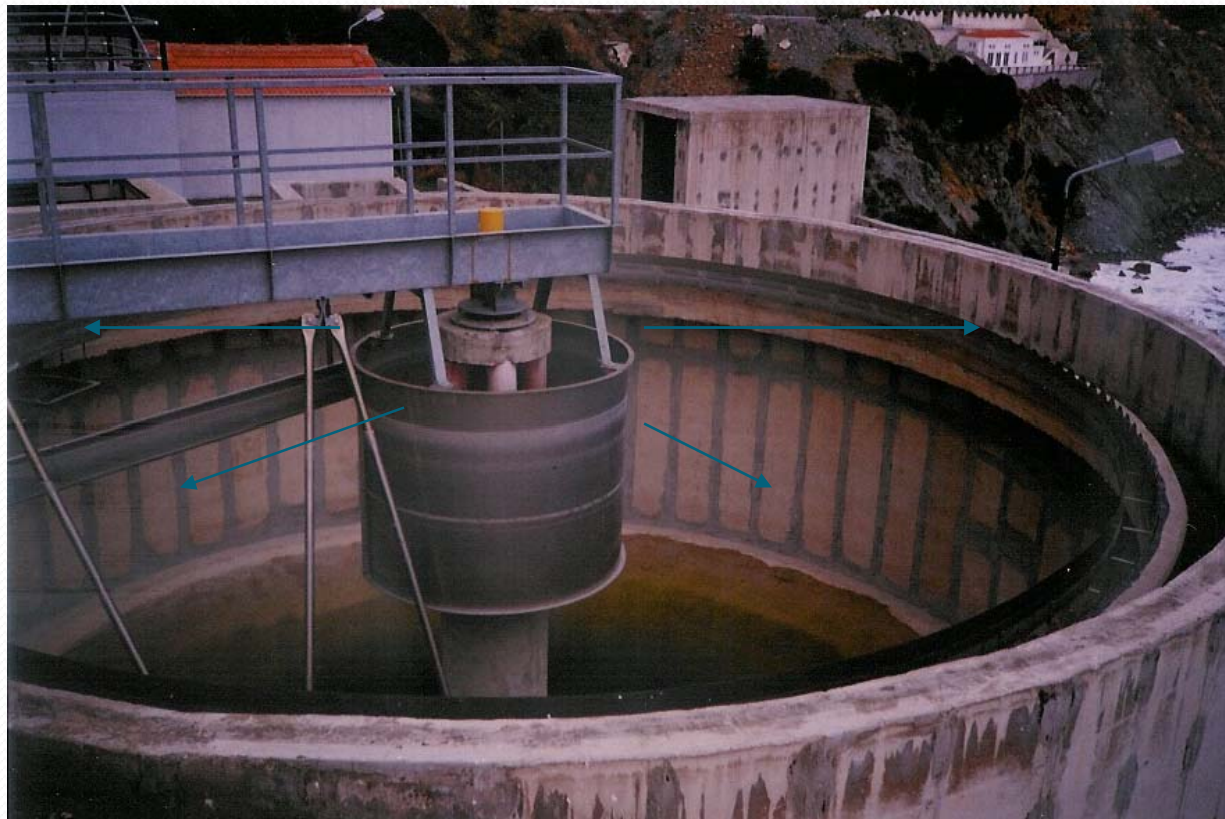
Ακτινωτή, ομαλή ροή ρευστού

Είσοδος λυμάτων από το κέντρο



# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Κυκλικές Δεξαμενές



# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Κυκλικές Δεξαμενές

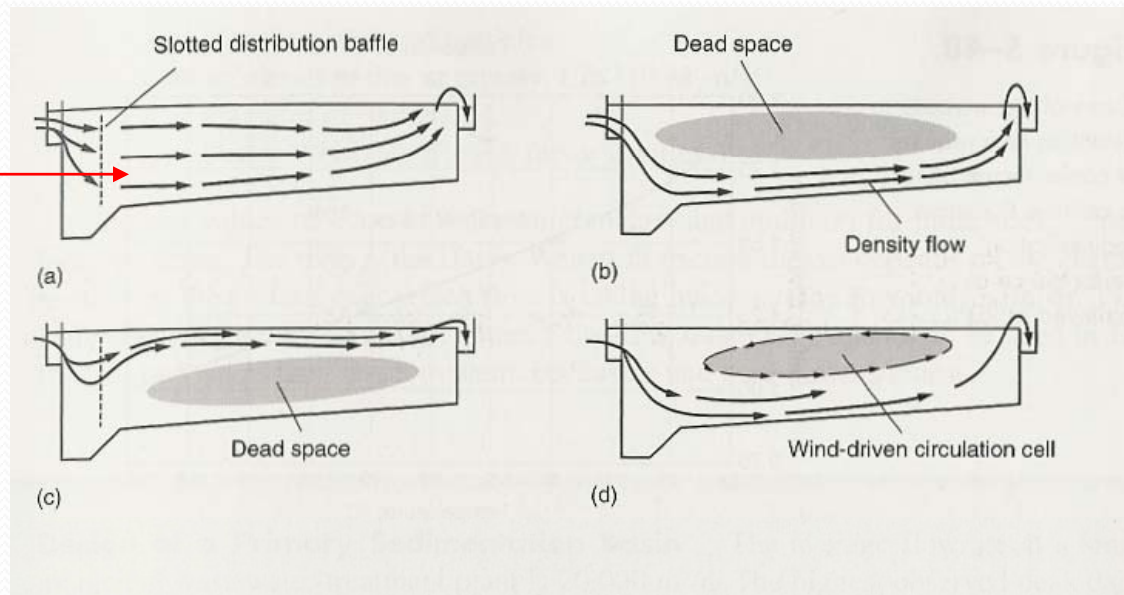
Παράμετρος	Εύρος Τιμών	Τυπικές Τιμές
Βάθος (m)	3-4,9	4,3
Διάμετρος (m)	3-60	12-45
Κλίση πυθμένα	6%-16%	8%
$\theta$ (h)	1.5-2.5	2
$q$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> day)	30-50	40

# ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

## Απόκλιση από ιδανικές συνθήκες ροής

- ✓ Διαφορές πυκνότητας, θερμοκρασίας λυμάτων
- ✓ Επίδραση του ανέμου
- ✓ Σύστημα συλλογής ιλύος, είσοδο και έξοδο αποβλήτων

Ιδανική  
ροή





## Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

- ✓ Metcalf and Eddy (2006) *Μηχανική Αποβλήτων – Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*, 4<sup>η</sup> έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Ελλάδα, σελ. 484-503.
- ✓ Τσώνης Στ. (2004) *Επεξεργασία Λυμάτων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου (σελ. 157-176)
- ✓ <http://techalive.mtu.edu/meec/module21/CSOs.htm>