



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



# ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ Ι

## ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ – ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΒΟΔ, ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

*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.

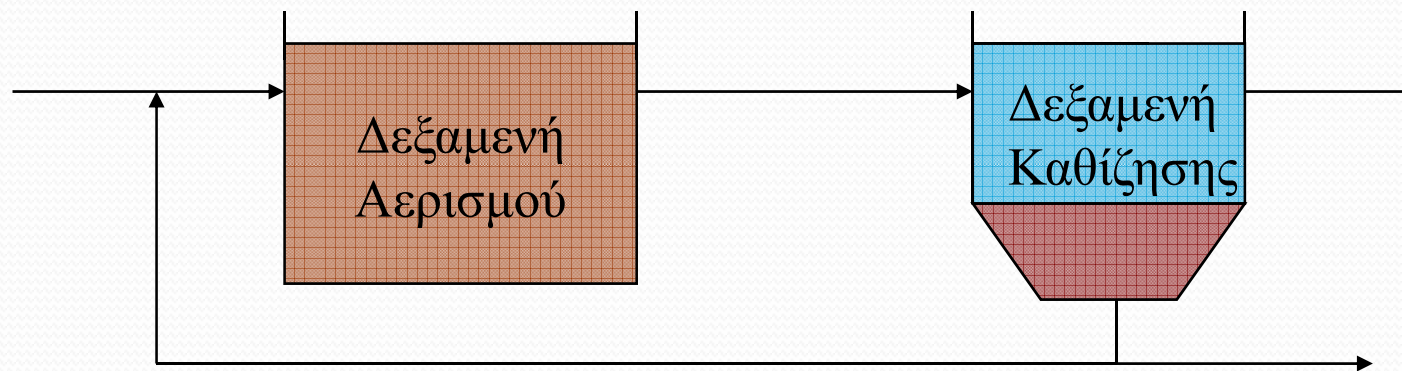


Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

## 1. Συστήματα συνεχούς ροής (continuous flow reactors)

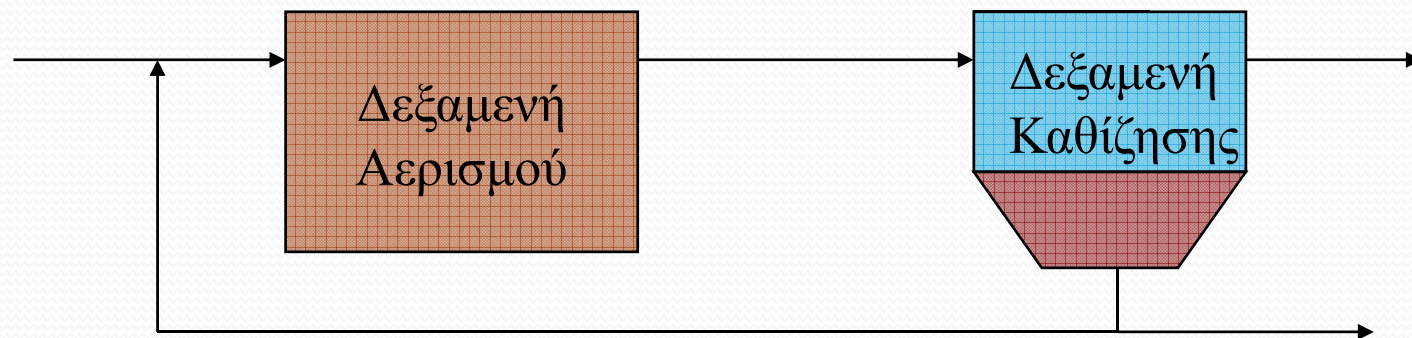


### Δεξαμενή Αερισμού

- ✓ Επαφή λυμάτων με συσσωματώματα μικροοργανισμών (αερόβιες συνθήκες, πλήρης μίξη, μικτό υγρό, MLSS, MLVSS )
- ✓ Οξείδωση μέρους των οργανικών ενώσεων σε  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- ✓ Μετατροπή μέρους των οργανικών ενώσεων σε νέο κυτταρικό υλικό

# ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

## 1. Συστήματα συνεχούς ροής (continuous flow reactors)



### Δεξαμενή Καθίζησης

- ✓ Διαχωρισμός των συσσωματωμάτων (βιοκροκίδων) λόγω καθίζησης
- ✓ Ανακυκλοφορία μέρους της ιλύος στη Δεξαμενή Αερισμού

# ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

## Περιβαλλοντικές συνθήκες

DO > 1.5 mg/l

pH 6.5-8.5

C/N/P = 100/10/1

# ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

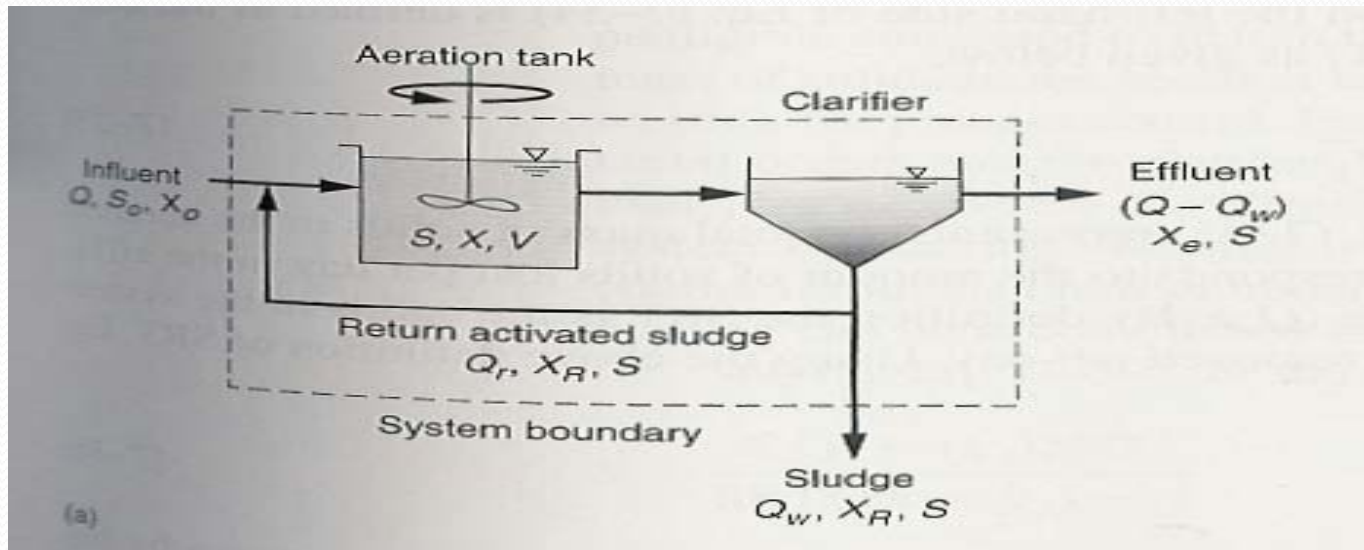
## Βιοκροκίδωση

Χαρακτηριστικά:

- ✓ Μεγάλο πορώδες => ειδική επιφάνεια μεγαλύτερη από ομογενή μάζα μικροοργανισμών ίδιου μεγέθους (απομάκρυνση οργανικού φορτίου στη  $\Delta A$ )
- ✓ Γραμμική σχέση διαμέτρου βιοκροκίδας – ταχύτητας καθίζησης (διαχωρισμός στερεών στη  $\Delta\Delta K$ )

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)



$$\theta = \frac{V}{Q}$$

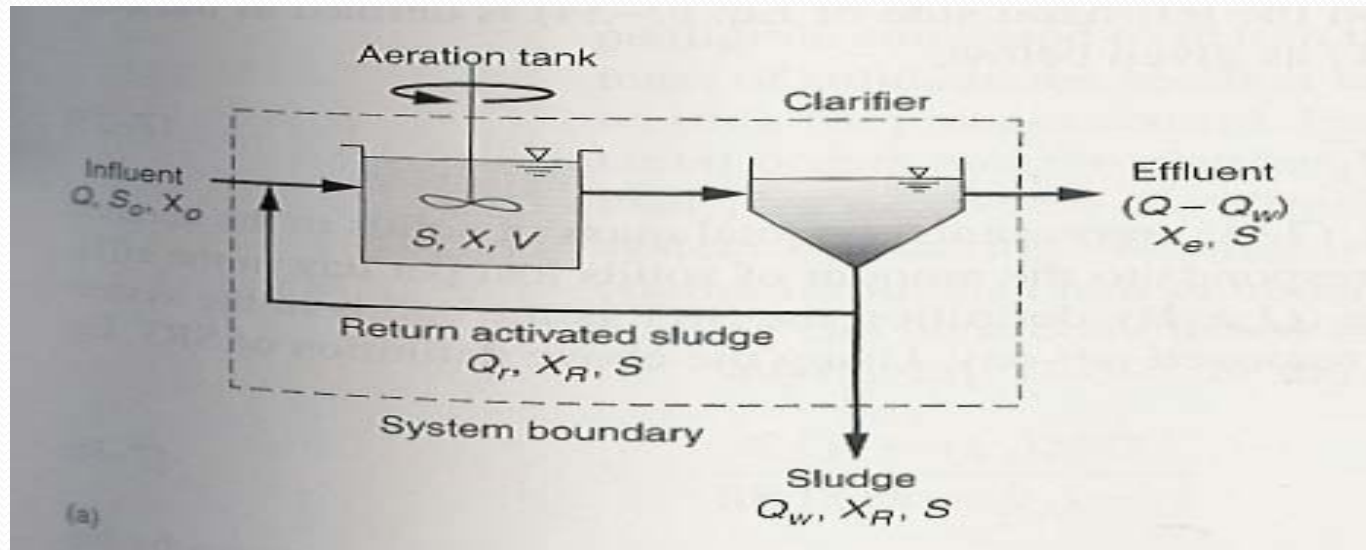
$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e}$$

Τι είναι τα MLSS και τα MLVSS?



# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)



Ταχύτητα συσσώρευσης μ/ων στο σύστημα =  
ταχύτητα εισροής μ/ων – ταχύτητα εκροής μ/ων + αύξηση μ/ων μέσα στο  
σύστημα- φθορά μ/ων μέσα στο σύστημα

$$V \frac{dX}{dt} = QX_0 - [(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R] + \mu XV - k_d XV$$

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)

$$V \frac{dX}{dt} = QX_0 - [(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R] + \mu XV - k_d XV$$

Για μηδαμινή εισροή στερεών με τα εισερχόμενα λύματα και σταθερές συνθήκες στη δεξαμενή ( $dX/dt = 0$ ), τότε:

$$[(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R] = \mu XV - k_d XV \Rightarrow \frac{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R}{VX} = \mu - k_d$$



$$\frac{1}{\theta_c} = \mu - k_d = Yq - k_d$$

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\theta_c} &= \mu - k_d \\ \mu &= \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} (2) \\ \frac{1}{\theta_c} = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} - k_d \end{array} \Rightarrow \frac{1}{\theta_c} = Y \frac{q_{\max} S}{K_s + S} - k_d$$

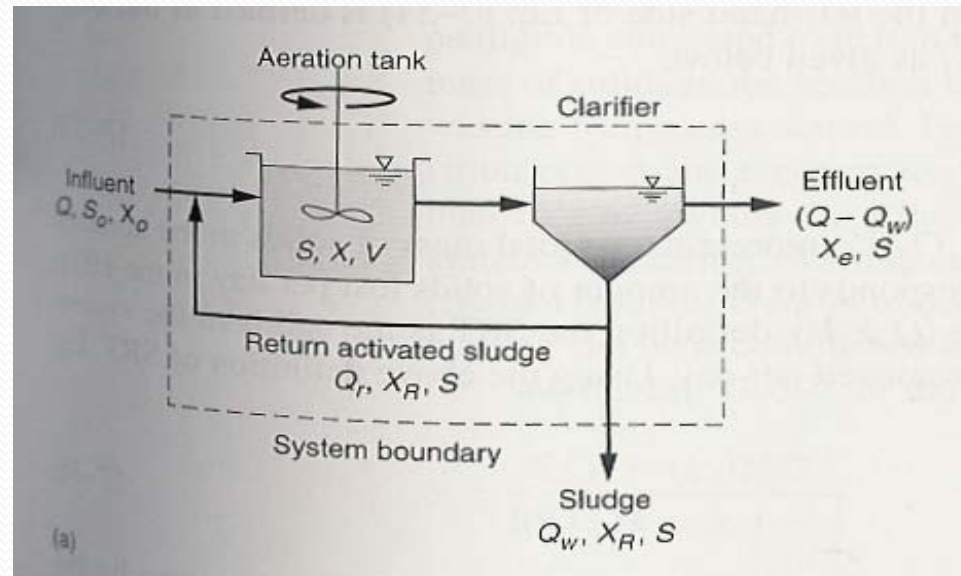
$q_{\max}$  = μέγιστη ειδική ταχύτητα απομάκρυνσης υποστρώματος =  $\mu_{\max} / Y$   
( g υποστρώματος  $g^{-1}$  μικροοργανισμών  $h^{-1}$ )  
 $S$  = συγκέντρωση BOD στα επεξεργασμένα απόβλητα (g BOD/ $m^3$ )

$$\text{BOD}_{\text{out}} \quad S = \frac{K_s [1 + (k_d)\theta_c]}{\theta_c (Yq_{\max} - k_d) - 1} \quad (3)$$

$\text{BOD}_{\text{out}}$ : εξαρτάται από  $\theta_c$ , κινητικές παραμέτρους μικροοργανισμών

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)



Ταχύτητα κατανάλωσης υποστρώματος στο σύστημα =  
ταχύτητα εισροής - ταχύτητα εκροής - κατανάλωση μέσα στο σύστημα

$$\frac{dS}{dt}V = QS_0 - QS - qXV$$

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)

$$\frac{dS}{dt}V = QS_0 - QS - qXV$$

$$dS/dt = 0$$

$$q = \frac{q_{\max} S}{K_s + S}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{q_{\max} S}{K_s + S} - k_d$$

$$S_0 - S = \left(\frac{V}{Q}\right) \left(\frac{q_{\max} XS}{K_s + S}\right) = \theta \left(\frac{q_{\max} XS}{K_s + S}\right)$$

$$\frac{S}{K_s + S} = \frac{1}{\theta_c} + k_d$$

MLVSS στη

$$X = \frac{\Delta A}{\theta} \left( \frac{Y(S_0 - S)}{1 + \theta_c k_d} \right)$$

X: εξαρτάται από  $\theta_c, \theta, Y, k_d, (BOD_{in} - BOD_{out})$

# ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

1. Ογκομετρική φόρτιση οργανικού φορτίου στη δεξαμενή αερισμού ( $L_{org}$ )  
(Kg BOD / m<sup>3</sup> δεξαμενής day)

$$L_{org} = \frac{Q S_0}{V}$$

2. Φόρτιση οργανικού φορτίου ανά μονάδα μάζας μικροοργανισμών (F/M)  
(Kg BOD / Kg MLVSS day)

$$\frac{F}{M} = \frac{Q S_0}{VX}$$

3. Παραγωγή ιλύος ( $P_x$ ) (Kg ιλύος/day)

$$\left. \begin{aligned} P_x &= Y_o(S_i - S_e)Q \\ Y_o &= \frac{Y}{1 + K_d\theta_c} \end{aligned} \right\} P_x = \frac{Y}{1 + K_d\theta_c}(S_i - S_e)Q$$

# Βιολογική Απομάκρυνση Αζώτου

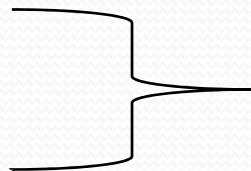
$N_2$  σε απόβλητα

Εισερχόμενα απόβλητα



Οργανικό άζωτο

Ουρία



$NH_4/N$  (80% ολικού αζώτου)  
30-70 mg/l

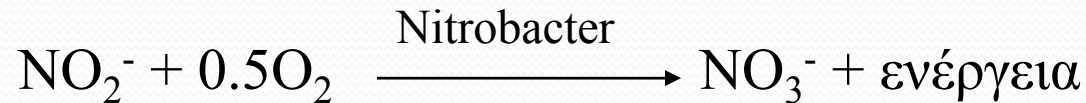
$NO_3/N$ ,  $NO_2/N$  (αμελητέα  
συγκέντρωση)

Βιοσύνθεση: 15% εισερχόμενου  $N_2$

Απαίτηση για μεγαλύτερη απομάκρυνση

# ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

## Νιτροποίηση



Χημικοαυτότροφα βακτήρια: πηγή C (CO<sub>2</sub>)

: απαιτούμενη ενέργεια (οξείδωση αμμωνίας)

: κίνδυνος πτώσης pH, αναχαίτισης διεργασίας





# Νιτροποίηση

## Παράγοντες που την επηρεάζουν

Θερμοκρασία : βέλτιστη 28 - 32 °C

μηδενική νιτροποίηση <5 °C και >45 °C

Διαλυμένο οξυγόνο : βέλτιστη > 2.0 mg/l (ρόλος βιοκροκίδων, συστήματα υψηλής οργανικής φόρτισης)

στοιχειομετρικά 4.57 g O<sub>2</sub>/g N

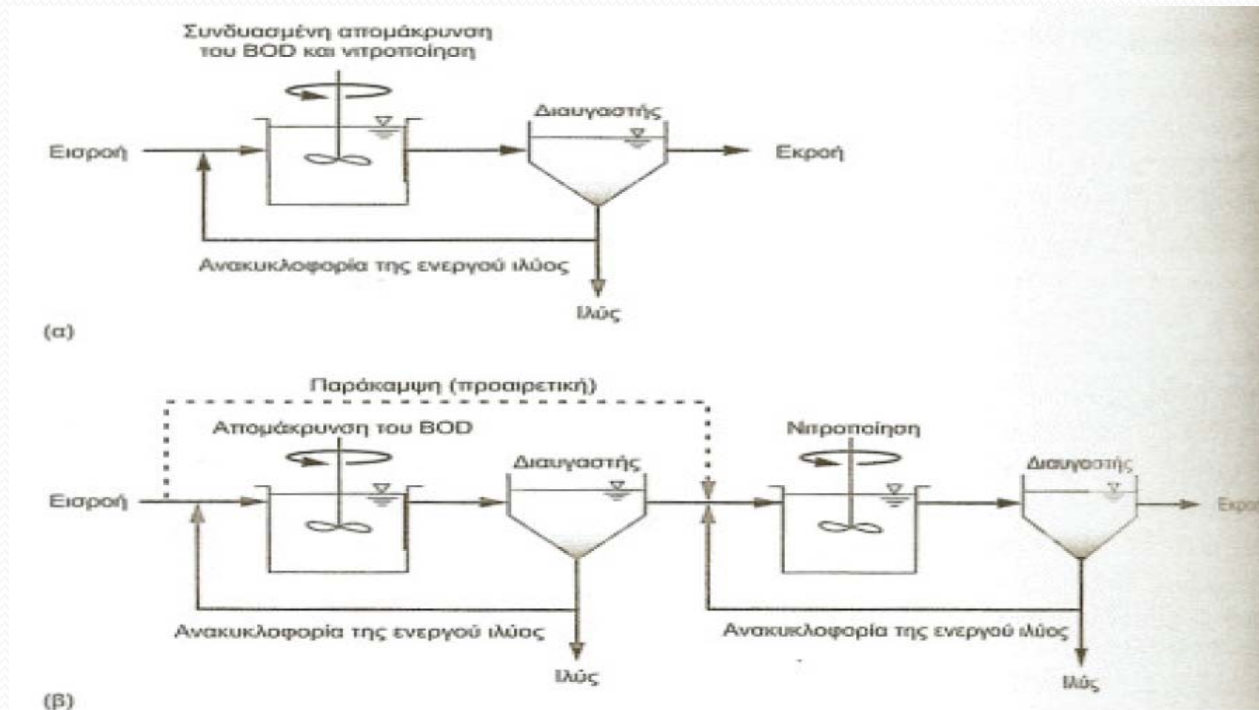
pH : βέλτιστο 7.5-8.5 (σημαντική μείωση σε pH<7.2 και pH>9)

$\theta_c$  : > 4 days (συνάρτηση και θερμοκρασίας)

Παρουσία τοξικών ουσιών

## Νιτροποίηση σε Κοινές/Διαφορετικές Δεξαμενές

- Σε περιπτώσεις παρουσίας τοξικών ουσιών σε εισερχόμενα λύματα
- Λειτουργία ΔΑ σε διαφορετικά  $\theta_c$



## Τυπικές τιμές κινητικών παραμέτρων νιτροποιητών/ετερότροφων (20 °C)

Παράμετρος	Αυτότροφοι	Ετερότροφοι
$\mu_{\max}$ (g VSS/gVSS d)	0,2-0,9	0,8-8
Y (mg VSS/mg BOD)	0,1-0,15	0,4-0,8
$k_d$ (g VSS/g VSS d)	0,02-0,08	0,06-0,15
$K_N$ (mg/l)	0,5-1,0	
$K_o$ (mg/l)	0,4-0,6	

# Νιτροποίηση

$$\mu_N = \mu_{N(\max)} \times \left( \frac{NH_3 / N}{NH_3 / N + K_N} \right) \times \left( \frac{DO}{DO + K_o} \right) \quad (1)$$

$\mu_N$  = ταχύτητα ανάπτυξης νιτροποιητών (g νέων κυττάρων g κυττάρων<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)

$\mu_{N\max}$  = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης νιτροποιητών (g νέων κυττάρων g κυττάρων<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)

$NH_3/N$  = αμμωνιακό άζωτο (mg/l)

DO = διαλυμένο οξυγόνο (mg/l)

$K_N$  = σταθερά κορεσμού για αμμωνιακό άζωτο (mg/l)

$K_o$  = σταθερά κορεσμού για οξυγόνο (mg/l)

## Επίδραση θερμοκρασίας σε τιμές κινητικών

$$\mu_N \max(T) = 0,18 \times e^{(0,116 \times (T - 15))} \quad (2)$$

$$K_N(T) = 0,405 \times e^{(0,118 \times (T - 15))} \quad (3)$$

Όπου:

$\mu_N \max(T)$  = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης νιτροποιητών σε θερμοκρασία  $T$ , °C

$K_N(T)$  = σταθερά κορεσμού αμμωνιακού αζώτου σε θερμοκρασία  $T$ , °C

## Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

- ✓ Τσώνης Στ. (2004) Επεξεργασία Λυμάτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου (σελ. 249-265)
- ✓ Λέκκας Θ. (2001) Περιβαλλοντική Μηχανική ΙΙ – Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Εκδόσεις ΚΟΣΜΟΣ ΠΕΜΕΡ ΕΠΕ, (σελ. 179-204, 307-320)
- ✓ Στάμου Α.Ι (2004) Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου (σελ. 45-79)
- ✓ Metcalf and Eddy (2006) *Μηχανική Αποβλήτων – Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*, 4<sup>η</sup> έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Ελλάδα, σελ. 761-767, 825-831, 846-882.