



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



## ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ Ι

### Βιολογική Επεξεργασία ΙΙ

*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.



# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

## Στόχοι:

1. Απομάκρυνση οργανικών ενώσεων
2. Απομάκρυνση αιωρούμενων στερών
3. Απομάκρυνση ενώσεων αζώτου και φωσφόρου
4. Απομάκρυνση τοξικών ουσιών (βαρέων μετάλλων, οργανικών συνθετικών ενώσεων)

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Μεταβολική λειτουργία

- Αερόβιες διεργασίες (bCOD = 50-4000 mg/l)
- Ανοξικές διεργασίες
- Αναερόβιες διεργασίες (bCOD = 4000-50000 mg/l)

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Τρόπος ανάπτυξης βιομάζας

- Αιωρούμενη βιομάζα (ενεργός ιλύς, αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές, αναερόβια χώνευση...)
- Προσκολλημένη βιομάζα (βιολογικά φίλτρα, βιολογικοί δίσκοι)



<http://www.youtube.com/watch?v=arPqPoFOQUM>



<http://www.youtube.com/watch?v=bXLyLn19bfU>

# ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

## Μέθοδος τροφοδοσίας

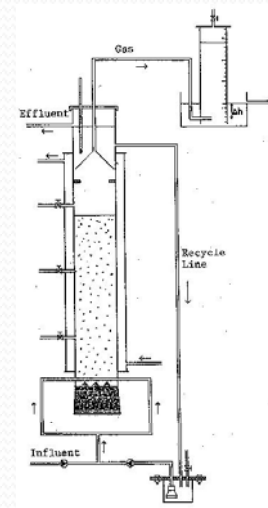
- Συνεχούς τροφοδοσίας με συνεχή ανάδευση (continuous stirred tank reactor, CSTR)
- Συνεχούς τροφοδοσίας με συνεχή ανάδευση αντιδραστήρας εμβολοειδούς ροής (plug flow reactor, PRF)
- Ασυνεχούς τροφοδοσίας και διαδοχικά επαναλαμβανόμενων κύκλων (sequencing batch reactor, SBR)



# ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΠΡΟΣΚΟΛΗΜΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

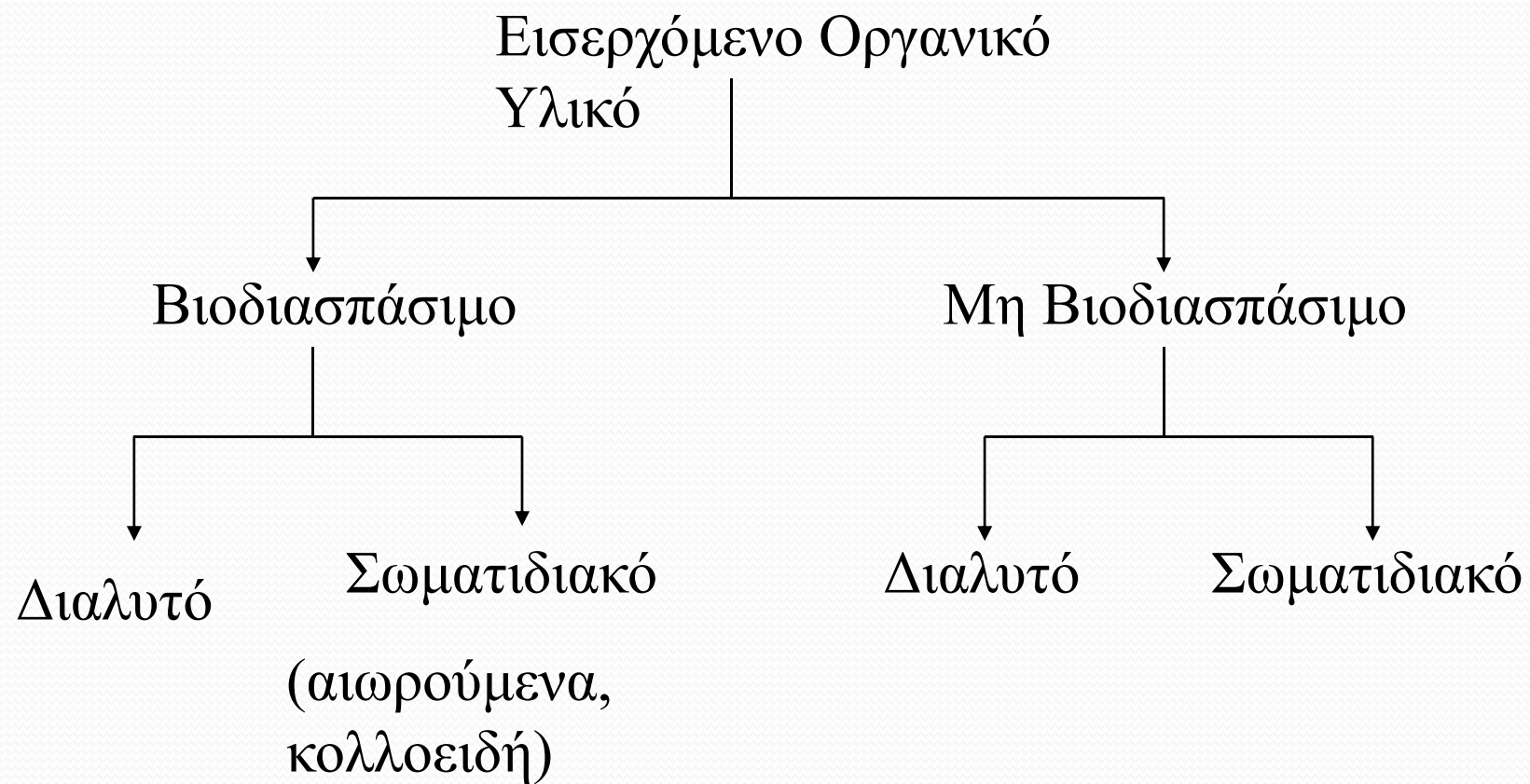
## Μέθοδος τροφοδοσίας

- Αντιδραστήρες με σταθερό πληρωτικό υλικό (βιολογικά φίλτρα)
- Αντιδραστήρες με περιστρεφόμενο μέσο επαφής (βιολογικοί δίσκοι, rotating biological contactors)
- Αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed reactors)





# ΜΟΡΦΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ



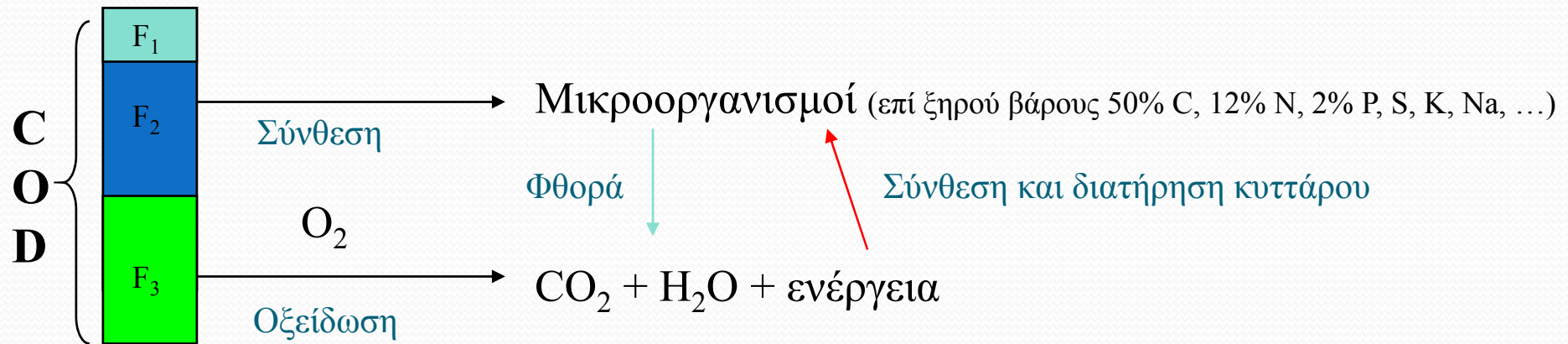
# Αερόβιος Μεταβολισμός Ετεροτροφικών Βακτηρίων

Διαδικασίες που επιτελούνται στους βιοαντιδραστήρες

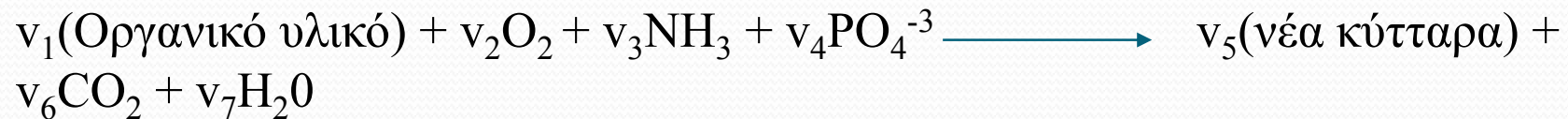
1. Προσρόφηση αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών στις βιοκροκίδες
2. Υδρόλυση προσροφημένων στερεών => μετατροπή σε διαλυμένες μικρομοριακές ενώσεις
3. Σύνολο διαλυμένων ενώσεων διαπερνούν περικυτταρική μεμβράνη και αποθηκεύονται στο κύτταρο
4. Χρήση αποθηκευμένων οργανικών ενώσεων από το κύτταρο

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

## Αερόβιος Μεταβολισμός Ετεροτροφικών Βακτηρίων



Μικροοργανισμοί



## ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ

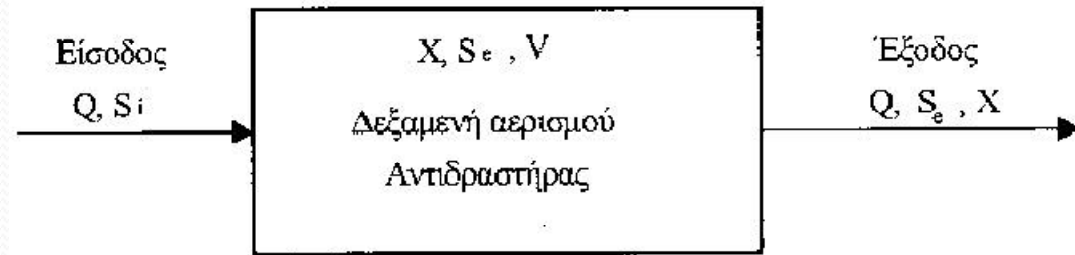


$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} + \text{Συσσωρεύσεις} + \text{Μετατροπές}$$

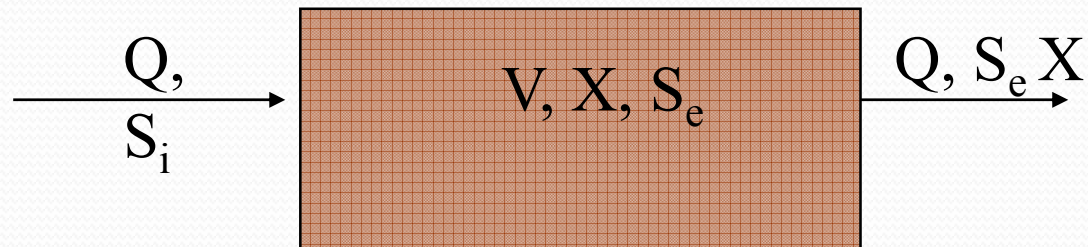
- Εκροές : μέρος ουσίας που απομακρύνεται αμετάβλητο
- Συσσωρεύσεις: μέρος ουσίας που συσσωρεύεται (π.χ. σταδιακή αύξηση BOD σε δεξαμενή όταν αρχίσουν να πέφτουν λύματα)
- Μετατροπές: μέρος της ουσίας μετατρέπεται σε μία άλλη (BOD  $\longrightarrow$  CO<sub>2</sub>)

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα  
(χωρίς ανακυκλοφορία)



## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (χωρίς ανακυκλοφορία)



Ισοζύγιο μάζας για τα στερεά

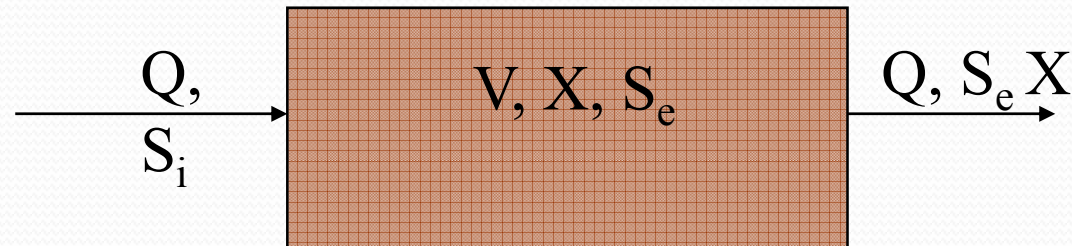
$$V \frac{dX}{dt} = V\mu X - V k_d X - QX \quad \left. \vphantom{\frac{dX}{dt}} \right\} \mu = k_d + \frac{Q}{V} \Rightarrow \mu = k_d + \frac{1}{\theta} \quad (1)$$

Σταθερές συνθήκες,  $dX/dt = 0$

Όπου:

$\mu$  = ειδική ταχύτητα αύξησης  
μικροοργανισμών

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (χωρίς ανακυκλοφορία)



Ισοζύγιο μάζας για το υπόστρωμα

$$V \frac{dS}{dt} = QS_i - QS_e - \frac{\mu X}{Y} V \quad \left. \vphantom{V \frac{dS}{dt}} \right\} X = \frac{YQ(S_i - S_e)}{\mu V} = \frac{Y(S_i - S_e)}{\mu \theta} \quad (2)$$

Σταθερές συνθήκες,  $dS/dt = 0$

Όπου:

$\mu$  = ειδική ταχύτητα αύξησης  
μικροοργανισμών

$Y$  = συντελεστής μετατροπής

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (χωρίς ανακυκλοφορία)

$$(2) \quad X = \frac{YQ(S_i - S_e)}{\mu V} = \frac{Y(S_i - S_e)}{\mu \theta}$$

$$(1) \quad \mu = k_d + \frac{Q}{V} = k_d + \frac{1}{\theta}$$

$$X = \frac{Y \times (S_i - S_e)}{1 + (k_d \times \theta)}$$

Υπολογισμός αιωρουμένων  
στερεών στη δεξαμενή και στα  
εξερχόμενα απόβλητα, X



## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (χωρίς ανακυκλοφορία)

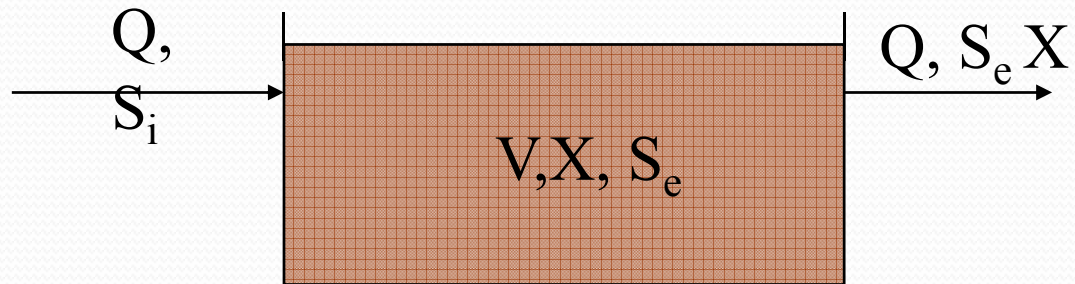
$$(1) \quad \mu = k_d + \frac{Q}{V} = k_d + \frac{1}{\theta}$$

$$\mu = \mu_m \left( \frac{S}{K_s + S} \right)$$

$$S = \frac{K_s \times (1 + k_d \theta)}{\theta \times (\mu_m - k_d) - 1}$$

Υπολογισμός BOD στην έξοδο  
δεξαμενής,  $S_e$

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (χωρίς ανακυκλοφορία)



$$\theta_c = \frac{VX}{QX} = \frac{V}{Q} = \theta$$

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (χωρίς ανακυκλοφορία)

$$\left. \begin{aligned} Y_o &= \frac{X}{S_i - S_e} \\ X &= \frac{Y \times (S_i - S_e)}{1 + (k_d \times \theta)} \end{aligned} \right\} Y_o = \frac{Y}{1 + k_d \theta c}$$

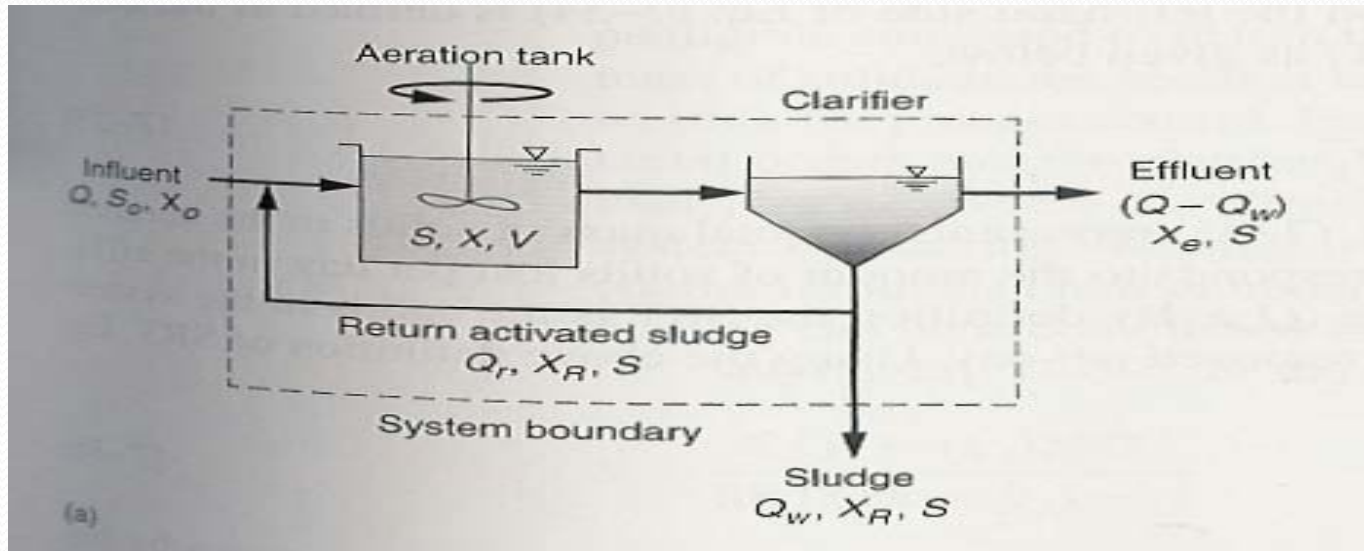
$Y_o$  = παρατηρούμενος συντελεστής μετατροπής υποστρώματος σε βιομάζα (mg VSS/mg COD)

$Q$  = παροχή αποβλήτων ( $\text{m}^3/\text{day}$ )

$S_i, S_e$  = υπόστρωμα εισόδου-εξόδου (mg/l)

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα  
(με ανακυκλοφορία)

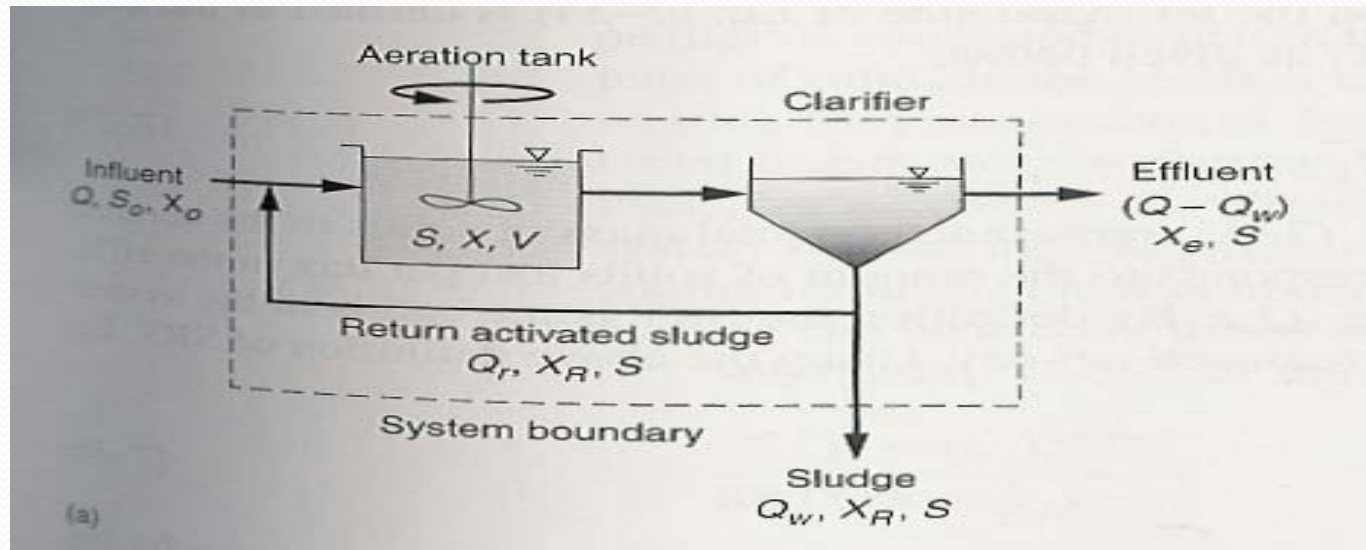


$$\theta = \frac{V}{Q}$$

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

# ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

## Σύστημα συνεχούς τροφοδοσίας με υπόστρωμα (με ανακυκλοφορία)



Ταχύτητα συσσώρευσης  $\mu/\omega\text{ν}$  στο σύστημα =  
ταχύτητα εισροής  $\mu/\omega\text{ν}$  – ταχύτητα εκροής  $\mu/\omega\text{ν}$  + αύξηση  $\mu/\omega\text{ν}$  μέσα στο  
σύστημα- φθορά  $\mu/\omega\text{ν}$  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)

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

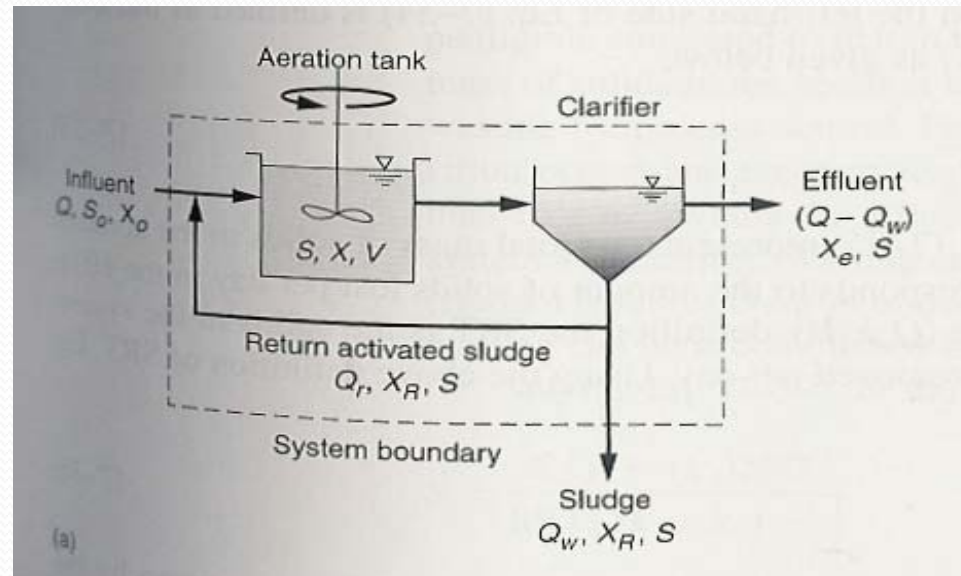
$q_{\max}$  = μέγιστη ειδική ταχύτητα απομάκρυνσης υποστρώματος =  $\mu_{\max} / Y$   
( g υποστρώματος  $g^{-1}$  μικροοργανισμών  $h^{-1}$ )  
 $S$  = συγκέντρωση BOD στα επεξεργασμένα απόβλητα (g BOD/ $m^3$ )

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

$sBOD_{out}$ : 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)

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

$$dS/dt = 0$$

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

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

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

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

MLVSS στη  $\Delta A$

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

Παράδειγμα 3

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

## Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

- ✓ Τσώνης Στ. (2004) Επεξεργασία Λυμάτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου (σελ. 217-227)
- ✓ Λέκκας Θ. (2001) Περιβαλλοντική Μηχανική ΙΙ – Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Εκδόσεις ΚΟΣΜΟΣ ΠΕΜΕΡ ΕΠΕ, (σελ. 155-169)
- ✓ Metcalf and Eddy (2006) *Μηχανική Αποβλήτων – Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*, 4<sup>η</sup> έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Ελλάδα (σελ. 265-270, 731-743)