



Τμήμα Χημικών Μηχανικών- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

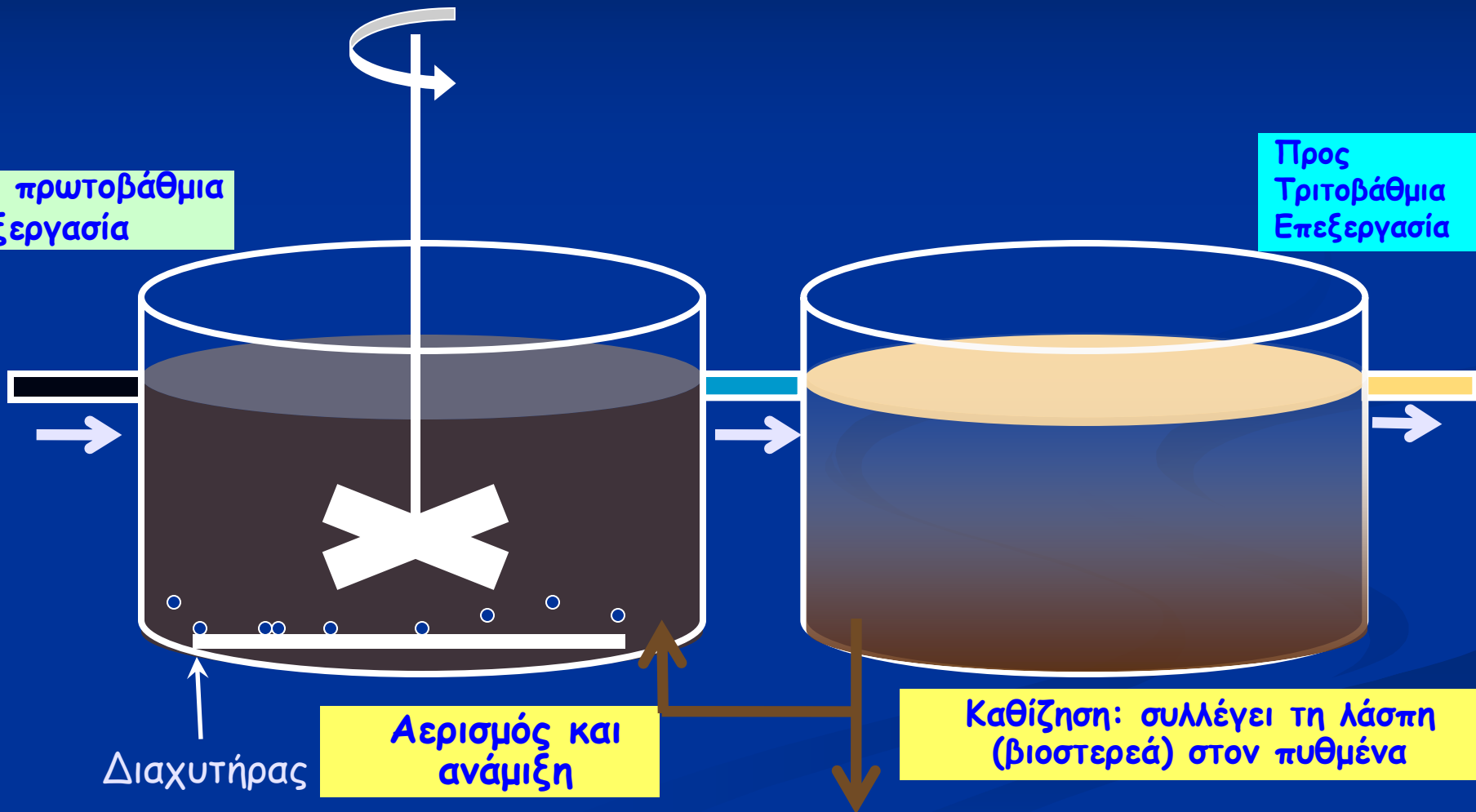
ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σταθερές και Υπολογισμός

Όγκου Βιολογικών Αντιδραστήρων

Από πρωτοβάθμια επεξεργασία

Προς Τριτοβάθμια Επεξεργασία



Κυριότεροι Συμβολισμοί – Σταθερές [1]

MLSS Mixed Liquid S.S., αιωρούμενα στερεά μικτού υγρού

MLVSS Mixed Liquid Volatile S.S., πτητικά αιωρούμενα στερεά
μικτού υγρού

$$\lambda = \frac{\text{MLVSS}}{\text{MLSS}}$$

0,7 – 0,8 ενεργός λάσπη συμβατική
0,5 – 0,6 εκτεταμένος αερισμός

S Συγκέντρωση υποστρώματος mg/L BOD₅, $\left\{ \begin{array}{l} S_0 \text{ εισόδου} \\ S_e \text{ εξόδου} \\ S_u \text{ μη βιοδιασπάσιμο} \end{array} \right.$

X $\left\{ \begin{array}{l} X_v \text{ MLVSS mg/L} \\ X \text{ MLSS mg/L} \end{array} \right.$

Κυριότεροι Συμβολισμοί – Σταθερές [2]

$$U = \frac{F}{M} = \frac{\text{τροφή, Kg BOD}_5}{\text{μικροοργανισμοί, Kg}}, \quad U = \frac{\text{Kg BOD}_5}{\text{Kg MLSS}} \quad \text{ή} \quad U = \frac{\text{Kg BOD}_5}{\text{Kg MLVSS}}$$

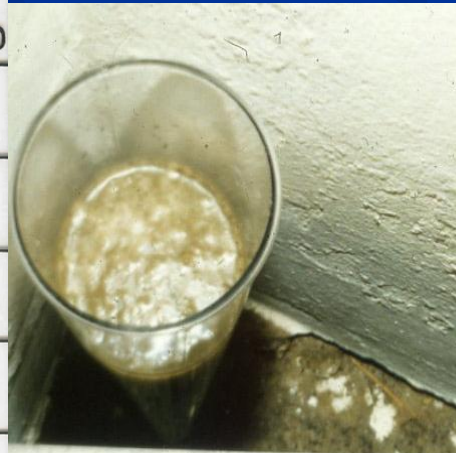
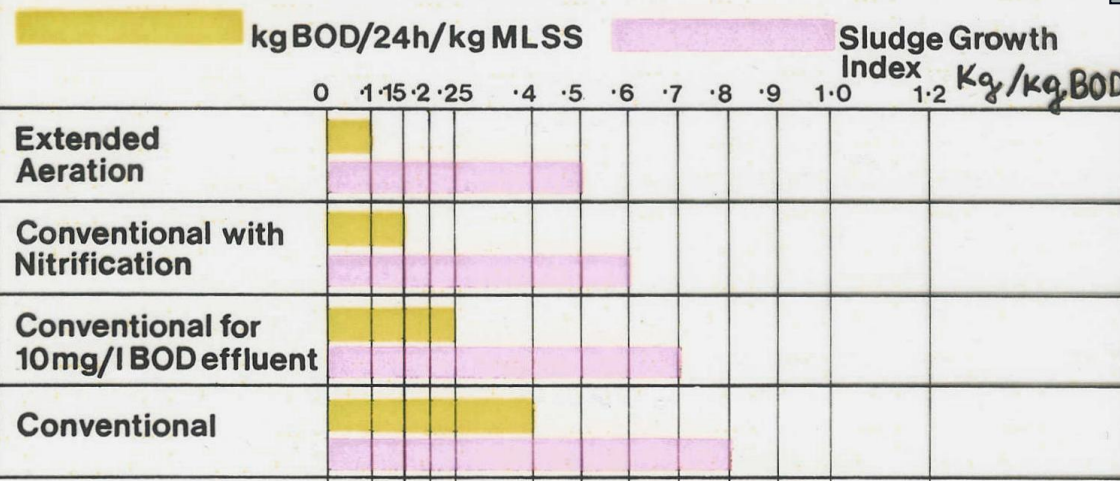
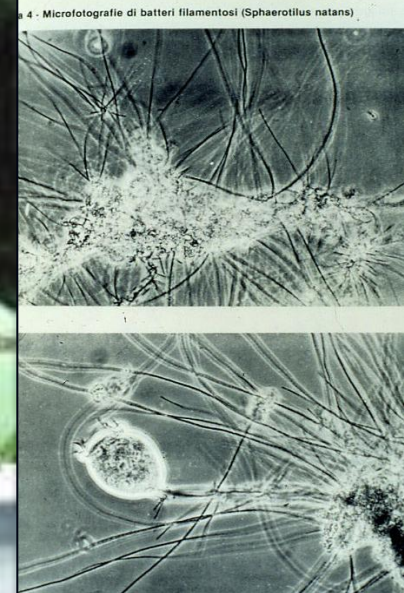
U είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει, τόσο την ειδική κατανάλωση O_2 ($\text{Kg } O_2/\text{Kg BOD}_5$) όσο και την ειδική παραγωγή λάσπης ($\text{Kg παραγόμενης λάσπης}/\text{Kg BOD}_5$), όπως φαίνεται στο Σχήμα που ακολουθεί.

Επίσης επηρεάζει την ταχύτητα καθίζησης και τη συνεκτικότητα της λάσπης, άρα το μέγεθος της καθίζησης.

Υψηλές τιμές **U** και χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου οδηγούν στην ανάπτυξη νηματοειδών μ/ο → μη καθίζηση λάσπης

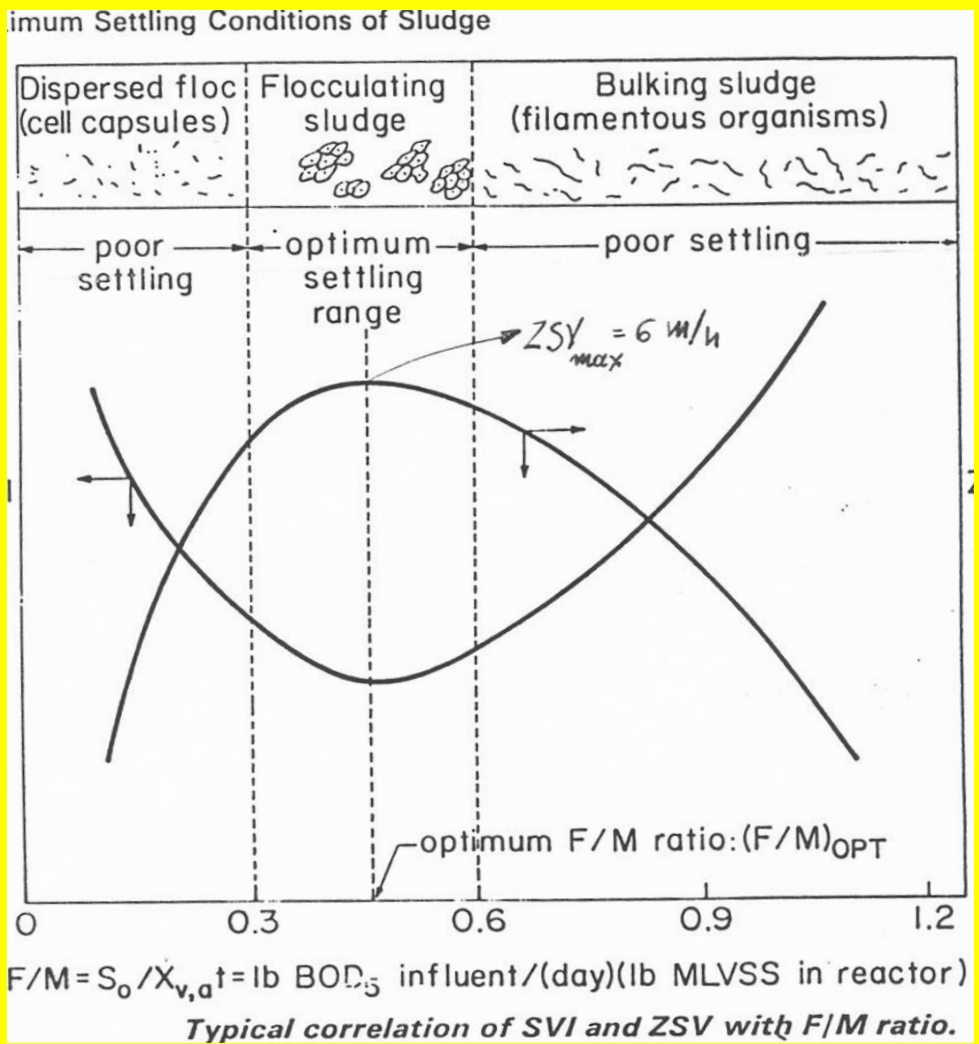
Επίδραση της παραμέτρου F/M στην ειδική κατανάλωση οξυγόνου και παραγωγή λάσπης

Mode of Treatment	O ₂ /24h(kg)					
	BOD/24h applied (kg)					
	0	0.55	0.85	1.25	1.65	2.0
Partial High Rate	Yellow					
Conventional for 20 mg/l BOD effluent	Pink					
Conventional for 10 mg/l BOD effluent	Yellow					
Conventional with nitrification	Pink					
	*mg/l N oxidised x 4.57 = additional mg/l O ₂ required					
Extended Aeration	Yellow					



Παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση [3]

Επίδραση F/M



SVI

ZSV

F/M

Κυριότεροι Συμβολισμοί – Σταθερές [3]

BOD_L Ολικό (τελικό) BOD

BOD₅ BOD 5 ημερών

$$BOD_5 = 0,68 BOD_L$$

- C** Συντελεστής ενδογενούς αναπνοής **C = 1,42 g O₂/g** κυττάρων
- K_s** (**mg/L**) σταθερά μισής ταχύτητας, συγκέντρωση υποστρώματος (BOD₅) στο μισό της μέγιστης ταχύτητας ανάπτυξης.
- Y** (**mg/mg**) αδιάστατο, μάζα κυττάρων που παράγονται ανά μάζα υποστρώματος που καταναλώνονται (**Kg/Kg BOD₅**) μέγιστη απόδοση στο τέλος της λογαριθμικής κλίμακας ανάπτυξης των μικροοργανισμών.
- Y_{obs}** πραγματική παραγωγή λάσπης συμπεριλαμβάνοντας την ενδογενή αναπνοή

Κυριότεροι Συμβολισμοί – Σταθερές [4]

$$k = \frac{\mu_m}{Y} d^{-1}$$

μέγιστη κατανάλωση υποστρώματος ανά μονάδα μάζας μικροοργανισμών (**mg BOD₅ removed/mg MLVSS·day**)

k'

$$\frac{1 \text{ (mg/L BOD}_5\text{)}}{\text{mg/L MLVSS} \cdot \text{d}}$$

απαιτούμενος χρόνος (d) για κατανάλωση **1 mg/L BOD₅** από **1 mg/L MLVSS**.

$$k \sim \frac{U}{k'}, d^{-1}$$

k_d d^{-1} συντελεστής ενδογενούς αναπνοής (καταστροφής)

θ υδραυλικός χρόνος παραμονής **d**, στον αντιδραστήρα

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

θ_s υδραυλικός χρόνος παραμονής στο σύστημα, **d**

$$\theta_s = \frac{V_a + V_\kappa}{Q}$$

θ_c ηλικία λάσπης, **d**

Θερμοκρασιακές σταθερές για διάφορες βιολογικές διεργασίες

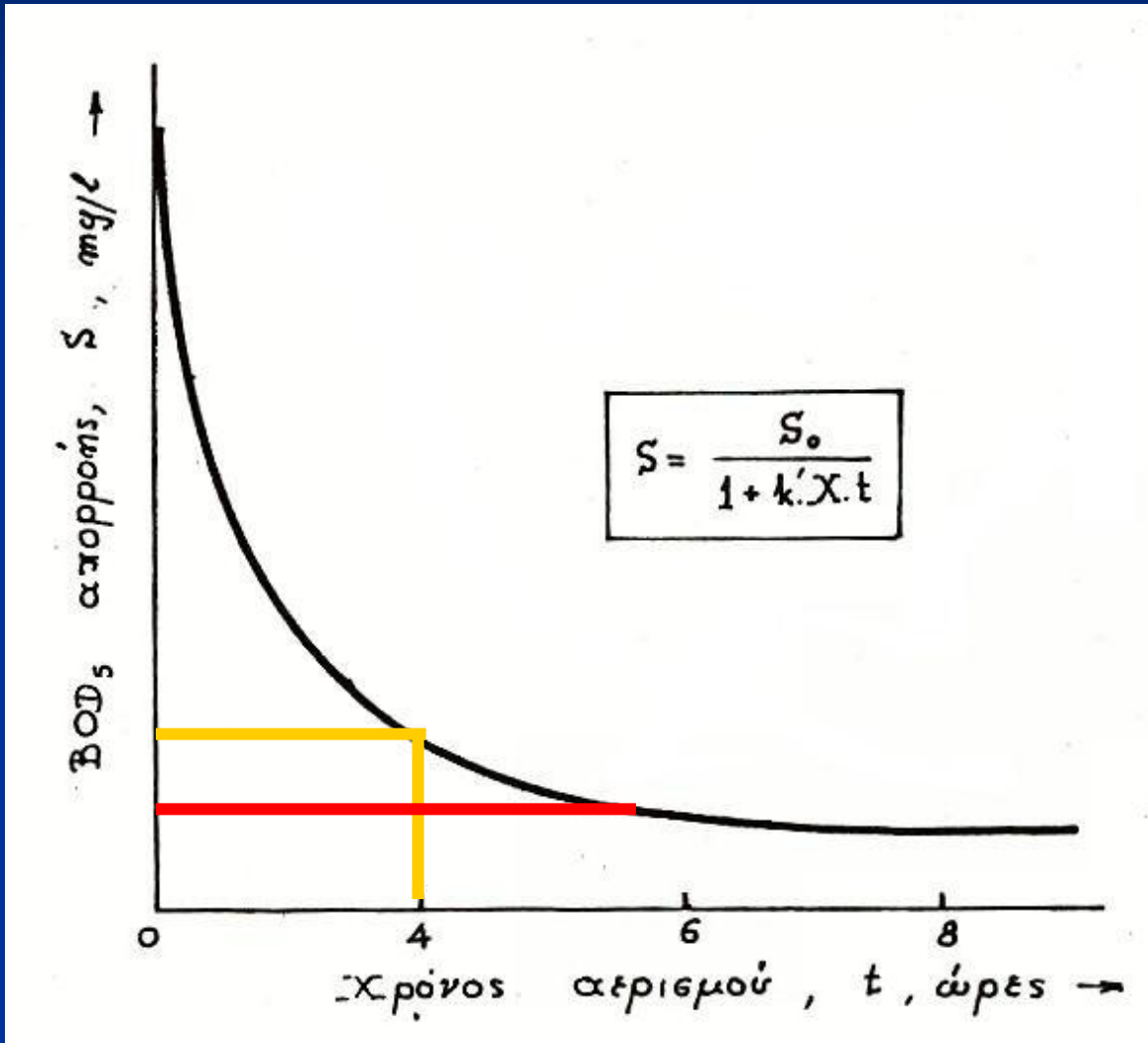
Διεργασία	Εύρος	Τυπική τιμή
Ενεργός λάσπη	1,00-1,04	1,02
Αεριζόμενες δεξαμενές (lagoons)	1,06-1,12	1,08
Βιολογικό φίλτρο	1,02-1,14	1,08

$$K_T = K_{20} \times \Theta^{T-20}$$

Κινητικές σταθερές για διεργασίες ενεργού λάσπης

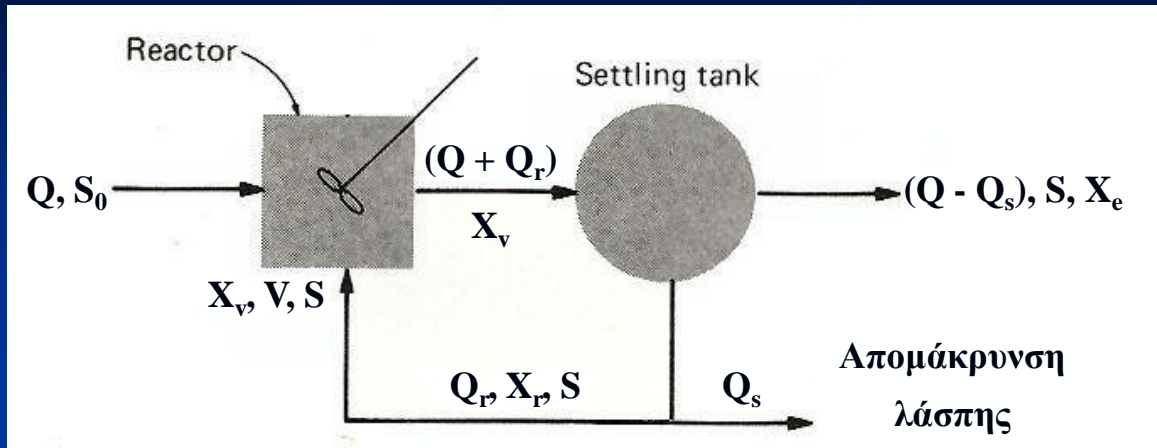
Συντελεστής	Μονάδες	Εύρος	Τυπική τιμή
k	d^{-1}	2-10	5,0 [mgBOD ₅ removed/mgMLVSS. d]
K_s	mg/L BOD ₅	25-100	60
	mg/L COD	15-70	40
Y	mg VSS/mg BOD ₅	0,4-0,8	0,6
	mg VSS/mg COD	0,25-0,4	0,4
k_d	d^{-1}	0,04-0,075	0,06

Ρυθμός απομακρύνσεως του BOD₅ για οργανικά απόβλητα, σε σχέση με το χρόνο αερισμού



Η απορρόφηση του οργανικού φορτίου είναι σχετικά σύντομη, γεγονός που απαιτεί προσοχή στη δυνατότητα παροχής O₂ στους πολύ-θαλάμους και PF αντιδραστήρες.

Υπολογισμός Όγκου Αντιδραστήρα CSTR [1]



$$X_r = 10000 \text{ mg/L MLSS}$$

$$X_{rv} = \lambda X_r \text{ mg/L MLVSS}$$

$$Q_r X_{rv} = (Q + Q_r) X_v$$

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{S_0 - S}{k' \cdot (X_v) S}, \text{ ημέρες}$$

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{S_0 - S}{k' \cdot (X_v) (S - S_u)}$$

$S_0 = \text{mg/L BOD}_5$ εισόδου

$S = \text{mg/L BOD}_5$ εξόδου, διαλυτό

$X_v = \text{mg/L MLVSS} = \lambda \cdot \text{MLSS}$

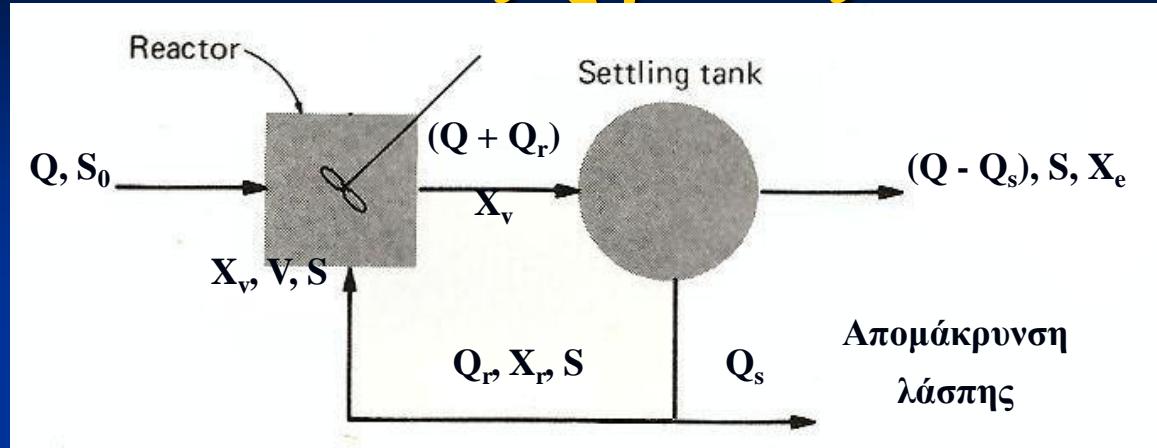
$$k' = \frac{1 \text{ (mg/L BOD)}}{\text{mg/L MLVSS} \cdot \text{day}}$$

$S_u = \text{μη βιοδιασπάσιμο}$

$$\text{απόδοση } n\% = \frac{S_0 - S}{S_0} 100 = \frac{100 \cdot k' S_0}{1 + \theta k' (X_v)}$$



Υπολογισμός Όγκου Αντιδραστήρα Συμβατικής επεξεργασίας



Άλλη προσέγγιση

$$V = \frac{\theta_c \cdot Q \cdot Y (S_0 - S)}{X_v (1 + k_d \cdot \theta_c)}$$

θ_c ηλικία λάσπης

Q παροχή m^3/d

(α) Y mg/mg παραγωγή λάσπης
(mg)/ mg BOD_5 removed

(β) k_d d^{-1} συντελεστής ενδογενούς αναπνοής

X_v mg/L MLVSS

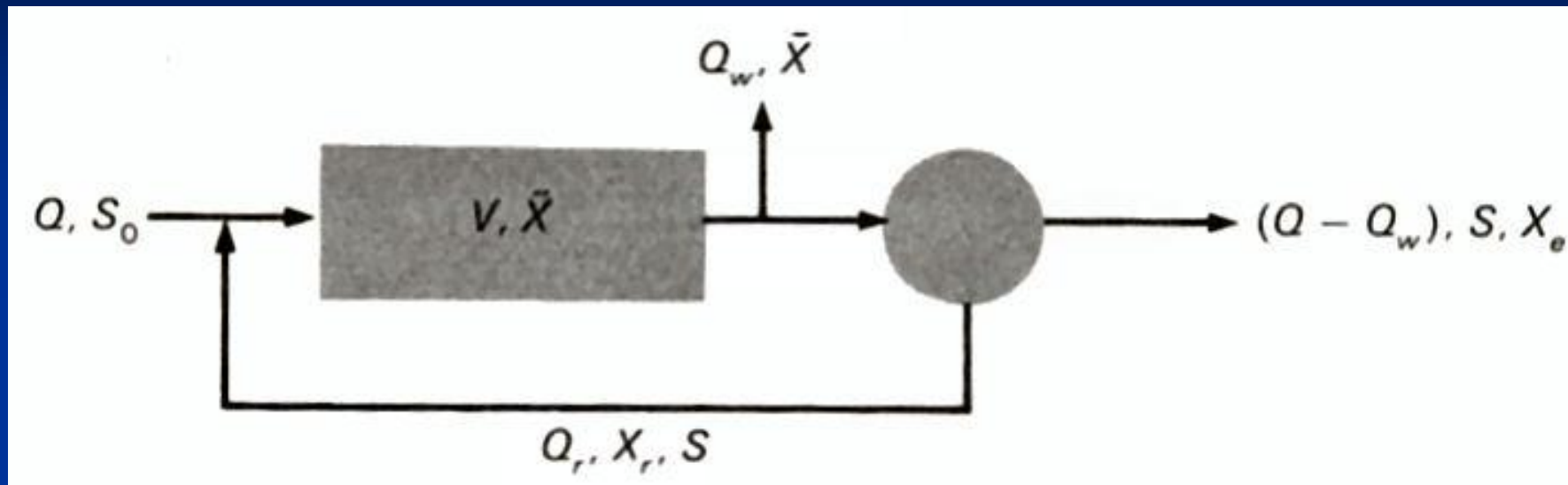
$S_0 = mg/L$ BOD_5 είσοδος

$S = mg/L$ BOD_5 έξοδος

Συμβατικός αντιδραστήρας ενεργού ιλύος



Υπολογισμός Όγκου Αντιδραστήρα PFR [1]



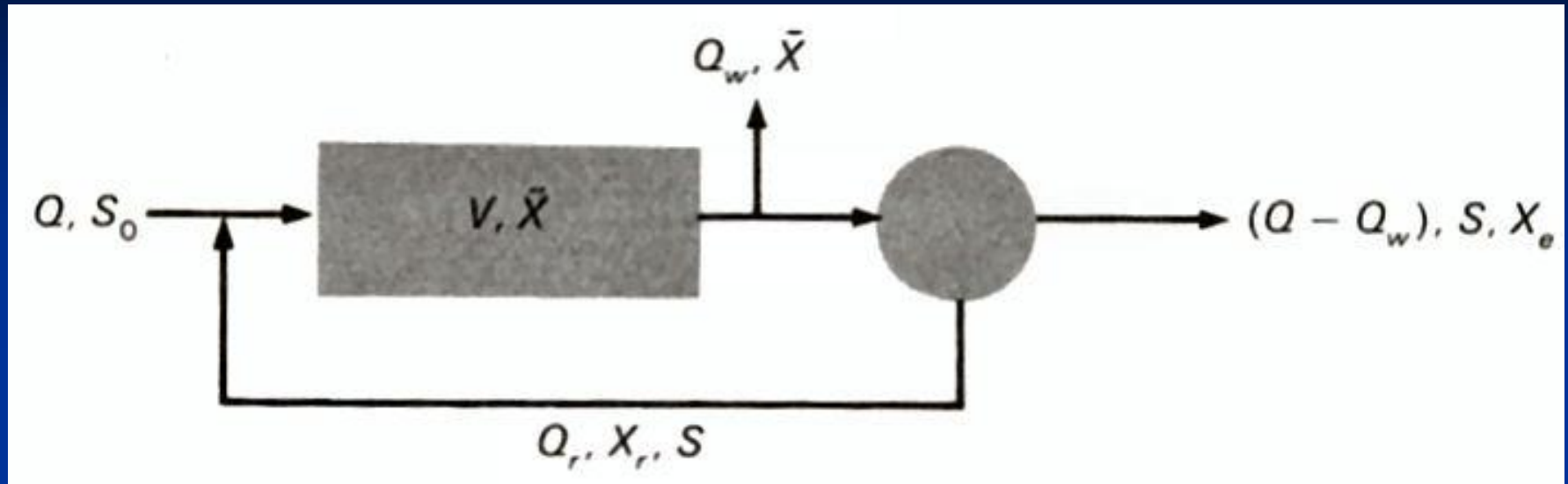
$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{1}{k' X_v} \ln \frac{S_0}{S}, \text{ ημέρες}$$

$S_0 = \text{mg/L BOD}_5$ εισόδου

$S = \text{mg/L BOD}_5$ εξόδου, διαλυτό

$$k' = \frac{\text{mg BOD}}{\text{mg MLVSS d}} = \frac{U}{k}$$

Υπολογισμός Όγκου Αντιδραστήρα PFR [2]



Άλλη προσέγγιση

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y \quad k'(S_0 - S)}{(S_0 - S) + (1+r)K_s \ln\left(\frac{S_i}{S}\right)} - k_d$$

$$S_i = \frac{S_0 + rS}{1+r}$$

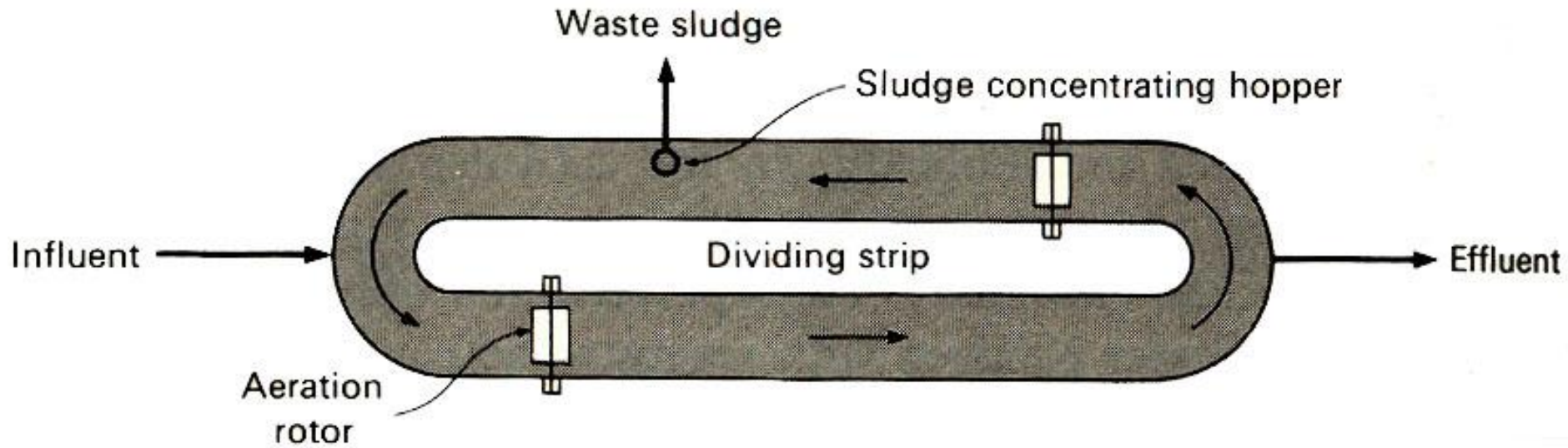
$$r = \frac{Q_r}{Q}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$$

$$U = \frac{Q(S_0 - S)}{VX_v} = \frac{F}{M}$$

Απαιτείται καθορισμός rX_v

Oxidation ditch - Arbitrary flow



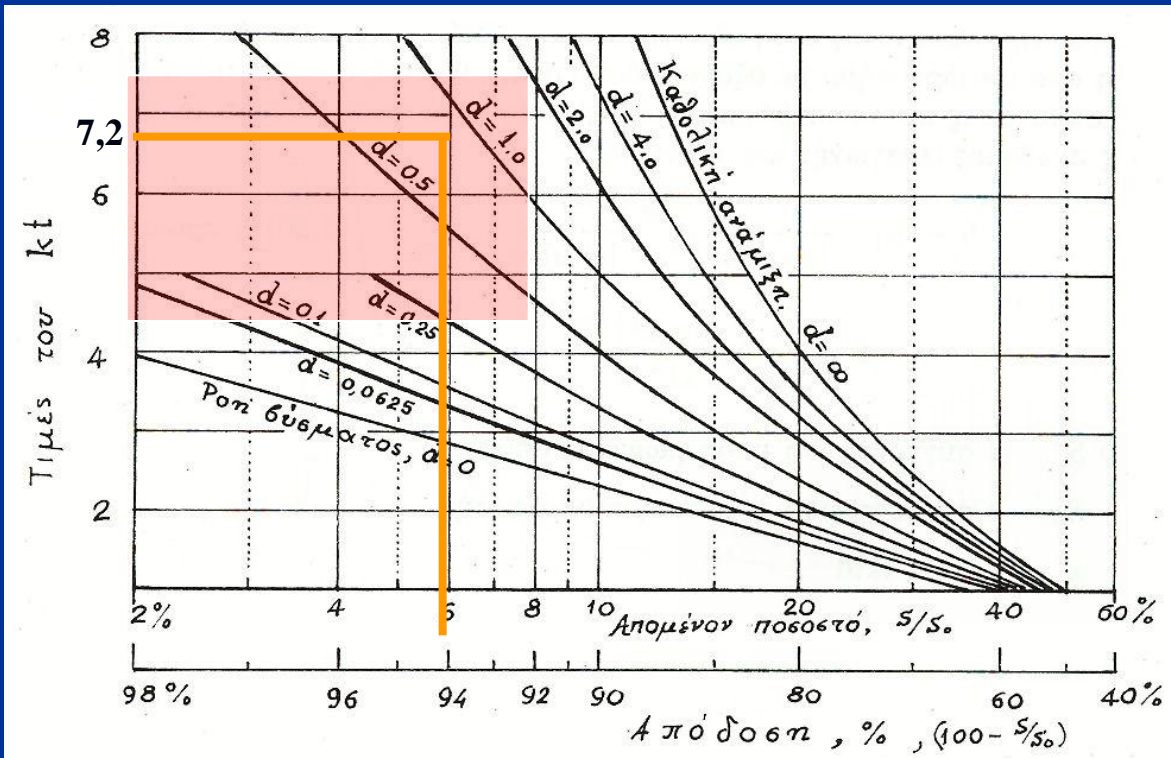
Βιολογική επεξεργασία σε οξειδωτική τάφρο



Υπολογισμός Oxidation Ditch

$$S = S_0 \frac{4\alpha e^{1/2d}}{(1+\alpha)e^{\alpha/2d} - (1-\alpha)e^{-\alpha/2d}} \rightarrow 0 \text{ για } d < 2$$

π.χ. $Kt=7,2 \rightarrow K(V/Q)=7,2 \rightarrow V=7,2(Q/K)$



$$\alpha = (1+4Ktd)^{1/2}$$

d συντελεστής διασποράς = D/uL

D συντελεστής αξονικής διασποράς, ft^3/h

u ταχύτητα υγρού, ft/h

L χαρακτηριστικό μήκος αντιδραστήρα, ft

K σταθερά αντίδρασης

$\theta=t$ χρόνος παραμονής, h

S_0 = mg/L BOD₅ είσοδος

S = mg/L BOD₅ έξοδος

Χαρακτηριστικά εκτεταμένου αερισμού

$$X = 3 - 4000 \text{ MLSS}$$

$$\theta = t = 20 - 30 \text{ h}$$

$$U = 0,05 - 0,15 \text{ Kg BOD/Kg MLVSS}$$

Υπολογισμός Απαιτούμενου Οξυγόνου

1. Συνολική απαίτηση οξυγόνου

$$O_2^T = O_2^C + O_2^N = \text{οξυγόνο για οξείδωση οργανικών} + \text{οξυγόνο για οξείδωση N} \rightarrow \text{NO}_3^-$$

2. Απαιτούμενο οξυγόνο για οξείδωση οργανικών ενώσεων

2.1 O_2^C Wastewater engineering

$$\text{kg } O_2/\text{d} = \text{kg/d BOD}_L - 1,42 \text{ kg/d } P_x \text{ ή}$$

$$\text{kg } O_2/\text{d} = \text{kg/d } \frac{\text{BOD}_5}{0,68} - 1,42 \text{ kg/d } P_x$$

$$P_x = \text{απομακρυνόμενη πτητική λάσπη} = \Delta X_v$$

2.2 O_2^C Μαριαντωνάτος - Ramalho

$$\text{kg } O_2/\text{d} = a' (\text{kg/d BOD}_5) + b' (\text{kg MLVSS αντιδραστήρα})$$

3. Οξείδωση αζωτούχων ενώσεων (νιτροποίηση)

$$\text{kg } O_2 = \text{kg } N_2 \times 4,57$$



Παράμετροι αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας

Υπολογισμός λάσπης

Υπολογισμός αέρα

Απόβλητα	k'	α	β	α'	β'
	$\frac{d \text{ (mg/L BOD)}}{\text{mg / L MLVSS}}$	(βάση BOD ₅) Y	$\eta\mu^{-1}$ k_d	(βάση BOD ₅)	$\eta\mu^{-1}$
1. Οικιακά λύματα	0,017-0,03	0,5-0,73	0,075-0,125	0,3-0,52	0,05-0,14
2. Γάλα	0,017	0,667	0,073	0,414	0,064
3. Φρούτα και λαχανικά	0,068	0,60	0,115	—	—
4. Ζυθοποιΐα	—	0,56	0,10	0,48	0,142
5. Διύλιση πετρελαίου	0,074	0,49-0,62	0,10-0,16	0,40-0,77	(0,142-0,227)*
6. Χημικά-πετροχημικά	0,0029-0,018	0,31-0,72	0,05-0,18	0,31-0,76	(0,07-0,256)*
7. Φαρμακευτικά	0,018	0,72-0,77	—	0,46	—
8. Παραγωγή χαρτοπολτού (Kraft) και λεύκανση	—	0,5	0,08	0,65-0,8	0,12
9. Συντελεστής θερμοκρασίας: $k'_T = k_{20} \cdot \Theta^{T-20}$, όπου $\Theta = 1,0-1,04$					
10. Οργανική φόρτιση: $OL = \frac{24S_o}{X_t} = 0,2 - 0,5 \text{ kg BOD}_5/\eta\mu.\text{ανά kg MLSS}$					
* Υπολογίστηκε σαν γινόμενο: $1,42 \times 6$					

k' απαιτούμενος χρόνος για την κατανάλωση υποστρώματος ανά mg/L MLVSS

Παράδειγμα

Να βρεθεί το διαλυτό BOD_5 εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων με χαρακτηριστικά επεξεργασμένων αποβλήτων $BOD_5 < 20 \text{ mg/L}$, $TSS < 20 \text{ mg/L}$, $T = 20^\circ\text{C}$.

Λύση

1. $VSS \approx [0,6=\lambda]TSS = 12 \text{ mg/L}$
2. $BOD_L = C \cdot VSS = 1,42 \cdot 12 = 17 \text{ mg/L}$
3. $BOD_5 = 0,68 \cdot BOD_L = 11,6 \text{ mg/L}$
4. Άρα το διαλυτό BOD_5 είναι $20 - 11,6 = 8,4 \text{ mg/L}$

Αν υποθέσουμε ότι πρόκειται για εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων με $S_o = 300 \text{ mg/L}$

Η απόδοση της εγκατάστασης θα είναι: $E_{\text{διαλ}} = \frac{300 - 8,4}{300} 100 = 97,2\%$

Ολική απόδοση: $E_o = \frac{300 - 20}{300} 100 = 93,4\%$