

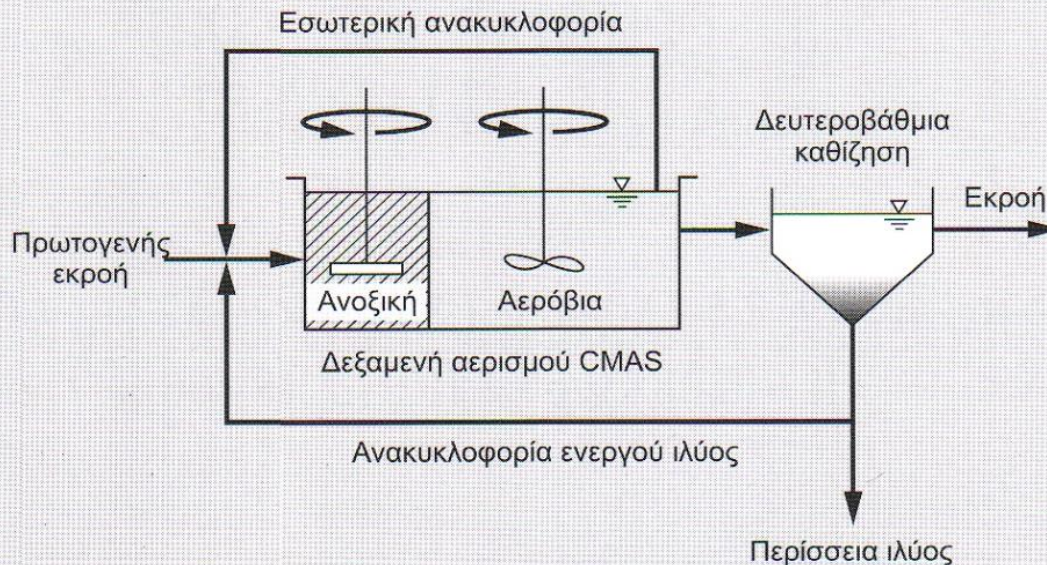
ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗ

Καθηγητής Π. Μελίδης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών
Αποβλήτων

Παράδειγμα 8-5

Σχεδιασμός Ανοξικής/ Αερόβιας διεργασίας Ο σχεδιασμός μιας προ- ανοξικής δεξαμενής για ένα σύστημα νιτροποίησης ενεργού ιλύος πλήρους ανάμιξης περιγράφηκε στο Παράδειγμα 8-2 για την παραγωγή μιας συγκέντρωσης εκροής του $\text{NO}_3\text{-N}$ ίσης προς 6.0 g/ m^3 . Ένα διάγραμμα ροής της διεργασίας φαίνεται παρακάτω. Η συνθήκη σχεδιασμού στηρίζεται στις ακόλουθες πληροφορίες από το Παράδειγμα 8-2.



Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων:

Συστατικό	Συγκέντρωση, g/ m ³
BOD	140
bCOD	224
rbCOD	80
NO _x	28.3
TP	6
Αλκαλικότητα	140 ως CaCO ₃

Συνθήκες σχεδιασμού:

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή
Παροχή εισροής	m^3/d	22 464
Θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	12
MLSS	g/m^3	3 000
MLVSS	g/m^3	2 370
Χρόνος παραμονής αερόβιας λάσπης SRT	d	12.5
Όγκος δεξαμενής αερισμού	m^3	8 466
Ενέργεια ανάμιξης	$\text{kW}/10^3 \text{m}^3$	10
Λόγος RAS	Αδιάστατο	0.6
R_o	kg/h	255

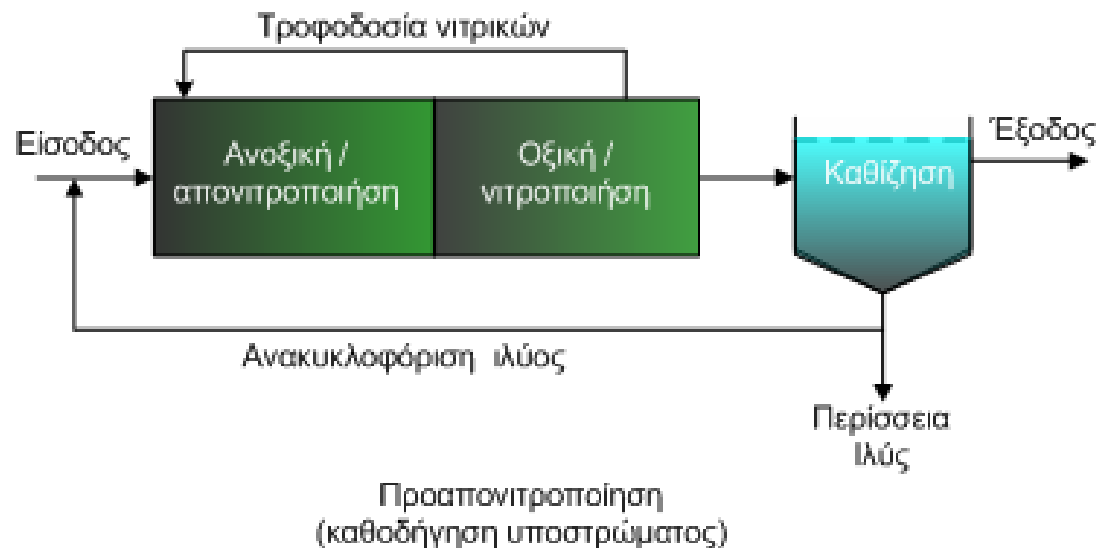
Πίνακας 2 (8-10). Συντελεστές κινητικής νιτροποίησης συστημάτων ενεργού ιλύος στους 20 °C

Συντελεστής	Μονάδα	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
μ_m	g VSS /g VSS.d	0,2-0,9	0,75
K_n	g NH ₄ -N/m ³	0,5-1	0,74
Y_n	g VSS / g NH ₄ -N	0,1-0,15	0,12
k_{dn}	g VSS /g VSS .d	0,05-0,15	0,08
K_o	g/m ³	0,4-0,6	0,5
$\theta_{τιμές}$			
μ_n	-	1,06-1,123	1,07
K_n	-	1,03-1,123	1,053
K_{dn}	-	1,03-1,08	1,04

Πίνακας 1 (8-10). Συντελεστές κινητικής συστημάτων ενεργού ιλύος για ετερότροφα βακτήρια στους 20 °C

Συντελεστής	Μονάδα	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
μ_m	g VSS /g VSS.d	3-13,2	6
K_s	g bCOD/m ³	5-40	20
Y	g VSS/ g bCOD	0,3-0,5	0,4
k_d	g VSS /g VSS .d	0,06-0,2	0,12
f_d	-	0,08-0,2	0,15
$\theta_{τιμές}$			
μ_m	-	1,03-1,08	1,07
k_d	-	1,03-1,08	1,04
K_s	-	1	1

1. Η συγκέντρωση των νιτρικών στο λόγο ανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος = 6 g/ m^3
2. Χρησιμοποιήστε τους ίδιους συντελεστές με το σχεδιασμό της διεργασίας της νιτροποίησης.
3. Η ενέργεια ανάμιξης για τον ανοξικό αντιδραστήρα = $10 \text{ kW/ } 10^3 \text{ m}^3$.



Λύση

1. Προσδιορίστε τη συγκέντρωση της ενεργού βιομάζας χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (7-43) και αντικαθιστώντας το V/Q για τ .

$$X_b = \left[\frac{Q(SRT)}{V} \right] \left[\frac{Y(S_o - S)}{1 + (k_d)SRT} \right]$$

όπου $S_o - S \approx S_o$

$$X_b = \frac{(22464 \text{ m}^3/\text{d})(12.5 \text{ d})(0.40 \text{ g VSS/g COD})(224 \text{ g bCOD/m}^3)}{[1 + (0.088 \text{ g/g} \cdot \text{d})(12.5 \text{ d})](8466 \text{ m}^3)}$$
$$= 1415 \text{ g/m}^3$$

Όπως φαίνεται η συγκέντρωση της βιομάζας του αντιδραστήρα είναι συνάρτηση

1. Του SRT του συστήματος
2. του χρόνου στην αερόβια δεξαμενή ($\tau = V/Q$)
3. του συντελεστή απόδοσης σύνθεσης
4. της ποσότητας του υποστρώματος που απομακρύνεται ($S_o - S$)
5. του συντελεστή ενδογενούς αναπνοής k_d

2. Προσδιορίστε το λόγο εσωτερικής ανακυκλοφορίας χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (8-48).

Συγκέντρωση $\text{NO}_3 - \text{N}$ στην αερόβια δεξαμενή = $N_e = 6.0 \text{ g/m}^3$

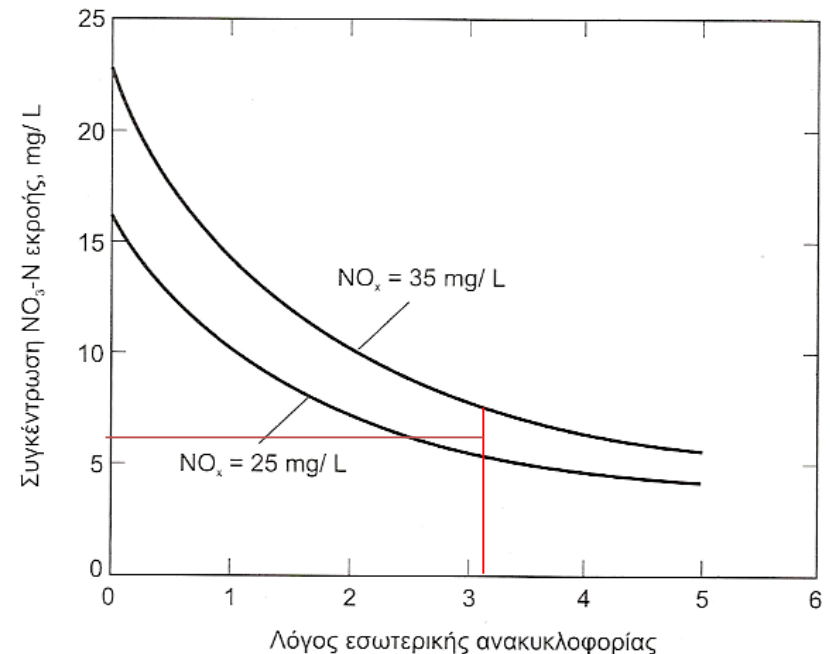
$$IR = \frac{\text{NO}_x}{N_e} - 1.0 - R = \frac{(28.3 \text{ g/m}^3)}{(6 \text{ g/m}^3)} - 1.0 - 0.60 = 3.1$$

IR = ο λόγος εσωτερική ανακυκλοφορίας
(παροχή εσωτερικής ανακυκλοφορίας/παροχή εισόδου)

R = RAS λόγος ανακυκλοφορίας ιλύος
(παροχή ανακυκλοφορίας ενεργού ιλύος/παροχή εισόδου)

NO_x = τα νιτρικά που παράγονται στην ζώνη αερισμού, ως συγκέντρωση σε σχέση με την παροχή εισόδου, $\text{mg}/\text{NO}_3\text{-N}/\text{L}$

N_e = συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ στην έξοδο, mg/L



3. Προσδιορίστε το ποσό του $\text{NO}_3\text{-N}$ που τροφοδοτείται στην ανοξική δεξαμενή.
Παροχή στην ανοξική δεξαμενή = $IR Q + R Q$

$$\begin{aligned} \text{Παροχή στην ανοξική δεξαμενή} &= IR Q + R Q \\ &= 3.1(22\,464\text{ m}^3/d) + 0.60(22\,464\text{ m}^3/d) = 83\,117\text{ m}^3/d \\ \text{Τροφοδοσία } \text{NO}_x &= (83\,117\text{ m}^3/d)(6.0\text{ g/m}^3) = 497\,700\text{ g/d} \end{aligned}$$

4. Προσδιορίστε τον ανοξικό όγκο.

Ως μια πρώτη προσέγγιση, χρησιμοποιήστε χρόνο παραμονής = 2.5 h

$$\tau = \frac{2.5 \text{ h}}{(24 \text{ h/d})} = 0.104 \text{ d}$$

$$V_{nox} = \tau \times Q = 0.104 \text{ d} (22\,464 \text{ m}^3/\text{d}) = 2336 \text{ m}^3$$

5. Προσδιορίστε το F/M_b χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (8-43).

$$\frac{F}{M_b} = \frac{QS_o}{V_{nox}(X_b)} = \frac{(22464 \text{ m}^3/\text{d})(140 \text{ g BOD/m}^3)}{(2336 \text{ m}^3)(1415 \text{ g/m}^3)} = 0.95 \text{ g/g} \cdot \text{d}$$

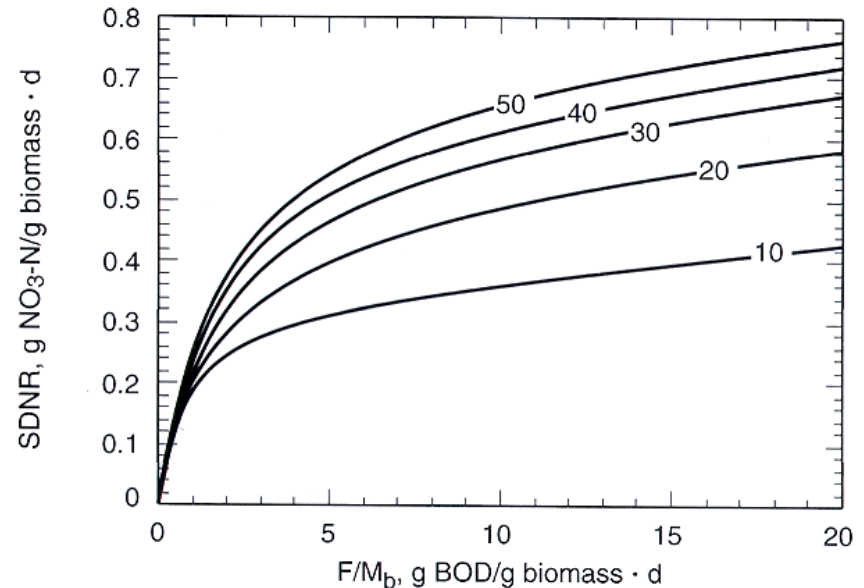
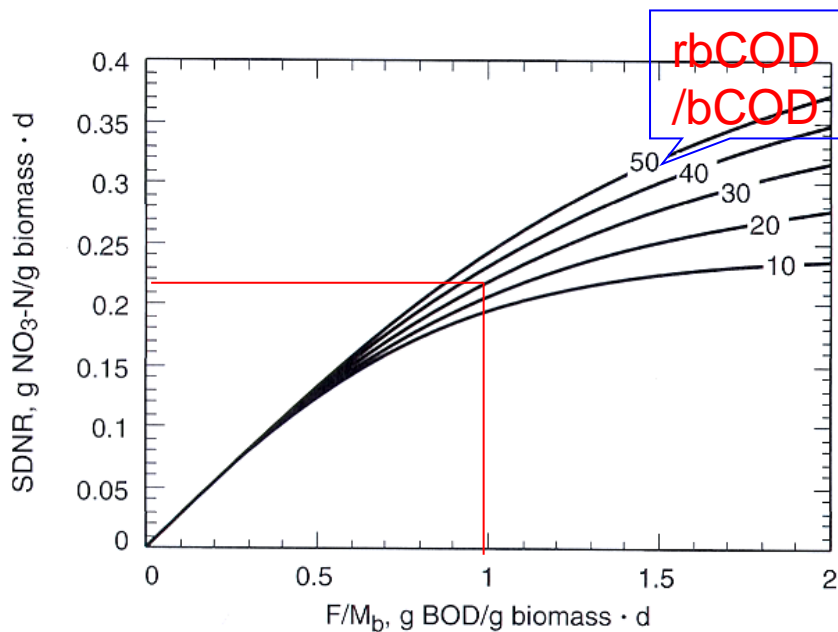
6. Προσδιορίστε το SDNR χρησιμοποιώντας την καμπύλη με ένα F/M_b με εύρος από 0 έως 2 που δίνεται στο Σχήμα 8-23.

$$\text{Κλάσμα του } rbCOD = \frac{rbCOD}{bCOD} = \left(80 \text{ g/m}^3\right) \left(224 \text{ g/m}^3\right) = 0.36 = 36\%$$

Από το Σχήμα 8-23, $SDNR_b = 0.22 \text{ g/g} \cdot \text{d}$ στους 20°C

Εφαρμόστε τη διόρθωση για τη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (8-44):

$$SDNR_{12} = 0.22(1.026)^{12-20} = 0.18 \text{ g/g} \cdot \text{d}$$



Οι τιμές του SDNR που παρατηρούνται σε εγκαταστάσεις πλήρους κλίμακας, από 20-25°C κυμαίνονται:

SDNR	Προ-ανοξική	Μετα-ανοξική
gNO ₃ -N/gMLVSS _d	0,04-0,42	0,01-0.04

Παρατηρούμε ότι η τιμή 0,18 g/g_d βρίσκεται μεταξύ των βιβλιογραφικά αναφερόμενων τιμών

7. Προσδιορίστε το ποσό του $\text{NO}_3\text{-N}$ που μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (8-41).

α. Ελέγξτε το NO_r , σε $t = 2.5$ h.

$$\begin{aligned} \text{NO}_r &= (V_{\text{nox}})(\text{SDNR})(\text{MLVSS, βιομάζα}) \\ &= (2336 \text{ m}^3)(0.18 \text{ g/g} \cdot \text{d})(1415 \text{ g/m}^3) = 592,206 \text{ g/d} \end{aligned}$$

Συγκρίνοντας τα 592 206 g/ d έναντι των 498 700 g/ d, υπάρχει περίπου 20 % περισσότερη ικανότητα απομάκρυνσης νιτρικών. Συνεπώς, το $t = 2.5$ h είναι αποδεκτό αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαμηλότερος χρόνος παραμονής.

β. Εκτιμήστε μια νέα τιμή για το τ .

Επιλέξτε νέο τ . Εάν χρησιμοποιηθεί το ίδιο SDNR, $\tau = 2.5 \text{ h} / 1.2 = 2.0 \text{ h}$, το οποίο όμως θα είναι υψηλότερο εξαιτίας του υψηλότερου λόγου F/M για μικρότερο ανοξικό αντιδραστήρα. Συνεπώς, δοκιμάστε $\tau = 1.5 \text{ h}$.

$$V_{nox} = \left(\frac{1.5 \text{ h}}{24 \text{ h/d}} \right) (22464 \text{ m}^3/\text{d}) = 1404 \text{ m}^3$$

Σύγκριση με τα
2336 m³

$$\frac{F}{M_b} = \frac{QS_o}{V_{nox}(X_b)} = \frac{(22464 \text{ m}^3/\text{d})(140 \text{ g BOD/m}^3)}{(1404 \text{ m}^3)(1415 \text{ g/m}^3)} = 1.58 \text{ g/g} \cdot \text{d}$$

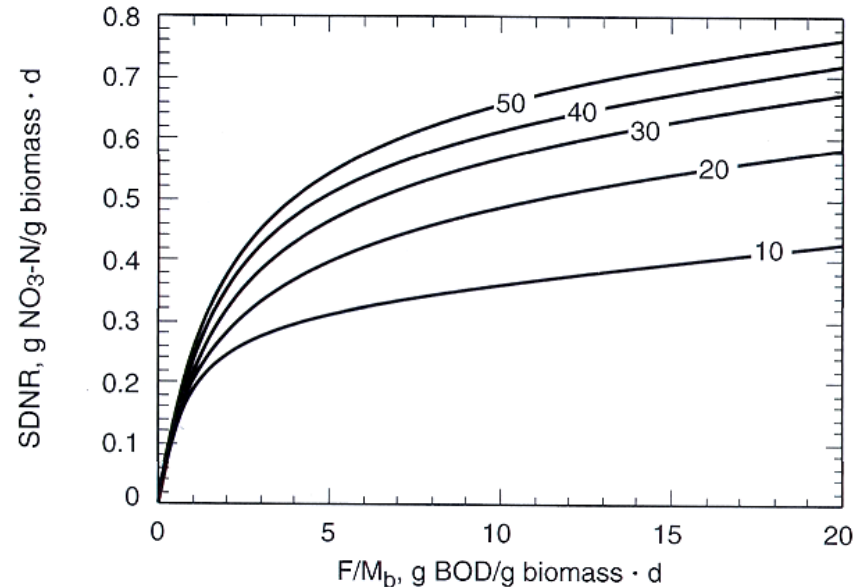
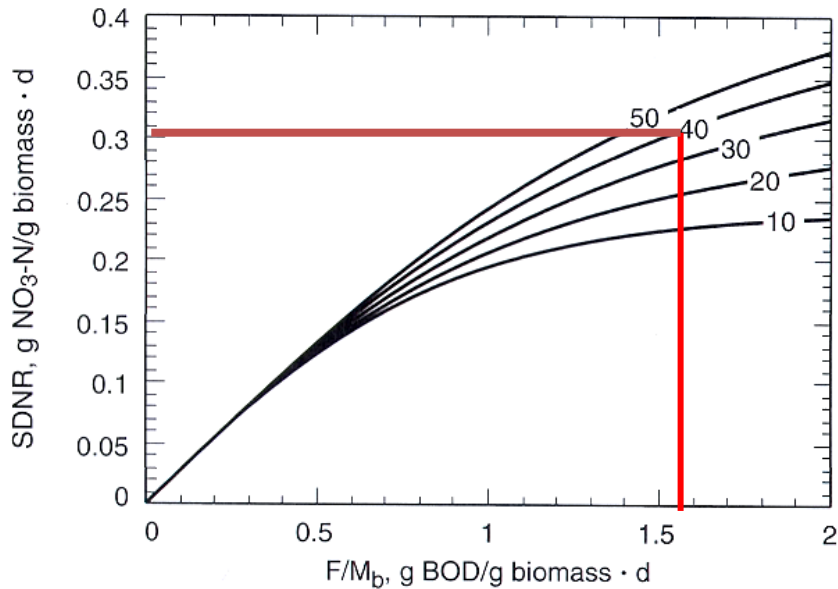
Σύγκριση με το
0.95

γ. Προσδιορίστε νέες τιμές για το SDNR.

Χρησιμοποιώντας το Σχήμα 8-23, για SDNR στους 20°C, τμήμα rbCOD = 0.36

$$SDNR_{20} = 0.31 \text{ g/g} \cdot \text{d}$$

$$SDNR_{12} = 0.31(1.026)^{12-20} = 0.25 \text{ g/g} \cdot \text{d}$$



δ. Προσδιορίστε το ποσό των νιτρικών που μπορεί να αναχθεί χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (8-41).

$$NO_r = (0.25 \text{ g/g} \cdot d)(1404 \text{ m}^3)(1415 \text{ g/m}^3) = 501541 \text{ g/d}$$

$$\text{Λόγος ικανότητας} = \frac{501541}{498700} = 1.01$$

συνεπώς $\tau = 1.5 \text{ h}$ είναι αποδεκτό.

ε. Συγκρίνετε την υπολογισμένη τιμή με τις συμβατικές παρατηρούμενες τιμές του SDNR, με βάση τα MLSS.

$$SDNR(MLSS) = (0.25) \left(\frac{X_b}{X_T} \right) = (0.25) \left(\frac{1415}{3000} \right) = 0.12 \text{ g/g} \cdot d$$

Η υπολογισμένη τιμή είναι εντός του εύρους των καταγεγραμμένων τιμών του SDNR (0.04 με 0.42 g/ g d).

8. Προχωρήστε στο σχεδιασμό του βήματος της νιτροποίησης και προσδιορίστε το καθαρό οξυγόνο που είναι αναγκαίο.

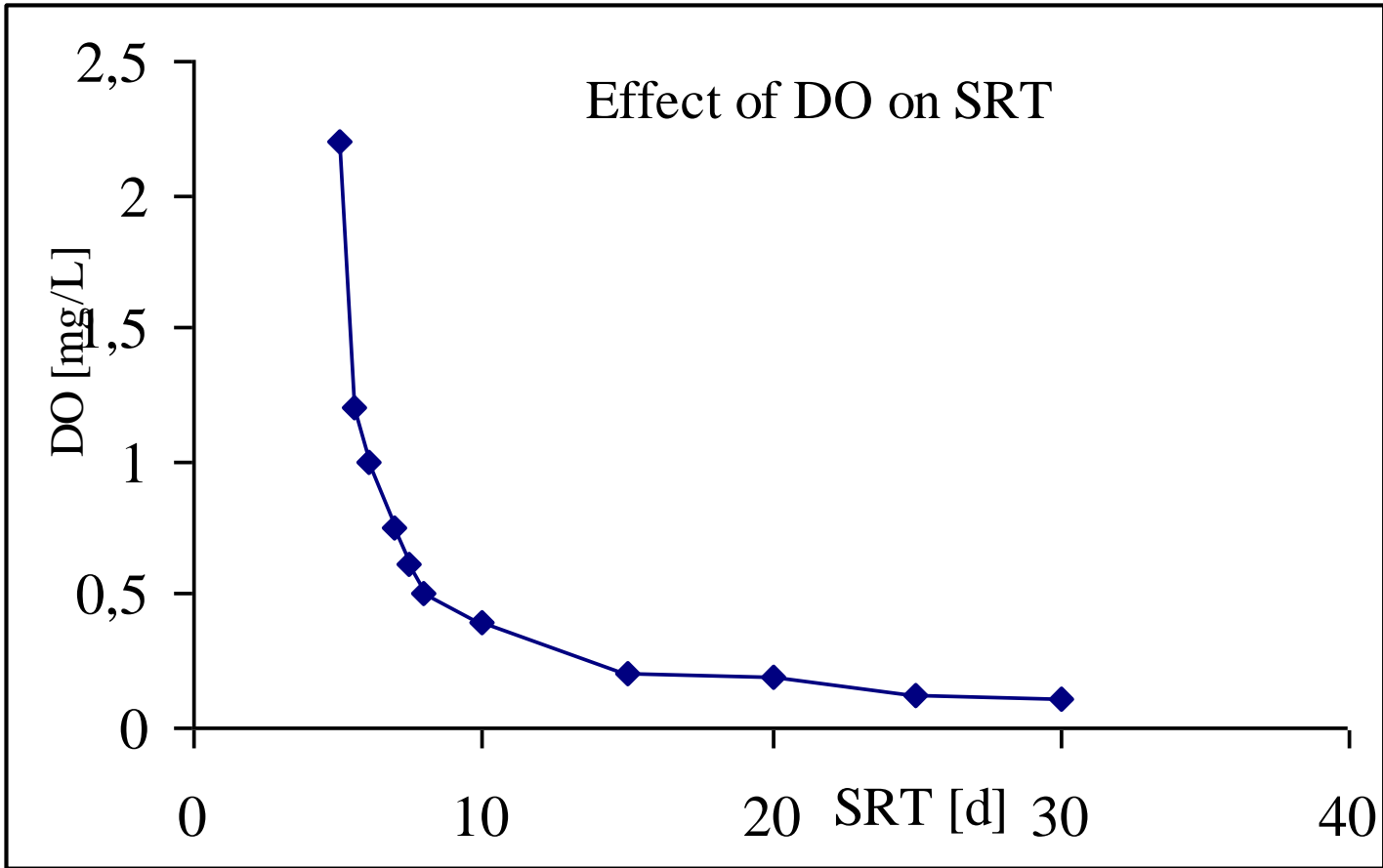
$$R_o \text{ (χωρίς απονιτροποίηση)} = 255 \text{ kg/h (βλ. βήμα 17 Παράδειγμα 8-2)}$$

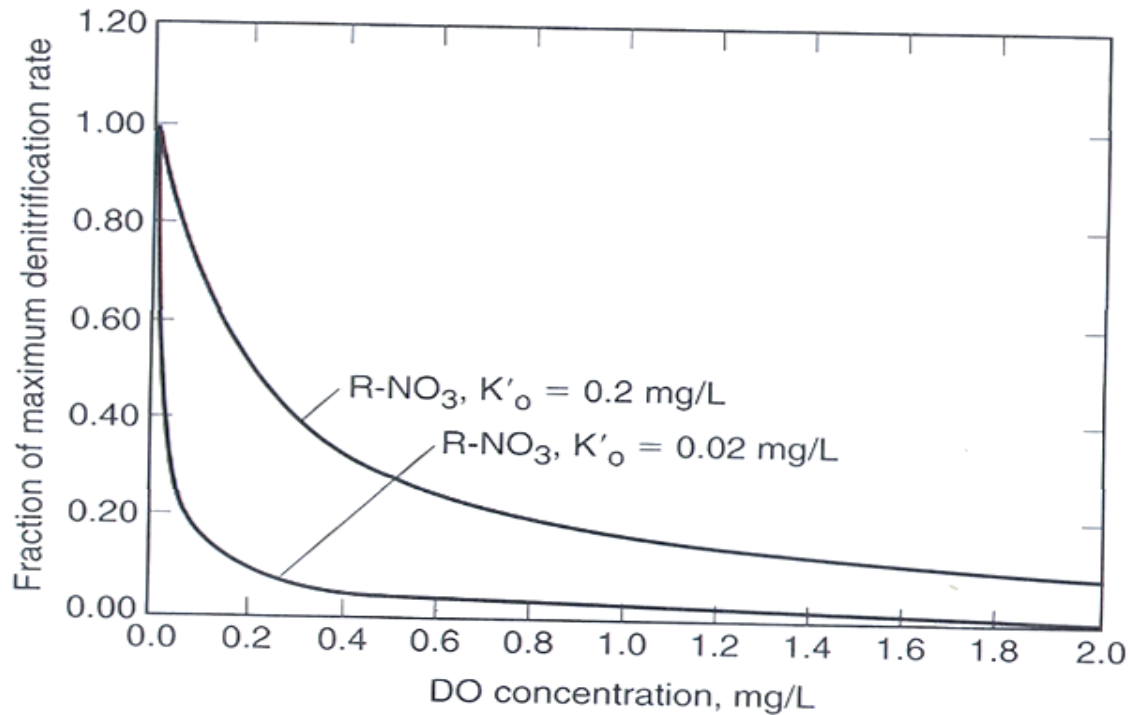
Το ποσό του οξυγόνο που παρέχεται από την αναγωγή των νιτρικών είναι όπως ακολουθεί:

$$\begin{aligned} \text{Οξυγόνο} &= \left(\frac{2.86 \text{ g } O_2}{\text{g } NO_3 - N} \right) \left[(28.3 - 6.0) \text{ g/m}^3 \right] \left(\frac{22464 \text{ m}^3}{d} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right) \\ &= 1433 \text{ kg/d} = 59.7 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

$$\text{Καθαρό } O_2 \text{ που απαιτείται} = R_o = (255 - 59.7) \text{ kg/h} = 195.3 \text{ kg/h}$$

Παρατηρήστε ότι ο απαιτούμενος ρυθμός αερισμού θα μειωθεί σε αναλογία με το χαμηλότερο R_o . Το οξυγόνο που είναι αναγκαίο μπορεί να μειωθεί κατά 23.4 %.





Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στον ρυθμό απονιτροποίησης φαίνεται στο διάγραμμα για τιμές $K'_{o} = 0,02$ και $0,2$ mg/L. Σε συγκέντρωση $0,2$ mg/L ο ρυθμός απονιτροποίησης θα είναι 10-50% του μέγιστου ρυθμού.

9. Έλεγχος της αλκαλικότητας.

α. Προετοιμάστε ένα ισοζύγιο μάζας για την αλκαλικότητα.

Αλκαλικότητα που θα προστεθεί για να διατηρηθεί $pH \sim 7$

Αλκαλικότητα της εισροής

Αλκαλικότητα που χρησιμοποιήθηκε

Αλκαλικότητα που παράχθηκε

i. Αλκαλικότητα της εισροής = 140 g/m^3 ως CaCO_3

ii. Αλκαλικότητα που χρησιμοποιήθηκε = $7.14 (28.3 \text{ g NO}_3\text{-N/m}^3) = 202.1 \text{ g/m}^3$

iii. Αλκαλικότητα που παράχθηκε = $3.57 [(28.3-6) \text{ g/m}^3] = 79.6 \text{ g/m}^3$

iv. Αλκαλικότητα που θα προστεθεί για να διατηρηθεί ουδέτερο $pH = 80 \text{ g/m}^3$ ως CaCO_3

Κατανάλωση
 $7,14 \text{ gCaCO}_3/\text{gNH}_4\text{-N}$

Παραγωγή 3,57
 $\text{gCaCO}_3/\text{gNO}_3\text{-N}$

202.1

β. Λύστε την παραπάνω εξίσωση για την αλκαλικότητα που θα προστεθεί.

$$\begin{aligned} \text{Αλκαλικότητα που θα προστεθεί} &= (80 - 140 + 220.1 - 79.6) \text{ g/m}^3 \\ &= 62.5 \text{ g/m}^3 \text{ ως } \text{CaCO}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Μάζα της αλκαλικότητας που χρειάζεται} &= (62.5 \text{ g/m}^3) (22\,464 \text{ m}^3/\text{d}) (1 \text{ kg}/10^3 \text{ g}) \\ &= 1404 \text{ kg/d} \text{ ως } \text{CaCO}_3 \end{aligned}$$

γ. Συγκρίνετε την αλκαλικότητα που χρειάζεται μόνο για τη νιτροποίηση.

Για το σχεδιασμό μόνο της νιτροποίησης, η αλκαλικότητα που είναι αναγκαία ήταν 3 203 kg/ d

$$\text{Εξοικονόμηση αλκαλικότητας} = 3\,203 - 1\,404 = 1\,799 \text{ kg/d}$$

10. Προσδιορίστε την ενέργεια ανάμιξης της ανοξικής ζώνης.

$$\text{Ενέργεια ανάμιξης} = 10 \text{ kW}/10^3 \text{ m}^3 \text{ (από την εκφώνηση)}$$

$$\text{Όγκος} = 1404 \text{ m}^3$$

$$\text{Ισχύς} = (1404 \text{ m}^3)(10 \text{ kW}/10^3 \text{ m}^3) = 14 \text{ kW ολική}$$

11. Προετοιμάστε περίληψη του ανοξικού σχεδιασμού.

Αντικείμενο	Μονάδα	Τιμή
Εκροή NO ₃ -N	g/ m ³	6.0
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας	αδιάστατο	3.1
Λόγος ανακυκλοφορίας RAS	αδιάστατο	0.6
Ανοξικός όγκος	m ³	1404
MLSS	g/ m ³	3000
Ολικό SDNR	g NO ₃ -N/ g MLSS·d	0.13
Χρόνος παραμονής	h	2.5
Ενέργεια ανάμιξης	kW	1.4
Αλκαλικότητα που είναι αναγκαία	kg/ d ως CaCO ₃	1393

Βιβλιογραφία

1. Wastewater Engineering-Treatment and Reuse
G. Tchobanoglous, F. Burton, H. Stensel, Metcalf & Eddy, Inc,
2. Biological wastewater treatment
L. Grady, G. Daigger, H. Lim, Marcel Dekker, Inc., New York