



ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΖΩΤΟΥΧΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Καθηγητής Π. Μελίδης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών
Αποβλήτων



1. Βιολογική απονιτροποίηση

Γενικά

Η βιολογική αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδες, οξείδιο του αζώτου, πρωτοξειδίου του αζώτου και άζωτο ονομάζεται απονιτροποίηση.

Η βιολογική απονιτροποίηση είναι ένα εσωτερικό κομμάτι της βιολογικής αφαίρεσης του αζώτου η οποία περιλαμβάνει τα βήματα της νιτροποίησης και απονιτροποίησης.



Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

Στις βιολογικές διεργασίες η αφαίρεση των νιτρικών επιτυγχάνεται κατά δύο τρόπους, την αφομοίωση (assimilation) και την αναπνοή (dissimilation) των νιτρικών

Η αφομοίωση των νιτρικών περιλαμβάνει την αναγωγή των νιτρικών σε αμμωνία για την σύνθεση των κυττάρων.

Αφομοίωση λαμβάνει χώρα όταν δεν είναι παρόν $\text{NH}_4\text{-N}$ και αυτό εξαρτάται από την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO).



Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

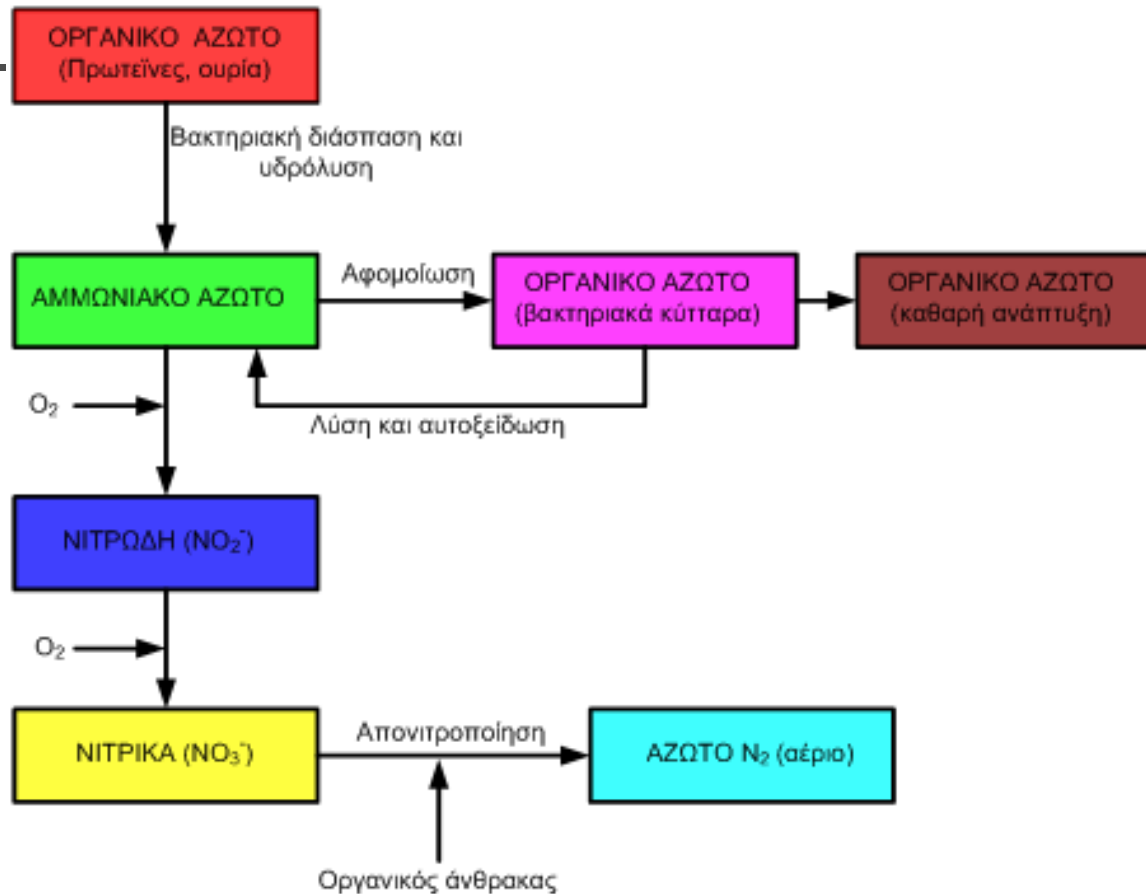
Από την άλλη μεριά η αναγωγή των νιτρικών με αναπνοή είναι συνδεδεμένη με την αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων και τα νιτρικά ή τα νιτρώδη χρησιμοποιούνται για να παραλάβουν τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται κατά την οξείδωση των οργανικών ενώσεων.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ομάδες μ/ο	Πηγή C	Δότες e ⁻	Δέκτες e ⁻	Προϊόντα	Χαρακτηριστικά
Πρωτογενείς αποικοδομητές	Οργ. C (διαλυτός)	Οργ. C			Χημειο-οργανό-ετερότροφα βακτήρια
			O ₂	CO ₂ , NH ₄ ⁺	- αερόβια βακτήρια
			NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	- αναγωγείς NO ₃ ⁻
			NO ₃ ⁻ και NO ₂ ⁻	N ₂	- απονιτροποιητές
		Οργ. C	Οργ. C	-αναερόβια βακτήρια	
Δευτεροταγείς αποικοδομητές	Οργ. C (σωματηδιακός)	Οργ. C	O ₂	CO ₂ , NH ₄ ⁺	Βλεφαριδωτά, μετάζωα
					Χημείο-λιθο-αυτότροφα βακτήρια ειδικά:
Νιτροποιητές	CO ₂	NH ₄ ⁺	O ₂	NO ₃ ⁻	Οξειδωτές NH ₄ ⁺
	CO ₂	NO ₂ ⁻	O ₂	NO ₃ ⁻	Οξειδωτές NO ₂ ⁻

Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας



Μετατροπές του αζώτου στις βιολογικές διαδικασίες μετατροπής του αζώτου

Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

Απονιτροποιητική διεργασία με προτροπή υποστρώματος

Αποτελείται από μια ανοξική δεξαμενή την οποία ακολουθεί μια δεξαμενή αερισμού, όπου και λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση.

Τα νιτρικά που παράγονται στην δεξαμενή αερισμού ανακυκλοφορούνται στην ανοξική δεξαμενή.

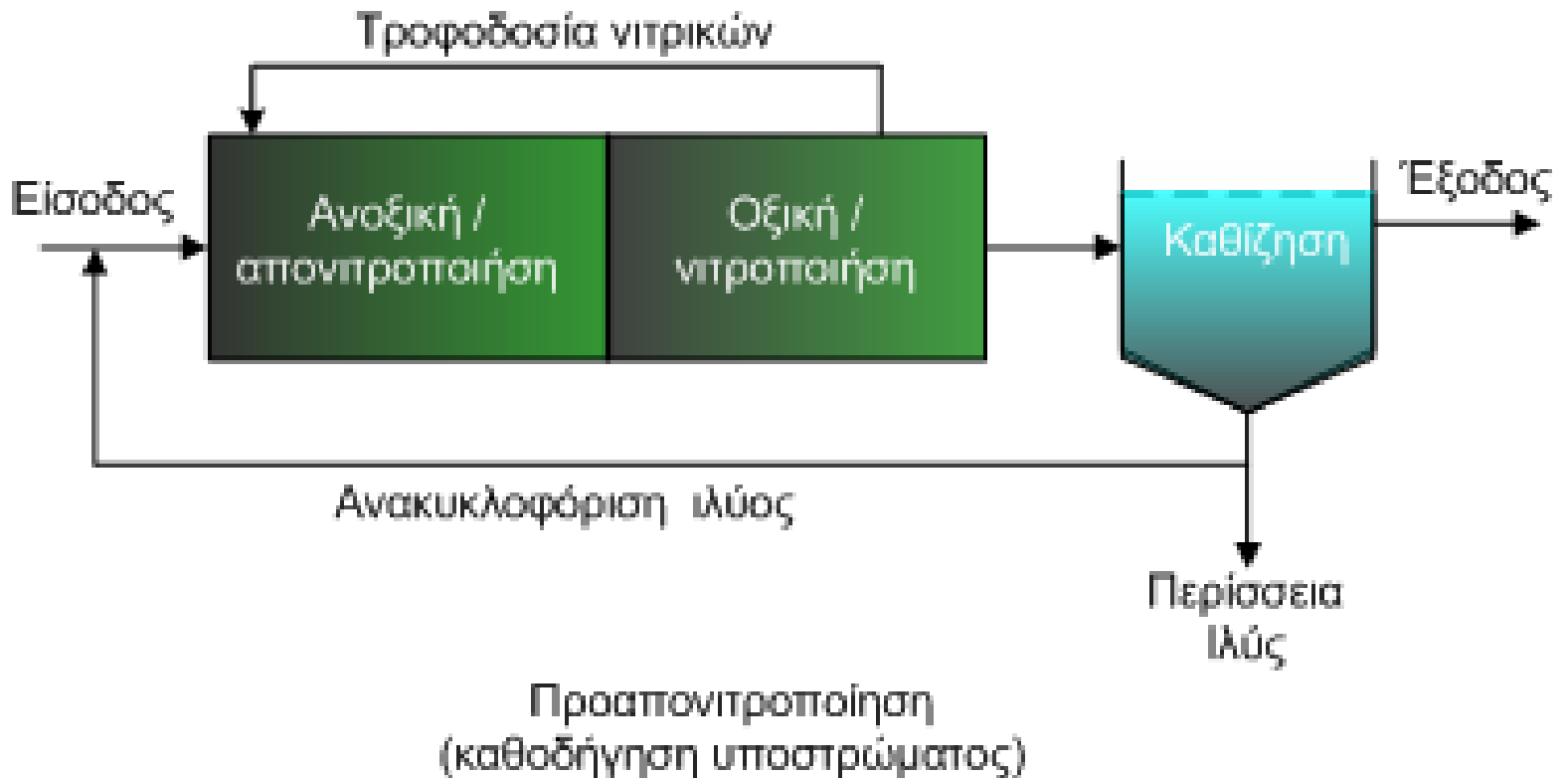
Λόγο του ότι το οργανικό υλικό που **περιέχεται στο εισερχόμενο απόβλητο** αποτελεί τον ηλεκτρονιακό δότη για τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, η διαδικασία αυτή ονομάζεται **απονιτροποίηση υποστρώματος**.

Επίσης λόγο του ότι η ανοξική δεξαμενή βρίσκεται **πριν** την δεξαμενή αερισμού ονομάζεται **προτεταμένη απονιτροποίηση (preanoxic deni)**.

Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

Απονιτροποιητική διεργασία με προτροπή υποστρώματος



Απονιτροποιητική διεργασία με προτροπή υποστρώματος (προτεταμένη απονιτροποίηση)

Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

Απονιτροποιητική διεργασία με προτροπή υποστρώματος

Στην δεύτερη διαδικασία η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα μετά την νιτροποίηση και η πηγή ηλεκτρονίων προέρχεται από την **ενδογενή αποσύνθεση** (endogenous decay).

Καλείται γενικώς **ακολουθούσα απονιτροποίηση** (postanoxic deni) μιας και η απομάκρυνση του BOD έλαβε χώρα πρώτη και δεν είναι ικανή να καθοδηγήσει την αντίδραση αναγωγής των νιτρικών.

Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

Απονιτροποιητική διεργασία με ενδογενή καθοδήγηση

Βασιζόμενη η διεργασία στην ενδογενή αποσύνθεση κατέχει **μικρότερο ρυθμό αντίδρασης** (3-8 φορές) από ότι η προτεταμένη απονιτροποίηση που χρησιμοποιεί το BOD του υγρού απόβλητου.

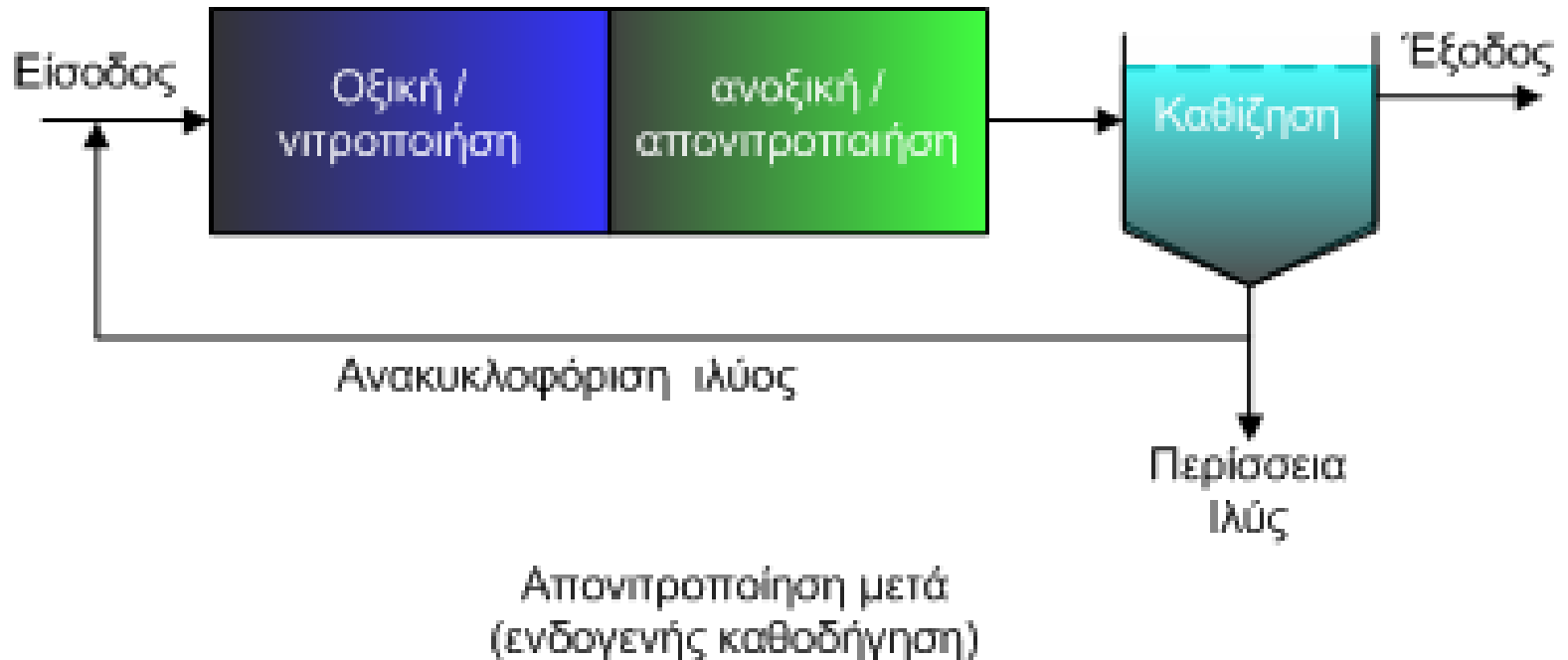
Συχνά μια **εξωτερική πηγή άνθρακα** π.χ. μεθανόλη ή οξικό οξύ προστίθεται για την τροφοδοσία του συστήματος με επαρκεί ποσότητα BOD ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός αναγωγής των νιτρικών.

Η ακολουθούσα απονιτροποίηση περιλαμβάνει διεργασίες σε αιωρούμενη και καθηλωμένη βιομάζα.

Βιολογική απονιτροποίηση

Περιγραφή της διεργασίας

Απονιτροποιητική διεργασία με ενδογενή καθοδήγηση



Απονιτροποιητική διεργασία με ενδογενή προτροπή (ακολουθούσα απονιτροποίηση)



Βιολογική απονιτροποίηση

Μικροβιολογία

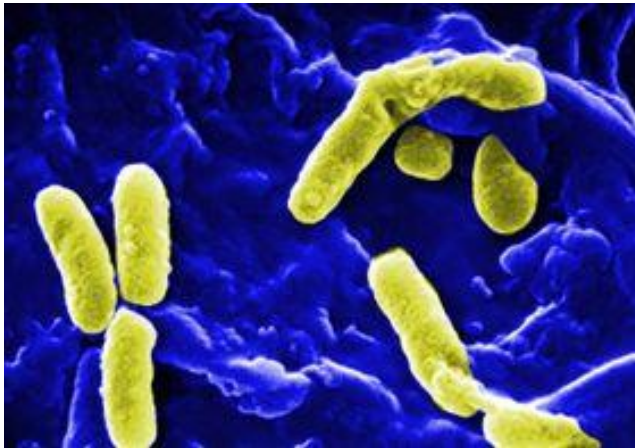
Ένα μεγάλο εύρος βακτηρίων βρέθηκε να είναι ικανό για να επιτύχει την απονιτροποίηση, όχι όμως στα άλγη και τους μύκητες.

Τα βακτήρια αυτά είναι **ετερότροφα και αυτότροφα**.

Στα ετερότροφα ανοίκουν τα παρακάτω γένη *achromobacter*, *acinetobacter*, *agrobacter*, *alcaligenes*, *arthrobacter*, *bacillus*, *chromobacter*, *corynebacterium*, *flavobacterium*, *hypomicrobium*, *neisseria*, *paracoccus*, *propionibacterium*, *pseudomonas*, *rhizobium*, *spirillum*, *vibrio*, *halobacterium*, και *methanomonas*.

Βιολογική απονιτροποίηση

Μικροβιολογία



pseudomonas



acinetobacter

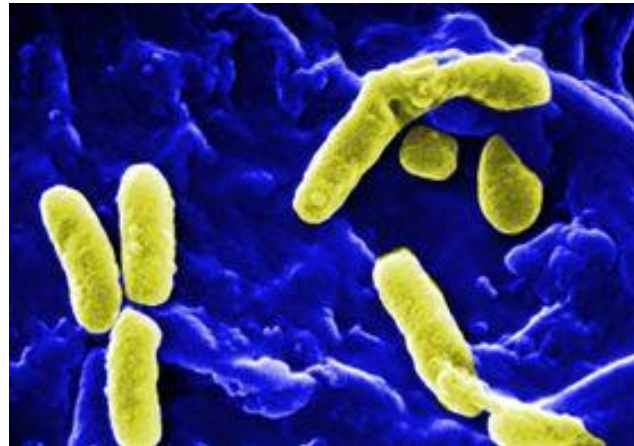


Nitrifying bacteria

Βιολογική απονιτροποίηση

Μικροβιολογία

Τα είδη της **ψευδομανάδας** είναι τα πιο συνήθη και πλατιά διαδεδομένα από όλους τους απονιτροποιητές και χρησιμοποιούν ένα **μεγάλο φάσμα οργανικών ενώσεων** συμπεριλαμβανομένων και του **υδρογόνου** της μεθανόλης, υδρογονανθράκων, οργανικών οξέων, αλκοολών, βενζοϊκών αλάτων και άλλων αρωματικών ενώσεων.





Βιολογική απονιτροποίηση

Μικροβιολογία

Τα περισσότερα από αυτά τα βακτήρια είναι **προαιρετικά αερόβια** με την ικανότητα να χρησιμοποιούν οξυγόνο όπως και νιτρικά και νιτρώδη και μερικά συνεχίζουν την ζύμωση κάτω από απουσία νιτρικών ή οξυγόνου.

Άλλα **ετερότροφα** βακτήρια είναι ικανά να απονιτροποιήσουν χρησιμοποιώντας **υδρογόνο** και **ανοιγμένες ενώσεις του θείου** ως **ηλεκτρονιακούς δότες**. Και οι δύο ομάδες είναι ικανές να αναπτυχθούν ετερότροφα όταν μια άλλη πηγή άνθρακα είναι παρούσα.

Βιολογική απονιτροποίηση

Μικροβιολογία

Τα βακτήρια *paracoccus* και *pantotropha* ερευνήθηκαν ευρύτατα για την ταυτόχρονη οξείδωση της αμμωνίας και την αναγωγή των νιτρικών.

Η οξείδωση της αμμωνίας από τα ετερότροφα βακτήρια απαιτεί ενέργεια, η οποία παραλαμβάνεται από την αναγωγή των νιτρικών ή νιτρώδων από τα *P. Pantotropha* κάτω από αερόβιες συνθήκες.

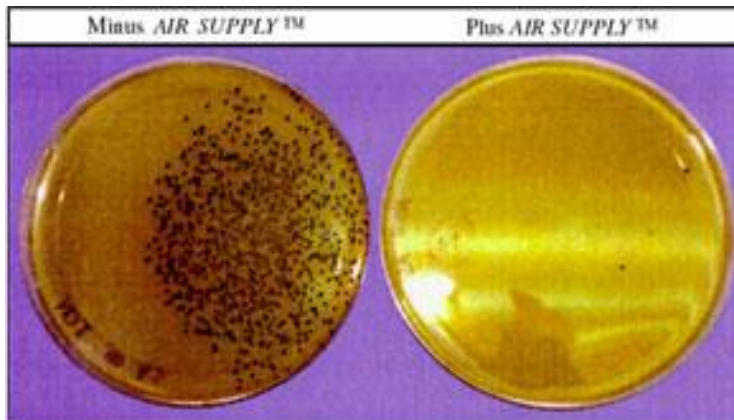


Βιολογική απονιτροποίηση

Μικροβιολογία

Ένα εύκολα διαθέσιμο υπόστρωμα, όπως το **οξικό οξύ**, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί.

Εξαιτίας της **ανάγκης για οργανικό υπόστρωμα**, το οποίο προσφέρεται περιορισμένα σε αερόβια συστήματα ενεργού ιλύος αναμένεται **μικρή ανάπτυξη αυτών κάτω από αερόβιες συνθήκες**.

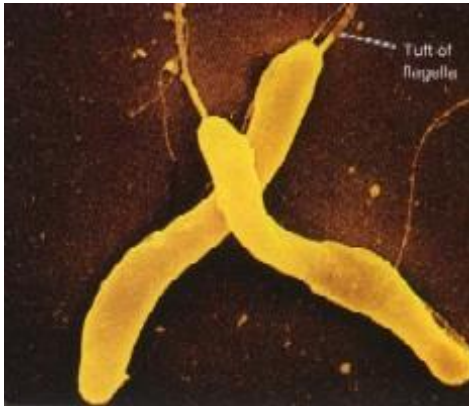


Paracoccus

Βιολογική απονιτροποίηση

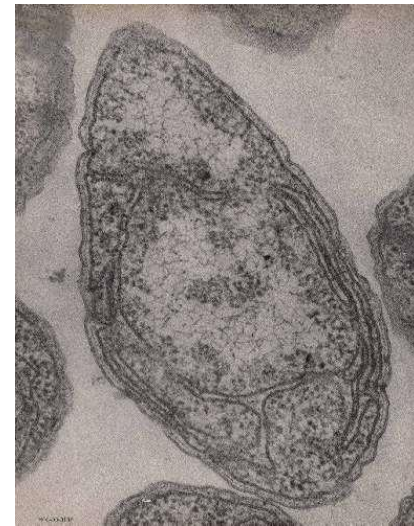
Μικροβιολογία

Αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια, όπως η *nitrosomonas europaea* είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τα νιτρώδη (NO_2^-) για να οξειδώσει την αμμωνία, με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή αζώτου, όταν DO δεν είναι παρόν. Με παρουσία οξυγόνου χρησιμοποιεί αυτό ως δέκτη των ηλεκτρονίων.



vibrio

nitrosomonas europaea



Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Απονιτροποίηση είναι η **αναγωγή οξειδωμένων** ενώσεων του αζώτου.

Απουσία ή κάτω από περιορισμένη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, το ένζυμο **αναγωγάση** των νιτρικών εισέρχεται στην **μεταφορά ηλεκτρονίων** της αλυσίδας αναπνοής και βοηθά στην μεταφορά ηλεκτρονίων και υδρογόνου προς τα νιτρικά **ως τελικό ηλεκτρονιακό δέκτη**.

Κατά την διεργασία αυτή μπορούν να σχηματισθούν διάφορα ενδιάμεσα προϊόντα όπως τα νιτρώδη (NO_2^-), το πρωτοξειδίο του αζώτου (N_2O) και τελικά το αέριο άζωτο (N_2):



Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Κατά την βιολογική αφαίρεση του αζώτου, η **πηγή ηλεκτρονίων** είναι μία από τρεις παρακάτω πηγές:

1. το βιοδιασπάσιμο διαλυτό COD (bsCOD)
2. το βιοδιασπάσιμο διαλυτό COD που παράγεται κατά την ενδογενή αναπνοή
3. μια εξωτερική πηγή όπως η μεθανόλη ή το οξικό οξύ

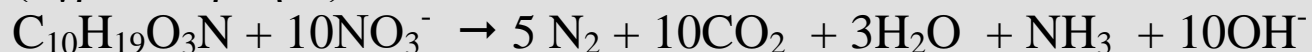
Εδώ θα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να μην υπάρξει περίσσεια πηγής άνθρακα στην έξοδο.

Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Η στοιχειομετρία της απονιτροποίησης για διάφορες πηγές άνθρακα, $C_{10}H_{19}O_3N$ χρησιμοποιείται συχνά για την αναπαράσταση του bsCOD (US EPA):

1. (υγρό απόβλητο)



2. (Μεθανόλη)



3. (Οξικό οξύ)



Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Σε όλες τις παραπάνω ετεροτροφικές αντιδράσεις απονιτροποίησης, ένα ισοδύναμο αλκαλικότητας παράγεται ανά ισοδύναμο αναγόμενου νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3\text{-N}$), κάτι που αντιστοιχεί σε 3,57g αλκαλικότητας (ως CaCO_3) ανά g αναγομένων νιτρικών.

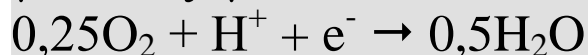
Εάν θυμηθούμε ότι κατά την νιτροποίηση καταστρέφονται 7,14 g αλκαλικότητας (ως CaCO_3) ανά g οξειδούμενου $\text{NH}_4\text{-N}$, βλέπουμε ότι ανακτάται η μισή ποσότητα της καταστρεφόμενης αλκαλικότητας.

Βιολογική απονιτροποίηση

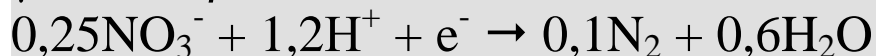
Στοιχειομετρία

Από τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, μπορούμε να **εκτιμήσουμε το ισοδύναμο του οξυγόνου** που αντιστοιχεί όταν τα νιτρώδη και νιτρικά χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρονιακοί δέκτες:

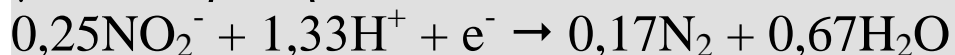
για το οξυγόνο



για τα νιτρικά



για τα νιτρώδη



Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Συγκρίνοντας τις παραπάνω ημιαντιδράσεις

→ 0,25 mole O_2 είναι ισοδύναμα με 0,25 mole NO_3

(για την μεταφορά ηλεκτρονίων σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής)

→ Έτσι το **ισοδύναμο οξυγόνου των $NO_3 = 2,86 \text{ gO}_2/\text{gNO}_3\text{-N}$** ($0,25 \times 32 \text{ gO}_2/\text{mole}$ διαιρούμενο με $0,2 \times 14 \text{ g N/mole}$).

→ Αντίστοιχα για NO_2 το ισοδύναμο οξυγόνου είναι 1,71 $\text{gO}_2/\text{gNO}_3\text{-N}$

Το ισοδύναμο του οξυγόνου είναι μια **σημαντική παράμετρος σχεδιασμού** όταν υπολογίζουμε την **τελική απαίτηση σε οξυγόνο** για συστήματα νιτροποίησης και απονιτροποίησης.

Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία - ποσότητα του bsCOD

Μια σημαντική παράμετρος σχεδιασμού συστημάτων απονιτροποίησης είναι

η ποσότητα του βιοδιασπάσιμου διαλυτού COD (bsCOD) ή του BOD

(που απαιτείται για την προώθηση ικανοποιητικής ποσότητας ηλεκτρονιακού δότη για την αφαίρεση νιτρικών)

Ως γενικός κανόνας εκτιμούμε ότι 4 g BOD απαιτούνται ανά g αναγόμενου NO_3 .

Σε κάθε περίπτωση η πραγματική τιμή εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και την πηγή άνθρακα.

Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

1. Βασιζόμενη στην πληρόφωρία ότι η ποσότητα του οξυγόνου που χρησιμοποιείται για κάθε μονάδα bsCOD είναι σε άμεση σχέση με την παραγόμενη βιομάζα, ο λόγος

$bsCOD/NO_3-N$

είναι παρομοίως σε άμεση σχέση με την παραγωγή βιομάζας του συστήματος.

2. Βασιζόμενη στις υποθέσεις ότι λόγο του μεγάλου χρόνου παραμονής των στερεών (long SRT) οι τιμές της ακόλουθης ανάλυσης περιλαμβάνουν το bCOD, το οποίο περικλείει τα κολλοειδή, και τα σωματιδιακά στοιχεία.

Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

3. Από ένα ισοζύγιο steady-state για το COD μπορούμε να δούμε ότι το bsCOD που απομακρύνεται οξειδώνεται ή αφομοιώνεται στα κύτταρα για την ανάπτυξη τους:

$$\text{bsCOD}_r = \text{bsCOD}_{\text{syn}} + \text{bsCOD}_o$$

όπου

bsCOD_r = είναι το καταναλωμένο bsCOD, [g bsCOD/d]

$\text{bsCOD}_{\text{syn}}$ = είναι το bsCOD που ενσωματώνεται κατά την σύνθεση των κυττάρων, [g bsCOD/d]

bsCOD_o = είναι το bsCOD που οξειδώνεται, [g bsCOD/d]

Βιολογική απονιτροποίηση

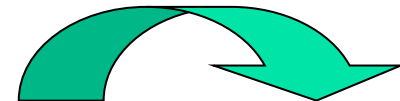
Στοιχειομετρία

Για την σύνθεση των κυττάρων το $bsCOD_{syn}$ υπολογίζεται από την καθαρή παραγόμενη βιομάζα και τον λόγο $1,42 \text{ gO}_2/\text{gVSS}$ (=COD του κυτταρικού ιστού = $5 \cdot 32/113$). Το ισοδύναμο οξυγόνου της βιομάζας ισούται με το $bsCOD$ που συμπεριλαμβάνεται στην βιομάζα

$$bsCOD_{syn} = 1,42 Y_n bsCOD_r$$

Όπου Y_n = καθαρή παραγωγή βιομάζας, $\text{g VSS}/\text{g bsCOD}_r$

$$Y_n = \frac{Y}{1 + (k_{dn})SRT}$$



Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Έτσι

$bsCOD_r = bsCOD_o + 1,42 Y_n bsCOD_r$ και αναδιατάσσοντας

$$bsCOD_o = (1 - 1,42 Y_n) bsCOD_r$$

Το **bsCOD_o** είναι το οξειδωμένο COD και ισούται με το ισοδύναμο οξυγόνο του NO₃-N που χρησιμοποιείται για την οξείδωση του bsCOD.



Για τον λόγο αυτό **$bsCOD_o = 2,86 NO_x$**

όπου $2,86 = O_2$ ισοδύναμο του NO₃-N, g O₂/g NO₃-N

NO_x = αναγόμενο NO₃-N, g/d

Βιολογική απονιτροποίηση

Στοιχειομετρία

Αντικαθιστώντας την εξίσωση
 $bsCOD_o = (1 - 1,42 Y_n) bsCOD_r$

στην

$$bsCOD_o = 2,86 NO_x$$

προκύπτει

$$2,86 NO_3 = (1 - 1,42 Y_n) bsCOD_r \quad \text{ή}$$

$$\frac{bsCOD}{NO_3 - N} = \frac{2,86}{1 - 1,42 Y_n}$$

Παραγωγή
βιομάζας

Επομένως η απαίτηση σε άνθρακα σχετίζεται άμεσα με την απόδοση του συστήματος σε βιομάζα



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Για την βιολογική απονιτροποίηση οι βιοκινητικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ανάπτυξη των βακτηρίων και την κατανάλωση του υποστρώματος είναι παρόμοιες με αυτές για τα αερόβια ετερότροφα βακτήρια.

Ο ρυθμός κατανάλωσης διαλυτού υποστρώματος επίσης ελέγχεται από την συγκέντρωση του διαλυτού υποστρώματος με τα νιτρικά να παίζουν τον ρόλο του ηλεκτρονιακού δέκτη όταν απουσιάζει το διαλυμένο οξυγόνο.



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

συγκέντρωση του διαλυτού υποστρώματος :

$$S = \frac{K_s [1 + (k_d) SRT]}{SRT (Y \cdot k - k_d) - 1}$$

k = maximum specific substrate utilization rate, g substrate/g

S = biomass-limiting substrate concentration in solution, mg/L

K_s = half-velocity constant, substrate concentration at one-half the maximum specific substrate utilization rate, mg/L

X = biomass concentration, g/m³

k_d = endogenous decay coefficient, g VSS/ g VSS d

Y = synthesis Yield coefficient, g VSS/g bsCOD



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Η συγκέντρωση των νιτρικών ελέγχει την κινητική της κατανάλωση υποστρώματος μόνον σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$, κοντά στα $0,1 \text{ mg/L}$.

Τα νιτρικά λειτουργούν ως δέκτες ηλεκτρονίων, από την οπτική γωνία της βιοκινητικής, κατά τον ίδιο δρόμο όπως το οξυγόνο και γι αυτό ο ρυθμός κατανάλωσης νιτρικών (ρυθμός απονιτροποίησης) είναι ανάλογος με τον ρυθμό κατανάλωσης υποστρώματος.



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις στις οποίες ο ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος r_{su} ελέγχει τον ρυθμό απονιτροποίησης (DNR).

1. Η πρώτη αναφέρεται στις ανοξικές / οξικές διαδικασίες, όπου το οργανικό υπόστρωμα (δότης ηλεκτρονίων) προέρχεται από το εισερχόμενο υγρό απόβλητο και εισέρχεται στην ανοξική δεξαμενή (ζώνη).
2. Η δεύτερη αναφέρεται στην απονιτροποίηση στο τέλος, όπου η μείωση των νιτρικών λαμβάνει χώρα μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία σε έναν αντιδραστήρα ο οποίος αναλώνει μία άλλη πηγή άνθρακα



Βιολογική απονιτροποίηση Κινητική ανάπτυξης

Η ενδογενής αναπνοή επίσης απαιτεί την κατανάλωση νιτρικών πρόσθετα σε αυτή της κατανάλωσης υποστρώματος και οξείδωσης.

Και αυτή η αντίδραση εμφανίζεται στο ανάμικτο υγρό των ανοξικών δεξαμενών και είναι πολύ μικρότερου ρυθμού.



Βιολογική απονιτροποίηση Κινητική ανάπτυξης

Στην περίπτωση όπου το υγρό υπόστρωμα είναι ο ηλεκτρονιακός δότης, το υγρό απόβλητο παραλαμβάνεται από την ανοξική δεξαμενή και ακολουθείται από έναν αερόβιο αντιδραστήρα όπου λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση.

Τα ετερότροφα βακτήρια αναπτύσσονται και στις δύο δεξαμενές, οξική και ανοξική, με την κατανάλωση οξυγόνου και νιτρικών αντίστοιχα.



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Η **συγκέντρωση της βιομάζας** που είναι ενεργή στην ανοξική ζώνη του ανάμικτου υγρού μπορεί να υπολογισθεί βασιζόμενη στην **συνολική ποσότητα του BOD που αφαιρείται**, αλλά μόνον μια **μικρή ποσότητα** αυτής της βιομάζας είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει **το οξυγόνο και τα νιτρικά** ως ηλεκτρονιακούς δέκτες.

Οι μικροοργανισμοί στο **άλλο τμήμα** της βιομάζας είναι **υποχρεωτικά αερόβιοι** και χρησιμοποιούν μόνον το οξυγόνο.



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Για την εφαρμογή βιοκινητικών εκφράσεων στην απονιτροποίηση, η έκφραση του **ρυθμού κατανάλωσης υποστρώματος** θα πρέπει να επεκταθεί με έναν συντελεστή που θα λαμβάνει υπόψη του την **μικρή αυτή ποσότητα** της βιομάζας που είναι ενεργή στην ανοξική ζώνη.

Ο ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος, $r_{sw} = -\frac{kXS}{K_s + S}$

μεταβάλλεται λοιπόν κατά έναν συντελεστή η για να φανεί ο **χαμηλότερος ρυθμός κατανάλωσης** στην ανοξική ζώνη:



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

$$r_{su} = - \frac{kXS\eta}{K_s + S}$$

Όπου:

η είναι το ποσοστό των απονιτροποιητικών βακτηρίων στην βιομάζα, g VSS/ g VSS,

k = maximum specific substrate utilization rate, g substrate/g

S = biomass-limiting substrate concentration in solution, mg/L

K_s = half-velocity constant, substrate concentration at one-half the maximum specific substrate utilization rate, mg/L

X = biomass concentration, g/m³



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Όταν χρησιμοποιούνται νιτρικά ως ηλεκτρονιακοί δέκτες αντί του οξυγόνου, ο μέγιστος ειδικός ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος (k) θα είναι μικρότερος από ότι ο ρυθμός με την χρήση οξυγόνου.

Στην παραπάνω εξίσωση η τιμή του k είναι η ίδια και η επίδραση της μικρότερης κινητικής ενσωματώνεται στην παράμετρο η .

Επίσης βρέθηκε ότι η παράμετρος K_s είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις, είτε χρησιμοποιείτε οξυγόνο, είτε νιτρικά ως ηλεκτρονιακοί δέκτες.



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Η τιμή του η βρέθηκε να κυμαίνεται από 0,2- 0,8 (το 0,8 είναι η τιμή του η όταν έχουμε ουσιαστική απομάκρυνση αζώτου) για την προτεταμένη απονιτροποίηση που χρησιμοποιείται υγρό απόβλητο.

Την παράμετρο η εμφανίζεται να επηρεάζουν:

1. Ο σχεδιασμός της ενεργού ιλύος,
2. Ο χρόνος παραμονής των στερεών στον αντιδραστήρα (SRT),
3. Το ποσοστό του εισερχόμενου BOD που αφαιρείται με την χρήση νιτρικών.



Βιολογική απονιτροποίηση Κινητική ανάπτυξης

Στην περίπτωση που μόνον ένα μικρό μέρος της βιομάζας του ανάμικτου υγρού χρησιμοποιεί νιτρικά τότε ο όγκος του αντιδραστήρα για την απονιτροποίηση θα κυμαίνεται από 10-30% του συνολικού όγκου.



Βιολογική απονιτροποίηση Κινητική ανάπτυξης

Κατά την **απονιτροποίηση στο τέλος** η βιομάζα έχει αναπτυχθεί κυρίως κάτω από **ανοξικές συνθήκες** και με ένα **επιλεγμένο οργανικό** υπόστρωμα.

Στην περίπτωση αυτή η παράμετρος η δεν είναι αναγκαία, διότι η **βιομάζα αποτελείται κυρίως από απονιτροποιητές**.

Οι βιοκινητικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ανάπτυξη βιομάζας εφαρμόζονται και εδώ, κάνοντας χρήση τις κατάλληλες παραμέτρους (k , K_s , Y , k_d) που έχουν αναπτυχθεί για να σχεδιασθεί η απονιτροποίηση στο τέλος με την **χρήση αιθανόλης**.



Βιολογική απονιτροποίηση

Κινητική ανάπτυξης

Ο **χρόνος παραμονής των στερεών (SRT)** κατά την κατανάλωση της μεθανόλης που απαιτείται για την απονιτροποίηση είναι παρόμοιος με αυτόν τον που απαιτείται για ένα αερόβιο σύστημα σχεδιασμένο για την αφαίρεση του BOD, **3-6 ημέρες.**



Βιολογική απονιτροποίηση

Η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου

Το **διαλυτό οξυγόνο** είναι σε θέση να σταματήσει την αναγωγή των νιτρικών, πιέζοντας τα ένζυμα αναγωγής νιτρικών.

Στις νιφάδες ενεργού ιλύος και βιοφίλμ (βιολογική στοιβάδα) η **απονιτροποίηση** μπορεί να εξελιχθεί κατά την **παρουσία πολύ μικρής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου**. $DO \geq 0,13-0,2 \text{ mg/L}$ αναστέλλει την απονιτροποίηση.

Βιολογική απονιτροποίηση

Η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου

Η επίδραση της συγκέντρωσης των νιτρικών και του οξυγόνου λαμβάνεται υπόψη με δύο συντελεστές διόρθωσης και η εξίσωση

$$r_{su} = -\frac{kXS\eta}{K_s + S}$$

μεταβάλλεται ως ακολούθως:

$$r_{su} = -\left(\frac{kXS}{K_s + S}\right)\left(\frac{NO_3}{K_{s,NO_3} + NO_3}\right)\left(\frac{K'_o}{K'_o + DO}\right)\eta$$

Όπου

K'_o = συντελεστή αναστολής του οξυγόνου για την αναγωγή των νιτρικών, mg/L (0,1-0,2 mg/L)

K_{s, NO_3} = συντελεστή ήμισυς ταχύτητας για αντιδράσεις επηρεαζόμενες από νιτρικά, mg/L (0,1 mg/L)



Βιολογική απονιτροποίηση

Η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου

Η τιμή K'_o είναι ξεχωριστή για κάθε σύστημα.
Για K'_o προτάθηκαν τιμές από 0,1-0,2 mg/L
και για τον K_{s, NO_3} 0,1 mg/L.

Υποθέτοντας μία τιμή 0,1 για τον K'_o ο ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος με νιτρικά ως ηλεκτρονιακό δέκτη και κάτω από συγκεντρώσεις
DO = 0,1, 0,2 και 0,5 mg/L
θα είναι 50, 33 και 17 % του μέγιστου ρυθμού αντίστοιχα



Βιολογική απονιτροποίηση

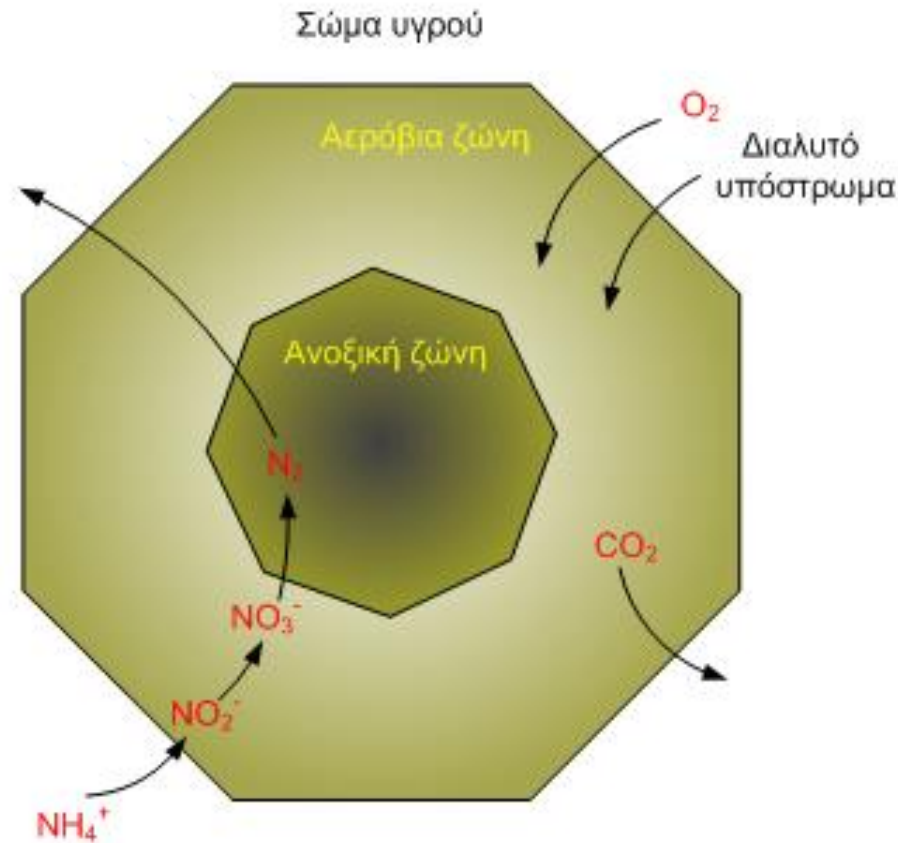
Η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυτού οξυγόνου

Σε συστήματα ενεργού ιλύος επικρατεί σύγχυση γύρο από το γεγονός, ότι η συγκέντρωση του DO στο σώμα του υγρού δεν αντιστοιχεί την πραγματική συγκέντρωση DO μέσα στην νιφάδα της ενεργού ιλύος.

Κάτω από χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό της νιφάδας, ενώ στον εξωτερικό χώρο λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση (σχήμα 2-1).

Βιολογική απονιτροποίηση

Η επίδραση της ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης



Διάγραμμα νιφάδας ενεργού ιλύος παρουσιάζοντας την οξική και ανοξική ζώνη



Βιολογική απονιτροποίηση

Η επίδραση της ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης

Επίσης σε δεξαμενές ενεργού ιλύος που λειτουργούν με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, υφίστανται ζώνες οξικές – ανοξικές **σε εξάρτηση**

1. Από τις συνθήκες ανάμιξης
2. Την απόσταση από το σημείου αερισμού,

έτσι ώστε νιτροποίηση και απονιτροποίηση μπορεί να λάβει χώρα στην ίδια δεξαμενή.



Βιολογική απονιτροποίηση

Η επίδραση της ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης

Βέβαια και οι δύο βιολογικές διεργασίες διεξάγονται με χαμηλούς ρυθμούς.

Όμως εάν ο χρόνος παραμονής των στερεών (SRT), και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής ($\tau \geq 25$ h) είναι αρκετός και το $DO < 0,5$ mg/L η απόδοση και στην αφαίρεση του αζώτου είναι πολλές φορές πάνω από 90% .



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

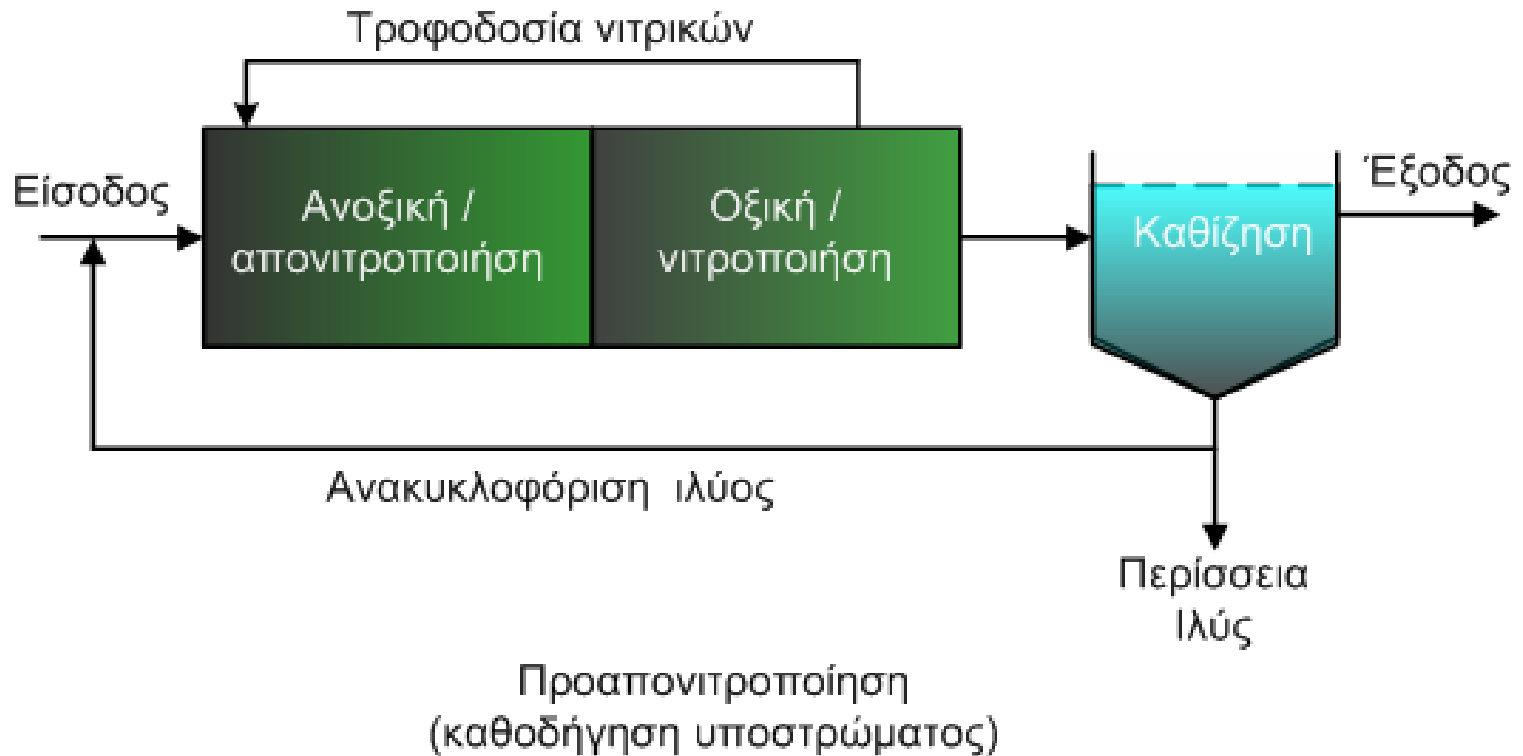
Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

Από τις περισσότερες μεθόδους ευρύτερη εφαρμογή βρίσκεται στην **προτεταμένη απονιτροποίηση** διότι,

- 1) με μεγάλη ευκολία είναι δυνατή η μετατροπή υφιστάμενων μονάδων,
- 2) τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή του ως επιλογή για την καταπολέμηση της διόγκωσης της ιλύος,
- 3) η παραγωγή αλκαλικότητας πριν από την νιτροποίηση, και
- 4) η δυνατότητα να μετατραπεί μία υφιστάμενη βιολογική διεργασία σε αντίστοιχη αφαίρεσης αζώτου με σχετικά μικρή μέχρι μέση αλλαγή του χρόνου παραμονής της δεξαμενής.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα



Σχήμα 2-2. Βασική αρχή λειτουργίας προτεταμένη απονιτροποίησης



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

για την επίτευξη υψηλών ρυθμών απονιτροποίησης, αναμειγνύονται με

- το εισερχόμενο υγρό απόβλητο,
 - η ανακυκλοφορούσα ιλύς (εξωτερική ανακυκλοφορία) και
 - η ενεργός ιλύς (εσωτερική ανακυκλοφορία),
- τα δύο ρεύματα που περιέχουν νιτρικά, κατά μήκος της κατεύθυνσης ροής, σε μία πρώτη δεξαμενή, χωρίς την παρουσία διαλυμένου οξυγόνου (ανοξικές συνθήκες).



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

Παράμετροι σχεδιασμού κλειδιά είναι:

1. Ο χρόνος παραμονής στις ανοξικές ζώνες
2. Η συγκέντρωση των πτητικών στερεών του ανάμικτου υγρού (MLVSS)
3. Εσωτερικός ρυθμός ανακυκλοφορίας και παροχή επιστρεφόμενης ιλύος
4. συγκέντρωση BOD εισόδου ή βιοδιασπάσιμου COD (bCOD)
5. το ποσοστό του εύκολα βιοδιασπάσιμου COD (rbCOD)
6. και η θερμοκρασία



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

1. Η συγκέντρωση του rbCOD παίζει έναν σπουδαίο ρόλο στον ρυθμό απονιτροποίησης στην ανοξική ζώνη.
2. Υγρό απόβλητο με την ίδια συγκέντρωση bCOD αλλά μεγαλύτερο rbCOD θα δημιουργήσει υψηλότερους ρυθμούς απονιτροποίησης στην ανοξική ζώνη.
3. Οι μονάδες αυτές σχεδιάσθηκαν ως μια δεξαμενή ή σειρά δεξαμενών πλήρους ανάμιξης με ίσους ή διαφορετικούς χρόνους παραμονής.
4. Τυπικές απαιτήσεις σε εφαρμόσιμη ισχύ μηχανικής ανάδευσης στην ανοξική ζώνη κυμαίνεται από 8 – 13 kW/10³ m³.



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

Δύο **σχεδιαστικές προσεγγίσεις** χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό του όγκου της ανοξικής δεξαμενής και τον προσδιορισμό του ποσού της απομάκρυνσης του αζώτου

- Μία θεωρητική προσέγγιση που χρησιμοποιεί **ισοζύγια μάζας για το άζωτο** και
- Μία συνήθη χρησιμοποιούμενη σχεδιαστική παράμετρο, **τον ειδικό ρυθμό απονιτροποίησης (SDNR)** σε gNO₃-N που υπέστησαν αναγωγή/MLVSS_d.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Ο θεωρητικός σχεδιασμός στηρίζεται:

- ➔ στην χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης SDNR
- ➔ SDNR είναι ο ρυθμός μείωσης των νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή κανονικοποιημένος ως προς τη συγκέντρωση των MLSS

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Η συγκέντρωση των αφαιρούμενων νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή περιγράφεται από την εμπειρική εξίσωση:

$$NO_r = (V_{nox})(SDNR)(MLSS)$$

Όπου

NO_r = τα αφαιρούμενα νιτρικά, g/d

V_{nox} = όγκος ανοξικής δεξαμενής, m³

$SDNR$ = ειδικός ρυθμός απονιτροποίησης, g NO₃-N/g

$MLVSS.d$

$MLVSS$ = Συγκέντρωση αιωρούμενων πτητικών στερεών, mg/L

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

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

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Ανάπτυξη εμπειρικών σχέσεων με βάση τους παραπάνω ρυθμούς

$$\Rightarrow \text{SDNR} = 0.03(\text{F}/\text{M}) + 0.029$$

$\text{F} = g \text{ BOD}/g\text{MLVSS}_d$ στην ανοξική δεξαμενή

Η εφαρμογή της **εμπειρικής σχέσης είναι περιορισμένη** διότι ο SDNR εξαρτάται:

1. από πολλούς παράγοντες σε σχέση με την θέση της ανοξικής δεξαμενής και τον σχεδιασμό
2. από το τμήμα της ενεργού βιομάζας στο μικτό υγρό
3. και του rbCOD στην ανοξική ζώνη και την θερμοκρασία

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζονται από:

1. Το μέγεθος της ανοξικής δεξαμενής
2. Την συγκέντρωση του rbCOD και των MLVSS στην εισροή
3. Τον SRT σχεδιασμού

Συνεπώς μας δίνουν μόνον μία χονδροειδή εκτίμηση του SDNR

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Όταν τα όμως βασιζόμαστε μόνο στην **συγκέντρωση της ετερότροφης ενεργής βιομάζας** του ανάμικτου υγρού

↳ οι ρυθμοί είναι ανεξάρτητοι του **ποσοστού των μη αποικοδομήσιμων στερεών** στο μικό υγρό και τον SRT

↳ Τότε οι προερχόμενες εξισώσεις είναι γενικώς εφαρμόσιμες

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Ο λόγος F/M ορίζεται ως μια συνάρτηση της φόρτισης του BOD προς τον ανοξικό όγκο και την ενεργή ετερότροφη βιομάζα:

$$\frac{F}{M_b} = \frac{QS_o}{(V_{nox})X_b}$$

Όπου

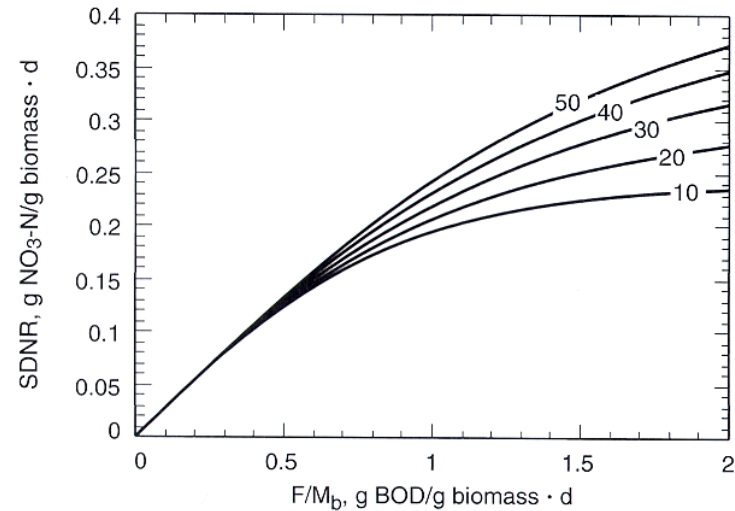
F/M = ο λόγος F/M του BOD βασιζόμενο στην ενεργή βιομάζα, g BOD/g biomass.d

Q = παροχή εισόδου, m³/d

S_o = συγκέντρωση COD εισόδου, mg/L

V_{nox} = ανοξικός όγκος, m³

X_b = συγκέντρωση ανοξικής βιομάζας, mg/L



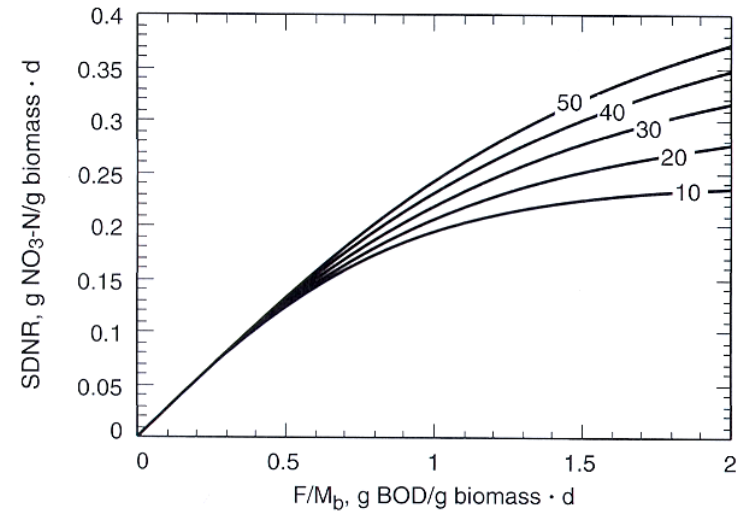
Ο λόγος F/M_b και οι τιμές του SDNR_b στηρίζονται μόνο στη συγκέντρωση της ενεργής βιομάζας

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Οι καμπύλες που παρατηρούμε είναι αποτελέσματα υπολογιστικών προσεγγίσεων των ισοζυγίων μάζας των παραμέτρων:

1. της βιομάζας,
2. του $\text{NO}_3\text{-N}$,
3. του rbCOD και
4. του pbCOD της ανοξικής δεξαμενής.

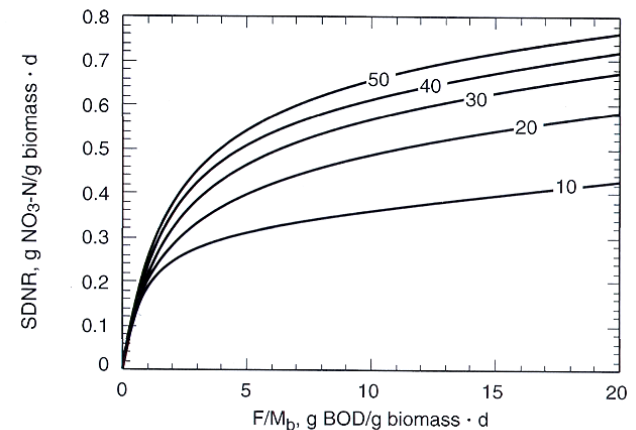
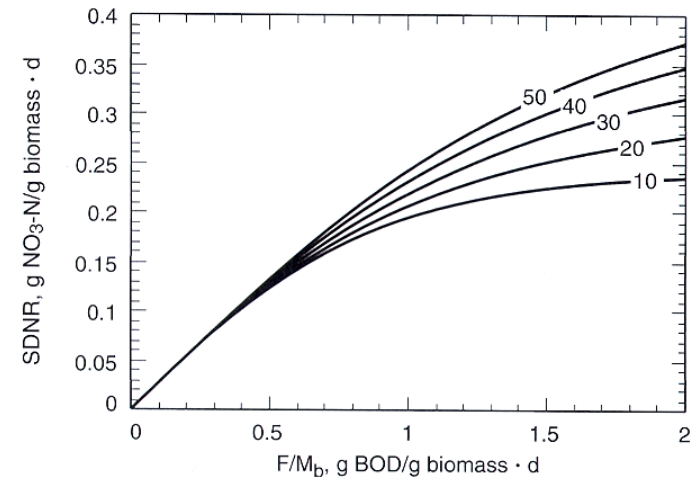


2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

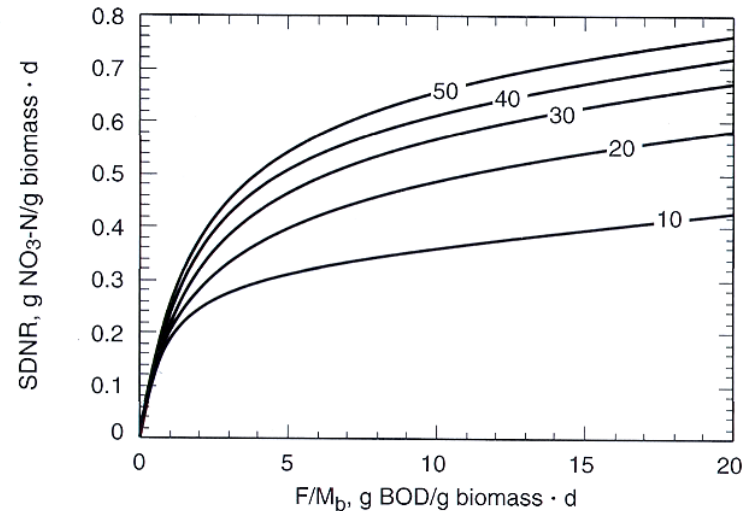
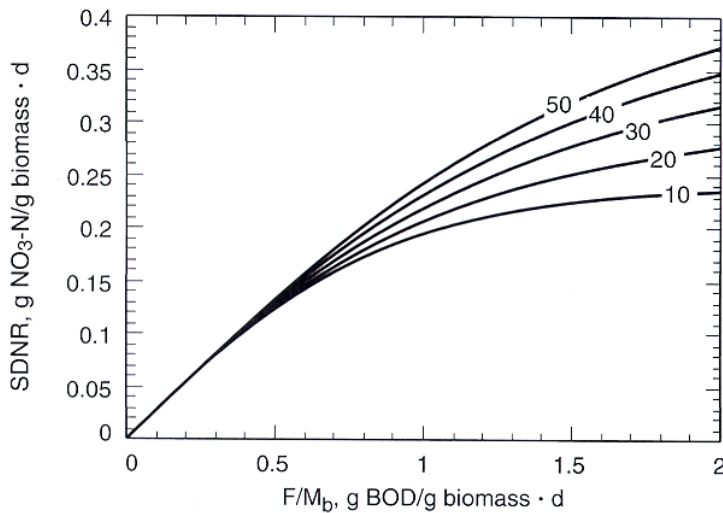
Για μικρότερες τιμές τ (υδραυλικός χρόνος παραμονής $\tau = V/Q$ στην ανοξική δεξαμενή) ο λόγος F/M μεγαλώνει και αυτό αντικατοπτρίζεται σε υψηλότερη συγκέντρωση $rbCOD$ στην ανοξική ζώνη και αντίστοιχα υψηλότερους ρυθμούς απονιτροποίησης (SDNR).

Εσωτερική ανακυκλοφορία από την αερόβια ζώνη και επιδράσεις της θερμοκρασίας συμπεριλαμβάνονται επίσης.



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης



Σχήμα 2-3: Καμπύλες που παρουσιάζουν τον ειδικό ρυθμό απονιτροποίησης (SDNR_b) βασιζόμενες στην συγκέντρωση της βιομάζας στους 20 °C σε σχέση με τον λόγο τροφή προς βιομάζα (F/M_b) για διαφορετικά ποσοστά του rbCOD σε σχέση με το βιοδιασπασίμο (bCOD) στο εισερχόμενο απόβλητο.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Αν θέλουμε να σχεδιάσουμε τις διεργασίες με βάση τα παραπάνω διαγράμματα θα πρέπει **να υπολογισθεί η συγκέντρωση της ενεργού βιομάζας (VSS)** στο ανάμικτο υγρό.

Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη συγκέντρωση βιομάζας, εξηγούνται οι επιδράσεις του SRT για τον σχεδιασμό.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Παράμετροι συντελεστών κινητικής	Μονάδες	Τιμή
Απόδοση, Y	g VSS/g COD	0,4
Ενδογενής αποδόμηση, k_d	g VSS/g biomass.d	0,15
Διάσπαση κυττάρων, f_d	g VSS/g VSS	0,10
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης, μ_m	g VSS/g VSS.d	3,2
Ήμισυ ταχύτητα ανάπτυξης, K_s	g/m ³	9,0
Σταθερά ειδικού ρυθμού μέγιστης υδρόλυσης σωματιδίων, K_h	g VSS/g biomass.d	2,8
Σταθερά ήμισυς ταχύτητας υδρόλυσης, K_χ	g VSS/g VSS	0,15
COD της βιομάζας	g COD/g VSS	1,42
Κλάσμα των απονιτροποιητικών βακτηρίων, η	g VSS/g VSS	0,50

Πίνακας: Βιοκινητικές σταθερές που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη $SDNR_b$ καμπυλών σχεδιασμού

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

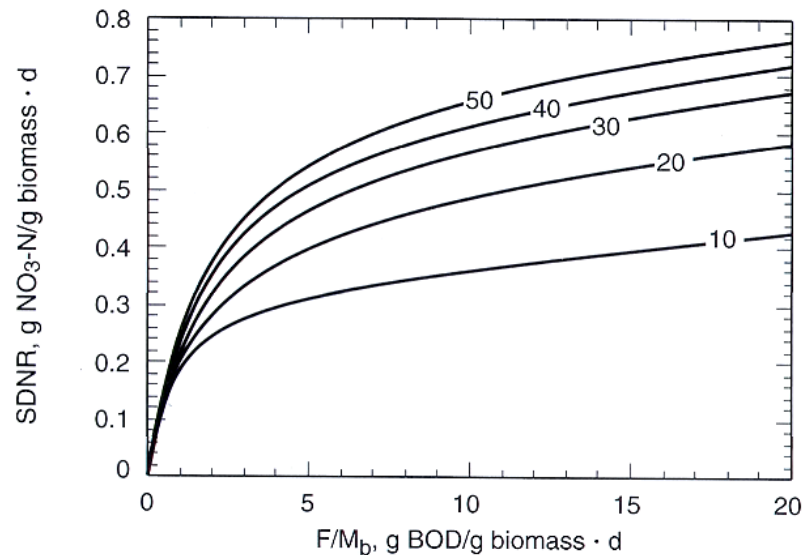
Σε αντιδραστήρες **πολλαπλών βαθμίδων**, ο λόγος F/M υπολογίζεται χρησιμοποιώντας **τον όγκο της βαθμίδας** για την οποία διεξάγεται ο υπολογισμός **συν τον όγκο της προηγούμενης βαθμίδας (-δων)**.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Σε υψηλές τιμές του λόγου F/M , όπως προκύπτει από το σχήμα 2-3 ο SDNR φθάνει ένα μέγιστο ρυθμό κορεσμού, όταν η συγκέντρωση του $rbCOD$ είναι πολύ μεγάλη στον ανοξικό αντιδραστήρα.

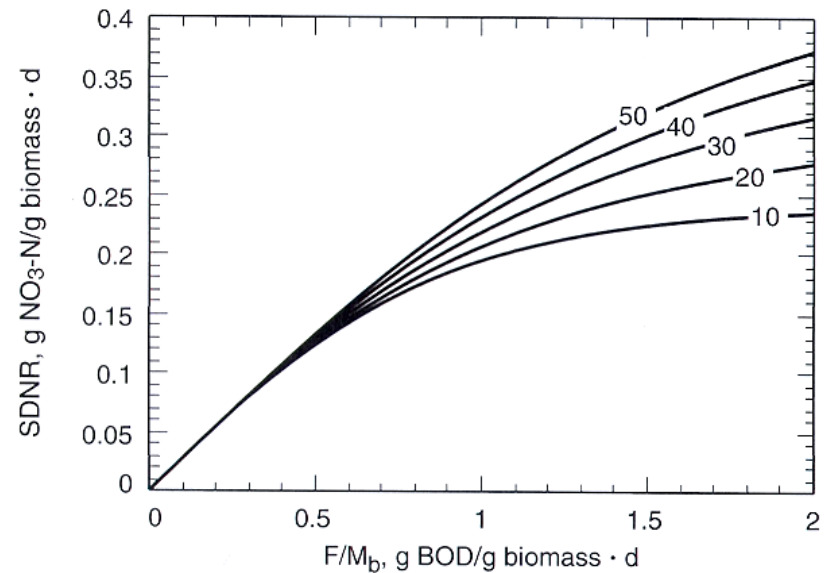
Η μέγιστη αυτή τιμή κορεσμού εμφανίζεται σε ανοξικούς επιλογείς με μεγάλες τιμές F/M_b , και όπου η πρώτη ανοξική ζώνη έχει χρόνο παραμονής μόλις 10-20 λεπτά.



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Για μεγάλους χρόνους παραμονής στην ανοξική ζώνη (3-6h), ο $SDNR_b$ θα βρεθεί σε χαμηλές τιμές F/M_b



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Επίσης, οι διεργασίες σχεδιασμού απαιτούν διόρθωση του SDNR ως προς την θερμοκρασία και τον εσωτερικό λόγο ανακυκλοφορίας.

Η διόρθωση της θερμοκρασίας διεξάγεται εφαρμόζοντας την εξίσωση:

$$SDNR_T = SDNR_{20} \theta^{T-20}$$

Όπου

θ = ο συντελεστής θερμοκρασίας (1,026)

T = θερμοκρασία, °C

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Ο SDNR στην προτεταμένη δεξαμενή επηρεάζεται από τον εσωτερικό ρυθμό ανακυκλοφορίας (IR Internal Recycle Ratio).

Ο IR ισούται με την παροχή της ανακυκλοφορίας προς την παροχή εισόδου

$$IR = \frac{Q_R}{Q}$$

Σε υψηλούς ρυθμούς IR, το εισερχόμενο rbCOD αραιώνεται περισσότερο στον ανοξικό αντιδραστήρα με ανάμικτο υγρό από την δεξαμενή αερισμού, κάτι που οδηγεί σε χαμηλότερους ρυθμούς απονιτροποίησης (SDNR).

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Οι διορθώσεις που θα πρέπει να γίνουν όταν σχεδιάζουμε με εσωτερική ανακυκλοφορία **μεγαλύτερη από 1,0** δίδονται από

$$IR=2 \quad SDNR_{adj} = SDNR_{IR1} - 0,0166 \ln(F/M_b) - 0,0078$$

$$IR=3-4 \quad SDNR_{adj} = SDNR_{IR1} - 0,029 \ln(F/M_b) - 0,012$$

Όπου

$SDNR_{adj}$ = SDNR ρυθμισμένο για την επίδραση του εσωτερικής ανακυκλοφορίας

$SDNR_{IR1}$ = SDNR με εσωτερική ανακυκλοφορία = 1

F/M_b = ο λόγος F/M του BOD βασιζόμενο στην ενεργή βιομάζα, g BOD/g biomass.d

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο ανάγονται τα νιτρικά μόνο σύμφωνα με τον ρυθμό ανακυκλοφορίας:

$$n = \frac{RV}{(RV + 1)} 100\%$$

και

$$RV = \frac{TS_R}{(TS_{RS} + TS_R)}$$

Έτσι όταν επιθυμούμε μια υψηλή απόδοση αφαίρεσης του αζώτου, θα πρέπει η ανακυκλοφορία των ρευμάτων απόβλητο – ιλύς να επιλεγθεί κατάλληλα.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Εδώ πλέον **παρουσιάζονται τεχνικά όρια**, διότι με τον υψηλό ρυθμό ανακυκλοφορίας

1. **Αυξάνεται** υπέρμετρα η **υδραυλική φόρτιση** της δεξαμενής απονιτροποίησης και **αντίστοιχα μειώνεται** ο χρόνος **πραγματικής επαφής**.

(Κάτω από τον χρόνο επαφής εννοούμε την κοινή παραμονή του συνολικού όγκου του ρεύματος στον χώρο της απονιτροποίησης)

2. Επέρχεται ένα **λειτουργικό όριο**

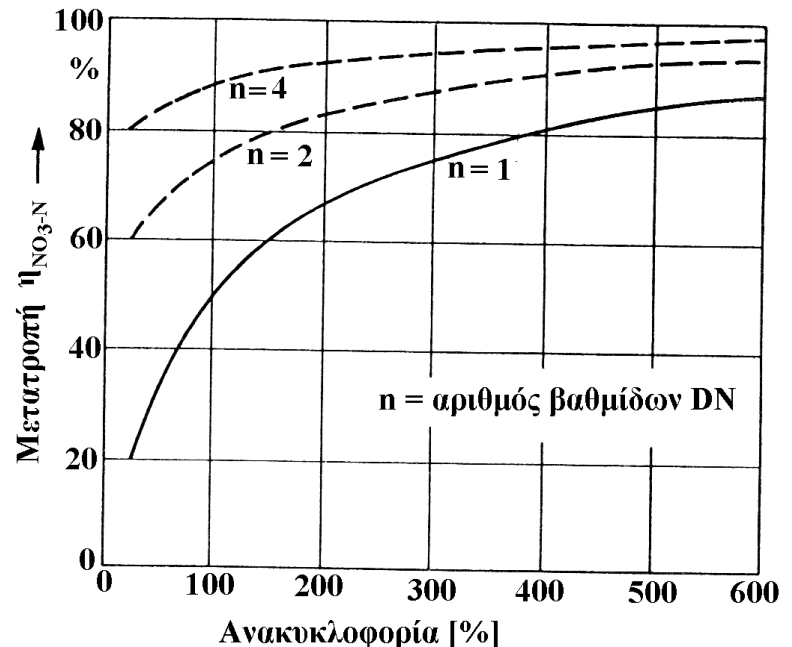
(εξ αιτίας της μεταφοράς οξυγόνου από την δεξαμενή νιτροποίησης στην ανοξική δεξαμενή, και μειώνει τον βαθμό απονιτροποίησης)

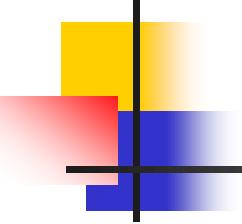
2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Για παράδειγμα όταν στοχεύουμε σε ένα βαθμό απονιτροποίησης 80% σε μία απλή προτεταμένη απονιτροποίηση, απαιτείται ρυθμός ανακυκλοφορίας 4 (400%), ενώ σε μία βαθμιδωτή μονάδα δύο (2) εν σειρά εναλλασσόμενων ανοξικών / οξικών δεξαμενών μόνον 150%

Αυτό σημαίνει ότι συχνά θα μπορούμε να σταματάμε ένα αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και έτσι θα επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και αποφυγή μεταφοράς οξυγόνου στις ανοξικές δεξαμενές.





2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Το rbCOD κλάσμα του εισερχόμενου απόβλητου αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού και αν δεν είναι γνωστό τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα 15-25% ποσοστό του ολικού bCOD.



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Αρχικό βήμα σχεδιασμού ↙
σχεδιασμός του **αερόβιου αντιδραστήρα** για την
νιτροποίηση **με βάση** τον
καθορισμό των χαρακτηριστικών του απόβλητου

Ο αερόβιος όγκος βασίζεται στην χρήση ενός αερόβιου SRT για νιτροποίηση και μόνον ο **όγκος της αερόβιας δεξαμενής (V)** και το **ανάμικτο υγρό (MLSS)** χρησιμοποιούνται για την υπολογισμό της απομάκρυνσης ιλύος για αυτόν τον χρόνο παραμονής (SRT).



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Ο SRT της ολικής διεργασίας **θα είναι μεγαλύτερος** όταν θα συμπεριληφθούν το **ανάμικτο υγρό** και ο όγκος της ανοξικής δεξαμενής

Οι **απαιτήσεις αερισμού θα είναι μικρότερες** από ότι θα χρειαζόταν για τον σχεδιασμό μόνον για νιτροποίηση, *(διότι τα νιτρικά θα χρησιμοποιηθούν για οξείδωση και κατανάλωση ενός μέρους του $bCOD$ στην προανοξική ζώνη)*

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Πίνακας 2-2: Υπολογιστική προσέγγιση για τον σχεδιασμό ανοξικής / αερόβιας διεργασίας

1.	Καθορισμός των παροχών του υγρού απόβλητου, συμπεριλαμβάνοντας και την συγκέντρωση του rbCOD και τις απαιτήσεις εξόδου
2.	Ακολουθία της διαδικασίας για τον σχεδιασμό μεθόδου νιτροποίησης στην αερόβια ζώνη (παράδειγμα 1)
3.	Καθορισμός της συγκέντρωσης βιομάζας στο ανάμικτο υγρό από τον σχεδιασμό της νιτροποίησης
4.	Καθορισμός του λόγου εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR) χρησιμοποιώντας την τιμή NO_x που υπολογίσθηκε στο βήμα 9 του σχεδιασμού νιτροποίησης και την απαιτούμενη συγκέντρωση εξόδου NO_3-N
5.	Υπολογισμός της τροφοδοσίας των νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή. Ο σχεδιασμός βασίζεται στην υπόθεση ότι πρακτικά όλα τα νιτρικά που θα εισέρχονται στην ανοξική ζώνη θα ανάγονται. Μία μικρή συγκέντρωση νιτρικών από 0,1-0,3 mg/L θα παραμένει, εξαρτώμενη από τον σχεδιασμό, διότι τα νιτρικά αναστέλλουν τον ρυθμό απονιτροποίησης μόνον σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Πίνακας 2-2: Υπολογιστική προσέγγιση για τον σχεδιασμό ανοξικής / αερόβιας διεργασίας

6.	Επιλογή και διαμόρφωση του ανοξικού όγκου. Αντιδραστήρας ενός βήματος ή πολλαπλών.
7.	Υπολογισμός του F/M_b βασισμένο στην συγκέντρωση βιομάζας που καθορίστηκε για το ανάμικτο υγρό κατά τον σχεδιασμό της νιτροποίησης.
8.	Χρήση των διαγραμμάτων συσχέτισης του ρυθμού απονιτροποίησης ($SDNR_b$) με τον λόγο F/M_b για την αποδοχή διορθώσεων της θερμοκρασίας και του IR ώστε να καθορισθεί ο $SDNR_b$ στην ανοξική δεξαμενή
9.	Χρησιμοποιώντας την συγκέντρωση βιομάζας $SDNR_b$, και τον ανοξικό όγκο, υπολογισμός της ποσότητας αφαιρούμενων νιτρικών στην ανοξική ζώνη. Να συγκριθεί η ποσότητα αυτή με την συγκέντρωση των νιτρικών που οδηγήθηκε στην ανοξική ζώνη με το ρεύμα ανακυκλοφορίας.
10.	Επανάληψη των βημάτων σχεδιασμού της ανοξικής ζώνης εάν είναι ανάγκη για έναν ικανοποιητικότερο σχεδιασμό
11.	Υπολογισμός της απαίτησης οξυγόνου
12.	Καθορισμός εάν είναι αναγκαία η προσθήκη αλκαλικότητας
13.	Σχεδιασμός δευτεροβάθμιας καθίζησης
14.	Σχεδιασμός του συστήματος μεταφοράς οξυγόνου
15.	Σύνοψη των χαρακτηριστικών τελικής εκροής
16.	Δημιουργία συνοπτικού πίνακα σχεδιασμού.



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Απαιτείται πρώτα ισοζύγιο μάζας του αζώτου για:

1. τον υπολογισμό της ποσότητας των νιτρικών που παράγονται στην ζώνη αερισμού (νιτροποίηση)
2. το μέγεθος του εσωτερικού ρυθμού ανακυκλοφορίας, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση νιτρικών



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Η ποσότητα των νιτρικών που παράγεται στην αερόβια ζώνη βασίζεται:

1. στην παροχή και συγκέντρωση του αζώτου στην είσοδο,
2. την συγκέντρωση που καταναλώνεται για την σύνθεση των κυττάρων και
3. την συγκέντρωση $\text{NH}_3\text{-N}$ και διαλυτού οργανικού αζώτου στην έξοδο.



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Κάνοντας μια συντηρητική προσέγγιση υποθέτουμε ότι

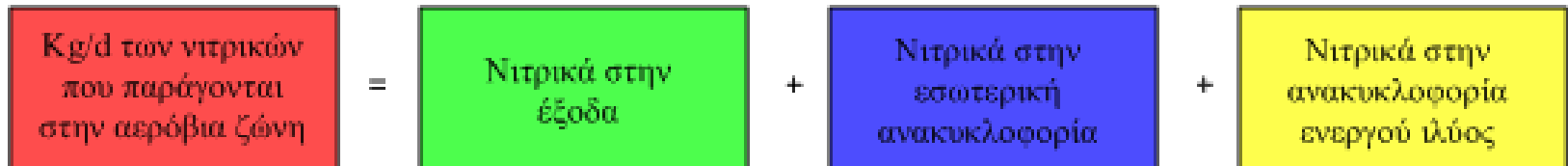
1. όλο το ΤΚΝ εισόδου είναι βιοδιασπάσιμο και
2. ότι μπορούμε να παραβλέψουμε το διαλυτό οργανικό αζωτούχο φορτίο εξόδου.

Τα παραγόμενα νιτρικά περιέχονται στην ολική παροχή που εγκαταλείπει την αερόβια ζώνη
(η οποία περιλαμβάνει την εσωτερική ανακυκλοφορία, την ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος (RAS) και τις ροές εξόδου)

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Το ισοζύγιο μάζας εκφράζεται ως ακολούθως:



$$QNO_x = N_e (Q + IRQ + RQ)$$

$$IR = \frac{NO_x}{N_e} - 1,0 - R$$

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

$$QNO_x = N_e (Q + IRQ + RQ)$$

$$IR = \frac{NO_x}{N_e} - 1,0 - R$$

Όπου

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, mg/NO₃-N/L

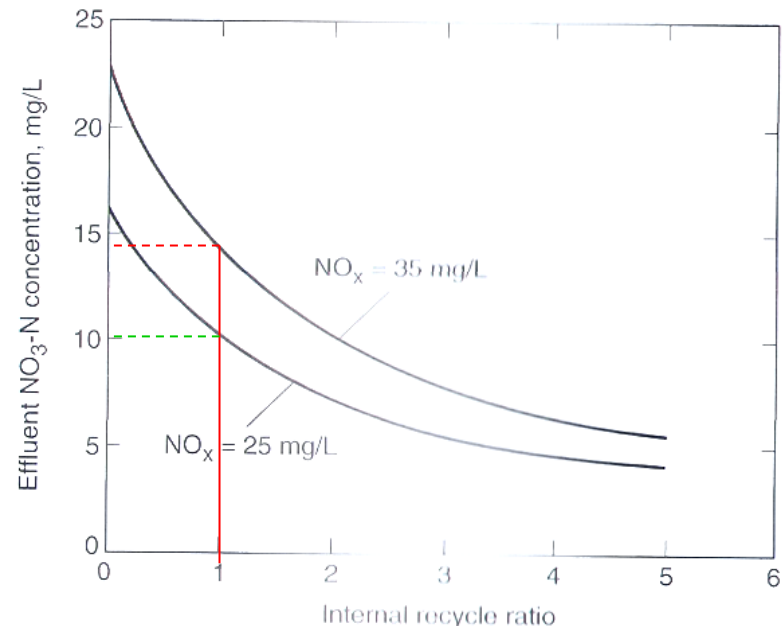
N_e = συγκέντρωση NO₃-N στην έξοδο, mg/L

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Η επίδραση του IR στην συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ στην έξοδο για μία συγκεκριμένη ποσοτητα νιτρικών (NO_x) που παράγονται και για ένα $\text{RAS} = 0,5$ παρουσιάζεται στο διάγραμμα

Απαιτείται ένας μεγαλύτερος λόγος IR για την παραγωγή της ίδιας συγκέντρωσης $\text{NO}_3\text{-N}$ στην έξοδο, όταν παράγονται παραπάνω NO_x στην ζώνη αερισμού.
TKN.

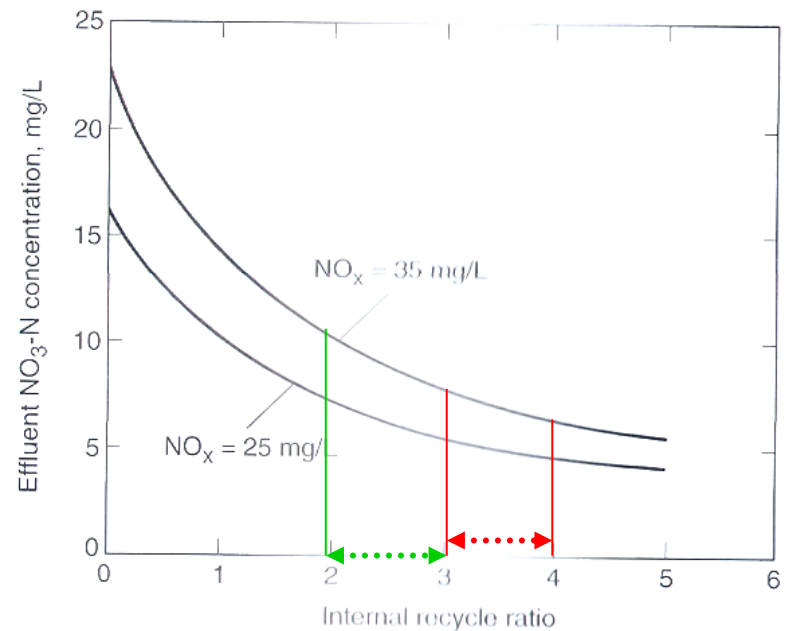


2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Τυπικές τιμές IR είναι από 3-4 αλλά και τιμες από 2-3 εφαρμόζονται επίσης για υγρά απόβλητα με μια μικρότερη συγκέντρωση εισερχόμενου TKN.

Τιμές μεγαλύτερες από 4 δεν συστήνονται διότι το εύρος αφαίρεσης νιτρικών είναι μικρό και περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο (DO) ανακυκλοφορείται από την ζώνη αερισμού στην ανοξική.





2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

✎ Η ποσότητα του DO που τροφοδοτείται εξ αιτίας της εσωτερικής ανακυκλοφορίας θα πρέπει να παραμείνει μικρή λόγω της συμμετοχής του DO στην αφαίρεση rbCOD και μείωσης του διαθέσιμου rbCOD για την απονιτροποίηση.

✂ Σε μερικούς σχεδιασμούς, η ζώνη αερισμού είναι εξοπλισμένη με μετρητές του DO, έτσι ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η συγκέντρωση του DO στην ανακυκλοφορία και να ελαχιστοποιηθεί.

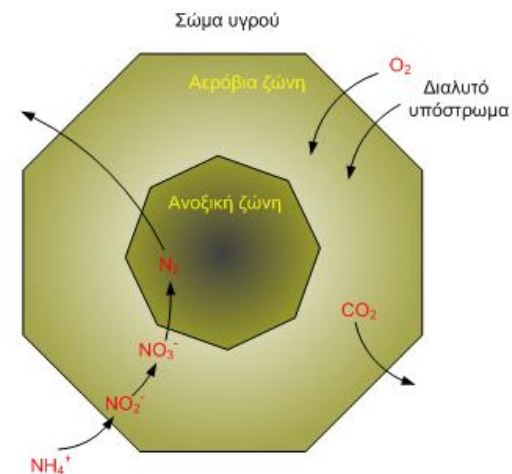
Επίσης θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε κατά την είσοδο του απόβλητου να μην συμπαρασύρεται μεγάλη ποσότητα οξυγόνου.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς)

Υψηλές αποδόσεις νιτροποίησης και απονιτροποίησης επιτυγχάνονται επίσης σε συστήματα οξειδωτικών τάφρων τα οποία λειτουργούν με χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (0,1-0,4 mg/L) και σχετικά μεγάλες τιμές τ και SRT.

Οι χαμηλές συγκεντρώσεις DO οδηγούν σε μικρής ταχύτητας ρυθμούς νιτροποίησης, διότι η νιφάδα ενεργού ιλύος είναι μόνον κατά το ένα τμήμα αερόβια.



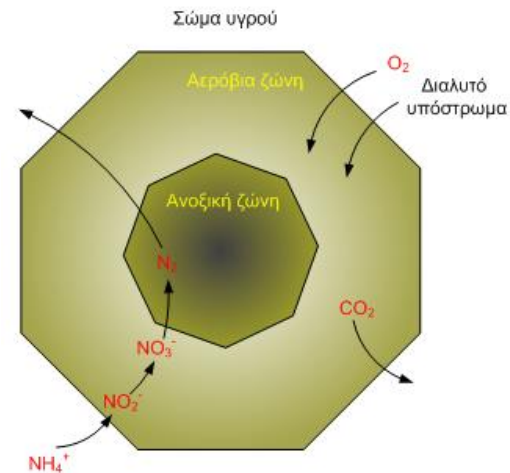
2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς)

Αντίστοιχα **μόνον ένα τμήμα** των νιτροποιητικών βακτηρίων που περιέχονται στην νιφάδα είναι **ενεργό**.

Η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα στην ανοξική ζώνη που υφίσταται μέσα στην νιφάδα, εξαιτίας της μείωσης του οξυγόνου.

Αποτέλεσμα είναι η **ταυτόχρονη** εξέλιξη της νιτροποίησης και απονιτροποίησης



2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Οι ρυθμοί νιτροποίησης και απονιτροποίησης είναι μία συνάρτηση

1. της κινητικής της αντίδρασης,
2. του μεγέθους,
3. της δομής και της πυκνότητας της νιφάδας,
4. της φόρτισης του rbCOD και
5. της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο σώμα του υγρού.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

↪ η πρόβλεψη με ακρίβεια των ρυθμών των βιολογικών διεργασιών δεν είναι εύκολη
(εξ αιτίας της πολυπλοκότητας των φυσικών παραγόντων που επιδρούν)

Βοήθεια και σωστή ρύθμιση των διεργασιών έρχεται όταν τροποποιηθεί το μοντέλο ανάπτυξης του Monod εκτιμώντας την επίδραση του DO στους r_N και r_{DN}

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Έτσι,

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης για την νιτροποίηση είναι μία συνάρτηση της συγκέντρωσης του DO:

$$\mu_n = \left(\frac{\mu_{nm} N}{K_N + N} \right) \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn}$$

μ_{nm} = ειδικός ρυθμός ανάπτυξης για την νιτροποίηση
 N = συγκέντρωση αζώτου
 K_n = σταθερά ημίσειας ταχύτητας
 K_o = συντελεστής παρεμπόδισης οξυγόνου
 K_{dn} = συντελεστής ενδογενούς αναπνοής για τους οργανισμούς νιτροποίησης

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

$$\mu_n = \left(\frac{\mu_{nm} N}{K_N + N} \right) \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn}$$

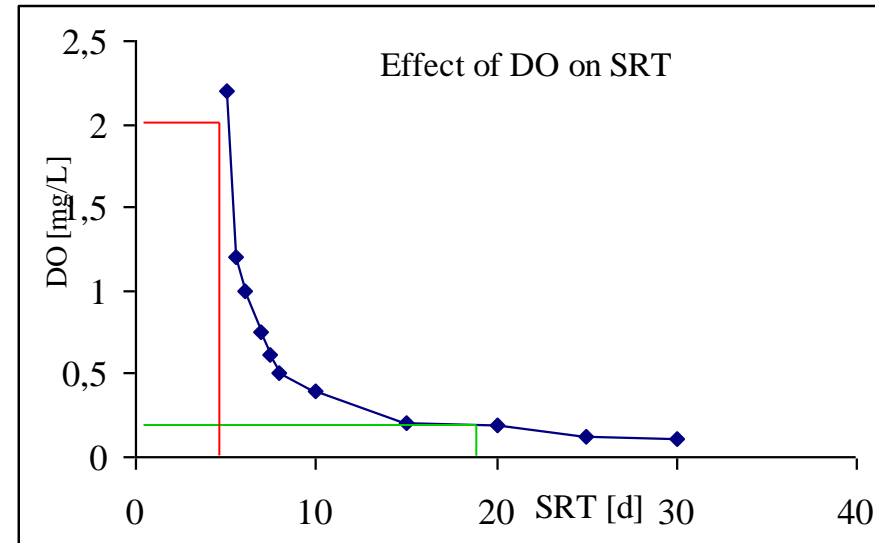
Επειδή ο SRT της νιτροποίησης είναι το αντιστρόφως ανάλογο μέγεθος του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ($1/\mu_n =$ SRT)

η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των τιμών σχεδιασμού SRT ως μια συνάρτηση των συγκεντρώσεων των μεγεθών $\text{NH}_4\text{-N}$ και του DO για ένα σύστημα πλήρους ανάμιξης (CMAS)

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Η επίδραση του DO στον σχεδιασμό του SRT γίνεται εμφανής στο διάγραμμα για μία συγκ. εξόδου $\text{NH}_4\text{-N}$ ίση με 1 mg/L στους 20°C χρησιμοποιώντας τις τιμές κινητικής για την νιτροποίηση και χωρίς συντελεστή ασφαλείας.
(Η πραγματική τιμή του SRT που θα χρησιμοποιηθεί είναι υψηλότερη σε εξάρτηση από τον συντελεστή ασφαλείας που θα επιλεγθεί)



Ο ρυθμός νιτροποίησης σε συγκέντρωση DO 0,2 mg/L είναι 24 % του ρυθμού σε συγκέντρωση DO 2,0 mg/L βασισμένο στις τιμές SRT 19,9 και 4,7 d αντίστοιχα.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

↳ Όταν οι οξειδωτικές τάφροι λειτουργούν με μεγάλη ηλικία ιλύος SRT 20-30 d η ικανότητα να επιτευχθεί πλήρης νιτροποίηση σε χαμηλό DO είναι δεδομένη.

↳ Ο ακριβής ρυθμός νιτροποίησης σε χαμηλές συγκεντρώσεις DO εξαρτάται από το είδος της λειτουργίας και ορίζει τις τιμές της παραμέτρου K_o (συντελεστής αναστολής οξυγόνου) που μπορούν να εφαρμοσθούν για να περιγράψουν την εξίσωση.

$$\mu_n = \left(\frac{\mu_{nm} N}{K_N + N} \right) \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn}$$

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Ο ρυθμός αναγωγής νιτρικών μπορεί να συσχετισθεί με τον ρυθμό κατανάλωσης υποστρώματος που δίδεται από την εξίσωση

$$r_{su} = -\left(\frac{kXS}{K_S + S}\right)\left(\frac{NO_3}{K_{S,NO_3} + NO_3}\right)\left(\frac{K_o'}{K_o' + DO}\right)(\eta)$$

ως ακολούθως,

πρώτα συσχετίζουμε τον ρυθμό κατανάλωσης νιτρικών με τον ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου r_o .

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου προέρχεται από την εξίσωση $R_o = Q(S_o - S) - 1,42P_{X,bio}$ διαιρώντας με τον όγκο της δεξαμενής.

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (r_o) είναι η διαφορά μεταξύ του ρυθμού κατανάλωσης υποστρώματος (r_{su}) και της ανάπτυξης βιομάζας (r_g) πάνω στην βάση του COD, ως ακολούθως:

Στην εξίσωση
$$r_o = -r_{su} - 1,42r_g$$

αντικαθιστούμε το r_g με
$$r_g = -Yr_{su} - k_d X$$

Y =απόδοση των κυττάρων, μάζα κυττάρων που σχηματίσθηκαν ανά μάζα υποστρώματος που καταναλώθηκε

K_d =συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης [1/T]

X = συγκέντρωση βιομάζας

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

$$r_o = -(1 - 1,42Y)r_{su} + 1,42k_d X$$

Όπου

r_o = ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (oxygen utilization rate), g/m³.d

r_{su} = ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος (substrate utilization rate), g/m³.d

r_g = ρυθμός καθαρής ανάπτυξης βιομάζας (net biomass growth rate), g/m³.d

k_d = συντελεστής ενδογενούς διάσπασης (endogenous decay coefficient), g VSS/ g VSS d

Χρησιμοποιώντας 2,86g ισοδύναμο O₂/g NO₃-N ο ρυθμός αναγωγής νιτρικών γίνεται $r_{NO_3} = r_o/2,86$

(r_{NO_3} = ρυθμός αναγωγής νιτρικού αζώτου (NO₃-N), g/m³.d)

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Με τον υπολογισμό του κλάσματος της βιομάζας που μπορεί να χρησιμοποιήσει νιτρικά (η), το r_{NO_3} γίνεται:

$$r_{NO_3} = -\left(\frac{1-1,42Y}{2,86}\right)r_{su} + \left(\frac{1,42}{2,86}\right)k_d X \eta$$

Επίσης αντικαθιστώντας εδώ την εξίσωση του r_{su} έχουμε:

$$r_{NO_3} = -\left(\frac{1-1,42Y}{2,86}\right)\left(\frac{kXS}{K_s + S}\right)\left(\frac{NO_3}{K_{s,NO_3} + NO_3}\right)\left(\frac{K_o'}{K_o' + DO}\right)\eta +$$
$$\left(\frac{NO_3}{K_{s,NO_3} + NO_3}\right)\left(\frac{K_o'}{K_o' + DO}\right)\left(\frac{1,42}{2,86}\right)k_d X \eta$$

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

Πρόκειται περί μίας γενικής έκφρασης για τον ρυθμό αναγωγής των νιτρικών σε έναν ανοξικό αντιδραστήρα.

Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εξίσωση η αναγωγή νιτρικών είναι μια συνάρτηση:

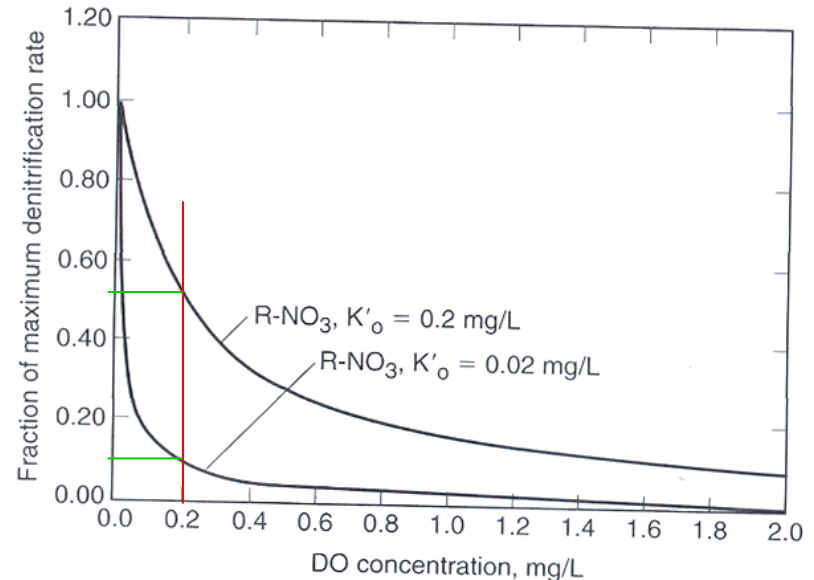
1. του rbCOD,
2. του $\text{NO}_3\text{-N}$,
3. του DO και
4. της συγκέντρωσης βιομάζας,
5. όπως επίσης και των διάφορων βιοκινητικών συντελεστών.

Ο συντελεστής αναστολής διαλυμένου οξυγόνου, K_o είναι δύσκολο να καθορισθεί και **εξαρτάται από το μέγεθος και την δομή των νιφάδων**

2. Διεργασίες απονιτροποίησης

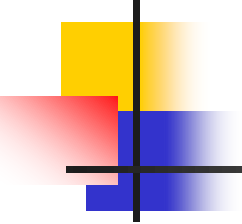
Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ιλύς) (SNdN)

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.



Για μεγάλους χρόνους παραμονής (SRT) σε συστήματα μεταξύ 18-30h υπάρχει αρκετός χρόνος για μια μεγάλη απόδοση αφαίρεσης νιτρικών ακόμη και αν μερικές φορές η παρουσία του DO δρα ανασταλτικά.

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