

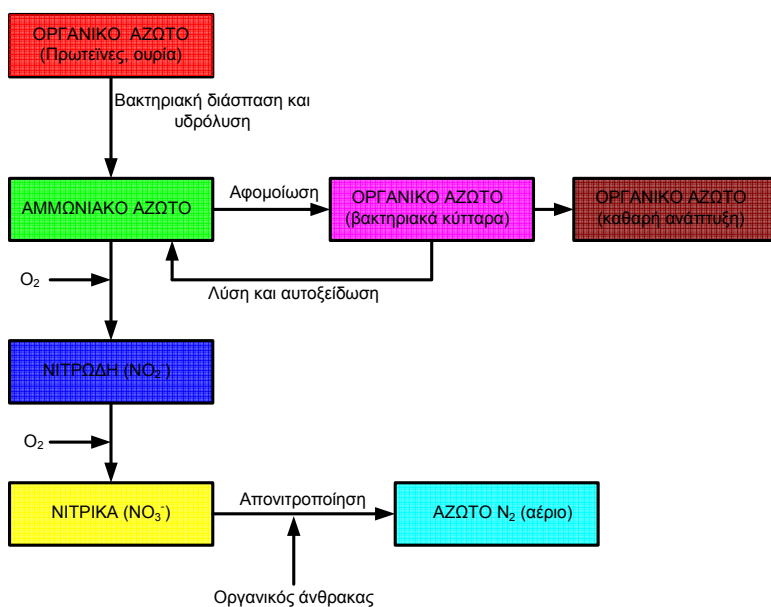
2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 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. Συγκρίνοντας με τις μεθόδους απομάκρυνσης της αμμωνίας με αερισμό, χλωρίωσης θραύσης και εναλλαγής ιόντων η βιολογική απομάκρυνση είναι οικονομικότερη και τυγχάνει μεγαλύτερης εφαρμογής. Εφαρμόζεται όπου απαιτείται προστασία των αποδεκτών από τον ευτροφισμό και από αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών στον υπόγειο υδροφόρο, όπου τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για εμπλουτισμό των υπόγειων νερών.

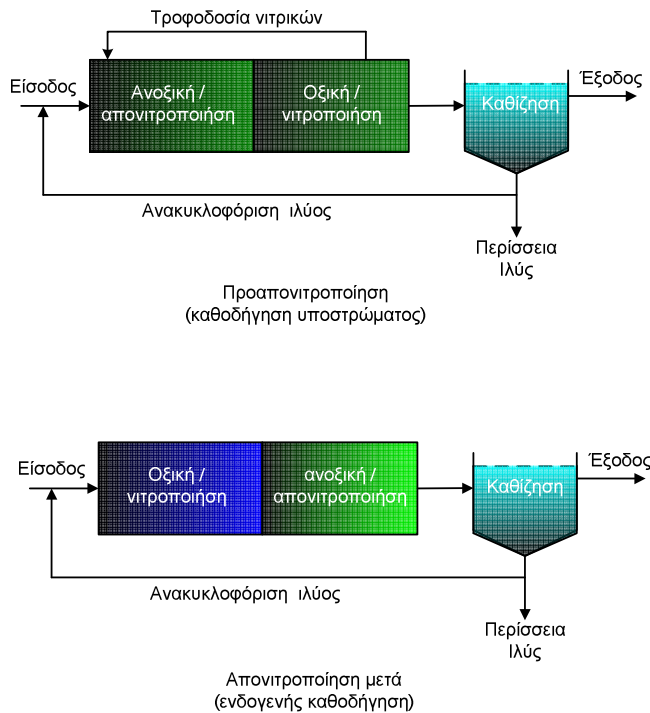
2.1.1 Περιγραφή της διεργασίας

Στις βιολογικές διεργασίες η αφαίρεση των νιτρικών επιτυγχάνεται κατά δύο τρόπους, την αφομοίωση και την αναπνοή των νιτρικών σχήμα 2-1. 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). Από την άλλη μεριά η αναγωγή των νιτρικών με αναπνοή είναι συνδεδεμένη με την αλυσίδα μεταφορά ηλεκτρονίων και τα νιτρικά ή τα νιτρώδη χρησιμοποιούνται για να παραλάβουν τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται κατά την οξείδωση των οργανικών ενώσεων.



Σχήμα 2-1: Μετατροπές του αζώτου στις βιολογικές διαδικασίες μετατροπής του αζώτου

Δύο βασικά διαγράμματα ροής για την απονιτροποίηση στην ενεργό ιλύς και οι συνθήκες που οδηγούν αυτήν την αντίδραση παρουσιάζονται στο σχήμα 2-2.



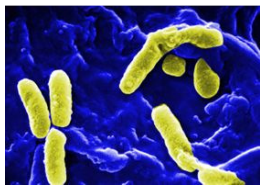
Σχήμα 2-2: Είδη απονιτροποιητικής διεργασίας και οι αντιδραστήρες που εφαρμόζονται για την υλοποίησή τους. (α) με προτροπή υποστρώματος (προτεταμένη απονιτροποίηση) και (β) ενδογενής προτροπή (ακολουθούσα απονιτροποίηση)

Το πρώτο σχήμα είναι και το πιο διαδεδομένο στην κόσμο. 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. Λόγω του ότι το οργανικό υλικό που περιέχεται στο εισερχόμενο απόβλητο αποτελεί τον ηλεκτρονιακό δότη για τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, η διαδικασία αυτή ονομάζεται *απονιτροποίηση υποστρώματος*. Πέρα από αυτό λόγω του ότι η ανοξική δεξαμενή βρίσκεται πριν την δεξαμενή αερισμού ονομάζεται *προτεταμένη απονιτροποίηση*.

Στην δεύτερη διαδικασία η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα μετά την νιτροποίηση και η πηγή ηλεκτρονίων προέρχεται από την ενδογενή αποσύνθεση (endogenous decay). Η διαδικασία που βλέπουμε στο σχήμα 2-2β καλείται γενικώς ακολουθούσα απονιτροποίηση μιας και η απομάκρυνση του BOD έλαβε χώρα πρώτη και δεν είναι ικανή να καθοδηγήσει την αντίδραση αναγωγής των νιτρικών. Βασιζόμενη η διεργασία στην ενδογενή αποσύνθεση κατέχει μικρότερο ρυθμό αντίδρασης 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 επαρκή ποσότητα BOD ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός αναγωγής των νιτρικών. Η ακολουθούσα απονιτροποίηση περιλαμβάνει διεργασίες σε αιωρούμενη και καθηλωμένη βιομάζα.

2.1.2 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*.



pseudomonas



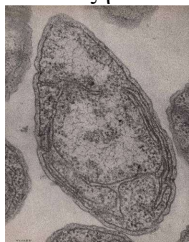
acinetobacter



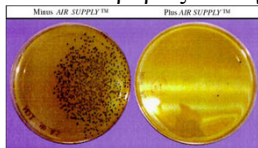
Nitrifying bacteria

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. 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.

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



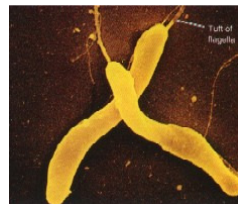
nitrosomonas europaea



Paracoccus



Paracoccus pantotrophus



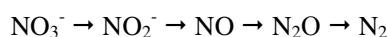
vibrio

Αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια, όπως η *nitrosomonas europaea* είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τα νιτρώδη 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.

2.1.3 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) ή το αέριο άζωτο (N_2):



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

- 1) το διασπάσιμο διαλυτό COD (bsCOD)
- 2) το διασπάσιμο 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.

Η στοιχειομετρία της απονιτροποίησης για διάφορες πηγές άνθρακα, $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$ χρησιμοποιείται συχνά για την αναπαράσταση του bsCOD (US EPA), είναι η ακόλουθη:

1. (υγρό απόβλητο)

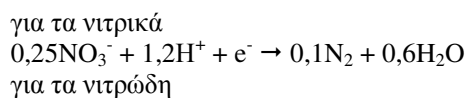
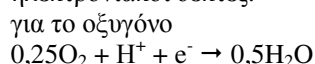
$$\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N} + 10\text{NO}_3^- \rightarrow 5\text{N}_2 + 10\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + 10\text{OH}^-$$
2. (Μεθανόλη)

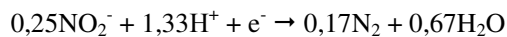
$$5\text{CH}_3\text{OH} + 6\text{NO}_3^- \rightarrow 3\text{N}_2 + 5\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 6\text{OH}^-$$
3. (Οξικό οξύ)

$$5\text{CH}_3\text{COOH} + 8\text{NO}_3^- \rightarrow 4\text{N}_2 + 10\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 8\text{OH}^-$$

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

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





Συγκρίνοντας τις παραπάνω ημιαντιδράσεις των νιτρικών με αυτές του οξυγόνου πρέπει να τονίσουμε ότι 0,25 mole οξυγόνου είναι ισοδύναμα με 0,2 mole νιτρικών για την μεταφορά ηλεκτρονίων σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Έτσι το ισοδύναμο οξυγόνου των νιτρικών ισούται με 2,86 gO₂/gNO₃-N (0,25x32gO₂/mole διαιρούμενο με 0,2x14g N/mole). Το ισοδύναμο του οξυγόνου είναι μια σημαντική παράμετρος σχεδιασμού όταν υπολογίζουμε την τελική απαίτηση σε οξυγόνο για συστήματα νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Αντίστοιχα για τα νιτρώδη το ισοδύναμο οξυγόνου είναι 1,71 gO₂/gNO₂-N.

Στην βιολογική απονιτροποίηση ο κύριος στόχος σχεδιασμού είναι να επιτύχουμε μείωση των νιτρικών με βιολογικό τρόπο. Έτσι 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 NO₃. Σε κάθε περίπτωση η πραγματική τιμή εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και την πηγή άνθρακα.

Βασίζομενη στην πληρόφωρα ότι η ποσότητα του οξυγόνου που χρησιμοποιείται για κάθε μονάδα bsCOD είναι σε άμεση σχέση με την παραγόμενη βιομάζα, ο λόγος bsCOD/NO₃-N είναι παρομοίως σε άμεση σχέση με την παραγωγή βιομάζας του συστήματος.

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

bsCOD_{syn} = είναι το bsCOD που ενσωματώνεται κατά την σύνθεση των κυττάρων, g bsCOD/d

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

Για την σύνθεση των κυττάρων το bsCOD_{syn} υπολογίζεται από την καθαρή παραγωγή βιομάζας και τον λόγο 1,42 g O₂/g VSS. Το ισοδύναμο του οξυγόνου της βιομάζας είναι ίσο με το bsCOD που ενσωματώνεται στην βιομάζα.

$$\text{bsCOD}_{\text{syn}} = 1,42 Y_n \text{bsCOD}_r$$

όπου

Y_n = καθαρή παραγωγή βιομάζας, g VSS/g bsCOD_r

Και

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

Έτσι

$$bsCOD_r = bsCOD_o + 1,42Y_n bsCOD_r \text{ και } bsCOD_o = (1-1,42 Y_n)bsCOD_r$$

Το $bsCOD_o$ είναι το οξειδούμενο COD και ισούται με το ισοδύναμο οξυγόνο του NO_3-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 NO_3-N , g O_2 /g NO_3-N

$NO_x =$ αναγόμενο NO_3-N , g/d

Αντικαθιστώντας την εξίσωση $bsCOD_o = (1-1,42 Y_n)bsCOD_r$ στην $bsCOD_o = 2,86 NO_x$ προκύπτει

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

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

2.1.4 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

$$\text{συγκέντρωση του διαλυτού υποστρώματος } S = \frac{K_s [1 + (k_d)SRT]}{SRT(Y.k - k_d) - 1}$$

$k =$ 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 $bsCOD$

με τα νιτρικά να παίζουν τον ρόλο του ηλεκτρονικού δέκτη όταν απουσιάζει το διαλυμένο οξυγόνο. Η συγκέντρωση των νιτρικών ελέγχει την κινητική της κατανάλωσης υποστρώματος μόνον σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις NO_3-N , κοντά στα 0,1 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.

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις στις οποίες ο ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος ελέγχει τον ρυθμό απονιτροποίησης. 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). 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. Λόγο του ότι το BOD έχει καταναλωθεί με την δευτεροβάθμια επεξεργασία, χρησιμοποιείται μια πηγή εξωτερικού άνθρακα για να καθοδηγήσει την αντίδραση της απονιτροποίησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, καθηλωμένης και αιωρούμενης βιομάζας, χρησιμοποιείται μεθανόλη.

Η ενδογενής αναπνοή επίσης απαιτεί την κατανάλωση νιτρικών πρόσθετα σε αυτή της κατανάλωσης υποστρώματος και οξειδωσης. Και αυτή η αντίδραση εμφανίζεται στο ανάμικτο υγρό των ανοξικών δεξαμενών και είναι πολύ μικρότερου ρυθμού.

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. Η συγκέντρωση της βιομάζας 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.

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, $r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + S}$, μεταβάλλεται λοιπόν κατά

έναν συντελεστή η για να φανεί ο χαμηλότερος ρυθμός κατανάλωσης στην ανοξική ζώνη: $r_{su} = -\frac{kXS\eta}{K_s + S}$,

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

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.

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. Ο σχεδιασμός της ενεργού ύλης, ο χρόνος παραμονής των στερεών στον αντιδραστήρα (SRT), και το ποσοστό του εισερχόμενου BOD που αφαιρείται με την χρήση νιτρικών εμφανίζεται να επηρεάζουν την παράμετρο η . 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.

Για τις διαδικασίες ανάπτυξης της αιωρούμενης ή καθηλωμένης βιομάζας 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 αναπτυχθεί για να σχεδιασθεί η απονιτροποίηση στο τέλος με την χρήση αιθανόλης. Ο χρόνος παραμονής των στερεών (SRT) κατά την κατανάλωση της μεθανόλης που απαιτείται για την απονιτροποίηση είναι παρόμοια με αυτόν τον που απαιτείται για ένα αερόβιο σύστημα σχεδιασμένο για την αφαίρεση του BOD, 3-6 ημερες.

2.1.5 Η επίδραση της συγκέντρωση 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 εξελεγχθεί κατά την παρουσία πολύ μικρής συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου. $DO \geq 0,13-0,2$ mg/L αναστέλλει την απονιτροποίηση.

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

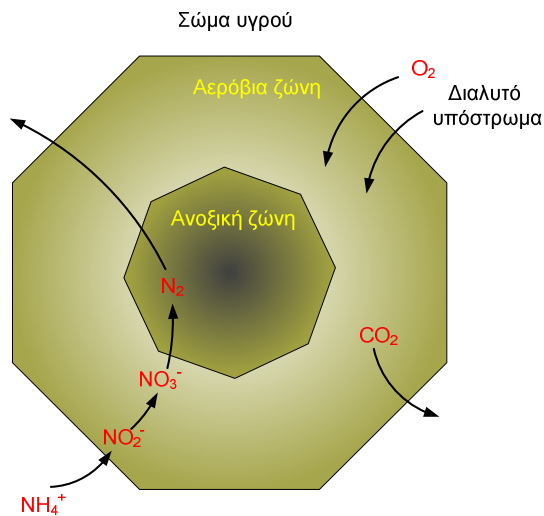
K'_o = συντελεστή αναστολής του οξυγόνου για την αναγωγή των νιτρικών, mg/L

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

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 ηλεκτρονικό 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.

2.1.6 Η επίδραση της ταυτόχρονης νιτροποίησης – απονιτροποίησης

Σε συστήματα ενεργού ιλύος το αντικείμενο συζήτησης διαλυμένο οξυγόνο είναι συγχυσμένο 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). Επίσης σε δεξαμενές ενεργού ιλύος που λειτουργούν με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, υφίστανται ζώνες οξικές – ανοξικές σε εξάρτηση από τις συνθήκες ανάμιξης και της απόστασης από το σημείο αερισμού, έτσι ώστε νιτροποίηση και απονιτροποίηση μπορεί να λάβει χώρα στην ίδια δεξαμενή. Βέβαια και οι δύο βιολογικές διεργασίες διεξάγονται με χαμηλούς ρυθμούς. Όμως εάν ο χρόνος παραμονής των στερεών (SRT), 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% .



Σχήμα 2-1: Διάγραμμα νιφάδας ενεργού ιλύος παρουσιάζοντας την οξεική και ανοξική ζώνη

2.1.7 Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Κατά την απονιτροποίηση παράγεται αλκαλικότητα και το pH αυξάνεται σε αντικατάσταση αυτού που μειώνεται κατά την νιτροποίηση. Σε αντίθεση με τους οργανισμούς νιτροποίησης, εδώ η επίδραση του pH είναι απέναντι στο ρυθμό απονιτροποίησης είναι μικρότερης σημασίας. Μάλιστα με pH μεταξύ 7,0-8,0 δεν εμφανίζεται καμία μεταβολή, όταν σε pH κάτω από 7,0 η επίδραση αρχίζει να γίνεται εμφανής.

2.1.8 Προϋποθέσεις για την απονιτροποίηση

Το ενεργειακό κέρδος από την αναπνοή των οργανικών ενώσεων κατά την απονιτροποίηση είναι μικρότερο, από όταν χρησιμοποιούν τα βακτήρια διαλυτό οξυγόνο. Για τον λόγο αυτό δεν πρέπει να υπάρχει καθόλου διαλυμένο οξυγόνο στην δεξαμενή απονιτροποίησης.

Κατά κανόνα όμως εμφανίζεται μερική απονιτροποίηση και σε δεξαμενές αερισμού όπου υπάρχει και λίγο διαλυμένο οξυγόνο. Υποθέτουμε ότι υπό αυτές τις συνθήκες το οξυγόνο μέσα στην νιφάδα ενεργού ιλύος είναι σχεδόν μηδέν. Λόγο του ότι η ταχύτητα διάχυσης των νιτρικών είναι μεγαλύτερη από αυτήν του διαλυμένου οξυγόνου, χρησιμοποιούνται κυρίως τα νιτρικά για την τροφοδοσία της νιφάδας ενεργού ιλύος με οξυγόνο και έτσι επιτυγχάνεται απονιτροποίηση.

Τα περισσότερα ετερότροφα βακτήρια είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν τα νιτρικά αντί για διαλυτό οξυγόνο για την αναπνοή των ενώσεων του άνθρακα. Για την πλήρη απονιτροποίηση απαιτείται επομένως να υπάρχει αρκετός άνθρακας στην δεξαμενή αερισμού.

Πλεονεκτικό επομένως θα ήταν για την πλήρη απονιτροποίηση να εφαρμόζονται κατασκευαστικοί συνδυασμοί οι οποίοι θα περιλαμβάνουν μια μικρή πρωτοβάθμια καθίζηση, για την κατακράτηση μόνο των χονδρών στερεών δηλαδή με έναν χρόνο παραμονής το πολύ 20 min ή και καθόλου. Στην πρωτοβάθμια καθίζηση κατακρατούνται συγκριτικά λιγότερες αζωτούχες ενώσεις (TKN) από τις ανθρακούχες (COD, BOD). Επομένως οι μονάδες χωρίς ή με μικρές ΔΠΚ διαθέτουν

στην δεξαμενή αερισμού μεγαλύτερες συγκεντρώσεις άνθρακα για την απονιτροποίηση. Σε πειράματα διαπιστώθηκε ότι ο λόγος της αφομοίωση νιτρικών προς την αφομοίωση ανθρακούχων ενώσεων είναι μεγαλύτερος όταν εφαρμόζεται χωρίς καθίζηση από ότι με καθίζηση. Οργανικές ενώσεις που διασπώνται εύκολα επηρεάζουν θετικά την απονιτροποίηση, τέτοιες ενώσεις είναι π.χ. τα οργανικά οξέα.

Επομένως οι προϋποθέσεις για την απονιτροποίηση συνοψίζονται ως εξής:

1. Παρουσία οξειδωμένων ενώσεων του αζώτου
2. Απουσία διαλυμένου οξυγόνου
3. Παρουσία προαιρετικών βακτηρίων
4. Παρουσία αφομοιούμενου υποστρώματος ως ενεργειακή πηγή

Ερώτηση 1. Για ποιο λόγο θα πρέπει να υπάρχει επαρκής ποσότητα ανθρακούχων ενώσεων στην ενεργό ιλύ για μία πλήρη απονιτροποίηση;

2.1.9 Αναπνοή νιτρικών

Ένας μεγάλος αριθμός ετερότροφων βακτηρίων είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τα νιτρικά ιόντα, κατά την απουσία του διαλυμένου οξυγόνου, ως τελικό δέκτη υδρογόνου για την αφομοίωση των οργανικών ενώσεων.

Η κατανάλωση των ετερότροφων βακτηρίων εξαρτάται από διάφορους παραμέτρους και κυρίως από την οργανική φόρτιση (COD, BOD) και την θερμοκρασία. Η αναπνοή των νιτρικών εξελίσσεται σχεδόν παράλληλα με τις παραμέτρους αυτές [14]. Στον πίνακα 2.1 παρατηρούμε τις διαφορές τιμές που προήλθαν από μετρήσεις για, την βασική αναπνοή των ανθρακούχων ενώσεων με αναστολή της νιτροποίησης (OVC), την αναπνοή των νιτρικών (OVCDN) όπως και την μέγιστη αναπνοή άνθρακα παρουσία μέγιστης ποσότητας υποστρώματος (OVC_{max}) και την αναπνοή των νιτρικών παρουσία της μέγιστης ποσότητας υποστρώματος (OVCDN_{max})

Πίνακας 2.1

Θερμοκρασία °C	OVC mg/L.h	OVDN mg/L.h	OVC _{max} mg/L.h	OVDN _{max} mg/L.h
12,5	19,5	12,5 (64%)	50	26,5 (3%)
17,5	30	22,7 (75%)	58	40,3 (70%)
22,5	42	31,6 (75%)		

Οι μετρήσεις δείχνουν καθαρά την εξάρτηση της κατανάλωσης ανθρακούχου υποστρώματος (κατανάλωση οξυγόνου) από την θερμοκρασία και την αντίστοιχη παράλληλη εξάρτηση της αφομοίωσης νιτρικών (OVDN), αντίστοιχα αυξάνει και ο λόγος OVDN/OVC. Συνήθης τιμή σχεδιασμού είναι OVDN/OVC = 0,75. Σε θερμοκρασίες κάτω από 10 βαθμούς εμφανίζονται σοβαρά προβλήματα αναστολής της απονιτροποίησης.

Ερώτηση 2. Με ποια σχέση συνδέονται οι διαφορετικές δραστηριότητες αναπνοής OVC, OVDN, OVC_{max}, OVDN_{max}.

2.1.10 Η θερμοκρασία

Κατά την απονιτροποίηση ελέγχουμε την επίδραση της θερμοκρασίας με την βοήθεια της εξίσωσης του Van't Hoff-Arrhenius:

$$v_t = v_{20} \times \theta^{(t-20)}$$

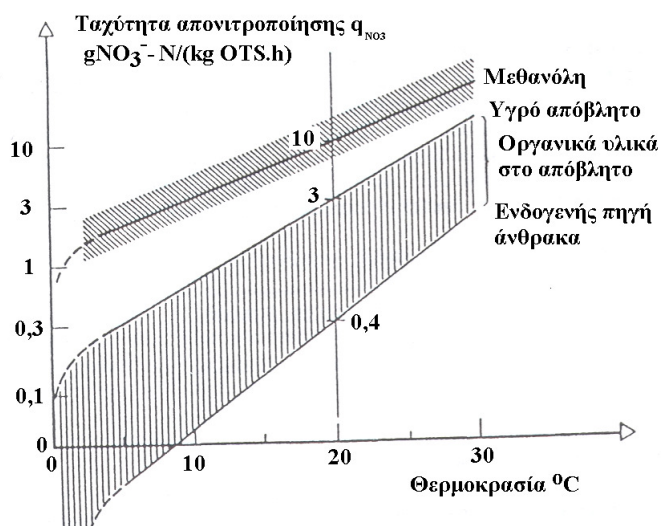
v_t = ταχύτητα απονιτροποίησης σε εξάρτηση από την θερμοκρασία

v_{20} = ταχύτητα απονιτροποίησης στους 20 βαθμούς

θ = συντελεστής θερμοκρασίας

Για το σύστημα ενεργού ιλύος προτείνονται οι ακόλουθες τιμές για τον συντελεστή θερμοκρασίας

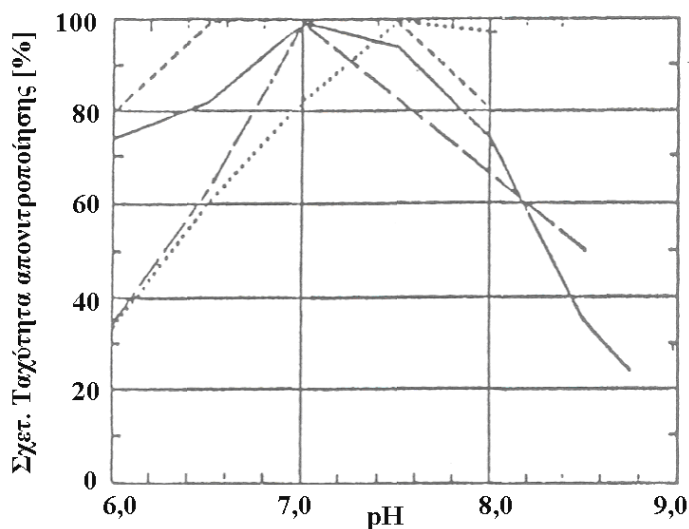
Η-Δότης	θ	v_{20}	Πεδίο θερμοκρασίας °C
Μεθανόλη	1,12	10	10 – 25
Υγρό απόβλητο	1,15	3	5 – 20
Ενδογενές υπόστρωμα	1,20	0,4	15 – 25



Διάγραμμα 2-1: Ταχύτητα απονιτροποίησης σε συνάρτηση της μείωσης του $\text{NO}_3\text{-N}$ σε εξάρτηση από την θερμοκρασία και την πηγή άνθρακα

2.1.11 Το pH

Επίσης σε σχέση με την τιμή του pH, όπως και στις διαδικασίες νιτροποίησης, μία βέλτιστη τιμή, η οποία βρίσκεται κοντά στο ουδέτερο σημείο σχήμα 2.2.



Διάγραμμα 2-2: Επίδραση του pH στην ταχύτητα απονιτροποίησης

2.1.12 Μέγεθος της δεξαμενής απονιτροποίησης

Κατά τον καθαρισμό υγρών αποβλήτων με νιτροποίηση και απονιτροποίηση το μέγεθος της δεξαμενής εξαρτάται από:

1. την επιδιωκόμενη απομάκρυνση αζώτου
2. τον λόγο συσχέτισης του νιτροποιούμενου αζώτου προς το BOD στην είσοδο
3. το ποσοστό του εύκολα αποδομούμενου BOD στην είσοδο
4. την ηλικία ιλύος
5. την συγκέντρωση στερεών στην δεξαμενή αερισμού
6. την θερμοκρασία του ανάμικτου υγρού

2.1.13 Μεγέθη και η επίδραση του στην απονιτροποίηση

Οι ακόλουθες παράμετροι επηρεάζουν θετικά την απονιτροποίηση:

1. Ο λόγος αζώτου προς BOD (N/BOD_5) στην είσοδο της δεξαμενής απονιτροποίησης να είναι μικρότερος από 0,2 π.χ. είσοδος αποβλήτων από ποτοποιεία.
2. Απουσία πρωτοβάθμιας καθίζησης (όταν το σύστημα αερισμού το επιτρέπει) ή μικρός χρόνος παραμονής στην δεξαμενή (π.χ. 20 min σε περίοδο ξηρασίας)
3. Ο λόγος του διαλυτού BOD προς το ολικό BOD είναι μεγάλος
4. Κατασκευή της προτεταμένης απονιτροποίησης με την μορφή σειράς δεξαμενών
5. Οξύνιση του υγρού απόβλητου πριν την επεξεργασία
6. Εξισορρόπηση της ποσότητας και της συγκέντρωσης (π.χ. με μια δεξαμενή εξισορρόπησης)

Οι ακόλουθες παράμετροι επηρεάζουν αρνητικά την απονιτροποίηση, διότι μειώνουν την συγκέντρωση του διαθέσιμου για την απονιτροποίηση BOD:

1. Μεγάλες ποσότητες εισερχομένων ξένων αποβλήτων και μικτής παροχής.
2. Μείωση του εύκολα αφομοιωμένου BOD στο δίκτυο
3. Μεγάλη χρονική παραμονή στην πρωτοβάθμια καθίζηση χωρίς οξύνιση
4. Πρωτοβάθμια καθίζηση
5. Ο λόγος του αζώτου προς το BOD μεγαλύτερος από 0,3 στην είσοδο
6. Ο λόγος του διαλυτού BOD προς το ολικό BOD είναι μικρός
7. Είσοδος διαλυτού οξυγόνου στην δεξαμενή απονιτροποίησης
8. Χρονικά διαφοροποιούμενες γραμμές διακύμανσης του BOD και N

Βιβλιογραφία

[14] Novak, O., Svardal, K., Nitrifikation – Denitrifikation. Wiener Mitteilungen Wasser – Abwasser – Gewässer, band 81, 1989.

2.2 Διεργασίες απονιτροποίησης

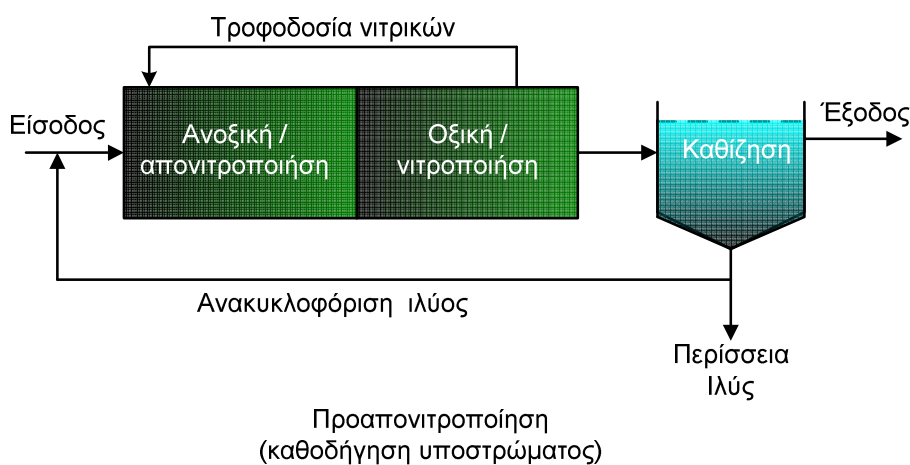
Σε κάθε δεξαμενή ενεργού ιλύος όταν οι συνθήκες παροχής οξυγόνου είναι ικανοποιητικές και η ηλικία ιλύος αντίστοιχα μεγάλη επιτυγχάνεται σε έναν μεγάλο βαθμό η νιτροποίηση. Για την επιτυχή όμως απονιτροποίηση θέτονται δύο λειτουργικές προϋποθέσεις:

1. Θα πρέπει να υπάρχουν στην δεξαμενή αερισμού ζώνες όπου απουσιάζει το διαλυμένο οξυγόνο. Στην δεξαμενή θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητική ανάμιξη της ενεργού ιλύος και του υγρού απόβλητου. Στα περισσότερα συστήματα π.χ. με διάχυση αέρα η τροφοδοσία οξυγόνου είναι συνδεδεμένη και με την ανάδευση. Για αυτό στο σύστημα αυτό θα πρέπει να τοποθετηθούν αναδευτήρες που θα φροντίσουν για την αιώρηση της ενεργού ιλύος στην φάση της απονιτροποίησης. Σε οξειδωτικές τάφρους ή δεξαμενές τύπου carousel, όπου η τροφοδοσία αέρα διεξάγεται με επιφανειακούς αεριστήρες οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα και οι ανοξικές και οξικές ζώνες δημιουργούνται κατά μήκος της ροής δεν είναι αναγκαία η τοποθέτηση υπόγειων αναδευτήρων.

2. Στις δεξαμενές ή ζώνες απονιτροποίησης θα πρέπει να υπάρχει επαρκής ποσότητα απαίτησης σε οξυγόνο των ετερότροφων βακτηρίων για την διάσπαση των ανθρακούχων ουσιών. Έτσι, στις μονάδες με δύο βαθμίδες και ξεχωριστή ανακυκλοφορία ιλύος, οξειδώνονται στην πρώτη βαθμίδα οι ανθρακούχες ενώσεις, ενώ στην δεύτερη με μεγαλύτερη ηλικία ιλύος λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση. Λόγο του ότι εδώ η αναπνοή των ανθρακούχων ενώσεων είναι ανεπαρκής, δεν μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική απονιτροποίηση. Ακόμα και σε μονάδες με μία δεξαμενή η απονιτροποίηση επιτυγχάνεται πλήρως μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες λειτουργίας.

2.2.1 Προτεταμένη απονιτροποίηση

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, και 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.



Σχήμα 2-2. Βασική αρχή λειτουργίας προτεταμένη απονιτροποίησης

Κατά την προτεταμένη απονιτροποίηση, σχήμα 2-2, για την επίτευξη υψηλών ρυθμών απονιτροποίησης, αναμειγνύονται 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).

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

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

2.2.2 Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής με την χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης

Η προσέγγιση σχεδιασμού βασίζεται στην χρήση του ειδικού ρυθμού απονιτροποίησης (SDNR), δηλαδή ο ρυθμός αναγωγής νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή κανονικοποιημένο ως προς την συγκέντρωση των MLSS. Η συγκέντρωση των αφαιρούμενων νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή περιγράφεται από την εξίσωση:

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

Όπου

NO_T = τα αφαιρούμενα νιτρικά, g/d

V_{nox} = όγκος ανοξικής δεξαμενής, m^3

SDNR = ειδικός ρυθμός απονιτροποίησης, g NO_3-N/g MLVSS.d

MLVSS = Συγκέντρωση αιωρούμενων πτητικών στερεών, mg/L

Οι τιμές του SDNR που έχουν παρατηρηθεί σε υφιστάμενες μονάδες κυμαίνονται από 0,04 - 0,42 g NO_3-N/g MLVSS.d, ενώ για την ακολουθούσα απονιτροποίηση χωρίς εξωτερικό ηλεκτρονικό δότη (πηγή άνθρακα) οι τιμές κυμαίνονται από 0,01 - 0,04 g NO_3-N/g MLVSS.d.

Τιμές σχεδιασμού SDNR σε θερμοκρασία 20°C παρουσιάζονται στο σχήμα 2-3. Οι τιμές είναι γενικώς εφαρμόσιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υγρά απόβλητα με διαφορετικά κλάσματα σε rbCOD (rbCOD/bCOD) και ανόργανο μη βιοδιασπάσιμα πτητικά στερεά. Τα διαγράμματα βασίζονται μόνο στην συγκέντρωση της ετερότροφης ενεργής βιομάζας του ανάμικτου υγρού, έτσι ώστε να είναι γενικώς εφαρμόσιμες αδιάφορα από την ποσότητα των μη βιοδιασπάσιμων στερεών και του SRT.

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

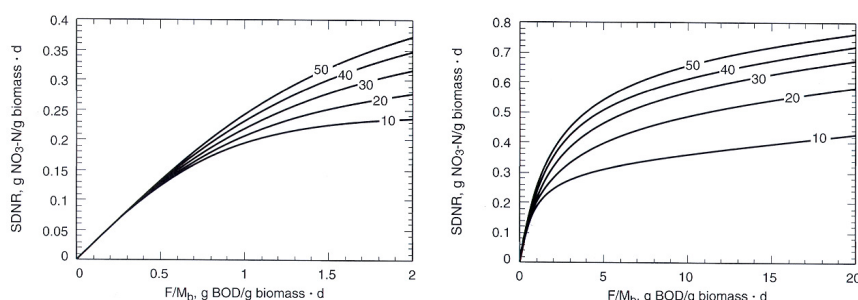
Q = παροχή εισόδου, m^3/d

S_o = συγκέντρωση COD εισόδου, mg/L

V_{nox} = ανοξικός όγκος, m^3

X_b = συγκέντρωση ανοξικής βιομάζας, mg/L

Οι καμπύλες που παρατηρούμε στο σχήμα 2-3 είναι αποτελέσματα υπολογιστικές προσεγγίσεις των ισοζυγίων μάζας των παραμέτρων : της βιομάζας, του NO_3-N , του rbCOD και του pbCOD της ανοξικής δεξαμενής. Για μικρότερες τιμές τ (υδραυλικός χρόνος παραμονής $\tau = V/Q$) ο λόγος F/M μεγαλώνει και αυτό αντικατοπτρίζεται σε υψηλότερη συγκέντρωση rbCOD στην ανοξική ζώνη και αντίστοιχα υψηλότερος ρυθμός απονιτροποίησης (SDNR). Εσωτερική ανακυκλοφορία από την αερόβια ζώνη και επιδράσεις της θερμοκρασίας συμπεριλαμβάνονται επίσης.



Σχήμα 2-3: Καμπύλες που παρουσιάζουν τον ειδικό ρυθμό απονιτροποίησης ($SDNR_b$) βασισμένες στην συγκέντρωση της βιομάζας στους 20 οC 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.

Οι βιοκινητικές σταθερές παρουσιάζονται στον πίνακα 2-1. Αν θέλουμε να σχεδιάσουμε τις διεργασίες με βάση τα διαγράμματα στο σχήμα 2-4 θα πρέπει να υπολογισθεί η συγκέντρωση της ενεργού βιομάζας (VSS) στο ανάμικτο υγρό χρησιμοποιώντας την μέθοδο που αναπτύχθηκε στο παράδειγμα για τον σχεδιασμό του συστήματος πλήρους ανάμιξης για την απομάκρυνση άνθρακος με νιτροποίηση. Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη συγκέντρωση βιομάζας, εξηγούνται οι επιδράσεις του SRT για τον σχεδιασμό.

Πίνακας 2-1: Βιοκινητικές σταθερές που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη $SDNR_b$ καμπυλών σχεδιασμού

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

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). Σε υψηλές τιμές του λόγου F/M , όπως προκύπτει από το σχήμα 2-4 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 , και όπου η πρώτη ανοξική ζώνη έχει χρόνο παραμονής μόλις 10-20 λεπτά. Για μεγάλους χρόνους παραμονής στην ανοξική ζώνη (3-6h), ο $SDNR_b$ θα βρεθεί σε χαμηλές τιμές F/M . 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 $\theta = 0$ συντελεστής θερμοκρασίας (1,026)

$T =$ θερμοκρασία, °C

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). 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

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

$$n = \frac{RV}{(RV + 1)} 100\% \quad \text{και} \quad RV = \frac{TS_R}{(TS_{RS} + TS_R)}$$

Έτσι όταν επιθυμούμε μια υψηλή απόδοση αφαίρεσης του αζώτου, θα πρέπει η ανακυκλοφορία των ρευμάτων απόβλητο – ιλύς να επιλεγεί κατάλληλα. Εδώ πλέον παρουσιάζονται τεχνικά όρια, διότι με τον υψηλό ρυθμό ανακυκλοφορίας 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. Επίσης, με τους υψηλούς ρυθμούς ανακυκλοφορίας, επέρχεται ένα λειτουργικό όριο εξ αιτίας της μεταφοράς οξυγόνου από την δεξαμενή νιτροποίησης στην ανοξική δεξαμενή, κάτι που μειώνει τον βαθμό απονιτροποίησης.

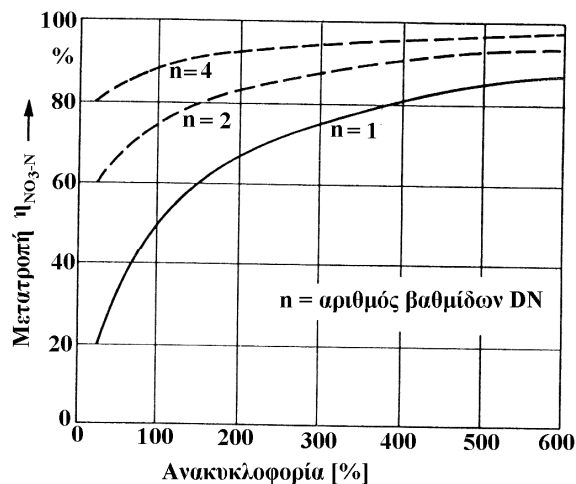
Η μέθοδος της προτεταμένης απονιτροποίησης ισχύει επίσης και κατά την απονιτροποίηση πολλών βαθμίδων. Στην μέθοδο αυτή εναλλάσσονται διαδοχικά δύο και πάνω δεξαμενές απονιτροποίησης / νιτροποίησης, **σχήμα 2-5**. Στην περίπτωση αυτή μειώνεται η απαιτούμενη ανακυκλοφορία, διότι τα σχηματιζόμενα νιτρικά στην πρώτη βαθμίδα αποδομούνται στην αμέσως επερχόμενη απονιτροποιητική δεξαμενή. Η ανακυκλοφορία υπολογίζεται από

$$RV = \frac{Q_{RS} + Q_{RZ}}{Q}$$

και ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από

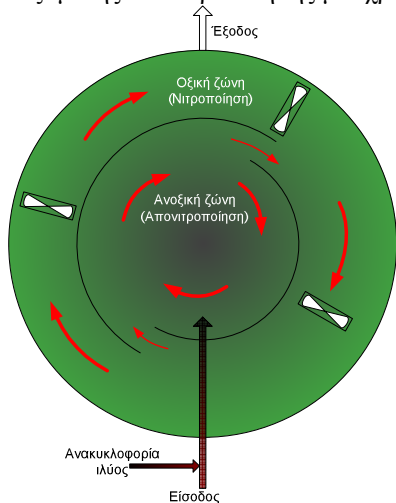
$$\eta_D = 1 - \frac{1}{n(RV + 1)}$$

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% (σχήμα 2-6). 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.



Σχήμα 2-6. Μετατροπή νιτρικών ως συνάρτηση της σχέσης ανακυκλοφορίας και του αριθμού βαθμίδων απονιτροποίησης

Μία επίσης ενδιαφέρουσα από υδραυλικής άποψης λύση είναι η απονιτροποίηση σε κυκλική δεξαμενή, στην οποία συνεχώς ένα μέρος της παροχής εναλλάσσεται από την δεξαμενή νιτροποίησης στην απονιτροποίηση και αντίστροφα. Για να επιτύχουμε όμως πλήρη απονιτροποίηση απαιτείται να μην υπάρχει καθόλου διαλυμένο οξυγόνο στην ανοξική ζώνη και αυτό απαιτεί πάρα πολύ καλή ρύθμιση της παροχής οξυγόνου στην οξική ζώνη, νιτροποίηση. Και εδώ απαιτείται για τον σχεδιασμό του όγκου της δεξαμενής απονιτροποίησης μία χρονικά επαρκής διάρκεια επαφής. Σχήμα 2-7.



Σχήμα 2-7. Απονιτροποίηση σε κυκλική δεξαμενή

2.2.3 Ανοξική / Αερόβια Μέθοδος - διεργασίες σχεδιασμού

Οι διεργασίες σχεδιασμού για την ανοξική / Αερόβια μέθοδο παρουσιάζονται στον πίνακα 2-2. Το fCOD 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 . Μετά τον καθορισμό των χαρακτηριστικών του απόβλητου, ο πρώτο βήμα σχεδιασμού θα είναι ο σχεδιασμός του αερόβιου αντιδραστήρα για την νιτροποίηση. Ο αερόβιος όγκος βασίζεται στην χρήση SRT για νιτροποίηση και μόνον ο όγκος της αερόβιας δεξαμενής και το ανάμικτο υγρό χρησιμοποιούνται για την υπολογισμό της απομάκρυνσης ιλύος για αυτόν τον χρόνο παραμονής (SRT). 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 οξειδωση και κατ'ανάλωση ενός μέρους του bCOD στην προανοξική ζώνη.

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

1.	Καθορισμός των παροχών του υγρού απόβλητου, συμπεριλαμβανοντας και την συγκέντρωση του fCOD 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 υπολογίστηκε στο βήμα 9 του σχεδιασμού νιτροποίησης και την απαιτούμενη συγκέντρωση εξόδου $\text{NO}_3\text{-N}$
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
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

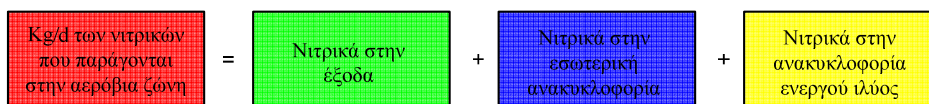
15.	Σύνοψη των χαρακτηριστικών τελικής εκροής
16.	Δημιουργία συνοπτικού πίνακα σχεδιασμού.

Ένα ισοζύγιο μάζας θα πρέπει να διεξαχθεί 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

Η ποσότητα των νιτρικών που παράγεται στην αερόβια ζώνη βασίζεται στην παροχή και συγκέντρωση του αζώτου στην είσοδο, στην συγκέντρωση που καταναλώνεται για την σύνθεση των κυττάρων και την συγκέντρωση $\text{NH}_3\text{-N}$ και διαλυτού οργανικού αζώτου στην έξοδο. Κάνοντας μια συντηρητική προσέγγιση υποθέτουμε ότι όλο το TKN εισόδου είναι βιοδιασπάσιμο και 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, RAS και την παροχή εξόδου.

Το ισοζύγιο μάζας εκφράζεται ως ακολούθως:



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

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

Όπου

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

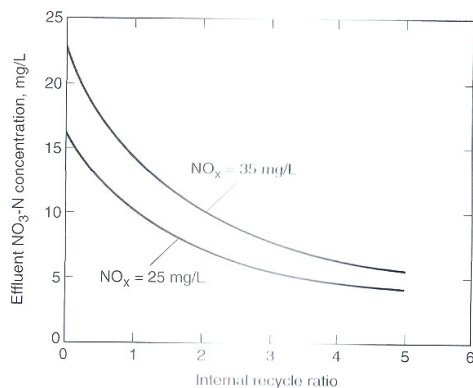
R = RAS λόγος ανακυκλοφορίας ιλύος (παροχή ανακυκλοφορίας ενεργού ιλύος/παροχή εισόδου)

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

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

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 RAS = 0,5 παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2-2. 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. Τυπικές τιμές IR είναι από 3-4 αλλά και τιμές 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. Η ποσότητα του DO που τροφοδοτείται εξ αιτίας της εσωτερικής ανακυκλοφορίας θα πρέπει να παραμείνει μικρό λόγο 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.



Διάγραμμα 2-2: Επίδραση του ρυθμού εσωτερικής ανακυκλοφορίας στην συγκέντρωση νιτρικών στην έξοδο (λόγος RAS 0,5) για μια ανοξική /αερόβια διεργασία

2.2.4 Διεργασίες ταυτόχρονης νιτροποίησης απονιτροποίησης (μέσα στην ίδια ενεργό ύλη) (SNdN)

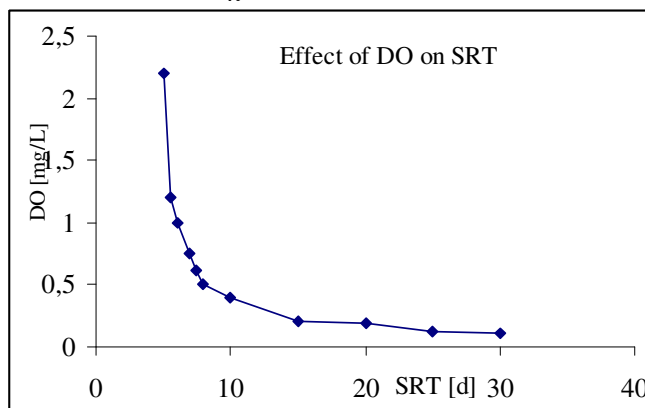
Υψηλές αποδόσεις νιτροποίησης και απονιτροποίησης επιτυγχάνονται επίσης σε συστήματα οξειδωτικών τάφρων τα οποία λειτουργούν με χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (0,1-0,4 mg/L) και σχετικά μεγάλες τιμές τ και SRT. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις DO οδηγούν σε μικρής ταχύτητας ρυθμούς νιτροποίησης, διότι η νιφάδα ενεργού ύλους είναι μόνον κατά το ένα τμήμα αερόβια. 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. Οι ρυθμοί νιτροποίησης και απονιτροποίησης είναι μία συνάρτηση της κινητικής της αντίδρασης, του μεγέθους, της δομής και της πυκνότητας της νιφάδας, της φόρτισης του rbCOD και της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο σώμα του υγρού. Εξ αιτίας της πολυπλοκότητας των φυσικών παραγόντων που επιδρούν δεν είναι εύκολο να προβλέψει κανείς με ακρίβεια τους ρυθμούς των βιολογικών διεργασιών. Βασική όμως τροποποίηση του μοντέλου ανάπτυξης του Monod είναι σε θέση να μας βοηθήσει να εκτιμήσουμε την επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου στους ρυθμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης και να ρυθμίσουμε σωστά τις διεργασίες.

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

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

Επειδή ο SRT της νιτροποίησης είναι το αντιστρόφως ανάλογο μέγεθος του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης μ_n 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). Η επίδραση του DO στον σχεδιασμό του SRT γίνεται εμφανής στο **διάγραμμα 2-3**. Δεν εφαρμόστηκε συντελεστής ασφαλείας για τους υπολογισμούς. Η πραγματική τιμή του SRT που θα χρησιμοποιηθεί είναι υψηλότερη σε εξάρτηση από τον συντελεστή ασφαλείας που θα επιλεγεί. 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.



Διάγραμμα 2-3: Επίδραση της συγκέντρωσης του DO στον SRT που απαιτείται για την επίτευξη στόχων μείωσης του $\text{NH}_4\text{-N}$ σε συγκεντρώσεις $<1,0 \text{ mg/L}$ στους 20°C σε ένα σύστημα CMAS βασισμένη στους κινητικούς συντελεστές για την νιτροποίηση

Όταν οι οξειδωτικές τάφροι λειτουργούν με μεγάλη ηλικία ιλύος SRT 20-30 d η ικανότητα να επιτευχθεί πλήρης νιτροποίηση είναι δεδομένη. Ο ακριβής ρυθμός νιτροποίησης σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου 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.

Ο ρυθμός αφαίρεσης 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. **Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου προέρχεται από την εξίσωση $r_o = -r_{su} - 1,42r_g$ διαιρώντας με τον όγκο της δεξαμενής.**

Ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου είναι η διαφορά μεταξύ του ρυθμού κατανάλωσης υποστρώματος και της ανάπτυξης βιομάζας πάνω στην βάση του COD ως ακολούθως:

Στην εξίσωση $r_o = -r_{su} - 1,42r_g$ αντικαθιστούμε το r_g με $r_g = -Yr_{su} - k_d X$,

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

Όπου r_o = ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου (oxygen utilization rate), $\text{g/m}^3 \cdot \text{d}$
 r_{su} = ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος (substrate utilization rate), $\text{g/m}^3 \cdot \text{d}$
 r_g = ρυθμός καθαρής ανάπτυξης βιομάζας (net biomass growth rate), $\text{g/m}^3 \cdot \text{d}$

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

Χρησιμοποιώντας 2,86g ισοδύναμο O_2 /g NO_3-N ο ρυθμός αναγωγής νιτρικών γίνεται $r_{NO_3} = r_o/2,86$ (r_{NO_3} = ρυθμός αναγωγής νιτρικού αζώτου (NO_3-N), $g/m^3 \cdot d$)

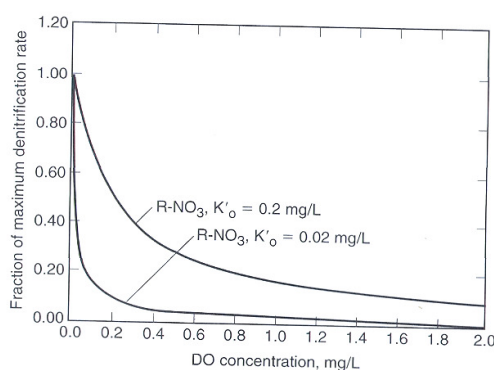
Προσμετρώντας ότι ένα μέρος της βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιήσει νιτρικά (η), το r_{NO_3} γίνεται:

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

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

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

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 του rbCOD, του NO_3-N , του DO και της συγκέντρωσης βιομάζας, 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. Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στον ρυθμό απονιτροποίησης φαίνεται στο διάγραμμα 2-4 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.



Διάγραμμα 2-4: Επίδραση της συγκέντρωσης του DO του ανάμικτου υγρού στον μέγιστο ρυθμό απονιτροποίησης (r_{NO_3})

Παράδειγμα σχεδιασμού ανοξικής/οξικής απονιτροποίησης

Παράδειγμα σχεδιασμού βαθμιδωτής τροφοδοσίας ανοξικής/οξικής απονιτροποίησης

Παράδειγμα σχεδιασμού ασυνεχούς αερισμού

Παράδειγμα σχεδιασμού ακολουθούσας ενδογενούς απονιτροποίησης

Παράδειγμα σχεδιασμού απομάκρυνσης αζώτου κατά την φάση πλήρωσης ενός SBR

Παράδειγμα σχεδιασμού ακολουθούσας απονιτροποίησης με εξωτερική πηγή άνθρακα

2.2.5 Ταυτόχρονη, τοπικά και χρονικά εναλλασσόμενη απονιτροποίηση (

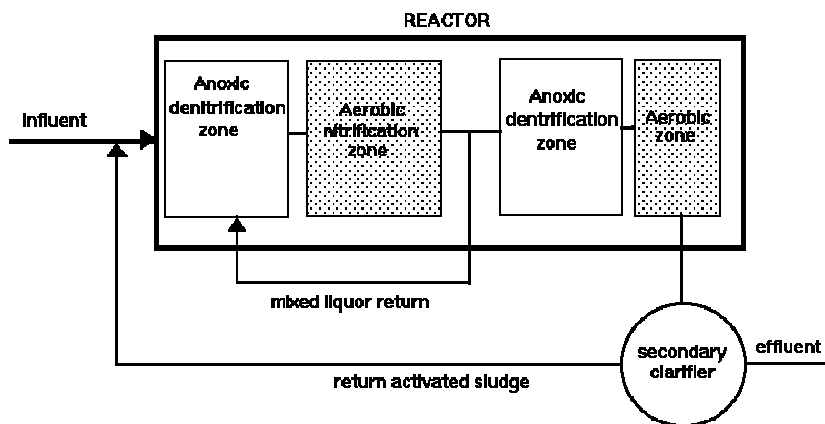
Όταν ο κατασκευαστικός σχεδιασμός επιτρέπει μέσα σε μία δεξαμενή ενεργού ιλύος (αερισμού) με την κατάλληλο αερισμό να επιτύχουμε την νιτροποίηση και απονιτροποίηση τότε ομιλούμε για ταυτόχρονη απομάκρυνση του αζώτου. Εναλλάσσονται τοπικά και χρονικά ανοξικές και οξικές ζώνες, χωρίς την απαραίτητη σταθερή κατασκευαστική δομή μέσα στην δεξαμενή ενεργού ιλύος.

Η μετάβαση μεταξύ της προτεταμένης και ταυτόχρονης απονιτροποίησης είναι μερικές φορές δύσκολο να διαχωρισθεί και ιδιαίτερα όταν λόγω της αυξημένης ανακυκλοφορίας ιλύος ένας αντιδραστήρας βυσματικής ροής μετατρέπεται σε αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης.

Κατά την χρονικά εναλλασσόμενη απονιτροποίηση (intermittent) αντιθέτως, επιτυγχάνονται οι κατάλληλες συνθήκες για την νιτροποίηση και απονιτροποίηση στην δεξαμενή ενεργού ιλύος με χρονική διαφορά. Αυτό επιτυγχάνεται με την έναρξη και παύση του αερισμού.

Κατά την τοπικά εναλλασσόμενη απονιτροποίηση (altermittent) αντιθέτως, επιτυγχάνονται οι νιτροποίηση και η απονιτροποίηση σε ξεχωριστές δεξαμενές ενεργού ιλύος, οι οποίες για τον σκοπό αυτό λειτουργούν εναλλακτικά.

Στο σύστημα **Bardenpho** και τις παραλλαγές του γίνεται προσπάθεια να επιτευχθεί μεγάλη μείωση του οργανικού και αζωτούχου φορτίου, φέρνοντας αμέσως σε επαφή το υγρό απόβλητο και τα μόλις παραγόμενα νιτρικά, ήδη στην αρχική ζώνη μίας από πολλές βαθμίδες αποτελούμενη μονάδα. Επομένως δημιουργούνται ζώνες ανοξικές και αερόβιες μέσα σε έναν μόνο αντιδραστήρα, έτσι ώστε η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση να εξελίσσονται σχεδόν ταυτόχρονα. Η πρώτη ανοξική ζώνη όπου η συγκέντρωση των νιτρικών είναι χαμηλή παίζει σπουδαίο ρόλο για την βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου.



Σύστημα Bardenpho

Βέβαια θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι παρόμοιες μονάδες σχεδιάστηκαν να λειτουργούν για συνθήκες νοτίου Αφρικής δηλαδή για υψηλές θερμοκρασίες. Οι ταχύτητες αντίδρασης, ιδιαίτερα της κατανάλωσης οξυγόνου, είναι αντίστοιχα υψηλές και φροντίζουν για μία γρήγορη ρύθμιση των κατάλληλων συνθηκών απονιτροποίησης.

Παρόμοιες λειτουργικές συνθήκες προσπαθούμε να επιτύχουμε στην Ευρώπη με την κατασκευή των κυκλικά λειτουργούντων συστημάτων με μεγάλο μήκος, π.χ. του συστήματος carousel ή οξειδωτικών τάφρων με ηύκτρα αερισμού. Σε παρόμοιες μονάδες με σημειακή τροφοδοσία οξυγόνου προσπαθούμε να επιτύχουμε τις ανοξικές και οξικές ζώνες στις οποίες θα επιτευχθεί σχεδόν ταυτόχρονα η οξείδωση αφαίρεση του αζώτου. Παρόμοιες μονάδες παρουσιάζουν χαρακτηριστικά μια σχετικά μικρή βαθμωτή μεταβολή της συγκέντρωσης του οξυγόνου. Κατά τον τρόπο αυτό είναι συχνά ανεπαρκής η απόδοση της απονιτροποίησης, διότι η ελάχιστη παροχή του οξυγόνου ελέγχεται πολύ δύσκολα. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται πολύ μικρές χρονικά ανοξικές ζώνες και οι μετατροπές των νιτρικών και νιτρωδών δεν μπορούν να προσαρμοστούν αρκετά γρήγορα στην αναπνοή των NO_x ιόντων.

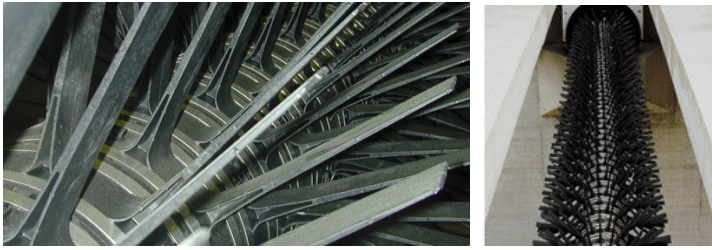
Πέρα από αυτό σε πολλές περιπτώσεις θα είναι αναγκαίο να σταματούν πλήρως τα συστήματα αερισμού, ώστε σε ορισμένα χρονικά διαστήματα να διεξάγονται οι διεργασίες κάτω από μεγάλες βαθμωτές μεταβολές της συγκέντρωσης του οξυγόνου.



Επιφανειακός αερισμός

Σχόλιο [MSOffice1]:

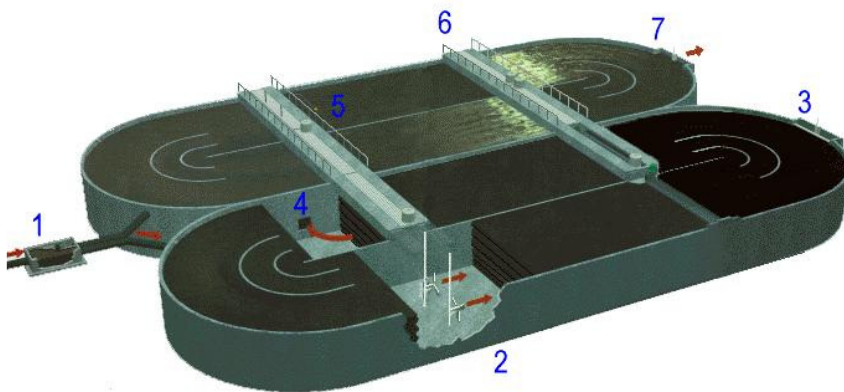




Ψύκτρα αερισμού

Κάτω από τον ορισμό εναλλασσόμενα απονιτροποίηση ταξινομούμε συστήματα, τα οποία με χρονική σειρά το ένα μετά το άλλο δημιουργούν συνθήκες βιοκοινωνίας νιτροποίησης / απονιτροποίησης, αλλά προβλέπουν και μία ασυνεχή τροφοδοσία. Ως παραδείγματα φέρονται τα συστήματα Bio-Denitro και SBR (Sequencing-Batch-Reactor).

Κατά το σύστημα **Bio-Denitro** (προερχόμενο από την Δανία) τροφοδοτούνται εναλλάξ δύο δεξαμενές με ακατέργαστο υγρό απόβλητο τα οποία κατόπιν αναδεύονται. Εδώ εξελίσσεται η απονιτροποίηση σε συνεπεξεργασία με την ανακυκλοφορούσα ιλύ, που περιέχει νιτρικά και το φορτίο νιτρικών από την προηγούμενη φάση. Κατόπιν ακολουθεί μία δεύτερη φάση οξειδωσης του αζώτου σε δεύτερη δεξαμενή αερισμού.



1. Ο διανομέας εισερχόμενου απόβλητου είναι μια μηχανικά λειτουργούσα πύλη που αλλάζει τη θέση από τα αριστερά στα δεξιά περίπου κάθε 2 ώρες. Στη φάση του λειτουργούντος κύκλου BioDenitro (ανωτέρω), ο διανομέας κατευθύνει την παροχή εισόδου και την ανακυκλοφορούσα ιλύ (RAS) στην δεξαμενή 2. Αυτό παρέχει την απαραίτητη πηγή άνθρακα για την απονιτροποίηση.
2. Οι αργόστροφοι υποβρύχιοι αναμίκτες μεταδίδουν την ταχύτητα στα βιοστερεά για να διατηρηθούν σε αιώρηση κατά τη διάρκεια των ανοξικών φάσεων της διαδικασίας. Επίσης οι αναμίκτες συμπληρώνουν τους αναδευτήρες όπως απαιτείται για την γρήγορη ανταπόκριση του αυτόματου

ελέγχου του διαλυμένου οξυγόνου (DO) κατά τη διάρκεια των οξικών φάσεων της διαδικασίας.

3. Το μηχανικής λειτουργίας επίσης φράγμα εκροής του υγρού απόβλητου, αλλάζει τη θέση του από υψηλότερο σημείο σε χαμηλότερο, ή αντίστροφα, περίπου κάθε 2 ώρες. Σε αυτήν την φάση της διαδικασίας, το φράγμα στην τάφρο 2 βρίσκεται επάνω.
4. Το απονιτροποιημένο ανάμικτο υγρό ρέει με φυσική ροή από την δεξαμενή 2 στην δεξαμενή 1 λόγω της υδραυλικής κλίσης που δημιουργήθηκε από τον διανομέα εισόδου και το φράγμα εξόδου.
5. Ένα οξυγονόμετρο ελέγχει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο ανάμικτο υγρό και διαβιβάζει ένα σήμα στο κέντρο ελέγχου, το οποίο ελέγχει τη λειτουργία των αεριστήρων μέσω ενός προγραμματισμένου PLC.
6. Οι αναδευτήρες διατηρούν τις οξικές συνθήκες μέσα στο ανάμικτο υγρό κατά τη διάρκεια των φάσεων της διαδικασίας νιτροποίησης. Η γέφυρα των αναδευτήρων μειώνει το θόρυβο και τα αερολύματα, παρέχοντας επίσης την πρόσβαση για τη συντήρηση του εξοπλισμού.
7. Το φράγμα εξόδου στην δεξαμενή 1 χαμηλώνει για να επιτρέψει την έξοδο του ανάμικτου υγρού από τη διεργασία. Επίσης το φράγμα εξόδου ελέγχει και το βάθος βύθισης των αεριστήρων.

Κατά το σύστημα SBR εξελίσσονται τα επιμέρους βήματα το ένα μετά το άλλο μέσα σε μία μόνον δεξαμενή, βέβαια και εδώ είναι επίσης αναγκαίοι δύο αντιδραστήρες για να μπορέσουμε να εγγυηθούμε την συνεχόμενη τροφοδοσία και επεξεργασία.

2.3 Συνοπτική εξέταση των συστημάτων απονιτροποίησης

2.4 Διαδικασία επιλογής μεθόδου

2.5 Μέτρηση και Έλεγχος διεργασιών κατά την απομάκρυνση του αζώτου

Γενικά

Σε περίπτωση που δεν εμφανίζονται τοξικές και ανασταλτικές ουσίες στο υγρό απόβλητο, ρυθμίζεται και ξεκινά η νιτροποίηση από μόνη της, όταν υπάρχει επαρκής ποσότητα οξυγόνου και μεγάλη ηλικία ιλύος. Βέβαια για την πλήρη απομάκρυνση του αζώτου με απονιτροποίηση και την βέλτιστη δυνατή νιτροποίηση σε μονάδες με ταυτόχρονη νιτροποίηση απονιτροποίηση και σε μονάδες με χρονικά εναλλασσόμενη απονιτροποίηση (intermittent) θα πρέπει να ελεγχθεί επαρκώς η τροφοδοσία του οξυγόνου.

Κατά την ταυτόχρονη απονιτροποίηση με διακριτές ανοξικές ζώνες ή/και χρόνους επαρκεί για την αρχή μία ρύθμιση με βάση το $\text{NH}_4^+\text{-N}$, η οποία ελέγχει και ρυθμίζει την οξυγόνωση στα όρια της απαιτούμενης αερόβιας ηλικίας ιλύος.

Στην περίπτωση μιας οξικής τάφρου με σημειακό αερισμό δεν είναι δυνατή μια ακριβής διάκριση σε ανοξικές και οξικές ζώνες. Εδώ συνιστάτε επίσης μία μέτρηση του νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3^-\text{-N}$). Έτσι αποφεύγονται μη αναγκαίες χρονικές περίοδοι απονιτροποίησης όπως και ζώνες ώστε να είναι δυνατή μία καλύτερη εκμετάλλευση του συνολικού όγκου των δεξαμενών.

Στην περίπτωση ρύθμισης με βάση την οξυγόνωση θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ανάδευση (ταχύτητα κίνησης του ανάμικτου υγρού $v > 0,3$ m/s) κατά την διάρκεια της απονιτροποίησης, ώστε να διατηρείται η ενεργός ιλύς σε αιώρηση.

Κατά την προτεταμένη απονιτροποίηση είναι το μέτρο της απομάκρυνσης αζώτου δεδομένο εξ αιτίας του διαχωρισμού της δεξαμενής αερισμού σε ένα μη οξυγονώμενο και ένα αεριζόμενο τμήμα. Μία ρύθμιση του εισαγόμενου οξυγόνου είναι αναγκαία μόνον όταν σε μία σειρά δεξαμενών απονιτροποίησης η οξυγόνωση ξεκινά και σταματά. Συμπληρωματικά είναι καλό να υπάρχει έλεγχος των νιτρικών στην ζώνη απονιτροποίησης, και με βάση την συγκέντρωση αυτών να ρυθμίζεται η ανακυκλοφορία, έτσι ώστε να επιστρέφει τόσο μίγμα αποβλήτου /ενεργού ιλύος (το οποίο περιέχει τα νιτρικά), που θα μπορούσε με το υφιστάμενο υπόστρωμα να επεξεργασθεί.

Ένα μέγεθος που θα έπρεπε να ελεγχθεί και ρυθμιστεί σε κάθε περίπτωση είναι η ηλικία ιλύος των ετερότροφων βακτηρίων, πάντα σε εξάρτηση .