

# ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

**ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ  
ΑΖΩΤΟΥΧΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ  
(ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ-ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΗΣΗ)**

Καθηγητής Π. Μελίδης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών  
Αποβλήτων

# Ο πρωτογενής σκοπός των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων



---

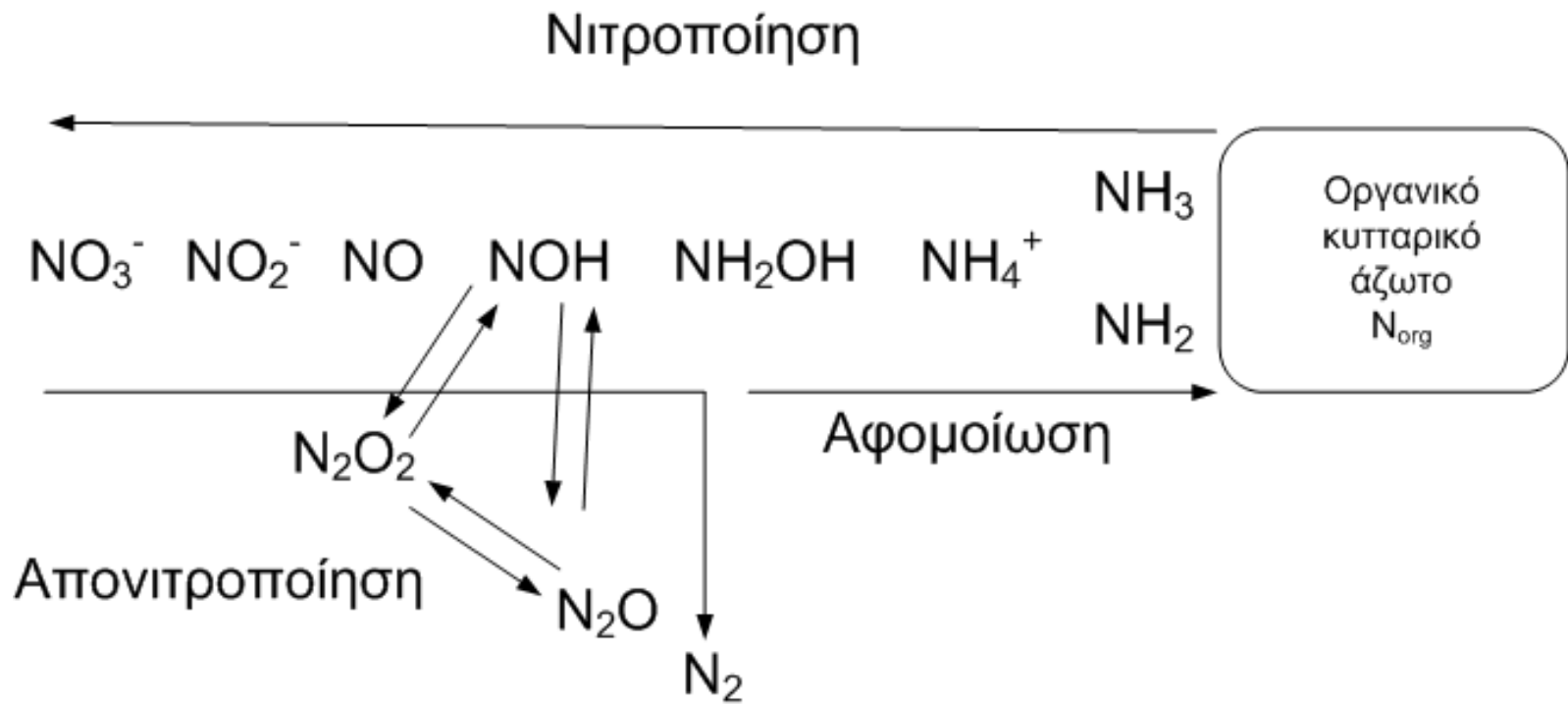
Απομάκρυνση των βιολογικά διασπόμενων οργανικών ουσιών

Ο βαθμός απόδοσης μιας ΜΕΥΑ μετράται με την μείωση της συγκέντρωσης του BOD5.

Στην πράξη

για την απόδοση μιας ΜΕΥΑ και για τον βαθμό καθαρότητας ενός αποδέκτη σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης και

οι αζωτούχες ενώσεις και οι διαδικασίες διάσπασης τους.



Βιοχημικές μετατροπές των ενώσεων του αζώτου στα υδατικά συστήματα

---

Η συγκέντρωση των αζωτούχων ενώσεων παίζει θετικό ρόλο

ως αναγκαίο θρεπτικό συστατικό στην δημιουργία νέων κυττάρων (λευκώματα).

Κατά την είσοδο στην δεξαμενή αερισμού ο λόγος των ανθρακούχων ενώσεων (ως mg BOD) προς τις αζωτούχες ενώσεις (ως mg N) θα έπρεπε να είναι  $BOD_5:N = 100:5$ .

Το άζωτο είναι σε θέση να επηρεάσει τον βαθμό απόδοσης μιας ΜΕΥΑ αρνητικά ή να οδηγήσει σε αύξηση της διόγκωσης ιλύος.

---

Λόγο της συμμετοχής του αζώτου στην  
σύνθεση νέας βιομάζας και την απομάκρυνση  
του ως περίσσεια ιλύς από το σύστημα,  
υπολογίζουμε με μία αφαίρεση αζώτου  
25-30% στα αστικά απόβλητα.

Στην συγκέντρωση του αζώτου στην έξοδο των αποβλήτων της ΜΕΥΑ δεν δόθηκε για πολύ καιρό καμία σημασία, διότι δεν επηρεάζει στην μέτρηση του BOD5 και αντίστοιχα στον βαθμό απόδοσης αυτής.

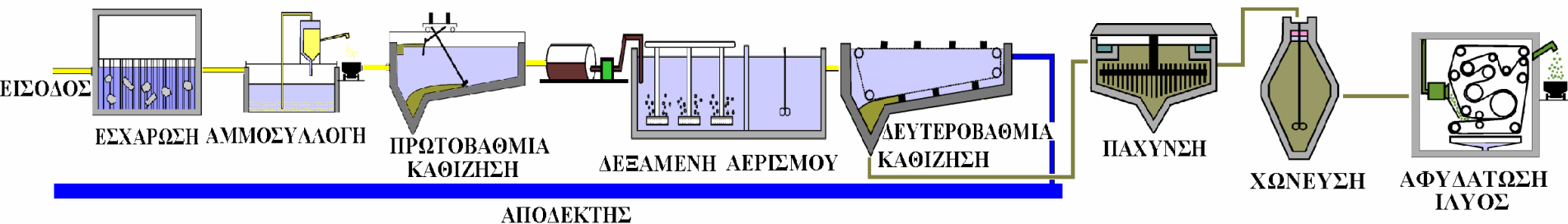
Σε φυσιολογικά όμως αστικά υγρά απόβλητα περιέχονται περίπου 30-50 mg/L N σε ανοιγμένη μορφή

*δηλαδή ως ενώσεις του ανόργανου ιόντος της αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ) ή σε οργανικές ενώσεις (π.χ. λευκώματα).*

Κατά την μικροβιολογική αντίδραση των αζωτούχων ενώσεων είναι δυνατόν να εμφανισθούν οχλήσεις και ζημίες και μάλιστα

**A) στην ίδια την ΜΕΥΑ**

**B) στον αποδέκτη**





## **A) στην ίδια την ΜΕΥΑ εξ αιτίας:**

1. Πρόσθετης κατανάλωσης  
οξυγόνου στην δεξαμενή  
αερισμού λόγω της  
νιτροποίησης



2. Επίπλευση ενεργού ιλύος  
στην δεξαμενή καθίζησης  
λόγο απονιτροποίησης



## **A) στην ίδια την ΜΕΥΑ εξ αιτίας:**

3. Επηρεασμός της απόδοσης λειτουργίας της μονάδος λόγω μείωσης της τιμής του pH, όταν σε σχέση με την συγκέντρωση της αμμωνίας η ρυθμιστική ικανότητα του υγρού απόβλητου είναι μικρή

π.χ. παρουσία ενός μαλακού νερού ή πολύ υψηλής συγκέντρωσης  $\text{NH}_4^+$

---

## **A) στην ίδια την ΜΕΥΑ εξ αιτίας:**

4. Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτροδών ιόντων όταν ανασταλεί η δράση των νιτροβακτηρίων (nitrobacter) παρουσία υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας στην είσοδο της ΜΕΥΑ.

## **B) στον αποδέκτη:**

1. ένεκα της ανατροπής του ισοζυγίου του διαλυμένου οξυγόνου (DO) εξαιτίας της νιτροποίησης

2. Ευτροφισμός του αποδέκτη εξ αιτίας της παρουσίας του αζώτου



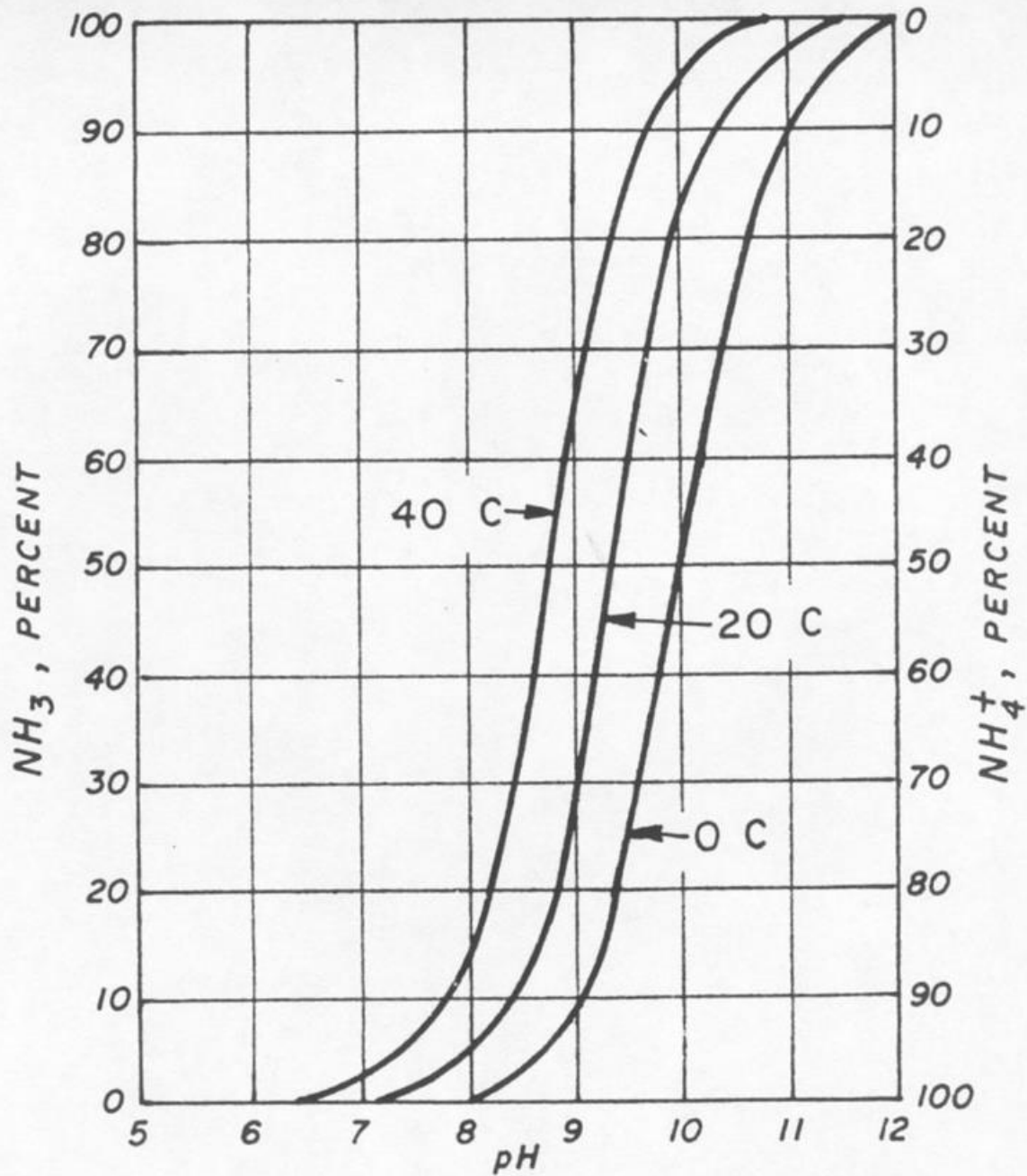
## **B) στον αποδέκτη:**

3. Θάνατος ψαριών από δηλητηρίαση εξ αιτίας της παρουσίας ελεύθερης αμμωνίας (μετακίνηση της ισορροπίας



προς την μεριά της ελεύθερης αμμωνίας λόγω αύξησης του pH)

4. Υψηλή συγκέντρωση νιτρικών στο πόσιμο νερό κατά την ανάκτηση του από επιφανειακά νερά που έρχονται σε επαφή με τα υγρά απόβλητα



# Παρατηρήσεις

Οι διαφορετικές αντιδράσεις βρίσκονται μεταξύ τους αλληλένδετες

Όταν δεν λαμβάνει χώρα απονιτροποίηση μέσα στην δεξαμενή αερισμού, όλες οι ανοιγμένες αζωτούχες ενώσεις περνάνε από όλες τις βαθμίδες επεξεργασίας χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες

# Παρατηρήσεις

καμία επιπλέον απαίτηση σε οξυγόνο, καμία επίπλευση λάσπης

**αποτέλεσμα**

όλα αυτά τα φαινόμενα να εμφανισθούν στον αποδέκτη.



---

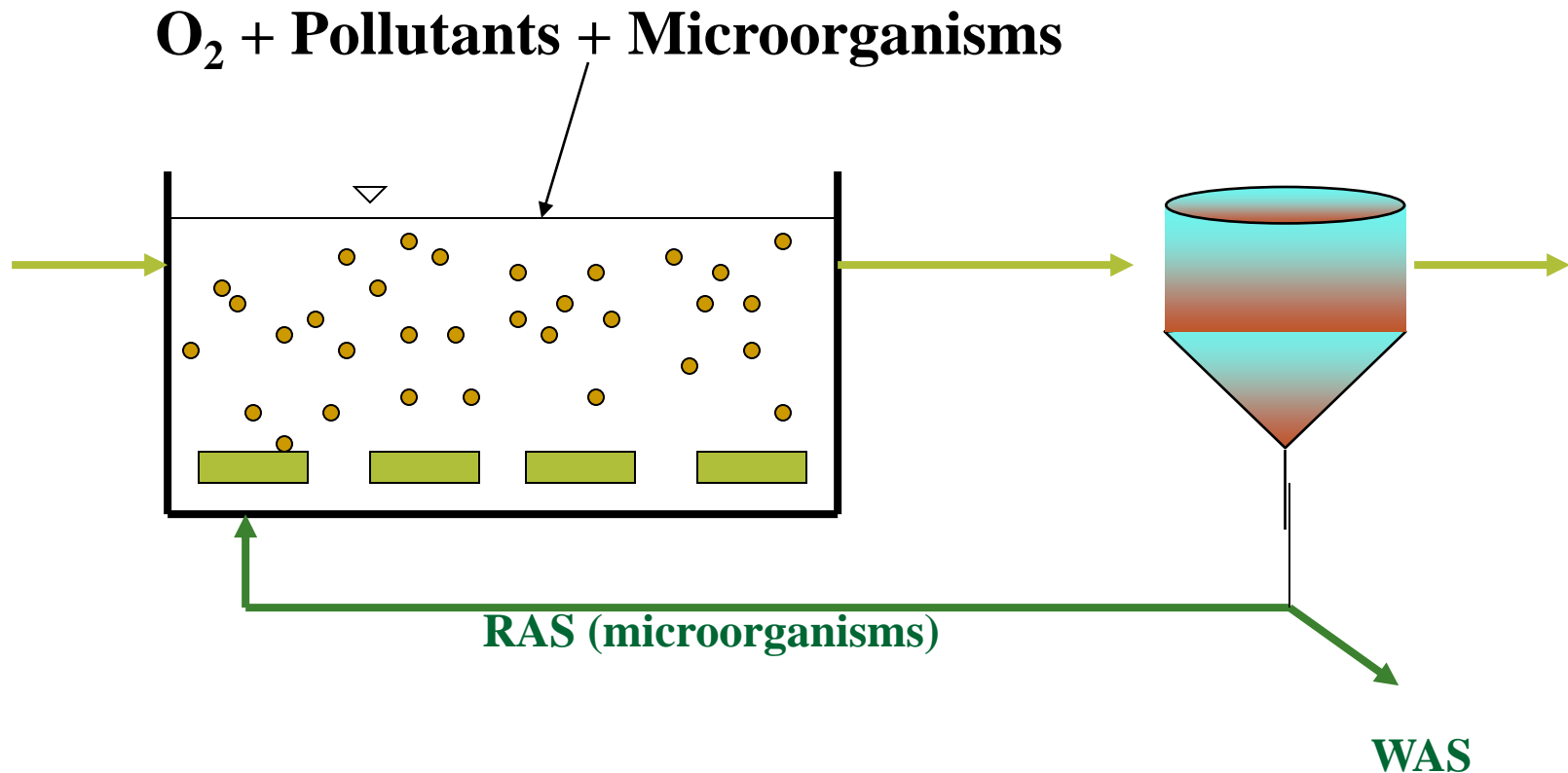
## Παρατηρήσεις

Με επιτυχημένη νιτροποίηση στην δεξαμενή αερισμού ο αποδέκτης παραμένει καθαρός αλλά η ίδια η ΜΕΥΑ συνεχίζει να παρουσιάζει προβλήματα.

Τα τελευταία χρόνια ζητείται αυξημένα η πλήρης οξείδωση των ανοιγμένων αζωτούχων ενώσεων με ακόλουθη απονιτροποίηση για την αφαίρεση του αζώτου.

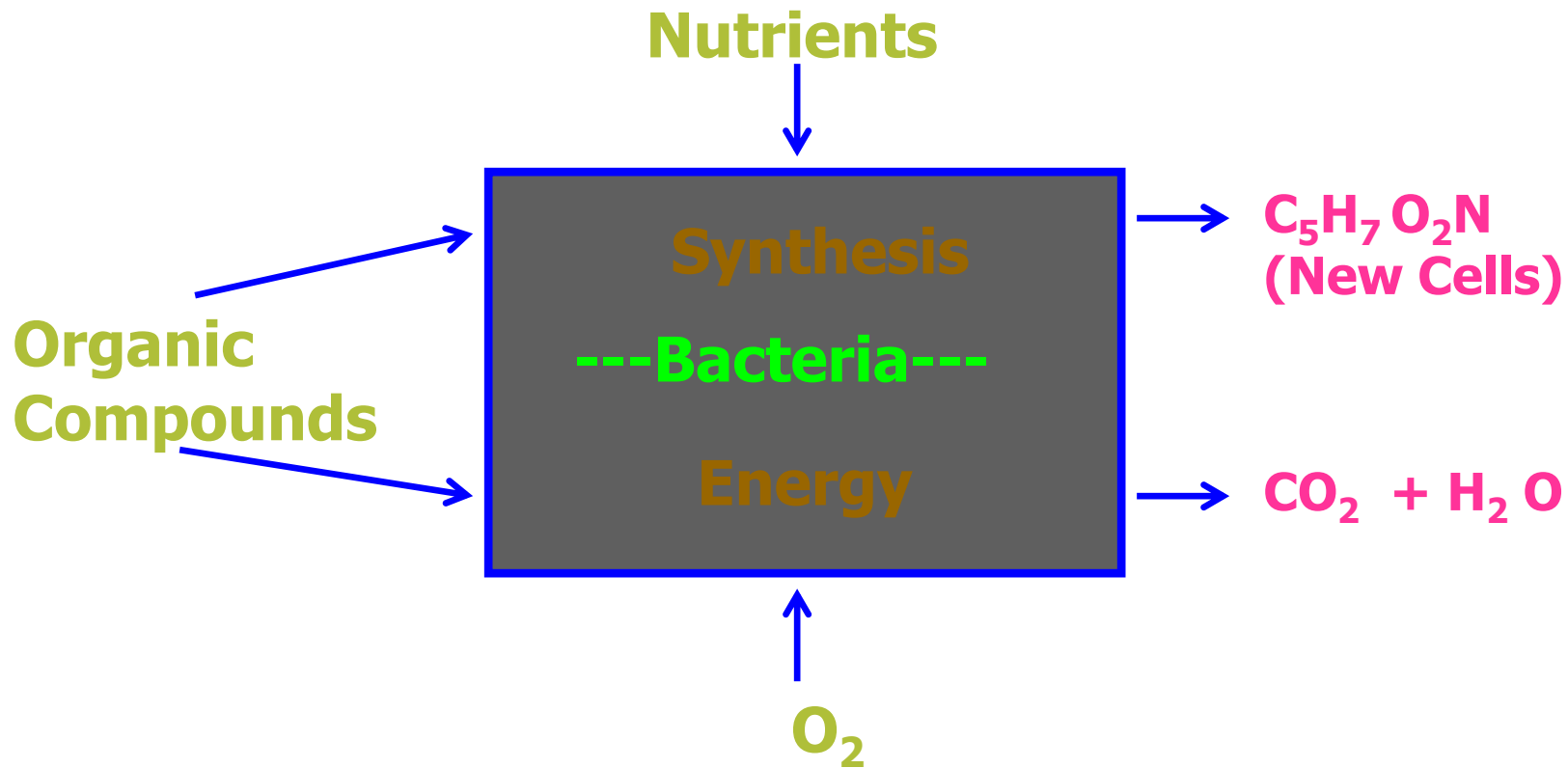
# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Αερόβια μονάδα επεξεργασίας



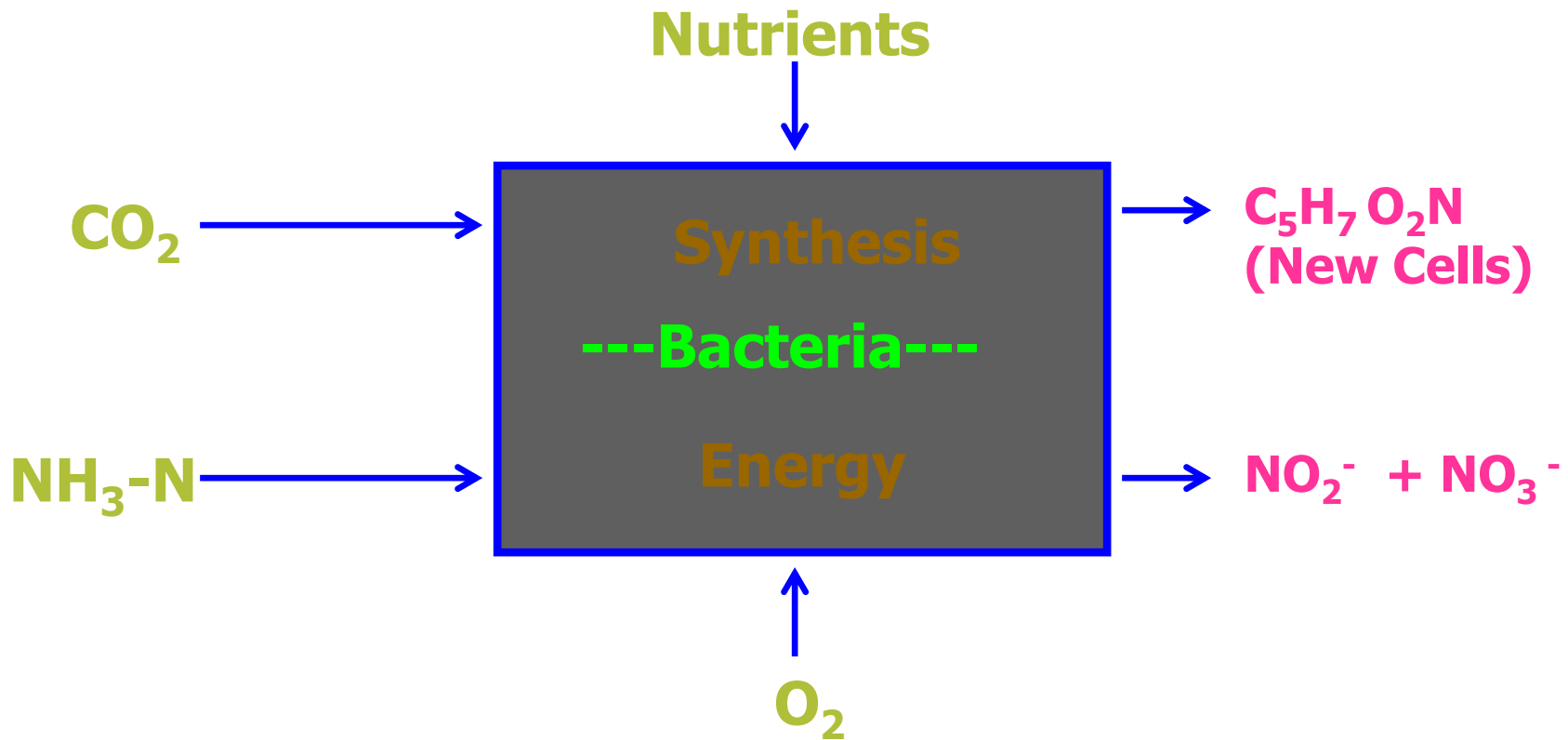
# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Αερόβιος Ετερότροφος μεταβολισμός



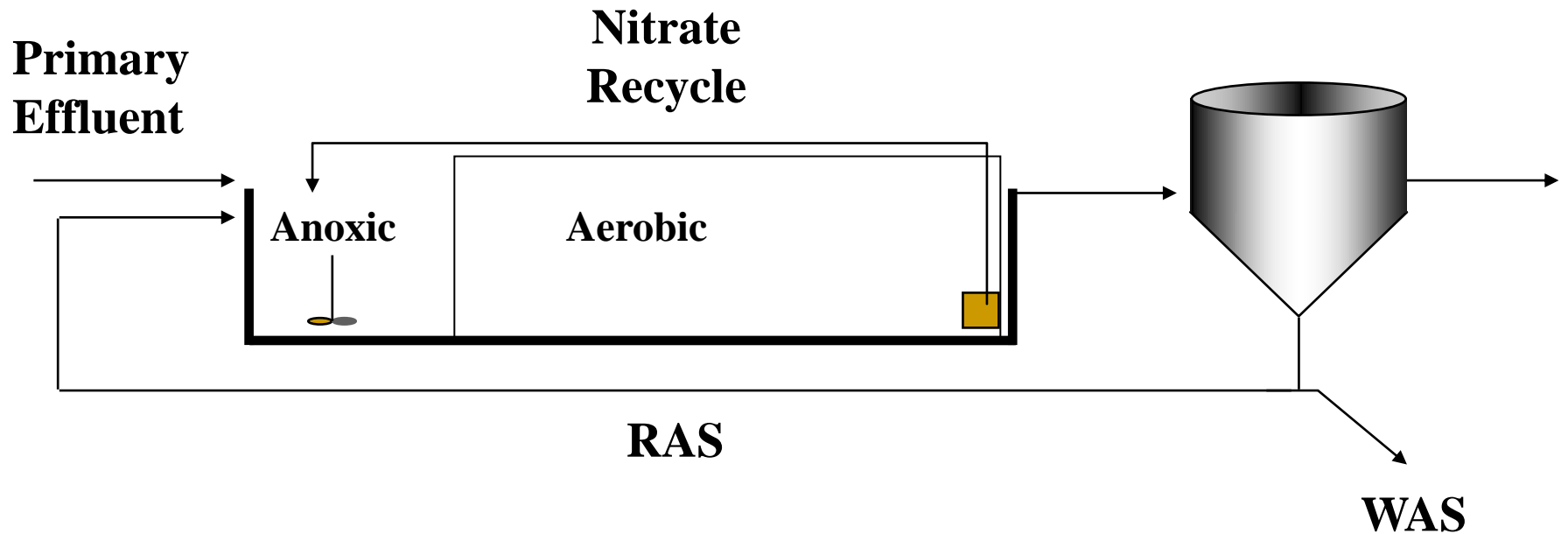
# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Αερόβιος Αυτότροφος μεταβολισμός



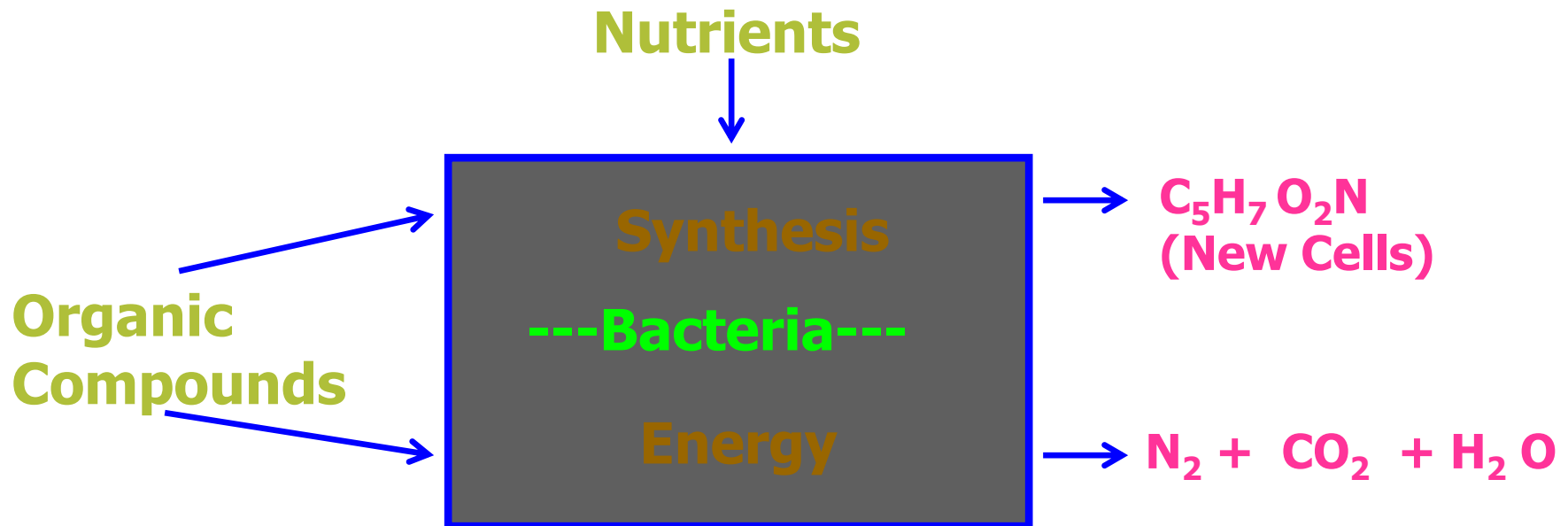
# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Ανοξική ζώνη



# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Προαιρετικός Ετερότροφος μεταβολισμός (Ανοξικός)



# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Για την νιτροποίηση στην ενεργό ιλύ και σε συστήματα προσκολλημένης βιομάζας είναι υπεύθυνα αερόβια **αυτότροφα** βακτήρια.

Η Νιτροποίηση είναι μια διεργασία **δύο βημάτων** και περιλαμβάνει **δύο ομάδες βακτηρίων**

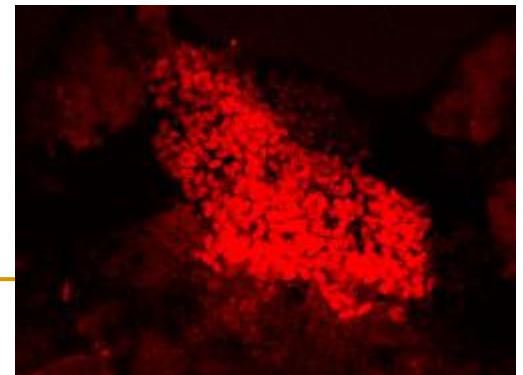
Στο πρώτο βήμα, οξειδώνεται η αμμωνία σε νιτρώδη από την μία ομάδα των αυτότροφων βακτηρίων και στο δεύτερο τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά από την δεύτερη ομάδα

# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Θα πρέπει να τονισθεί ότι τα δύο είδη των βακτηρίων είναι χαρακτηριστικά διαφορετικά.

Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι **νιτρόζομονάδες** (nitrosomonas) και στην δεύτερη τα **νιτροβακτήρια** (nitrobacter)

Κάτω από αυτές τις ομάδες όμως συνυπάρχουν και άλλα είδη



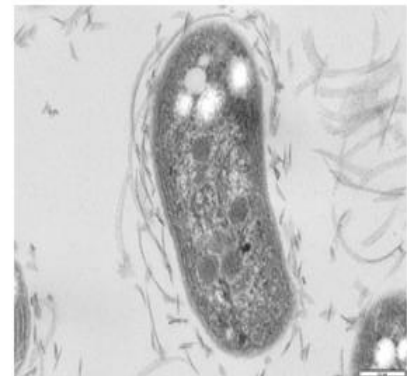


# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης



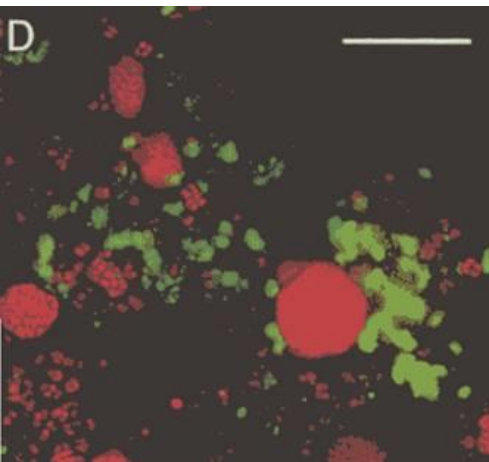
Άλλα βακτήρια ικανά να ανακτήσουν την απαιτούμενη ενέργεια τους από την οξείδωση της αμμωνίας είναι τα *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosolobio* και άλλα πολλά

Πίσω από τα νιτροβακτήρια ικανά να ανακτήσουν την απαιτούμενη ενέργεια τους από την οξείδωση των νιτρωδών βρίσκονται τα *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrospina*, *Nitroeystis*,



# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Αξίζει να αναφερθεί, ότι ενώ το γένος *Nitrobacter* έχει ερευνηθεί εκτεταμένα, το γένος *Nitrospira* είναι αυτό που διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο για την οξείδωση του νιτρώδους ανιόντος σε νιτρικό σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και δρα ανταγωνιστικά προς το *Nitrobacter*



Έρευνες που αφορούν τη χωρική διασπορά των νιτρωδοποιητών και νιτρικοποιητών βακτηρίων έδειξαν ότι οι μικροοργανισμοί αυτοί ομαδοποιούνται και αναπτύσσονται σε ξεχωριστές, αλλά σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, αποικίες

# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

Σύμφωνα με την μικροβιολογία της αφαίρεσης  
ανθρακικών ενώσεων

τα αερόβια βακτήρια κερδίζουν την απαιτούμενη τους  
ενέργεια

**από την αντίδραση μεταξύ του υδρογόνου,  
που προέρχεται από τις οργανικές ενώσεις (δότες H)  
και του οξυγόνου (αποδέκτης H).**

---

# 1. Βασικές γνώσεις της νιτροποίησης

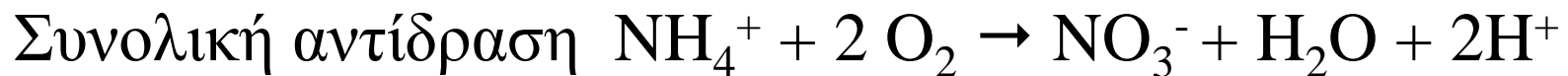
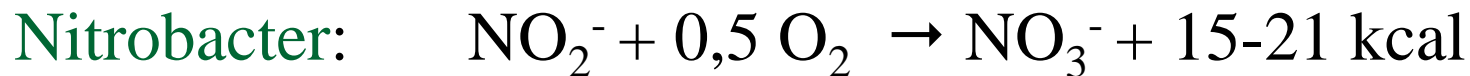
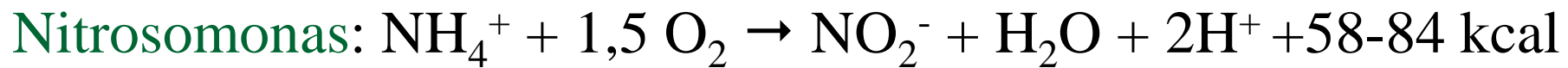
Αντίθετα, οι νιτροποιητές άλλαξαν τον τρόπο αναπνοής τους και στην θέση των οργανικών ενώσεων χρησιμοποιούν το αμμώνιο ιόν ως δότη υδρογόνου.

Λόγο βέβαια και της δυνατότητας των να χρησιμοποιούν και το ανόργανο CO<sub>2</sub> ως πηγή άνθρακα κατατάσσονται στην κατηγορία των αυτότροφων μικροοργανισμών.

## ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

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

Στην οξείδωση του Αμμώνιου ιόντος προς νιτρικά ιόντα απαιτείται να είναι παρόντα δύο είδη μικροβίων, οι οξειδωτές του Αμμώνιου ιόντος π.χ. nitrosomonas, και οι οξειδωτές των νιτρικών ιόντων π.χ. nitrobacter. Ακολουθούνται τα επόμενα βήματα αντίδρασης:



---

Συνολικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κατά την οξείδωση της αμμωνίας από τις **διεργασίες** αναπνοής των **νιτροποιητών** καταναλώνεται **οξυγόνο** και **παράγονται νιτρικά ιόντα**, νερό και πρωτόνια, **πρωτόνια τα οποία μειώνουν την τιμή του pH στο υγρό απόβλητο.**

Βέβαια το **ενεργειακό κέρδος**, από την οξείδωση της αμμωνίας, είναι **πολύ μικρό** για τους νιτροποιητές και αυτό γίνεται εμφανές στην **μικρή παραγωγή κυττάρων** ανά μονάδα οξειδούμενης αμμωνίας.

---

Έτσι,

για την παραγωγή **1g κυττάρων** (ξηρής μάζας) το **ετερότροφο** βακτήριο **e-coli** απαιτεί μόλις **2 g γλυκόζης**, όταν το **αυτότροφο** βακτήριο **nitrosomonas** απαιτεί **30 g NH<sub>3</sub>**.

Από εδώ προκύπτει και **η αργή ταχύτητα ανάπτυξης των νιτροποιητών**, οποίοι επίσης εξαρτώνται έντονα και από την **θερμοκρασία**.



Στον πίνακα μπορούμε να δούμε τους **μέγιστους ρυθμούς ανάπτυξης** (1/d),

δηλαδή τον αριθμό των διαιρέσεων των κυττάρων ανά ημέρα

και τους **χρόνους αναγέννησης**, που προέρχονται από αυτές δηλαδή **τον χρόνο μεταξύ των βημάτων διαίρεσης** σε εξάρτηση από θερμοκρασία.

**Πίνακας.** Ρυθμοί ανάπτυξης των νιτροποιητών σε εξάρτηση από την θερμοκρασία

Temp. °C	Nitrosomonas		Nitobacter		Ελάχιστη ηλικίας λάσπης d
	1/d	h	1/d	h	
10	0,29	82,6	0,58	41,4	3,44
20	0,76	31,6	1,04	23,1	1,32
30	1,97	12,2	1,87	12,8	0,53

---

Μια στενότερη φυσιολογική σύνδεση των δύο ομάδων βακτηρίων προκύπτει από το δεδομένο ότι

**υψηλές** συγκεντρώσεις αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ ) **δρουν τοξικά** στα **νιτροβακτήρια**

το οποίο σημαίνει ότι η **νιτροζομονάδα**

πρέπει όχι μόνον να **προετοιμάζει** τα απαιτούμενα **νιτρώδη ιόντα** για τα νιτροβακτήρια,

αλλά και να **μειώνει** τις **υψηλές** συγκεντρώσεις αμμωνίας.

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Στα απόβλητα περιέχονται κατά κανόνα πάντα αζωτούχες ενώσεις.

Συγκεκριμένα στα υγρά αστικά απόβλητα περιέχονται **30-50 mgN/L** ολικού αζώτου, τις περισσότερες φορές με την μορφή **ουρίας**,

οι οποίες μέσα στο **αποχετευτικό δίκτυο** και την **δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης** μετατρέπονται πλήρως σε ενώσεις του **Αμμώνιου ιόντος**.

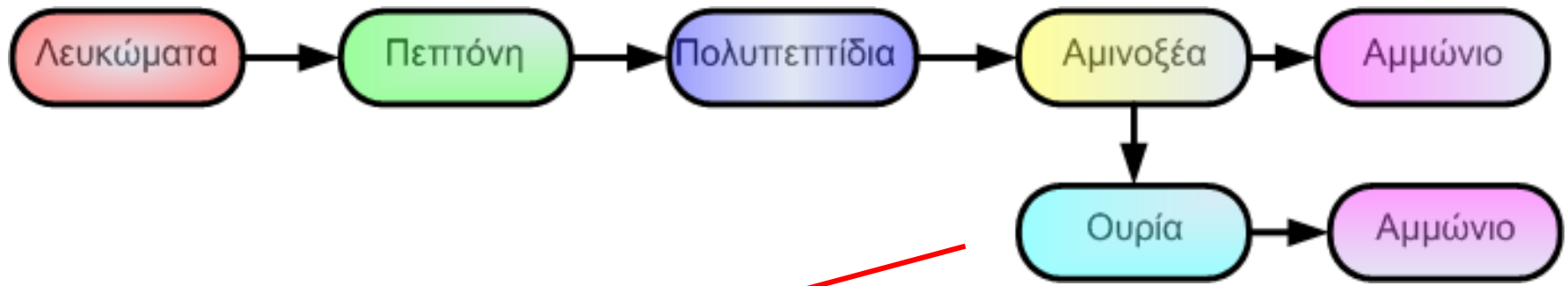
## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Επομένως στην **είσοδο της δεξαμενής** αερισμού μπορούμε να υπολογίζουμε με μια **μεγάλη συγκέντρωση** (προσφορά) αζώτου,

ώστε η **ανάπτυξη** των νιτροποιητών και μαζί η **οξείδωση των ανοιγμένων** αμμωνιακών ενώσεων να είναι δυνατή

*και τα αίτια της πλήρους ή μερικής έλλειψης νιτροποίησης σε πολλές ΜΕΥΑ θα πρέπει να αναζητηθούν σε άλλους μηχανισμούς στην δεξαμενή αερισμού*

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού



## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

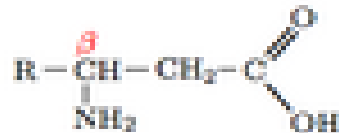


Carbaminsäure

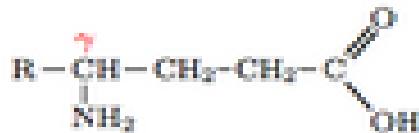
Αμινοξέα



$\alpha$ -Aminosäure



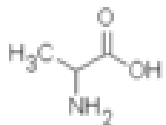
$\beta$ -Aminosäure



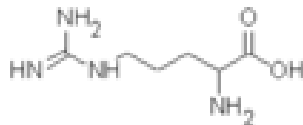
$\gamma$ -Aminosäure

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

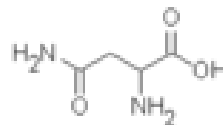
Προτεινογενή  
Αμινοξέα



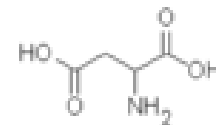
Alanin (Ala)



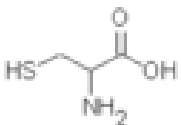
Arginin (Arg)



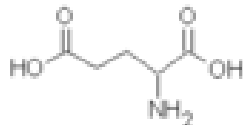
Asparagin (Asn)



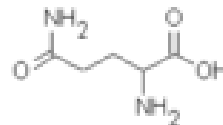
Asparaginsäure (Asp)



Cystein (Cys)



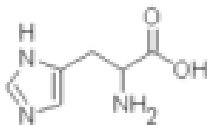
Glutaminsäure (Glu)



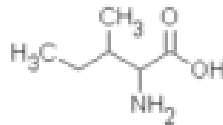
Glutamin (Gln)



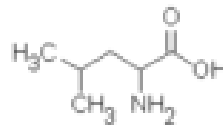
Glycin (Gly)



Histidin (His)



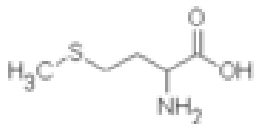
Isoleucin (Ile)



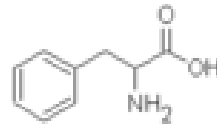
Leucin (Leu)



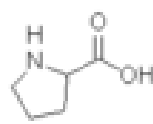
Lysin (Lys)



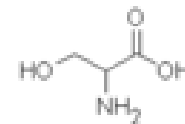
Methionin (Met)



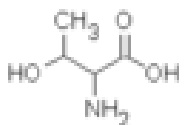
Phenylalanin (Phe)



Prolin (Pro)



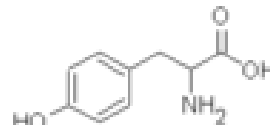
Serin (Ser)



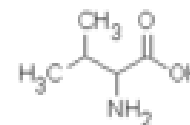
Threonin (Thr)



Tryptophan (Trp)



Tyrosin (Tyr)



Valin (Val)

---

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης



# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

**Nitrosobacteria:**



**Nitrobacteria:**



---

**Συνολική αντίδραση**



# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Με βάση την συνολική αντίδραση



το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση της αμμωνίας είναι **4,57 g O<sub>2</sub>/g N** που οξειδώνεται

και αναλύεται ως

**3,43 g O<sub>2</sub>/g** για την παραγωγή νιτρικών και

**1,14 g O<sub>2</sub>/g NO<sub>2</sub>** που οξειδώνεται.

## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

**Όταν απαιτείται σύνθεση, η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζεται είναι μικρότερη από 4,57 g O<sub>2</sub>/g N.**

Αυτή η επιπλέον **απαίτηση σε οξυγόνο** θα μπορούσε να είναι σημαντική σε σύγκριση με την απαίτηση σε οξυγόνο για την **αποδόμηση του ανθρακούχου φορτίου**

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Επιπρόσθετα από την οξείδωση

→ Οξυγόνο απαιτείται και για καθήλωση του CO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub> μέσα στα κύτταρα

## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού **περιέχονται 45 mg/LN** από τα οποία τα **25%** ενσωματώνονται στην ενεργό ιλύ.

Από τα απομένοντα  $0,75 \times 45 = 35 \text{ mg/LN}$  θα έπρεπε να νιτροποιηθούν τα **90%**.

Η απαίτηση σε οξυγόνο είναι τότε  $0,9 \times 35 \times 4,6 = 140 \text{ mg/L O}_2$

δηλαδή **ισούται σχεδόν** με την **απαίτηση σε οξυγόνο** για την **μείωση του BOD<sub>5</sub>**, όταν ξεκινάμε από την προϋπόθεση ότι **μόνον τα 50%** του εισερχόμενου οργανικού φορτίου θα αφαιρεθεί κάτω από κατανάλωση οξυγόνου.

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Επίσης η αντίδραση

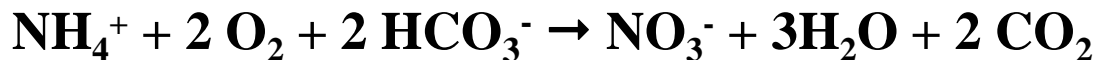


μας δείχνει ότι κατά την νιτροποίηση παράγονται  $\text{H}^+$  ιόντα από τα οποία επηρεάζεται το pH.

Τα ιόντα υδρογόνου αντιδρούν με τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) του νερού και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση



**Συνολική αντίδραση:**



# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Έτσι **καταναλώνεται** αλκαλικότητα  
(εκφραζόμενη σε mmol  $\text{HCO}_3^-$  ).

Σύμφωνα με την αντίδραση **καταναλώνει 1 mmol  $\text{NH}_4\text{-N}$**   
διαμέσω του παραγόμενου  $\text{H}^+$  ιόντος **1mmol  $\text{HCO}_3^-$**  .  
(δηλ. για κάθε 1g  $\text{NH}_4\text{-N}$  καταναλώνονται 7,14g Alk ως  
 $\text{CaCO}_3$ )

Με το ατομικό βάρος του N = 14mg/mmol **μειώνεται** κατά  
την νιτροποίηση 14 mg  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  η τιμή του **m** κατά **(1) μία**  
μονάδα.

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Για να **αποφευχθούν προβλήματα** στην νιτροποίηση εξ αιτίας της μείωσης του pH:

**θα έπρεπε στην έξοδο η τιμή της αλκαλικότητας να είναι  $\geq 2$  mmol/L.**

Στην **είσοδο αντίστοιχα** υπολογίζεται μία ελάχιστη συγκέντρωση αλκαλικότητας  $\geq 2 \text{ mmol/L} + (\text{mgN/L NO}_x, \text{εξόδου})$ .



# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Το  $\text{CO}_2$  το οποίο παράγεται κατά την αντίδραση **μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με τον αερισμό και την ανάδευση** και έτσι δεν επηρεάζει αισθητά την νιτροποίηση.

Βέβαια σε ιδιαίτερες περιπτώσεις και συνθήκες π.χ. μαλακό νερό και υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας μπορεί να μειωθεί το pH αισθητά (κάτω από τα όρια 7,2-8,0) και να επηρεασθεί κατά αυτό τον τρόπο η νιτροποίηση.

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Το ίδιο πρόβλημα μπορεί να εμφανισθεί σε μονάδες με διάχυση καθαρού οξυγόνου και χωρίς ικανοποιητική μεταφορά του  $\text{CO}_2$  στην αέρια φάση.

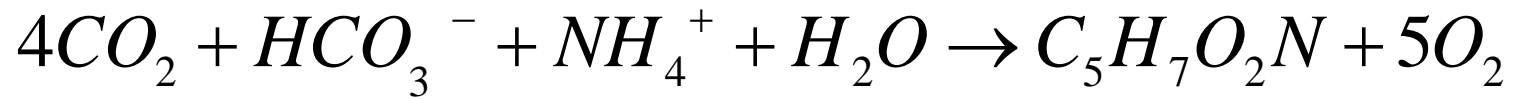
Σε μερικές μονάδες η νιτροποίηση φθάνει μόνο μέχρι το σημείο του σχηματισμού νιτρωδών.

Για παράδειγμα σε μία μονάδα με υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας π.χ. χοιροτροφείο, δεν προλαβαίνει η **Nitrosomonas να αποδομήσει** την αμμωνία και αυτή δρα τοξικά απέναντι στα nitrobacter, με αποτέλεσμα αυτή να σταματήσει στο επίπεδο των νιτρωδών.

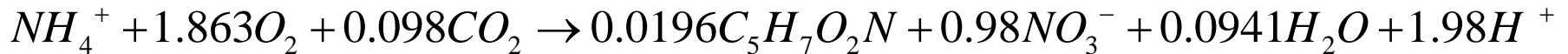
## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Παράλληλα με την ενέργεια, ένα μέρος του αμμωνιακού ιόντος αφομοιώνεται και στον κυτταρικό ιστό.

Η αντίδραση σύνθεσης βιομάζας μπορεί να αναπαρασταθεί ως ακολούθως:



## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης ανακεφαλαίωση



Για κάθε g αμμωνιακού αζώτου (ως N) που μετατρέπεται,  
καταναλώνονται 4,25 g O<sub>2</sub>,  
σχηματίζονται 0,16 g νέων κυττάρων,  
απομακρύνονται 7,07 g αλκαλικότητας ως CaCO<sub>3</sub> και  
χρησιμοποιούνται 0,08 g ανόργανου άνθρακα για το  
σχηματισμό νέων κυττάρων.

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης ανακεφαλαίωση

Το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση 1,0 g αμμωνιακού αζώτου σε νιτρώδη (4,25 g) είναι μικρότερο από τη θεωρητική τιμή των 4,57 g που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση



αφού η αμμωνία για την κυτταρική σύνθεση δεν λαμβάνεται υπόψη. Παρόμοια, η αλκαλικότητα που απαιτείται για τη νιτροποίηση (7,07 g/g) είναι μικρότερη από την τιμή 7,14 g που υπολογίστηκε χωρίς να ληφθεί υπόψη η μετατροπή μέρους της αμμωνίας σε κυτταρικό άζωτο.

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης ανακεφαλαίωση

Σημαντικά θέματα στο σχεδιασμό των βιολογικών διεργασιών νιτροποίησης είναι:

- η συγκέντρωση του αζώτου στα υγρά απόβλητα,
- η συγκέντρωση του BOD,
- η αλκαλικότητα,
- η θερμοκρασία και
- η πιθανότητα για την ύπαρξη τοξικών ενώσεων

Τα νιτροποιητικά βακτήρια απαιτούν  $\text{CO}_2$ , φώσφορο καθώς και ιχνοστοιχεία για την κυτταρική ανάπτυξη.

# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης ανακεφαλαίωση

Επειδή η κυτταρική απόδοση είναι μικρή,

- το CO<sub>2</sub> στον αέρα είναι επαρκές ενώ
- ο φώσφορος είναι σπάνια περιοριστικός
- Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που έχει βρεθεί ότι ενεργοποιούν την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηρίων σε καθαρή καλλιέργεια είναι:
  - Ca = 0,50,
  - Cu = 0,01,
  - Mg = 0,03,
  - Mo = 0,001,
  - Ni = 0,10 και
  - Ζη = 1,0 mg/L

---

# Κινητική της Ανάπτυξης



# Κινητική της Ανάπτυξης

Σε συστήματα νιτροποίησης που λειτουργούν σε θερμοκρασίες κάτω από τους 28 °C,

η **κινητική οξείδωσης της αμμωνίας ( $\text{NH}_4^+$ )** είναι περιοριστική του ρυθμού, σε σχέση με την **κινητική οξείδωσης των νιτρικών ( $\text{NO}_2^-$ )**

έτσι ώστε ο σχεδιασμός να βασίζεται σε **κινητική κορεσμού για την οξείδωση της αμμωνίας** όπως δίνεται παρακάτω, υποθέτοντας ότι υπάρχει περίσσεια DO.

# Κινητική της Ανάπτυξης

$$\mu_n = \left[ \frac{\mu_{nm} N}{K_n + N} \right] - k_{dn}$$

$\mu_N$  = ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων, g νέων κυττάρων/g κυττάρων•d

$\mu_{nm}$  = μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων, g νέων κυττάρων /g κυττάρων\_d

$N$  = συγκέντρωση αζώτου, g/m<sup>3</sup>

$K_n$  = σταθερά ημιταχύτητας, η συγκέντρωση του υποστρώματος στο 50% του μέγιστου ειδικού ρυθμού κατανάλωσης του υποστρώματος, g/m<sup>3</sup>

$k_{dn}$  = συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης για νιτροποιητικούς οργανισμούς, g VSS/g VSS\_d

# Κινητική της Ανάπτυξης

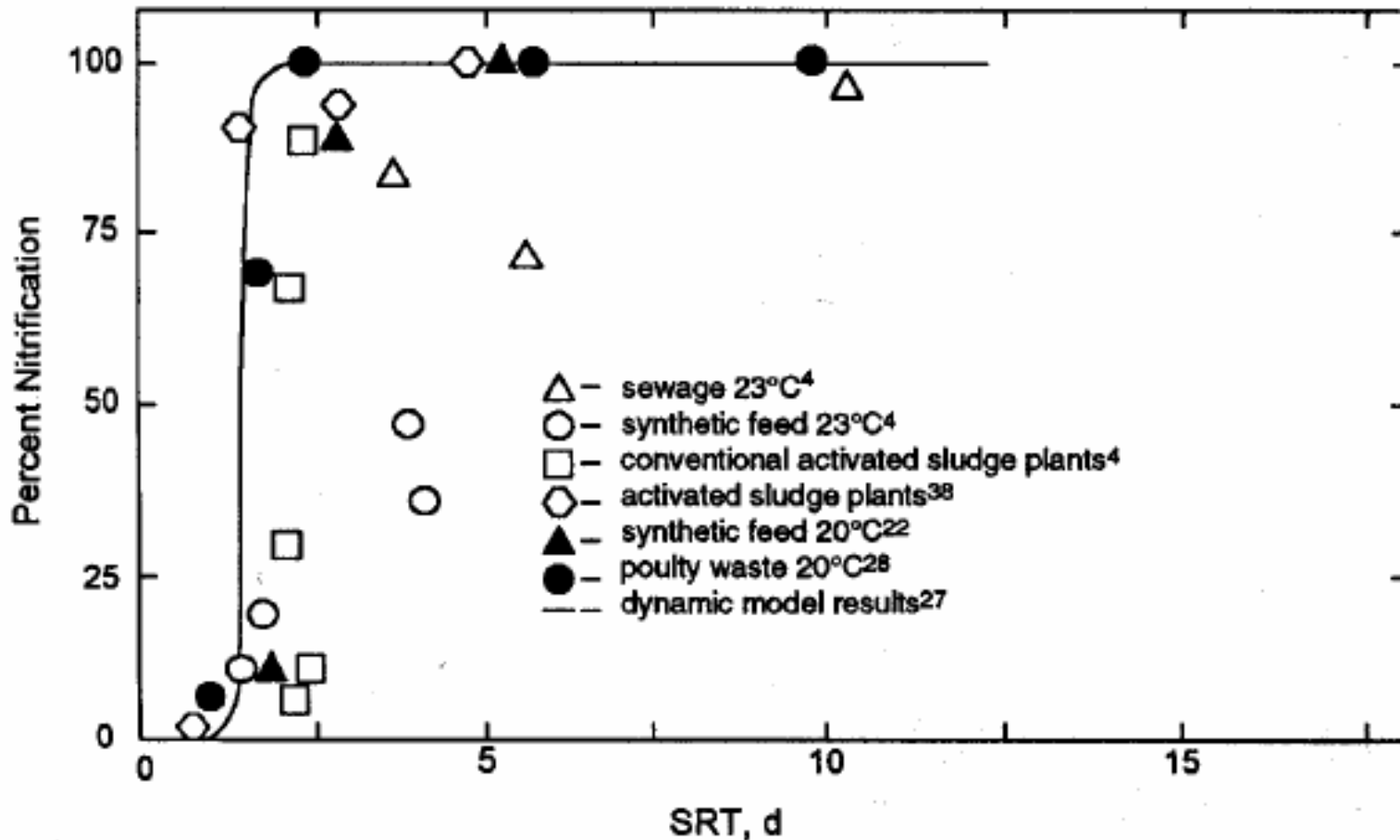
Σε κάθε περίπτωση, οι τιμές του  $\mu_{nm}$  για τους νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές για ετερότροφους οργανισμούς, απαιτώντας πολύ μεγαλύτερες τιμές SRT για νιτροποιήτικα συστήματα ενεργού ιλύος.

Τυπικές σχεδιαστικές τιμές SRT μπορεί να ποικίλουν από 10 ως 20 ημέρες στους 10°C και 4 ως 7 ημέρες στους 20°C.

Πάνω από τους 28°C, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι κινητικές οξειδωσης της αμμωνίας και των νιτρωδών.

Σε υψηλές θερμοκρασίες, η σχετική κινητική οξειδωση των  $\text{NH}_4\text{-N}$  και  $\text{NO}_2\text{-N}$  μεταβάλλεται και το  $\text{NO}_2\text{-N}$  θα συσσωρευτεί σε χαμηλότερες τιμές SRT

# Κινητική της Ανάπτυξης



**Figure 6.4** Effect of SRT on the steady state nitrification performance of a CSTR. The reference numbers refer to the sources of the data. (Adapted from Poduska and Andrews.<sup>27</sup>)

# Κινητική της Ανάπτυξης

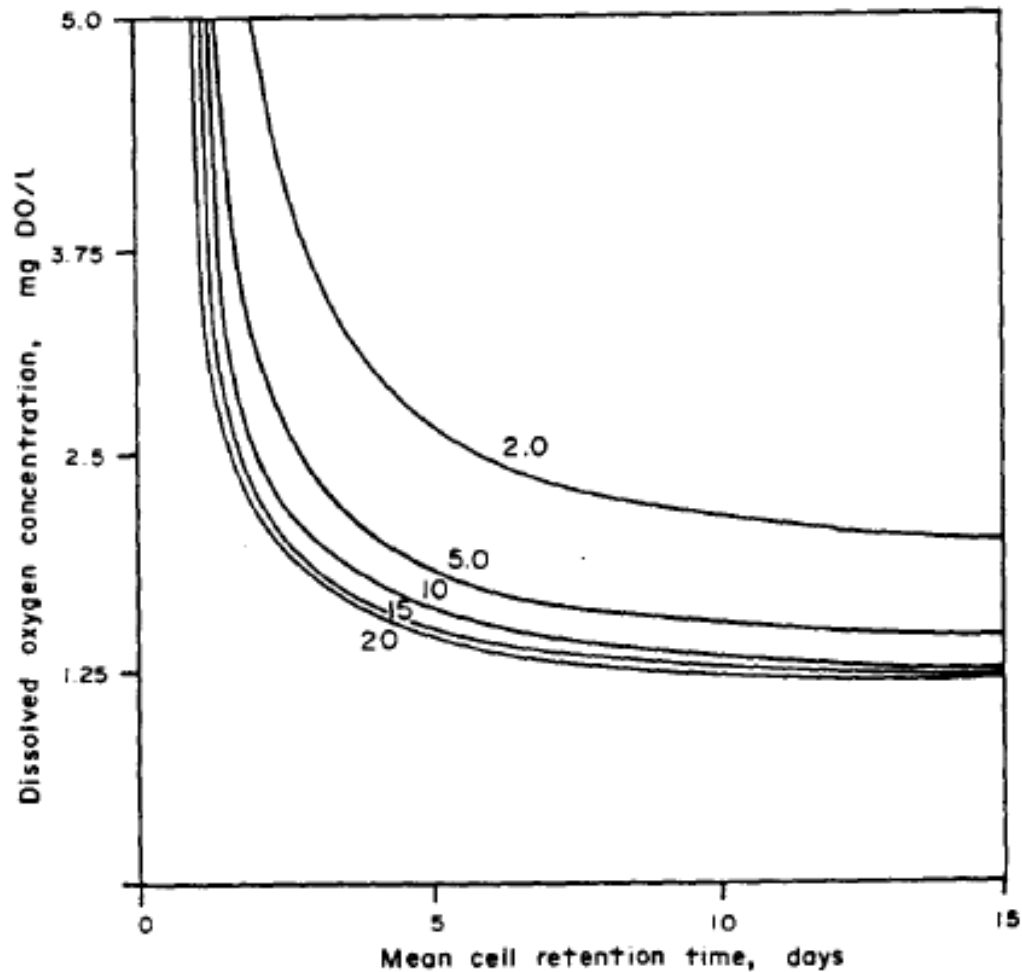


Fig. 2. Effluent ammonia nitrogen contours: cell retention time vs dissolved oxygen (numbers on curves indicate effluent ammonia nitrogen concentration).

$$\hat{\mu} = 0.02 \text{ hr}^{-1},$$
$$K_S = 1.0 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/l}$$

$$K_{SDO} = 0.5 \text{ mg DO l}^{-1},$$
$$K_D = 0.005 \text{ hr}^{-1}.$$

## Κινητική της Ανάπτυξης

Σε διεργασίες νιτροποίησης ενεργού ιλύος πλήρους ανάμιξης, οι οποίες είναι πλήρως εγκλιματισμένες σε θερμοκρασίες μικρότερες των 25°C με επαρκές DO, η συγκέντρωση των  $\text{NO}_2\text{-N}$  μπορεί να είναι μικρότερη από 0,10 mg/L ενώ η συγκέντρωση του  $\text{NH}_4\text{-N}$  μπορεί να κυμαίνεται από 0.50 ως 1.0 mg/L.

Ωστόσο, κατά τη έναρξη της νιτροποίησης, η συγκέντρωση των  $\text{NO}_2\text{-N}$  θα είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των  $\text{NH}_4\text{-N}$ , αφού η ανάπτυξη των βακτηρίων που οξειδώνουν τα νιτρώδη δε μπορεί να συμβεί πριν την παραγωγή νιτρωδών από τα βακτήρια που οξειδώνουν αμμωνία.

Στη μεταβατική κατάσταση είναι πιθανές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2\text{-N}$  από 5 ως 20 mg/L.

## Κινητική της Ανάπτυξης

Οι ρυθμοί νιτροποίησης επηρεάζονται από τη **συγκέντρωση του DO** στην ενεργό ιλύ.

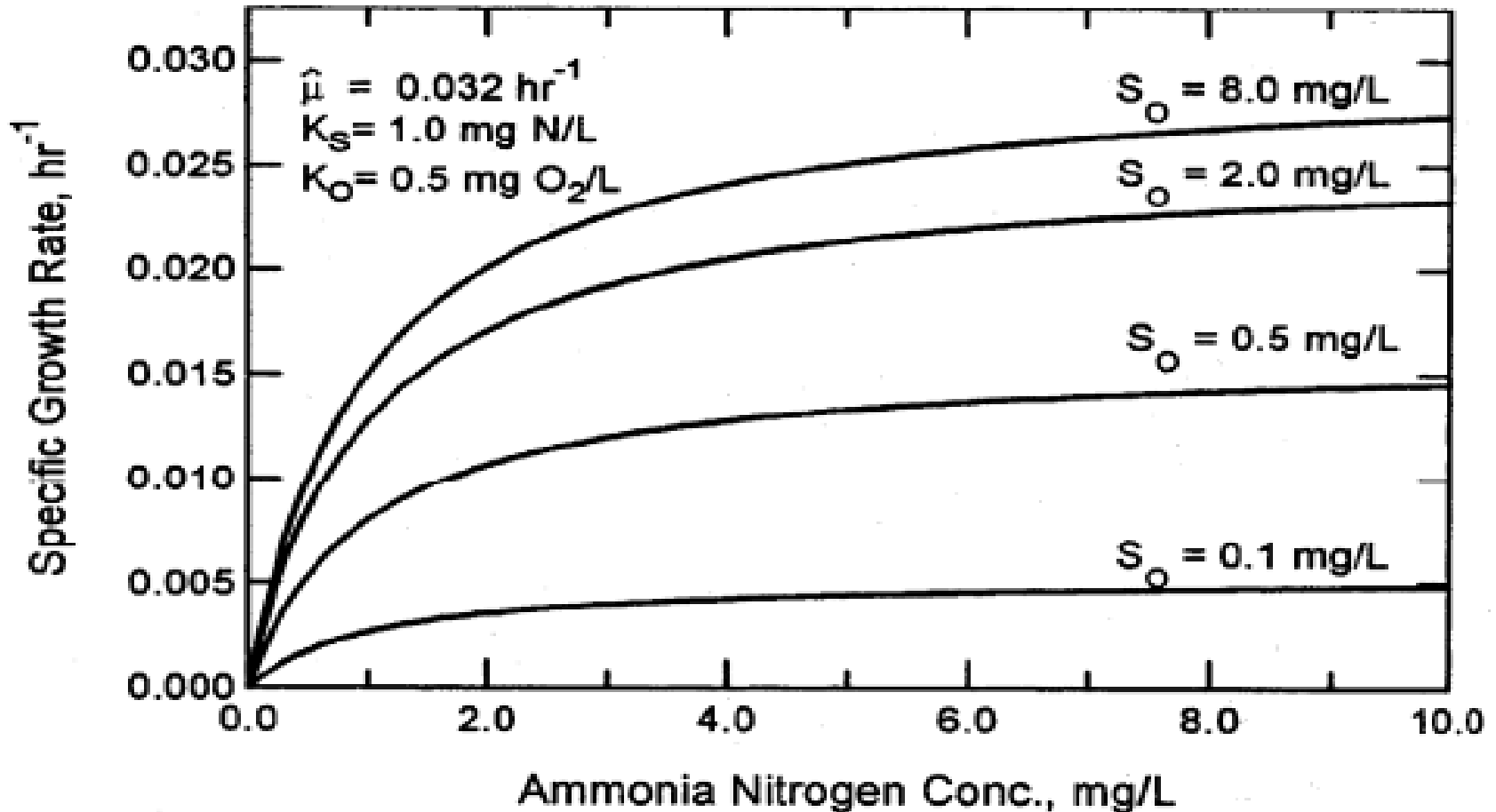
Σε αντίθεση με ό,τι έχει παρατηρηθεί, για την αποικοδόμηση οργανικών ενώσεων από αερόβια ετερότροφα βακτήρια, **οι ρυθμοί νιτροποίησης αυξάνουν σε συγκεντρώσεις DO 3 έως 4 mg/L.**

Η συνάρτηση για το ρυθμό ειδικής ανάπτυξης τροποποιείται ως ακολούθως, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επίδραση του DO:

$$\mu_n = \left[ \frac{\mu_{nm} N}{K_n + N} \right] \left[ \frac{DO}{K_o + DO} \right] - k_{dn}$$

DO = συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, g/m<sup>3</sup>  
K<sub>o</sub> = συντελεστής ημι-κορεσμού (half-saturation) για το DO, g/m<sup>3</sup>

Το διαλυμένο οξυγόνο θα πρέπει να είναι επαρκές για την ασφαλή νιτροποίηση

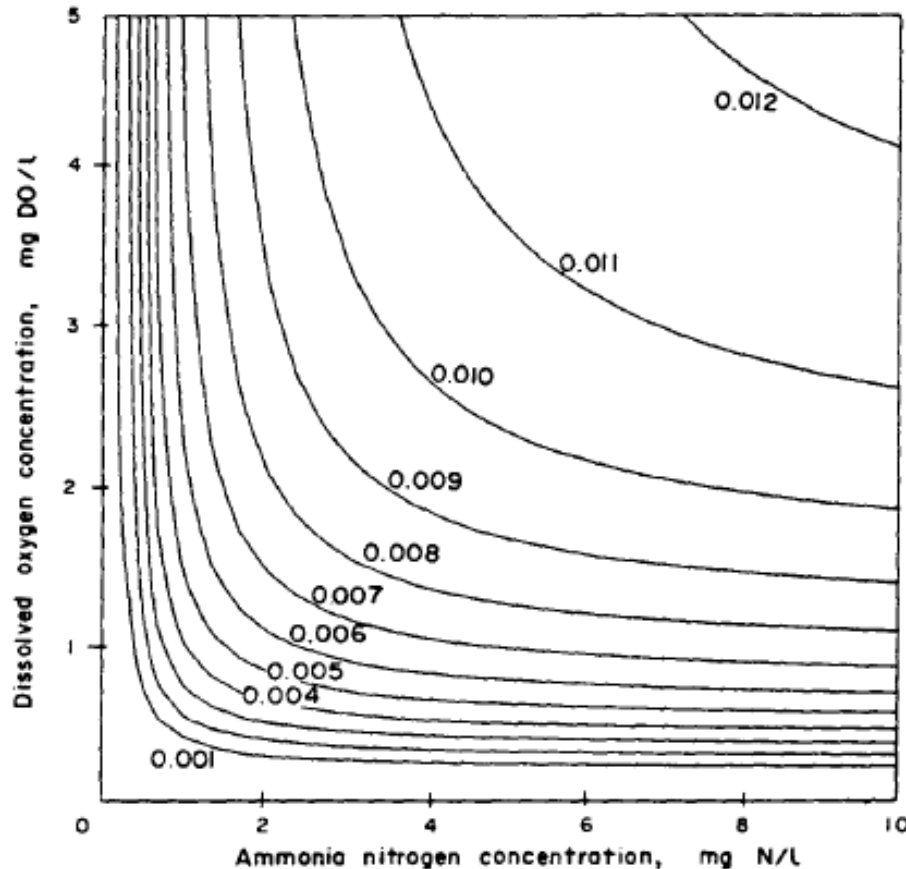


**Figure 3.3** Double Monod plot showing the effects of both ammonia nitrogen and dissolved oxygen concentrations on the specific growth rate of autotrophic nitrifying bacteria. The parameter values given were used to construct the curves with Eq. 3.46.



# Κινητική της Ανάπτυξης

MICHAEL K. STENSTROM and RICHARD A. PODUSKA



$$\mu = \hat{\mu} \left[ \frac{S_1}{K_{S_1} + S_1} \cdot \frac{S_2}{K_{S_2} + S_2} \right] - K_D,$$

where

$\mu$  = net specific growth rate ( $T^{-1}$ )

$\hat{\mu}$  = maximum specific growth rate ( $T^{-1}$ )

$S_1$  = substrate 1 concentration

$S_2$  = substrate 2 concentration

$K_{S_1}$  = half-saturation coefficient for substrate 1

$K_{S_2}$  = half-saturation coefficient for substrate 2

$K_D$  = decay or maintenance coefficient ( $T^{-1}$ ).

Fig. 1. Net growth rate contours for nitrification: ammonia nitrogen vs dissolved oxygen concentration (numbers on curve indicate growth rate,  $\mu$ ,  $hr^{-1}$ ).

$$\mu = \hat{\mu} \left[ \frac{S}{K_S + S} \cdot \frac{DO}{K_{SDO} + DO} \right] - K_D$$

$$\hat{\mu} = 0.02 \text{ hr}^{-1},$$

$$K_S = 1.0 \text{ mg NH}_4\text{-N/L},$$

$$K_{SDO} = 0.5 \text{ mg DO l}^{-1},$$

$$K_D = 0.005 \text{ hr}^{-1}.$$

# Κινητική της Ανάπτυξης

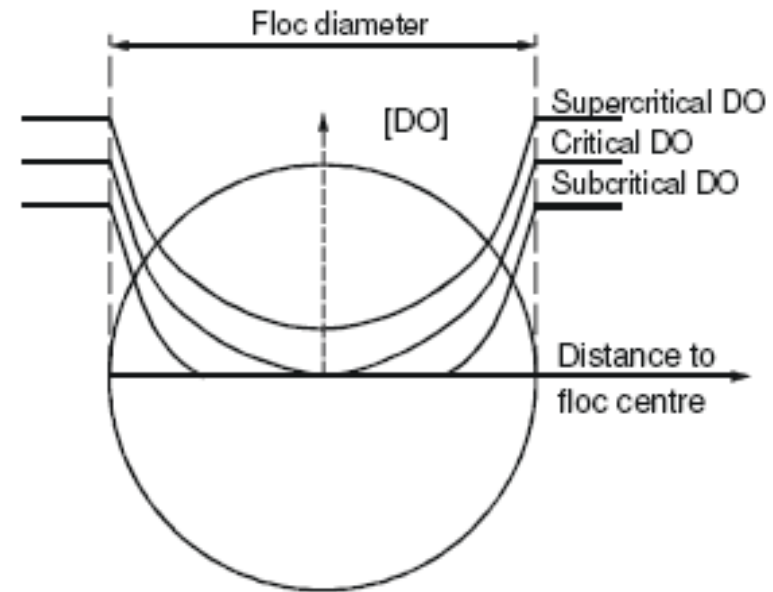
- Το παραπάνω κινητικό μοντέλο και οι συντελεστές που βασίζονται σε **παρατηρούμενα αποτελέσματα**
- χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη νιτροποίηση σε συστήματα με **μικρές έως μέτριες οργανικές φορτίσεις**,
- ενώ πιθανόν να οδηγήσει σε **υπερεκτίμηση των ρυθμών** νιτροποίησης σε συστήματα με **υψηλές οργανικές φορτίσεις**.

Η επίδραση του DO στη νιτροποίηση επηρεάζεται από το **μέγεθος και την πυκνότητα των συσσωματωμάτων** της ενεργού ιλύος και από την ολική απαίτηση του ανάμικτου υγρού σε οξυγόνο.

# Κινητική της Ανάπτυξης

Τα **νιτροποιητικά βακτήρια** διανέμονται μέσα σε ένα συσσωμάτωμα το οποίο περιέχει ετερότροφα βακτήρια και άλλα στερεά, με τις διαμέτρους των συσσωματωμάτων να κυμαίνονται από 100 ως 400  $\mu\text{m}$ .

Το οξυγόνο από το κυρίως υγρό **διαχέεται** μέσα στα συσσωματώματα και τα βακτήρια που βρίσκονται στο εσωτερικό των συσσωματωμάτων **εκτίθενται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις DO**.



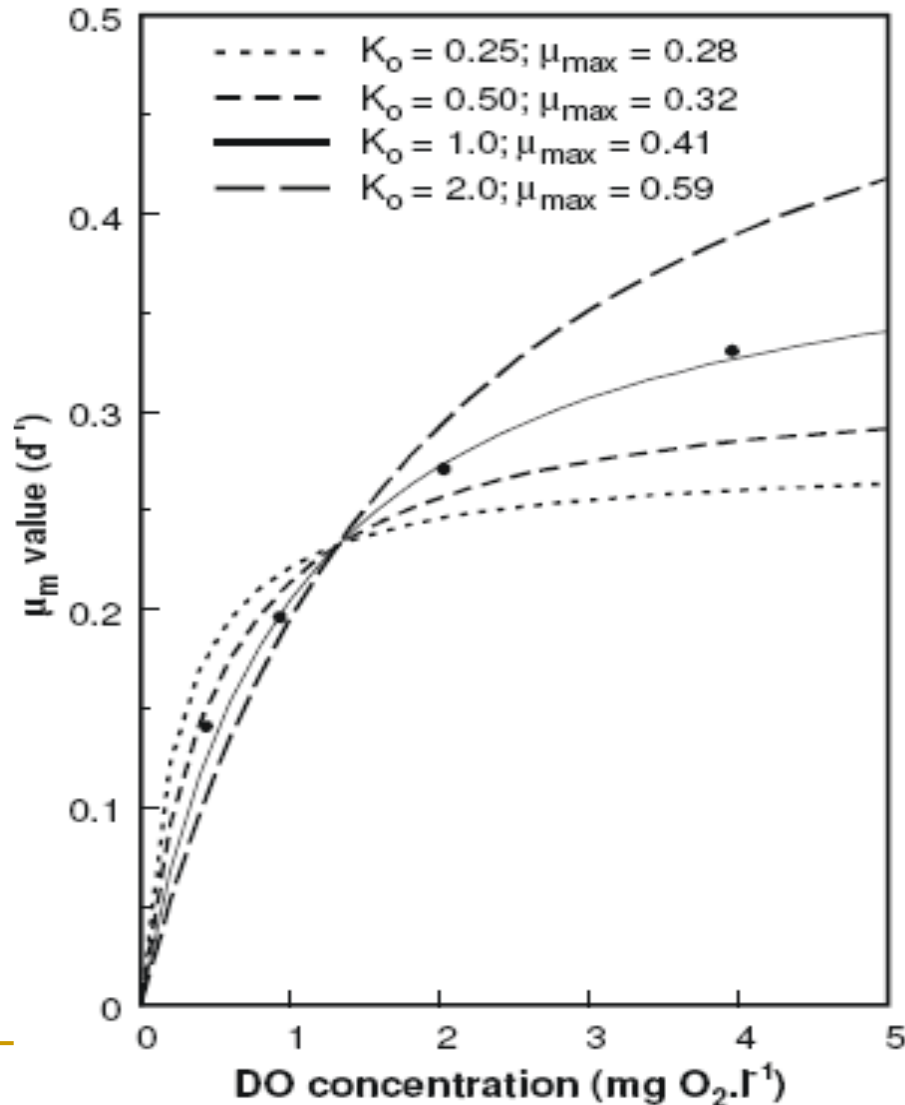
Dissolved oxygen (DO) concentration gradient as a function of distance from the floc surface

## Κινητική της Ανάπτυξης

Σε μεγαλύτερες οργανικές φορτίσεις, υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση υποστρώματος στο ανάμικτο υγρό, η οποία προκαλεί έναν υψηλότερο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου μέσα στο συσσωμάτωμα.

Επομένως, απαιτείται υψηλότερη συγκέντρωση DO στο κυρίως υγρό για να διατηρηθεί η ίδια εσωτερική συγκέντρωση του DO στο συσσωμάτωμα και ο ίδιος ρυθμός νιτροποίησης.

# Κινητική της Ανάπτυξης



Theoretical curves and experimental values of  $\mu_m$  of the nitrifiers as a function of the dissolved oxygen concentration

## Κινητική της Ανάπτυξης

Σε χαμηλές συγκεντρώσεις DO (0,50 mg/L), όπου οι ρυθμοί νιτροποίησης παρεμποδίζονται σε μεγάλο βαθμό, η παρεμποδιστική επίδραση του χαμηλού DO φαίνεται να είναι μεγαλύτερη για το Nitrobacter από το Nitrosomonas.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα συμβεί ατελής νιτροποίηση με αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2\text{-N}$  στην εκροή.

Η παρουσία των νιτρωδών στην εκροή είναι ιδιαίτερα ενοχλητική για μονάδες όπου χρησιμοποιείται χλωρίωση για απολύμανση, επειδή τα νιτρώδη οξειδώνονται εύκολα από το χλώριο απαιτώντας 5 g χλωρίου/g  $\text{NO}_2\text{-N}$ .

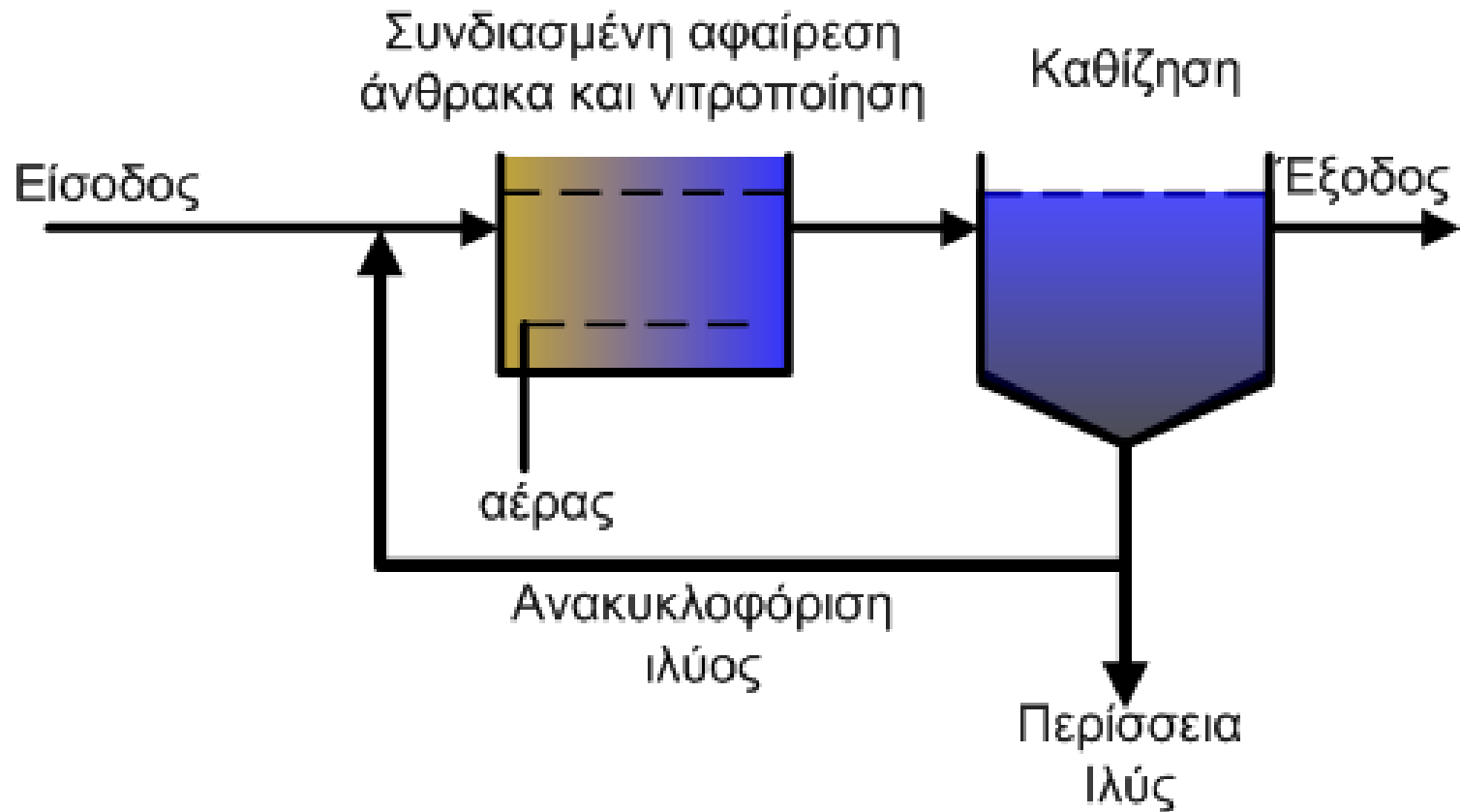
# Στοιχειομετρία της Βιολογικής Νιτροποίησης

Η νιτροποίηση μπορεί να διεξάχθει σε

1. αιωρούμενη ανάπτυξη μ/ο
2. προσκολλημένη ανάπτυξη μ/ο

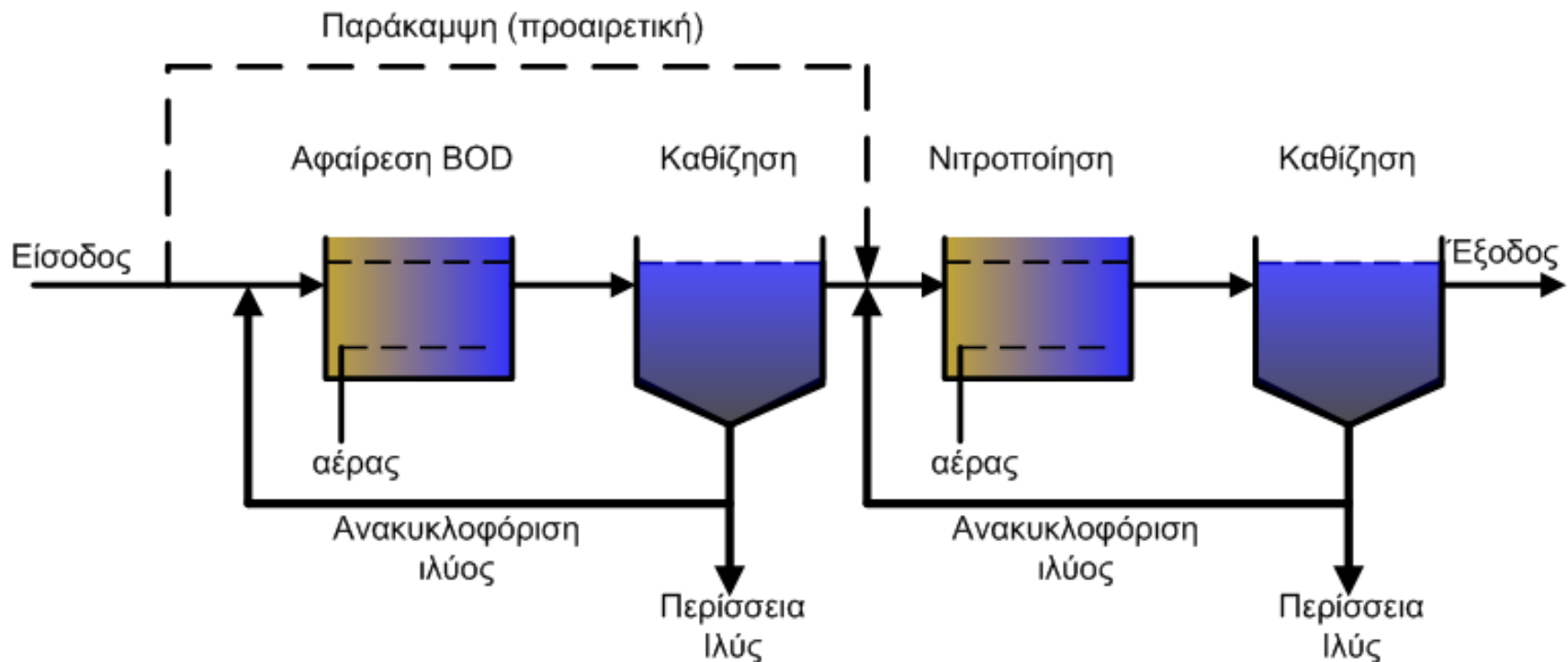
Στην πρώτη περίπτωση το ποίο σύνηθες είναι η νιτροποίηση μαζί με την αφομοίωση του άνθρακα μέσα σε μία δεξαμενή

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού





## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού



Στο σύστημα δύο δεξαμενών στην πρώτη επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του Ένα μέρος της παροχής εισόδου παρακάμπτεται ώστε να υπάρχουν και στην δεύτερη δεξαμενή αρκετά στερεά για την αποτελεσματική κροκίδωση και διαύγαση στην δεξαμενή καθίζησης

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Ένεκα του ότι τα βακτήρια της νιτροποίησης αυξάνονται πάρα πολύ πιο αργά από τα άλλα ετερότροφα βακτήρια απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι υδραυλικής παραμονής και παραμονής στερεών

Σε συστήματα προσκολυμένης βιομάζας η νιτροποίηση απαιτεί να επιτυγχάνεται ή μετά από την απομάκρυνση του BOD ή ξεχωριστά συστήματα ανάπτυξης. Ο λόγος επίσης είναι η μεγάλη παραγωγή βιομάζας από τα ετερότροφα, η οποία δεν επιτρέπει εύκολα την ανάπτυξη των νιτροποιήτων

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Όπως αναφέραμε παραπάνω ο χρόνος αναγέννησης των νιτροποιητών,

σε σχέση με τα ετερότροφα βακτηρία που **αποτελούν και την μεγαλύτερη μάζα της ενεργού ιλύος,**

είναι **μεγαλύτερος** και εξαρτάται από την θερμοκρασία.

Οι **νιτροποιητές** επομένως θα πρέπει να αναπτυχθούν μέσα σε μια βιοκοινωνία η οποία θα τους προσφέρει **ένα χρόνο παραμονής** τουλάχιστον όσο είναι **ο ελάχιστος χρόνος αναπαραγωγής τους.**

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

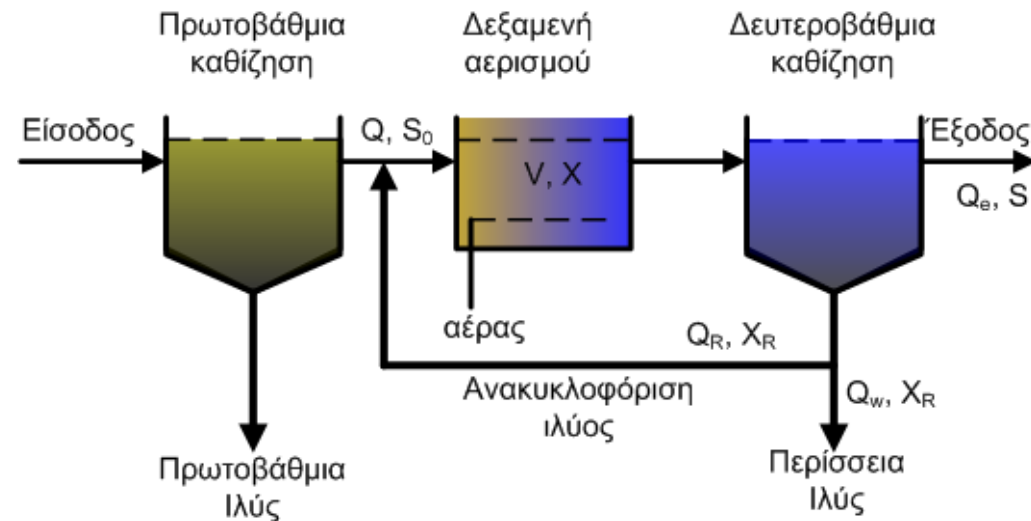
Στο σύστημα ενεργού ιλύος αυτός ο χρόνος παραμονής, που ισοδυναμεί με την ηλικία της λάσπης (SRT),

**είναι τεχνολογικά περιορισμένος.**

Στο σύστημα ενεργού ιλύος **επιτυγχάνεται η αύξηση της συγκέντρωσης** των αιρουμένων στερεών στον αντιδραστήρα με την **ανακυκλοφόριση** της ενεργού ιλύος από την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Για να μην ξεπεράσουμε όμως μια **προσχεδιασμένη τιμή** στην συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών **πρέπει σε ημερήσια βάση να απομακρύνεται ένα μέρος ιλύος**, ίσο με την ημερήσια παραγωγή βιομάζας

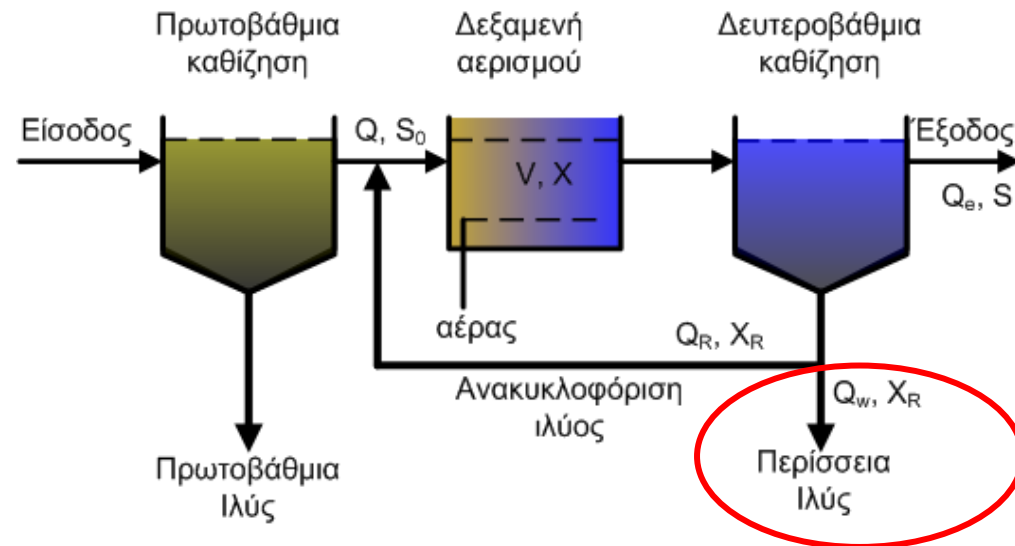


## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Η παραγωγή της περίσσιας ιλύος εξαρτάται από την προσφορά **θρεπτικών της βιομάζας** δηλαδή από την φόρτιση ιλύος BOD ( $B_{TS}$ ).

Όσο **καλύτερα** τροφοδοτούνται με θρεπτικά οι μ/ο, τόσο **γρηγορότερα** θα αναπτυχθούν και

τόσο **μεγαλύτερη** θα είναι η **παραγωγή περίσσιας ιλύος** που θα πρέπει καθημερινά να αφαιρείται από το σύστημα.

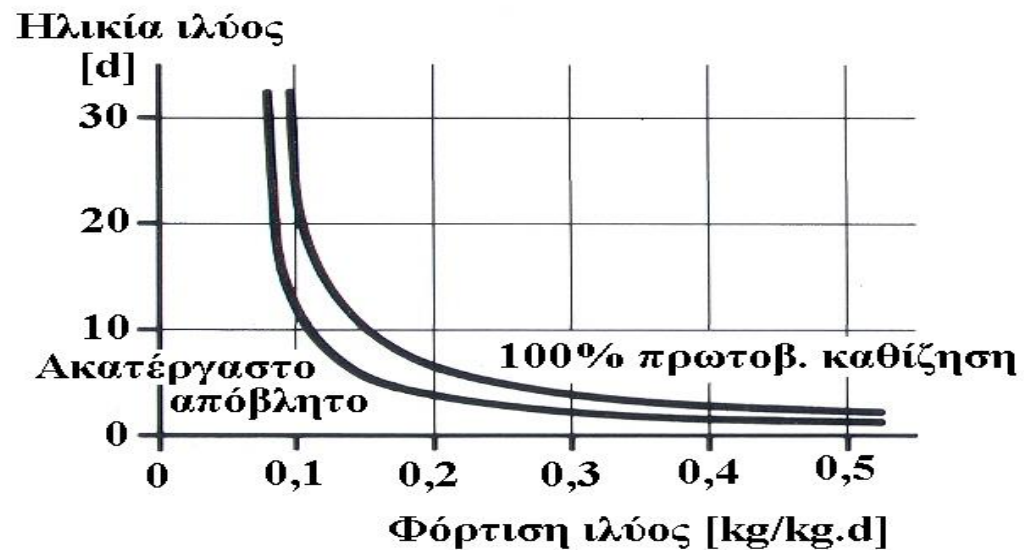


## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Στο σχήμα βλέπουμε την εξάρτηση της ηλικίας λάσπης από την φόρτιση ιλύος.

Αναγνωρίζουμε ότι με αυξανόμενη την BOD φόρτιση ιλύος, αντίστοιχα με την εξέλιξη του ρυθμού ανάπτυξης,

η ηλικία λάσπης μειώνεται.



Σπουδαίο ρόλο παίζει επίσης ο **βαθμός κατακράτησης** των αιωρούμενων στερεών στην **δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης** δηλαδή το ποσοστό αυτών που εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού.

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Η **εξάρτηση της ηλικίας λάσπης** από την **φόρτιση ιλύος**, καθορίζεται αποκλειστικά από τα **ετερότροφα βακτήρια** της ενεργού ιλύος

τα οποία **αφομοιώνουν** μόνον τα **οργανικά θρεπτικά** συστατικά του υγρού απόβλητου.

Οι **νιτροποιητές** βρίσκονται ουσιαστικά **ετερόκλητα τοποθετημένοι** μέσα σε αυτή την βιοκοινωνία μικροοργανισμών, δηλαδή η **χρονική παραμονή** τους στο σύστημα **εξαρτάται αποκλειστικά** από την ηλικία ιλύος των ετερότροφων βακτηρίων.



## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Επομένως, μια πιθανότητα επιβίωσης έχουν οι νιτροποιητές, μόνον όταν η ηλικία ιλύος των ετερότροφων **υπερβαίνει** τον δικό τους χρόνο αναπαραγωγής.

**πλήρης νιτροποίηση**  $\Rightarrow$  η ηλικία ιλύος των ετερότροφων βακτηρίων να **υπερκαλύπτει 2-3 φορές τον χρόνο αναγέννησης των νιτροποιητών**.

Μόνον τότε η συγκέντρωση τους είναι ικανή να **αφομοιώσει** τις προσφερόμενες **συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων** (φόρτιση ιλύος σε άζωτο  $\text{kg N/ kgTS}_{\text{Nitrif}} \cdot \text{d}$ ).

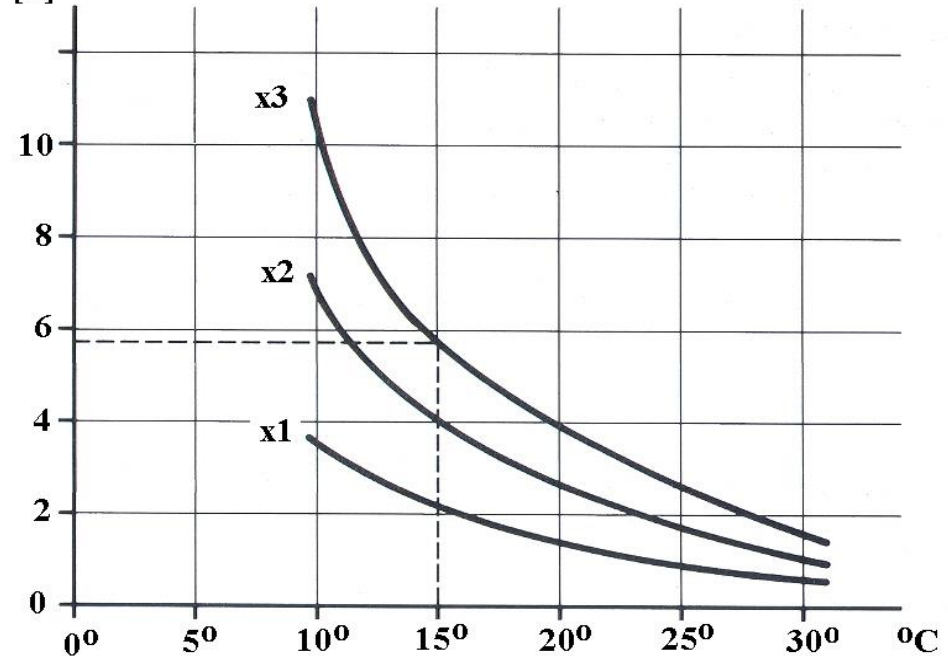
## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Εκτιμώντας κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις τους **χρόνους αναγέννησης** των νιτροποιητών και τις από αυτούς προερχόμενες **τιμές ελάχιστης ηλικίας ιλύος** (σχήμα) μπορούμε να παρατηρήσουμε

π.χ. σε θερμοκρασία  $15^{\circ}\text{C}$  και με έναν συντελεστή  $3x$

η ηλικία ιλύος θα έπρεπε να είναι περίπου **6 ημέρες** για να επιτύχουμε **πλήρη νιτροποίηση**.

Χρόνος διπλασιασμού [d]



## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

Για να εγγυηθούμε μια νιτροποίηση καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου,

↳ θα έπρεπε να συνεκτιμηθούν **θερμοκρασίες υγρού μέχρι +10 °C**.

↳ Επομένως ανάλογα και με το μέγεθος μιας ΜΕΥΑ είναι αναγκαίες τιμές ηλικίας λάσπης από **8-10 ημέρες**.

Λόγο όμως και τις εξάρτησης της ηλικίας της λάσπης από την φόρτιση ιλύος, εξαρτάται επίσης και η **νιτροποίηση από την φόρτιση ιλύος**.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι σε θερμοκρασίες ακόμα και χειμώνα κάτω από μία φόρτιση ιλύος **<0,15 kg BOD5/kg TS d** ξεκινά η νιτροποίηση.

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού συμπεράσματα

Θα μπορούσαμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα που είναι χρήσιμα για την πράξη:

1. Για την **διεξαγωγή της νιτροποίησης** σε συστήματα ενεργού ιλύος, θα πρέπει να προσαρμόσουμε την ηλικία ιλύος με βάση την **αργή ανάπτυξη** των νιτροποιητών.
2. **Πάνω** από μία συγκεκριμένη **φόρτιση ιλύος** και αντίστοιχα την **προκύπτουσα ηλικία ιλύος και πάνω** ξεκινά αναγκαστικά η νιτροποίηση.

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού

### συμπεράσματα

3. **Μερική** νιτροποίηση θα μπορούσε να εμφανισθεί επίσης σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος.

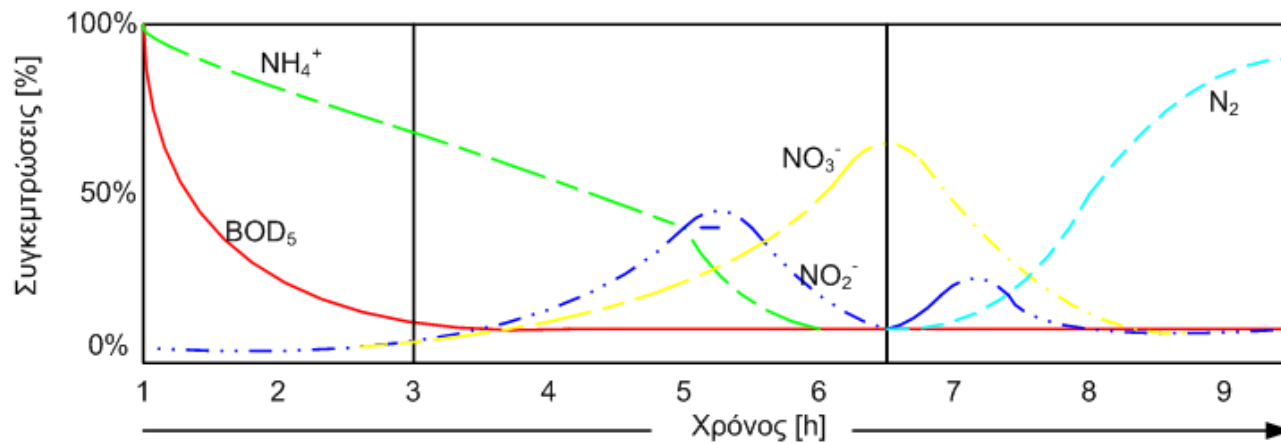
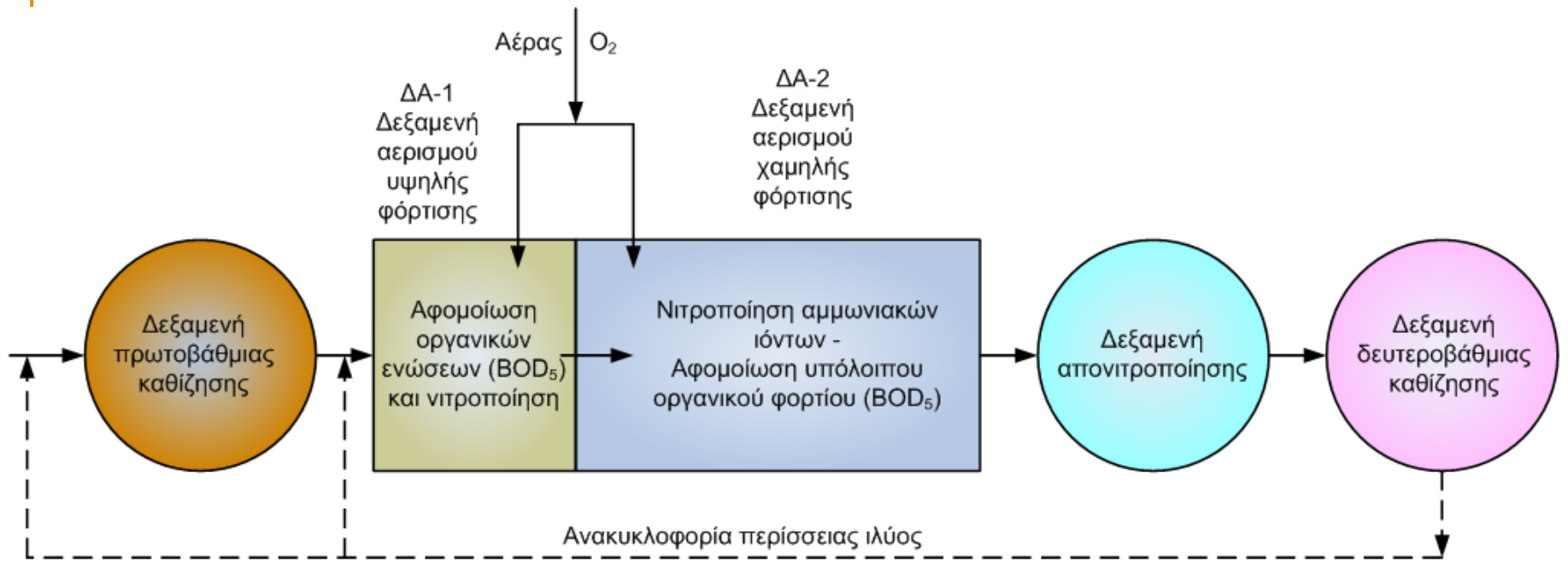
Αυτό εξηγείται από τις διακυμάνσεις στην **φόρτιση και την θερμοκρασία.**

Όταν ο μέσος όρος της ηλικίας ιλύος βρίσκεται οριακά στον κρίσιμο χρόνο αναγέννησης των νιτροποιητών, τότε είναι δυνατόν σε περιόδους χαμηλής φόρτισης (περίοδος σαββατοκύριακου ή διακοπών βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή/και υψηλές θερμοκρασίες των υγρών αποβλήτων, παρατεταμένη περίοδος καλοκαιρίας) **να εμφανισθεί η νιτροποίηση και όταν αλλάξουν οι συνθήκες να εξαφανισθεί.**

## 2. Εξέλιξη των διαδικασιών νιτροποίησης στην δεξαμενή αερισμού συμπεράσματα

Για την λειτουργία μια ΜΕΥΑ είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε εάν εμφανίζεται **περιστασιακά** ή **λειτουργεί πραγματικά συνεχώς** η νιτροποίηση διότι:

1. θα πρέπει πάντα να υπάρχει **επάρκεια διαλυμένου οξυγόνου** για να καλυφθούν οι ανάγκες της νιτροποίησης
2. θα μπορούσε να **μειωθεί η τιμή του pH** στην δεξαμενή αερισμού
3. θα μπορούσε να εμφανισθούν προβλήματα **επίπλευσης ιλύος** στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης



### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

Στην πράξη, υπάρχει μία σειρά παραγόντων που επηρεάζουν άμεσα τη διαδικασία της νιτροποίησης. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

#### **Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO)**

Απαιτείται κατ' ελάχιστο  $0,5\text{mg O}_2/\text{L}$ .

Βέλτιστες τιμές:  $3 - 4 \text{ mg DO /L}$ . Η επίδραση του οξυγόνου έχει εκφραστεί μαθηματικά με μία σχέση Monod



### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO)

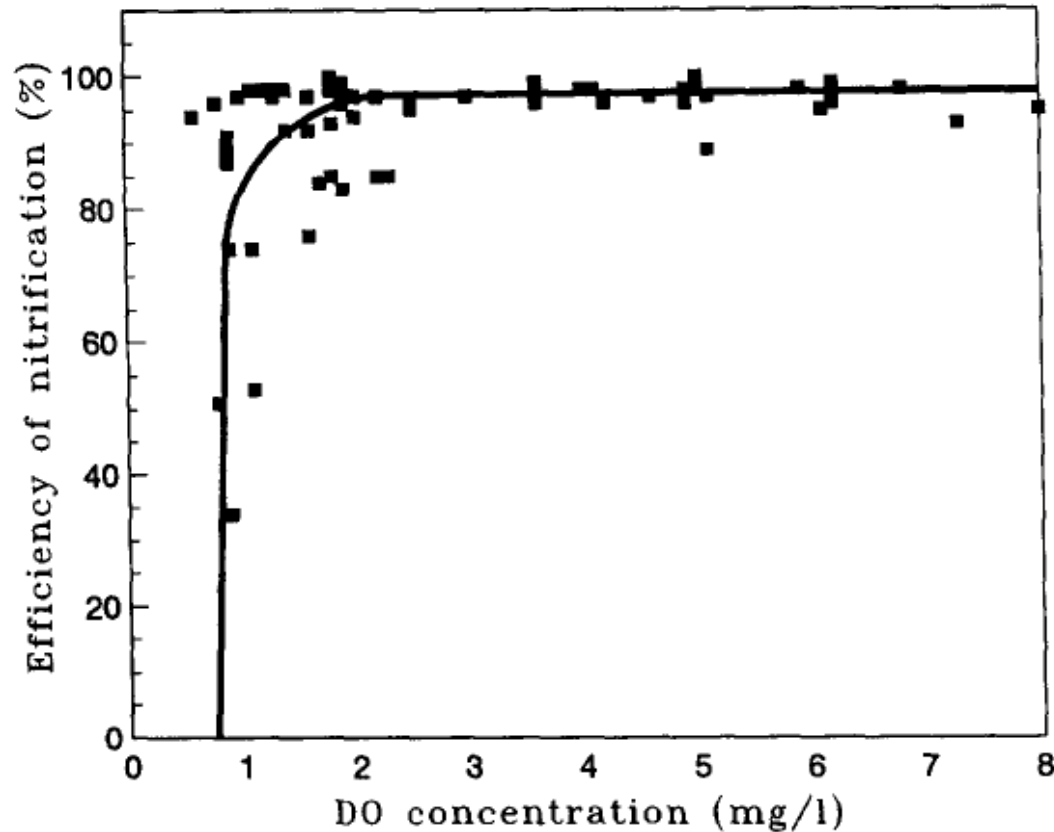


Fig. 5. Effect of DO on the efficiency of nitrification.

# 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

## Θερμοκρασία

Ο ολικός ρυθμός νιτροποίησης φθίνει, καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, ενώ ακολουθεί το νόμο του van't Hoff-Arrhenius μέχρι θερμοκρασία 30°C.

$$\mu_{mT} = \mu_{m20} \theta^{(T-20)}$$

Where  $\theta$  = Arrhenius temperature dependency coefficient

Table 4.3 Temperature dependency of the maximum specific growth rate of Nitrosomonas

Temp. factor ( $\theta$ )	Temperature interval (°C)	Reference
1.116	19 - 21	Gujer (1977)
1.123	15 - 20	Downing et al (1964)
1.123	14 - 20	Ekama et al (1976)
1.130	20 - 30	Lijklema(1973)

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Θερμοκρασία

Βέλτιστη νιτροποίηση παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία 15°C ενώ άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι ο μέγιστος ρυθμός νιτροποίησης βρίσκεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 25°C.

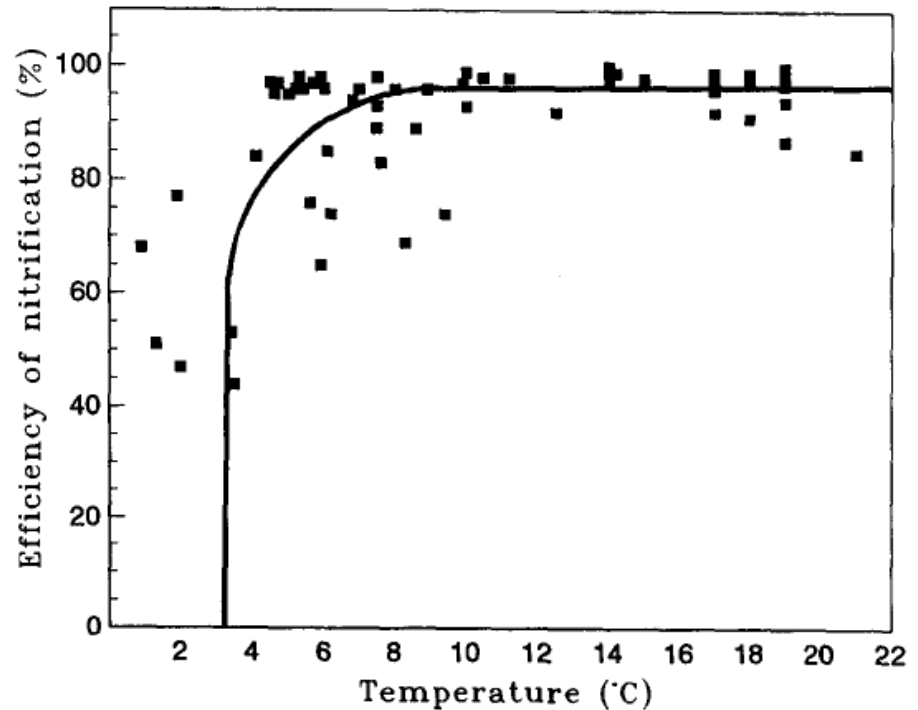


Fig. 6. Effect of temperature on the efficiency of nitrification.

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Θερμοκρασία

Σύμφωνα με νεότερες έρευνες, η βέλτιστη θερμοκρασία βρίσκεται στο εύρος 25 -35°C, ενώ δεν παρατηρείται καμία δραστηριότητα κάτω από 5°C ή πάνω από 35°C για τα *Nitrosomonas*, και κάτω από 5°C ή πάνω από 40°C για τα *Nitrobacter*

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Θερμοκρασία

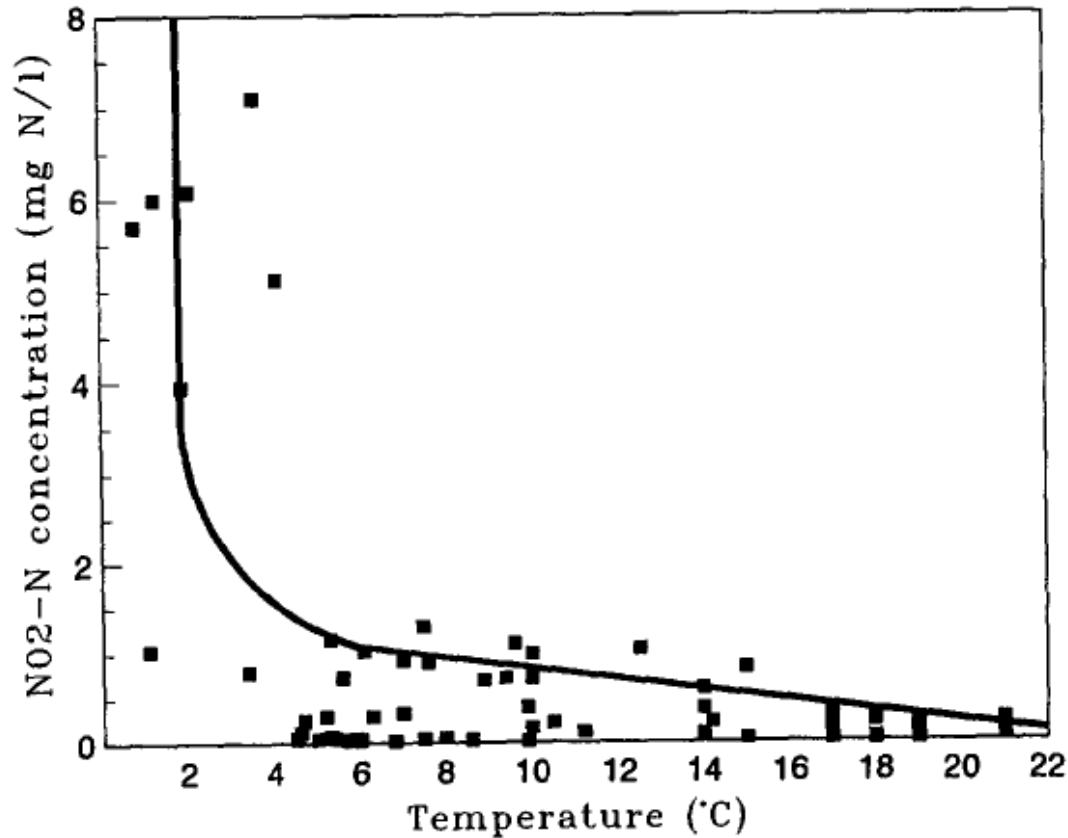


Fig. 8. Effect of temperature on  $\text{NO}_2^-$ .

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### pH

Ο μέγιστος ρυθμός νιτροποίησης διαπιστώθηκε σε pH 7,8 με την επίδραση του pH να είναι υψηλότερη σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Η χαμηλή τιμή του pH στην ουσία δρα ανασταλτικά στη νιτροποίηση και όχι τοξικά, αφού μετά από επαναφορά από την όξινη περιοχή στην ουδέτερη η νιτροποιητική δραστηριότητα ανακάμπτει

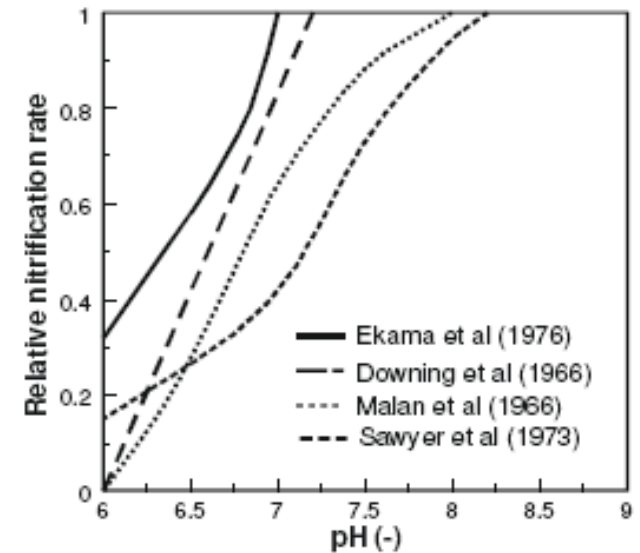


Figure 4.8  
Influence of the pH on the nitrification rate according to EPA (1976)

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### pH

Ο μηχανισμός με τον οποίο το pH δρα ανασταλτικά στη διεργασία της νιτροποίησης σχετίζεται με τα φαινόμενα ανάσχεσης από την ελεύθερη αμμωνία (FA) και το ελεύθερο ή μη ιονισμένο νιτρώδες οξύ (FNA)

Όταν το ενδοκυτταρικό pH ενός νιτροποιητή είναι μικρότερο του εξωτερικού του περιβάλλοντος, η ελεύθερη αμμωνία  $\text{NH}_3$  διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη, ενώ το αμμωνιακό  $\text{NH}_4^+$  παραμένει εκτός.

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### pH

Όμοια, όταν το ενδοκυτταρικό pH ενός νιτροποιητή είναι μεγαλύτερο του εξωτερικού του περιβάλλοντος, το ελεύθερο νιτρώδες οξύ  $\text{HNO}_2$  διαπερνά στο εσωτερικό του κυττάρου, και όχι το νιτρώδες.

Συνεπώς, η ελεύθερη αμμωνία και το νιτρώδες οξύ αποτελούν πιο σημαντικούς αναστολείς της νιτροποίησης από τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη.



### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Συγκέντρωση αμμωνίας και νιτρωδών

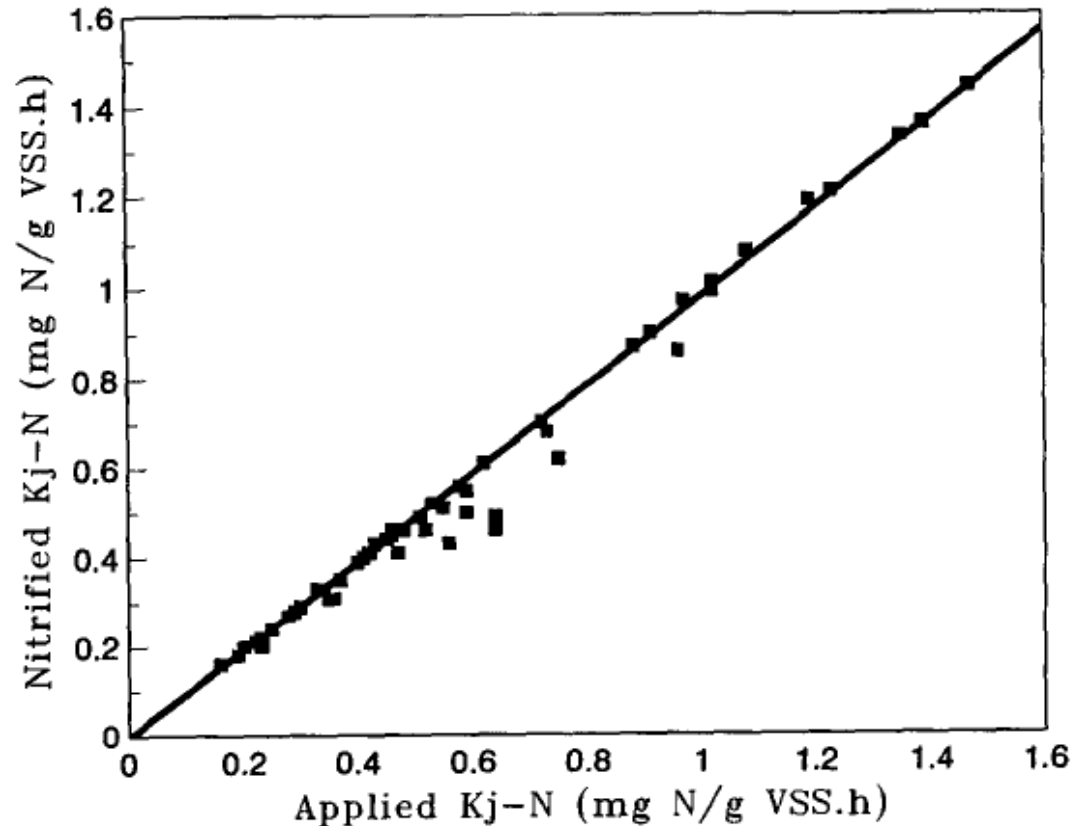
Τόσο οι *Nitrosomonas* όσο και οι *Nitrobacter* είναι ευαίσθητοι στο ίδιο τους το υπόστρωμα, αλλά ακόμη περισσότερο ο ένας στο υπόστρωμα του άλλου

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο βαθμός ευαισθησίας εξαρτάται από την ισορροπία αμμωνίας – αμμωνιακού και νιτρικού οξέος – νιτρωδών.

Τέλος, ο ρυθμός νιτροποίησης σε συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4+\text{N} < 2,5 \text{ mg/L}$  παρουσιάζει απότομη πτώση (Culp *et al.*, 1978).

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Συγκέντρωση αμμωνίας και νιτρωδών



**Fig. 9.** Correlation between applied nitrogen loading and the rate of nitrification.

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Λόγος $BOD_5 / TKN$

Το κλάσμα των νιτροποιητών της ενεργού ιλύος έχει βρεθεί ανάλογο του λόγου  $BOD_5/TKN$ , όπου  $TKN$  είναι το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο (Total Kjeldahl Nitrogen).

Με αυξανόμενες τιμές του λόγου αυτού, το κλάσμα των νιτροποιητών μειώνεται.

Μάλιστα για τιμές  $>5$ , η διεργασία της νιτροποίησης θεωρείται ότι συμβαίνει ταυτόχρονα με την οξείδωση των ανθρακούχων συστατικών, ενώ για τιμές  $< 3$ , η διεργασία λαμβάνει χώρα σε ξεχωριστό στάδιο

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Ηλικία ιλύος, οργανική φόρτιση και χρόνος παραμονής

Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται μεταξύ τους και επηρεάζουν έμμεσα τη συγκέντρωση των νιτροποιητών, και κατά συνέπεια τη διεργασία της νιτροποίησης.

Κύρια παράμετρος είναι η ηλικία ιλύος, για τη διαμόρφωση της οποίας επικουρούν οι άλλοι παράγοντες με σταθερές τις προαναφερόμενες παραμέτρους, η οποία και καθορίζει τη συγκέντρωση των νιτροποιητών στο ανάμικτο υγρό

### 3. Παράγοντες που επιδρούν στη νιτροποίηση

#### Τοξικές ουσίες

Χημικές ουσίες, όπως αμίνες, τανίνες, φαινολικές ενώσεις, αλκοόλες, αιθέρες, θειουρία, στρυχνίνη, ανιλίνη, θειοακεταμίδιο κ.α.,

ή μεγάλες συγκεντρώσεις των απαραίτητων ιχνοστοιχείων (φωσφορικά, μαγνήσιο, σίδηρος, ασβέστιο, χαλκός και βιταμίνες) δρουν ανασταλτικά

---

# Βιβλιογραφία

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