

# ΒΑΣΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕΥΑ

Καθηγητής Π. Μελίδης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών  
Αποβλήτων

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας

Συστήματα οξειδωσης του C και του N

Συστήματα αφαίρεσης του αζώτου:

- Προπορευόμενη απονιτροποίηση

- Ακολουθούσα απονιτροποίηση

- Ταυτόχρονη νιτροποίηση και απονιτροποίηση

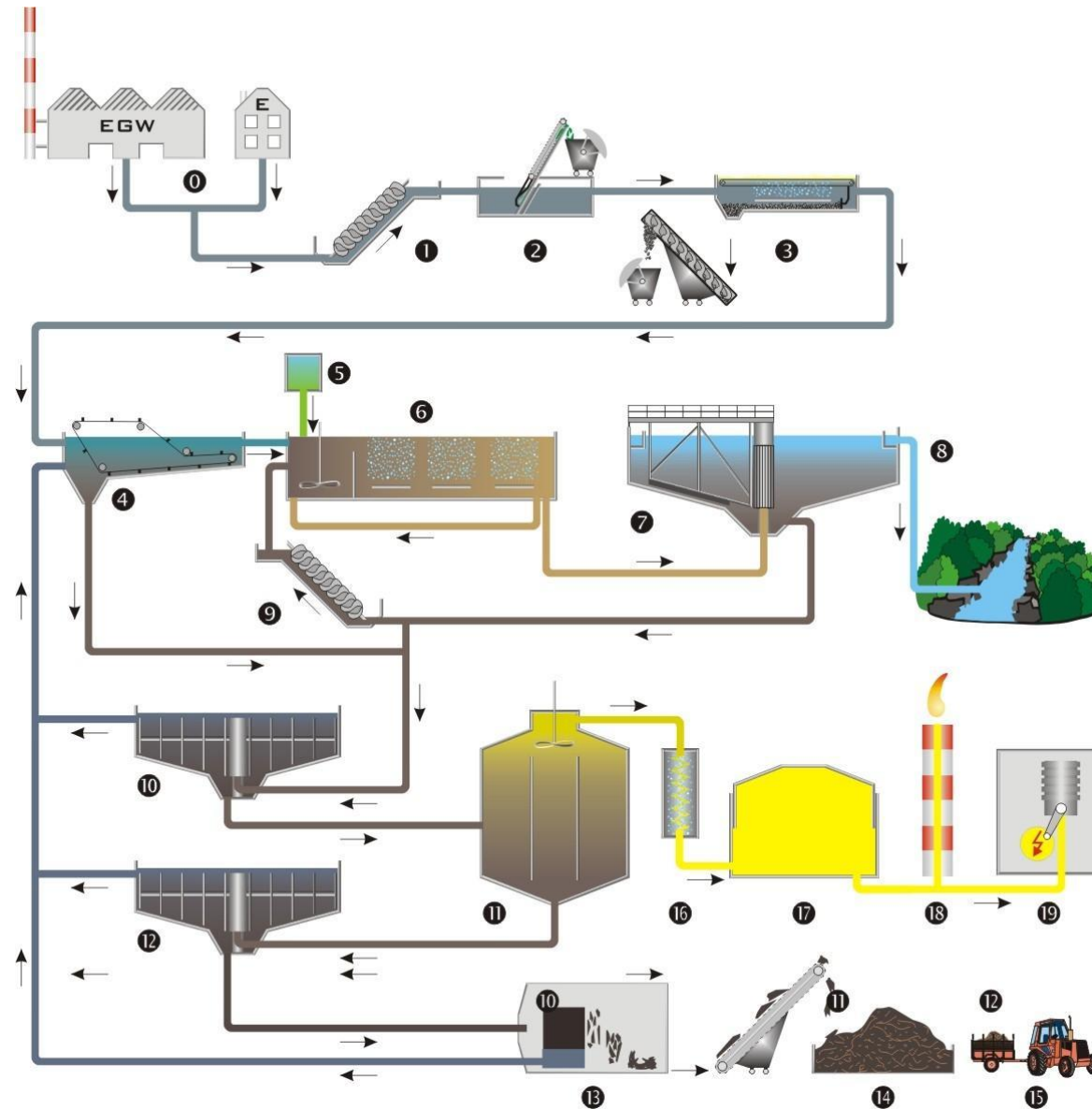
# Γιατί είναι απαραίτητη η επεξεργασία των υγρών απόβλητων;

1. Για να προστατευτεί η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων από:
  - Κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου (καταστροφή της ισορροπίας του οικοσυστήματος)
  - Ευτροφισμός
  - Αισθητική υποβάθμιση
  - Είσοδος τοξικών ουσιών
2. Για την προστασία της δημόσιας υγιεινής από παθογόνα μικρόβια

# Μέθοδοι επεξεργασίας

1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΙ
2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ
3. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος



Σχήμα 1. Σχηματικό διάγραμμα ΜΕΥΑ

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Η ιλύς βρίσκεται σε αιώρηση στη δεξαμενή αερισμού και ονομάζεται «ενεργός ιλύς» διότι περιέχει τους μικροοργανισμούς

Διαχωρίζεται στην δεξαμενή καθίζησης και ανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού

Μικροοργανισμοί καταναλώνουν τους ρύπους σαν τροφή και αναπαράγονται

Μια ποσότητα μικροοργανισμών (περίσσεια ιλύς) απομακρύνεται καθημερινά από το σύστημα.

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

## Βιολογική αποικοδόμηση ρύπων

Οι μικροοργανισμοί αναλίσκουν τους ρύπους σαν τροφή με τη βοήθεια οξυγόνου.

Οργανική ύλη + μικροοργανισμοί +  $O_2$

→ νέοι μικροοργανισμοί +  $CO_2$  +  $H_2O$  + ενέργεια

## Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Τα βακτήρια χρησιμοποιούν οξυγόνο για τρεις σκοπούς:

1. Να οξειδώσουν την οργανική ύλη, για παραγωγή ενέργειας, διοξειδίου του άνθρακα και νερού
2. Για αναπαραγωγή
3. Για να οξειδώσουν τις ουσίες που προέρχονται από τους νεκρούς οργανισμούς



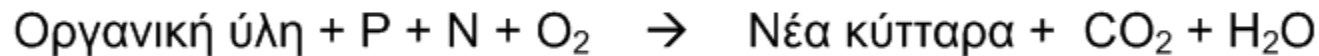
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Οι βιολογικές αντιδράσεις στην οξείδωση του ανθρακούχου ρύπου

## Μετατροπή της οργανικής ύλης



## Παραγωγή νέων κυττάρων



## Αποδόμηση νεκρών κυττάρων



# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Το σύστημα της ενεργού ιλύος, στην πρώτη του μορφή, απομάκρυνε μόνο τους **ανθρακούχους ρύπους**

Σήμερα, που οι απαιτήσεις της εποχής μας στην απομάκρυνση των ρύπων είναι μεγαλύτερες, το σύστημα της ενεργού ιλύος έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να αφαιρεί με βακτήρια **άζωτο και φώσφορο**.

Οι διάφοροι μικροοργανισμοί βρίσκονται στην ενεργό ιλύ υπό **μορφή συσσωματωμάτων, που ονομάζονται νιφάδες**

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

## Η υφή της ενεργού ιλύος

Η ενεργός ιλύς είναι ο ουσιαστικός φορέας των βιολογικών διαδικασιών καθαρισμού

Εκδηλώνεται το ενζυματικό δυναμικό  
*(μετατροπή των μεγαλομοριακών ενώσεων)*

Δρα ως επιφάνεια προσρόφησης  
*(βιολογικός αδιάφορα σώματα μπορούν να δεθούν)*

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

## Η υφή της ενεργού ιλύος

Η φυσική, χημική και βιολογική υφή της βιομάζας επηρεάζεται από την υφή των λυμάτων και την μέθοδο καθαρισμού τους

*(Διαφέρει από μονάδα σε μονάδα και μέσα στην ίδια την μονάδα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές)*

Η σύνθεση της ενεργού λάσπης ορίζεται από την **βιομάζα** την ίδια (βακτήρια, πρωτόζωα, μύκητες κλπ)

και από **οργανικές** (οργανικές ίνες, άμυλο κλπ) και **ανόργανες** (ανθρακικά και φωσφορικά άλατα, υδροξείδια μετάλλων) εναποθέσεις και αποθηκεύσεις.

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Μηχανισμός δημιουργίας των νιφάδων ενεργού ιλύος

Η νιφάδα δημιουργείται σε τρία στάδια:

A. Βιοπροσρόφηση

B. Μετατροπή (οξειδωση)

Γ. Βιοκροκίδωση

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Μηχανισμός δημιουργίας των νιφάδων ενεργού ιλύος -  
Βιοπροσρόφηση

Οι υδατοδιαλυτές οργανικές ενώσεις **διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη των βακτηρίων** και αποθηκεύονται μέσα στο κύτταρο.

Η βιοπροσρόφηση των υδατοδιαλυτών ενώσεων λαμβάνει χώρα σε **5 έως 20 λεπτά**.

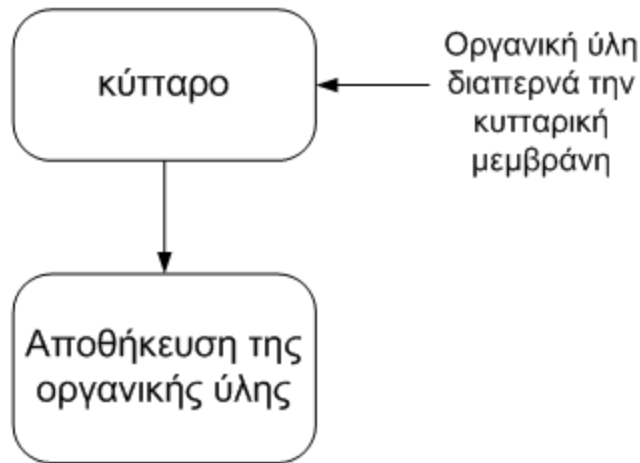
Οι **μη υδατοδιαλυτές ενώσεις**, προσκολλώνται στα τριχίδια του κυττάρου, το οποίο εκκρίνει υδρολυτικά ένζυμα, με τα οποία τις διασπά σε άλλες μικρομοριακές ενώσεις.

Οι ενώσεις αυτές μπορούν, στη συνέχεια, να προσροφηθούν μέσα στο κύτταρο.

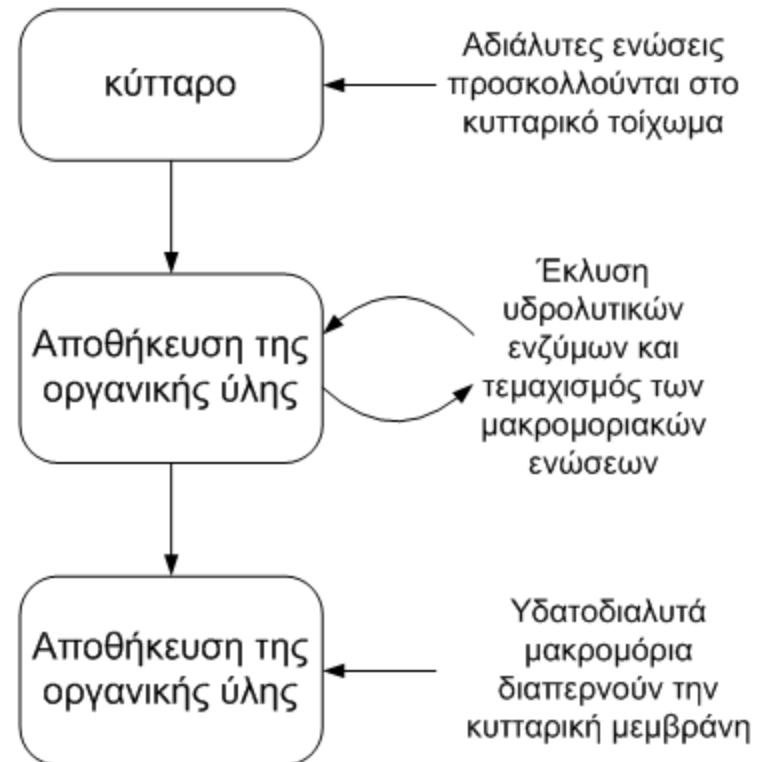
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Μηχανισμός δημιουργίας των νιφάδων ενεργού ιλύος –  
Ο μηχανισμός της βιοπροσρόφησης

Υδατοδιαλυτές ενώσεις



Αδιάλυτες μεγαλομοριακές ενώσεις



# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Μηχανισμός δημιουργίας των νιφάδων ενεργού ιλύος – Μετατροπή

Η αποθηκευμένη στο κύτταρο τροφή, στη συνέχεια, **με οξειδοαναγωγικά ένζυμα**, διασπάται και μετατρέπεται, μέσω μιας αλυσίδας βιοχημικών αντιδράσεων, **σε ενδιάμεσα προϊόντα για τη σύνθεση νέων κυττάρων, σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.**

Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις **παράγουν σταδιακά ενέργεια**, η οποία **διοχετεύεται** επίσης σταδιακά στις αντιδράσεις **σύνθεσης** και εν μέρει χρησιμοποιείται για τις **ανάγκες κίνησης και συντήρησης των κυττάρων.**



# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Μηχανισμός δημιουργίας των νιφάδων ενεργού ιλύος – Βιοκροκίδωση

Στο **τρίτο στάδιο**, τα κύτταρα προσκολλώνται το ένα με το άλλο και **δημιουργούν συσσωματώματα**, τα οποία ερχόμενα σε επαφή μεταξύ τους δημιουργούν νέα μεγαλύτερα σωματίδια.

Κατά τη συνένωση των σωματιδίων, **εγκλωβίζονται ανάμεσα τους μεγαλομοριακές ενώσεις**, οι οποίες χρησιμεύουν σαν τροφή στα βακτήρια που ευρίσκονται σε επαφή μαζί τους.

Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται νιφάδες

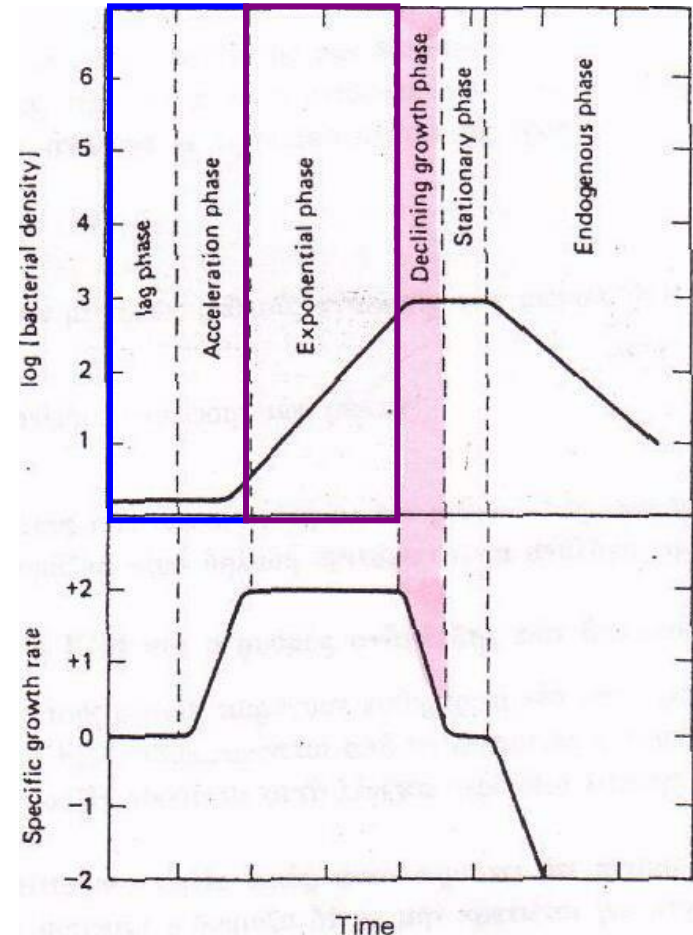
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Η εξάρτηση της ποιότητας της νιφάδας από την ανάπτυξη των βακτηρίων

Η ανάπτυξη μεμονωμένων βακτηρίων γίνεται σε 4 φάσεις.

I. Η φάση **προσαρμογής**, είναι η πρώτη, στην οποία τα βακτήρια παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα, για να αποικοδομήσουν την τροφή τους.

II. Στη δεύτερη φάση, **της λογαριθμικής ανάπτυξης**, τα βακτήρια έχουν άφθονη τροφή και δεδομένου ότι έχουν όλα τα απαραίτητα ένζυμα, πολλαπλασιάζονται με υψηλούς ρυθμούς.



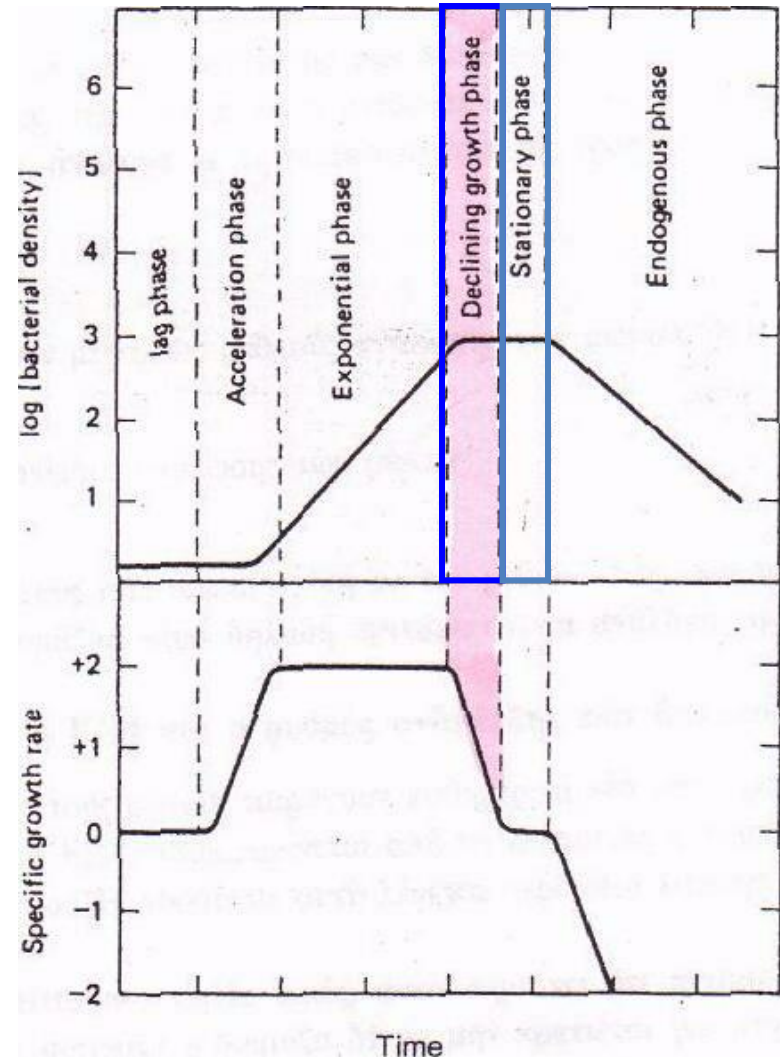
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Η εξάρτηση της ποιότητας της νιφάδας από την ανάπτυξη των βακτηρίων

Οι νιφάδες, που σχηματίζονται είναι μεγάλου μεγέθους, δεν καθιζάνουν καλά, παραμένουν διεσπαρμένες και το επεξεργασμένο νερό είναι θολό.

III. Στη φάση της **φθίνουσας ανάπτυξης**, η διαθέσιμη τροφή των βακτηρίων είναι **μειωμένη** και οι **ρυθμοί αναπαραγωγής είναι μέτριοι**.

Το **μέγεθος** και η **ποιότητα** των φλόκων επιτρέπουν την **καλή καθίζηση** τους και το επεξεργασμένο νερό είναι **διαυγές**.



# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

Η εξάρτηση της ποιότητας της νιφάδας από την ανάπτυξη των βακτηρίων

IV. Η τελευταία φάση ονομάζεται και **φάση ενδογενούς** αναπνοής, χαρακτηρίζεται από:

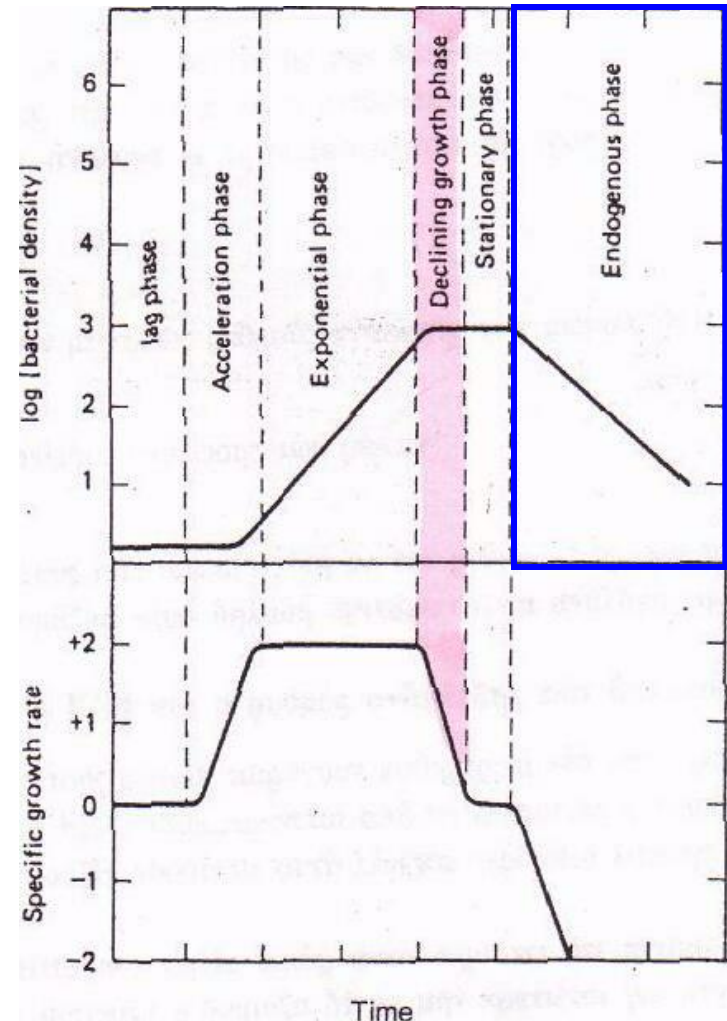
Την μικρή προσφορά **τροφής**

Για να ζήσουν **αναλίσκουν όλα τα αποθηκευμένα αποθέματα του κυττάρου** τους

Τελικώς πεθαίνουν, το κυτταρικό τοίχωμα λύεται και το κυτταρόπλασμα χύνεται προς τα έξω

Αποτελεί τροφή για τα άλλα βακτήρια.

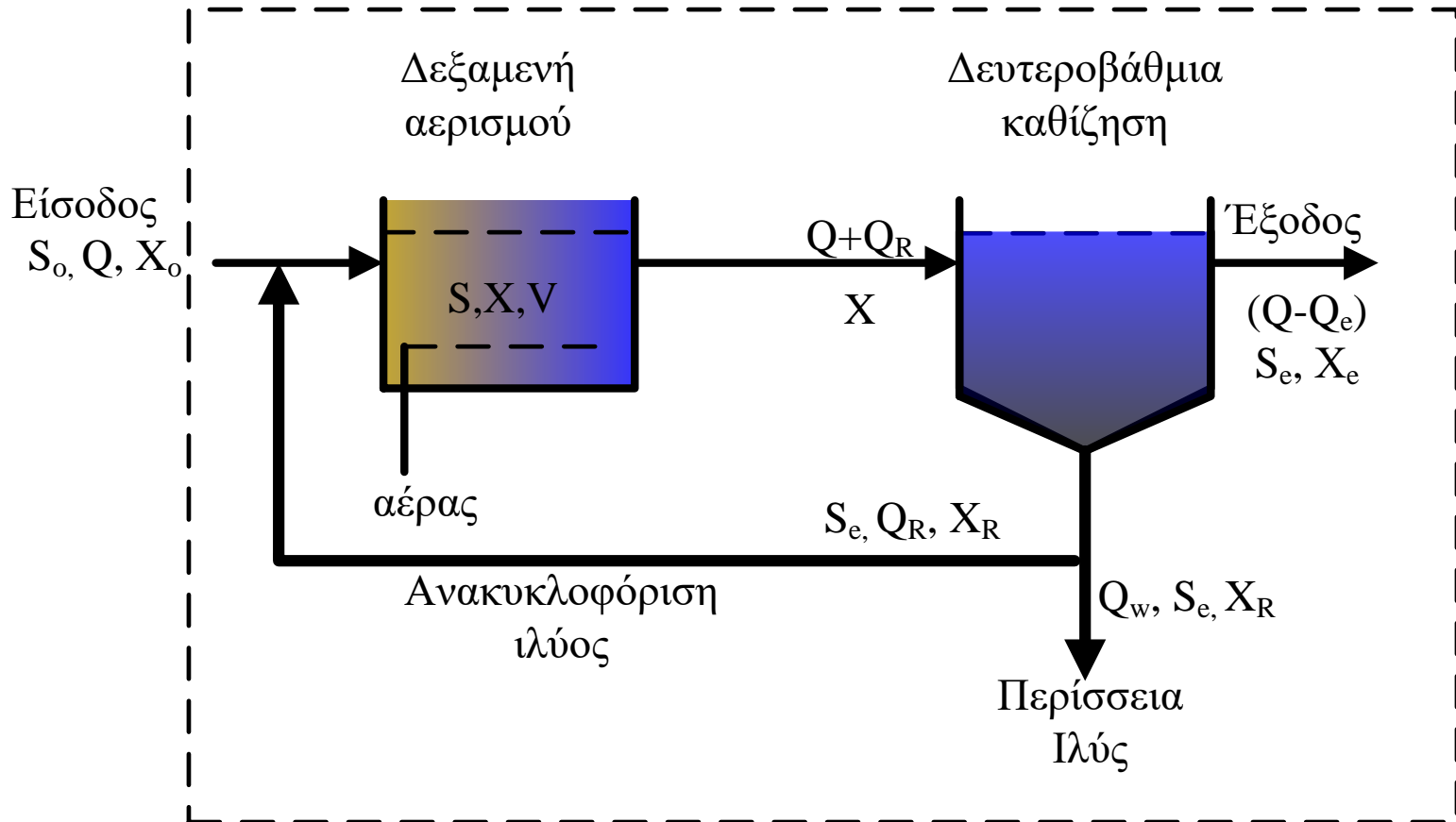
**Οι νιφάδες της ενδογενούς αναπνοής είναι μικρού μεγέθους, με μεγάλο ποσοστό ανόργανων, είναι συμπαγείς και καθιζάνουν πολύ γρήγορα.**



**Είναι προφανής η εξάρτηση της ποιότητας της νιφάδας και της καθιζησιμότητας της από το ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών.**

ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ  
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ  
ΜΕΥΑ;

# Το σύστημα της ενεργού ιλύος



Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα διεργασίας ενεργού ιλύος

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 1. Χρόνος παραμονής στερεών (SRT) – Ηλικία ιλύος

Αντιπροσωπεύει τη μέση χρονική περίοδο κατά την διάρκεια της οποίας η ιλύς παραμένει μέσα στο σύστημα. Είναι μια κρίσιμη παράμετρος.

Επηρεάζει την απόδοση των διεργασιών επεξεργασίας, τον όγκο της δεξαμενής αερισμού, την παραγωγή ιλύος και τις απαιτήσεις σε οξυγόνο.

Για την αφαίρεση του άνθρακα οι τιμές του SRT κυμαίνονται από 3-5 ημέρες, σε εξάρτηση από την θερμοκρασία.

Για την νιτροποίηση απαιτούνται από 6-10 ημέρες κατ' ελάχιστο με έναν συντελεστή ασφαλείας 1,5 (μέγιστο/μέσο φορτίο TKN).

$$SRT = \frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R}$$

$V$  = όγκος της δεξαμενής αερισμού,  $m^3$

$Q$  = παροχή εισόδου,  $m^3/d$

$X$  = συγκέντρωση βιομάζας στον αντιδραστήρα,  $g/m^3$ .

$Q_w$  = παροχή απορριπτόμενης ιλύος,  $m^3/d$

$X_e$  = συγκέντρωση βιομάζας στην εκροή

$X_R$  = συγκέντρωση βιομάζας στην γραμμή επιστροφής από την δεξαμενή καθίζησης  $gVSS/m^3$



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 2. Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Υπολογίζεται βάσει τριών κριτηρίων:

1. την ποιότητα του επεξεργασμένου υγρού απόβλητου, η οποία εξαρτάται από την απομάκρυνση του διαλυμένου BOD και εκφράζεται με την εξίσωση

$$HRT = \frac{S_0 - S}{kXS}$$

2. την οργανική φόρτιση F/M, για την άριστη συσσωμάτωση και καθίζηση της ιλύος και εκφράζεται με την εξίσωση

$$HRT = \frac{S_0}{X\left(\frac{F}{M}\right)}$$

3. Την θερμοκρασία

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 2. Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Οι μέσοι χρόνοι παραμονής που υπολογίζονται από τις δύο σχέσεις διαφέρουν συνήθως.

Όταν το υγρό απόβλητο περιλαμβάνει **εύκολα αποικοδομήσιμο COD** ο μέσος χρόνος θα είναι χαμηλότερος από αυτόν που θα ήταν απαραίτητος για την παραλαβή των άριστων απαιτήσεων καθίζησης.

Αντιστρόφως υγρά απόβλητα με **περιορισμένη αποικοδομησιμότητα**, ο μέσος χρόνος παραμονής που θα προκύψει από την εξάρτηση από την ποιότητα θα καθορίσει τον σχεδιασμό.

Ο χρόνος παραμονής θα πρέπει να αντιστοιχεί στην κρίσιμη θερμοκρασία χειμερινών μηνών (χαμηλότερο  $k$ ) ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αφαίρεση του ρυπαντικού φορτίου

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 3. Παραγωγή βιομάζας ( $P_{X,VSS}$ )

Η πρόβλεψη της παραγωγής ιλύος είναι σημαντική για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων που θα χειρισθούν την ιλύ και θα την διαθέσουν.

Εάν αυτές είναι μικρότερου μεγέθους, τότε η απόδοση της διεργασίας δεν θα είναι ικανοποιητική,

διότι η ιλύς θα συσσωρεύεται μέσα στις εγκαταστάσεις αερισμού, καθίζησης και επεξεργασίας της ιλύος με αποτέλεσμα στο τέλος να ξεπερασθεί

ουσιαστική παραβίαση των ορίων απορροής με διαφυγή ιλύος προς τον αποδέκτη.

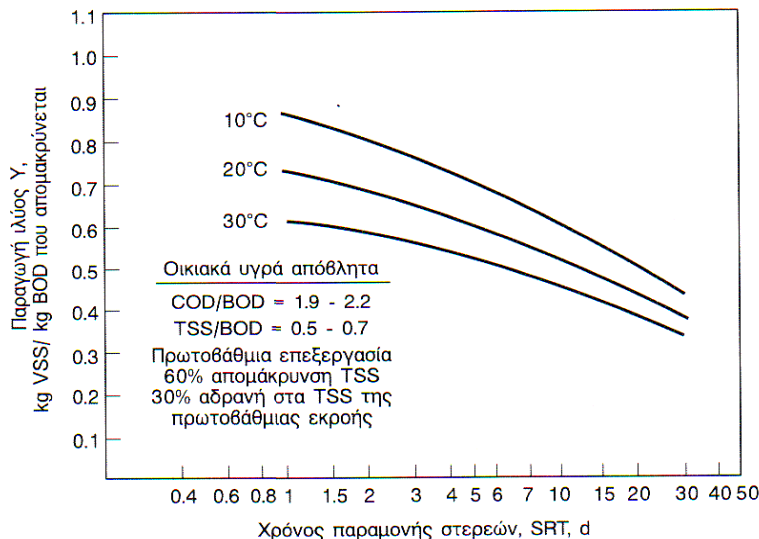
Για μια γρήγορη σχεδιαστική προσέγγιση χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$P_{X,VSS} = Y_{obs} Q (S_0 - S) \left( \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

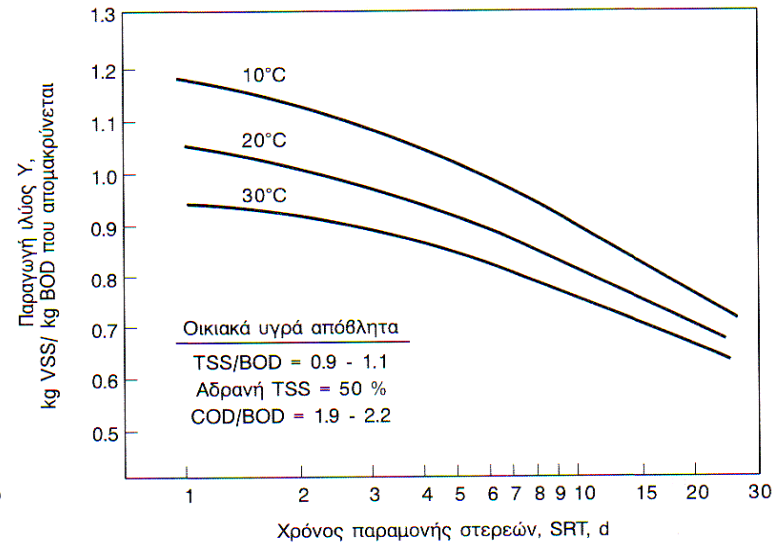
# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 3. Παραγωγή βιομάζας ( $P_{X,VSS}$ )

Η παρατηρούμενη τιμή  $P_{X,VSS}$  μειώνεται καθώς αυξάνει το SRT λόγω της απώλειας της βιομάζας από τη μεγαλύτερη ενδογενή αναπνοή. Επίσης η παραγωγή είναι χαμηλότερη με αυξανόμενη την θερμοκρασία ως αποτέλεσμα του υψηλότερου ρυθμού ενδογενούς αναπνοής, ενώ είναι υψηλότερη όταν δεν χρησιμοποιείται πρωτοβάθμια επεξεργασία



(α)



(β)

Καθαρή παραγωγή στερεών προς το SRT και τη θερμοκρασία με πρωτοβάθμια επεξεργασία και χωρίς (Metcalf & Eddy 2006)

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 3. Παραγωγή βιομάζας ( $P_{x,vss}$ )

Με τον ακριβή χαρακτηρισμό των υγρών αποβλήτων μπορεί να γίνει σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία ακριβείς πρόβλεψη της παραγωγής ιλύος.

$$P_{xvss} = A+B+C+D+E$$

A = ετερότροφη βιομάζα

B = υπολείμματα κυττάρων

C = αυτότροφη βιομάζα

D = μη βιοαποικοδομήσιμα πτητικά στερεά στην είσοδο

E = αδρανή στερεά στην είσοδο

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 3. Παραγωγή βιομάζας ( $P_{X,VSS}$ )

$$P_{X,VSS} = \frac{QY(S_o - S)}{1 + (k_d)SRT} + \frac{f_d(k_d)YQ(S_o - S)SRT}{1 + (k_d)SRT} + \frac{QY_n(NO_x)}{1 + (k_{d,n})SRT} + QX_{o,nbVSSi} + QX_{o,i}$$

$P_{X,VSS}$  = η ημερήσια παραγόμενη και απορριπτόμενη βιομάζα, kg/d

Q = παροχή εισόδου, m<sup>3</sup>/d

SRT = χρόνος παρακράτησης των στερεών στον βιοαντιδραστήρα

Y = συντελεστής απόδοσης βιομάζας, gVSS/gBOD<sub>removed</sub> ή gbsCOD<sub>removed</sub>

$k_d$  = συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης, gVSS/ gVSS<sub>d</sub>

$f_d$  = κλάσμα της βιομάζας που παραμένει ως κυτταρικό υπόλειμμα, 0,10-0,15 gVSS/gVSS

$S_o$  = συγκέντρωση διαλυτού υποστρώματος στην εισροή, gBOD ή bsCOD/m<sup>3</sup>

S = συγκέντρωση διαλυτού υποστρώματος στην εκροή, gBOD ή bsCOD/m<sup>3</sup>

$X_{o,i}$  = ανόργανα στερεά στην εισροή ( $X_{o,i}$ ), g/m<sup>3</sup>

$X_{o,nbVSSi}$  = οργανικά μη βιοαποικοδομήσιμα στερεά στην εισροή ( $ndVSS_{in}$ ), g/m<sup>3</sup>

$Y_n$  = συντελεστής απόδοσης νιτροποιητικής βιομάζας, gVSS/gBOD<sub>removed</sub> ή gbsCOD<sub>removed</sub>

$k_{d,n}$  = συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης νιτροποιητών, gVSS/ gVSS<sub>d</sub>

$NO_x$  = συγκέντρωση αζώτου στην εισροή που υφίσταται νιτροποίηση

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 3. Παραγωγή βιομάζας ( $P_{X,VSS}$ )

Πίνακας 2. Συντελεστές κινητικής συστημάτων ενεργού ιλύος για ετερότροφα βακτήρια στους 20 °C

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

Πίνακας 3. Συντελεστές κινητικής νιτροποίησης συστημάτων ενεργού ιλύος στους 20 °C [9]

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

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 4. Απόρριψη περίσσειας ιλύος ( $Q_w$ )

$$Q_w = \frac{VX}{SRT(QX_e + X_R - X_e)}$$

$V$ =όγκος της δεξαμενής αερισμού,  $m^3$

$Q$ =παροχή εισόδου,  $m^3/d$

$X$ =συγκέντρωση βιομάζας στον αντιδραστήρα,  $g/m^3$ .

$Q_w$  = παροχή απορριπτόμενης ιλύος,  $m^3/d$

$X_e$  = συγκέντρωση βιομάζας στην εκροή

$X_R$  = συγκέντρωση βιομάζας στην γραμμή επιστροφής από την δεξαμενή καθίζησης  
 $gVSS/m^3$



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

Ο σκοπός:

Να διατηρηθεί επαρκής συγκέντρωση ενεργού ιλύος στην ΔΑ έτσι ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας στο χρονικό διάστημα που επιθυμούμε.

Είναι ένα ουσιώδες χαρακτηριστικό της διεργασίας.

Είναι απαραίτητη η μεγάλη δυνατότητα άντλησης της ιλύος από την ΔΚ και επιστροφή της στην αρχή της επεξεργασίας (παρεμπόδιση διαφυγής στερεών από την εκροή), όπως επίσης και αρκετό βάθος στην ΔΚ (3,5-5m).

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

Συνήθεις ρυθμοί από 50-75% της μέσης παροχής σχεδιασμού, ενώ η δυνατότητα άντλησης θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 100-150% αντίστοιχα.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η συγκέντρωση της ιλύος στην ΔΚ που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4 – 12 g/L.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για τον υπολογισμό της παροχής ανακυκλοφορίας βασίζονται είτε στην επιθυμητή συγκέντρωση στερεών στην ΔΑ είτε στο επιθυμητό βάθος του στρώματος της ιλύος στην ΔΔΚ.

Για τον καθορισμό της απαιτούνται η γνώση της ικανότητας καθίζησης της ιλύος, ο έλεγχος του επιπέδου του στρώματος της ιλύος, το ισοζύγιο μάζας της ΔΔΚ και το ισοζύγιο μάζας της ΔΑ.

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

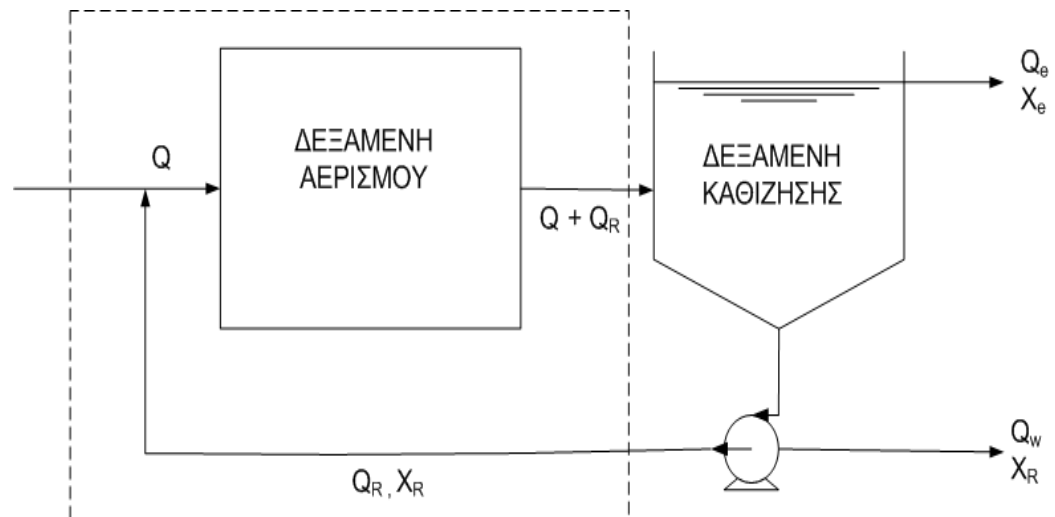
*Ισοζύγιο μάζας για την τον προσδιορισμό της σχέσης ανακυκλοφόρησης ιλύος στην ΔΑ*

Η σχέση παραλαμβάνεται από το ισοζύγιο μάζας των πτητικών αιωρούμενων στερεών στα όρια της δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου για την κατάσταση ισορροπίας ισχύει:

$$(1 + r)Q_F X = rQ_F X_R + Q_e X_e$$

Λύνοντας ως προς r:

$$r = \frac{X}{(X_R - X)}$$



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

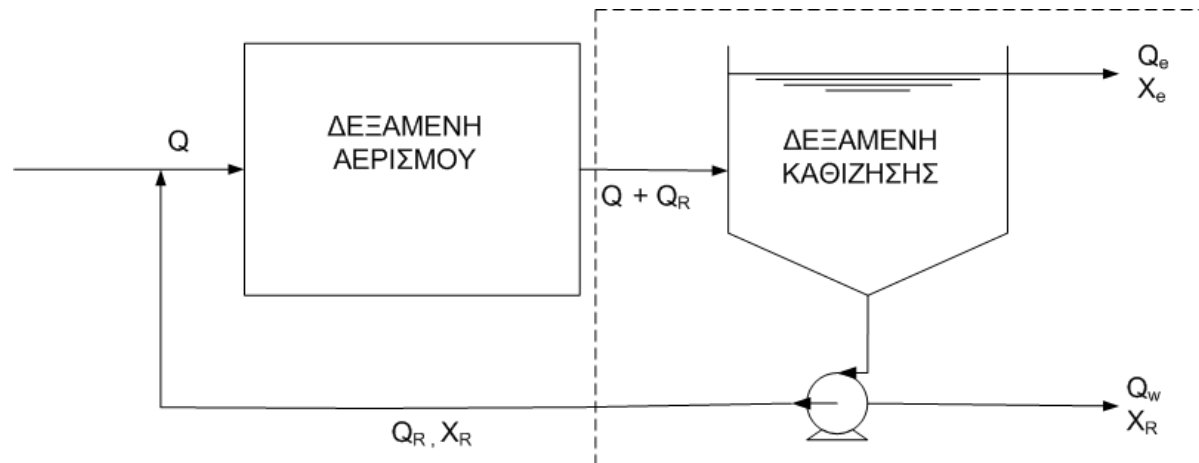
## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

*Ισοζύγιο μάζας για την τον προσδιορισμό της σχέσης ανακυκλοφορήσης ιλύος στην ΔΔΚ*

Συσσώρευση = Εισροή – Εκροή

$$(Q_F + Q_R)X = Q_R X_u - Q_w X_u - Q_e X_e$$

$$Q_R = \frac{[Q_F X - (\frac{XV}{SRT})]}{(X_R - X)} \text{ και } r = \frac{1 - (\frac{\tau}{SRT})}{(\frac{X_R}{X}) - 1}$$



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

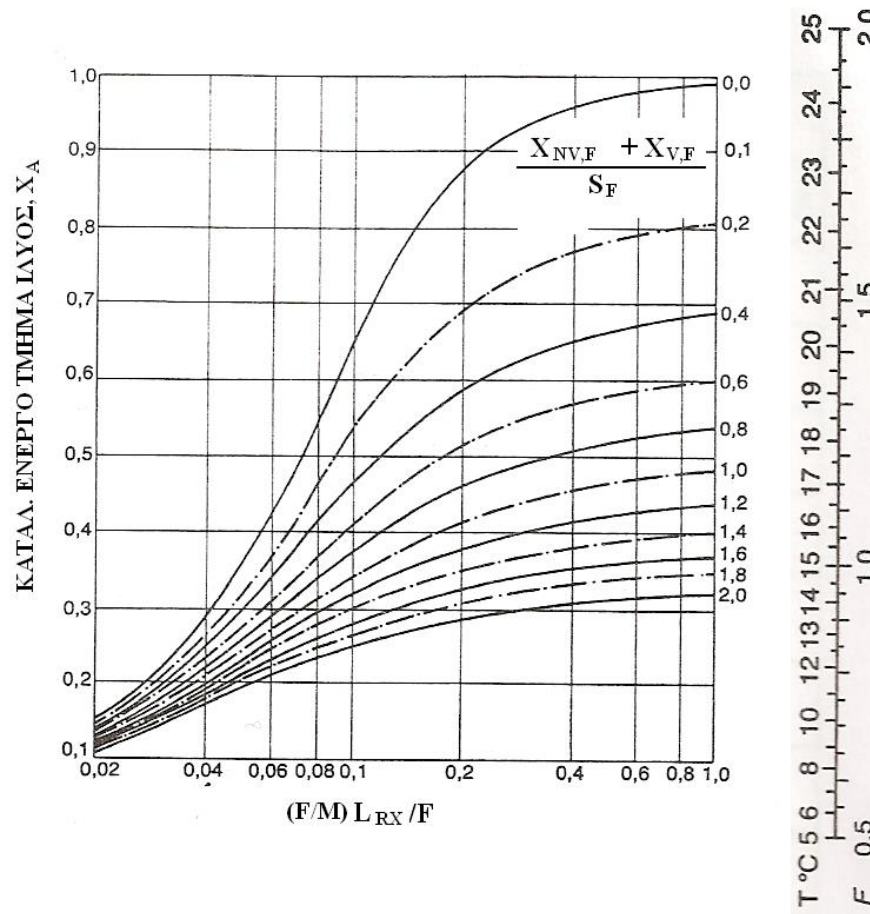
Νομόγραμμα για τον προσδιορισμό του  $r$  από δοθείσες τιμές στερεών στην  $\Delta A$  και στην ανακυκλοφορία



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

Νομόγραμμα για τον προσδιορισμό του ενεργού τμήματος της ιλύος. Σε εγκαταστάσεις με χαμηλή φόρτιση (αυτόλυση της βιομάζας) μειώνεται σημαντικά και κυμαίνεται μεταξύ 15-20%



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Ο Δείκτης Όγκου Ιλύος (Sludge Volume Index, SVI) ορίζεται ως ο όγκος, σε ml, που καταλαμβάνει 1 gr MLSS (ξηρά ουσία) μετά από καθίζηση σε χρόνο 30 min σε κωνικό ή ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 ml.

Παρόλο που αποτελεί εμπειρική παράμετρο, στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τον έλεγχο των χαρακτηριστικών καθίζησης της ενεργού ιλύος.

Χαρακτηριστικές τιμές SVI για ικανοποιητική καθίζηση είναι από 35 έως 150 ml/g, ενώ τιμές μεγαλύτερες των 200 – 250 ml/g αναφέρονται σε βιομάζα με χαρακτηριστικά αφρισμού ή διόγκωσης (bulking sludge), που δημιουργεί προβλήματα ποιότητας στην εκροή.

Ο απαιτούμενος εργαστηριακός εξοπλισμός για τον προσδιορισμό του Δείκτη Όγκου Ιλύος (SVI) είναι ο εξής:

1. Ογκομετρικός κύλινδρος 1 l
2. Χρονόμετρο

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Ο απαιτούμενος εργαστηριακός εξοπλισμός για τον προσδιορισμό του Δείκτη Όγκου Ιλύος (SVI) είναι ο εξής:

1. Ογκομετρικός κύλινδρος 1 l
2. Χρονόμετρο

Για τον προσδιορισμό του SVI λαμβάνεται 1 l μεικτού υγρού από τη δεξαμενή αερισμού και μεταφέρεται στον ογκομετρικό κύλινδρο για την καθίζηση των στερεών.

Έπειτα από την πάροδο 30 min διαβάζεται η τιμή του όγκου που καταλαμβάνει η καθιζάνουσα βιομάζα. Στη συνέχεια, με γνώση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών (MLSS), προκύπτει ο SVI μέσω της σχέσης:

$$SVI = \frac{\left( \text{όγκος της ιλύος που έχει υποστεί καθίζηση} \left( \frac{mL}{L} \right) \right) \times 1000 \left( \frac{mg}{g} \right)}{\text{αιωρούμενα στερεά,} \left( \frac{mg}{L} \right)} = \frac{mL}{g}$$

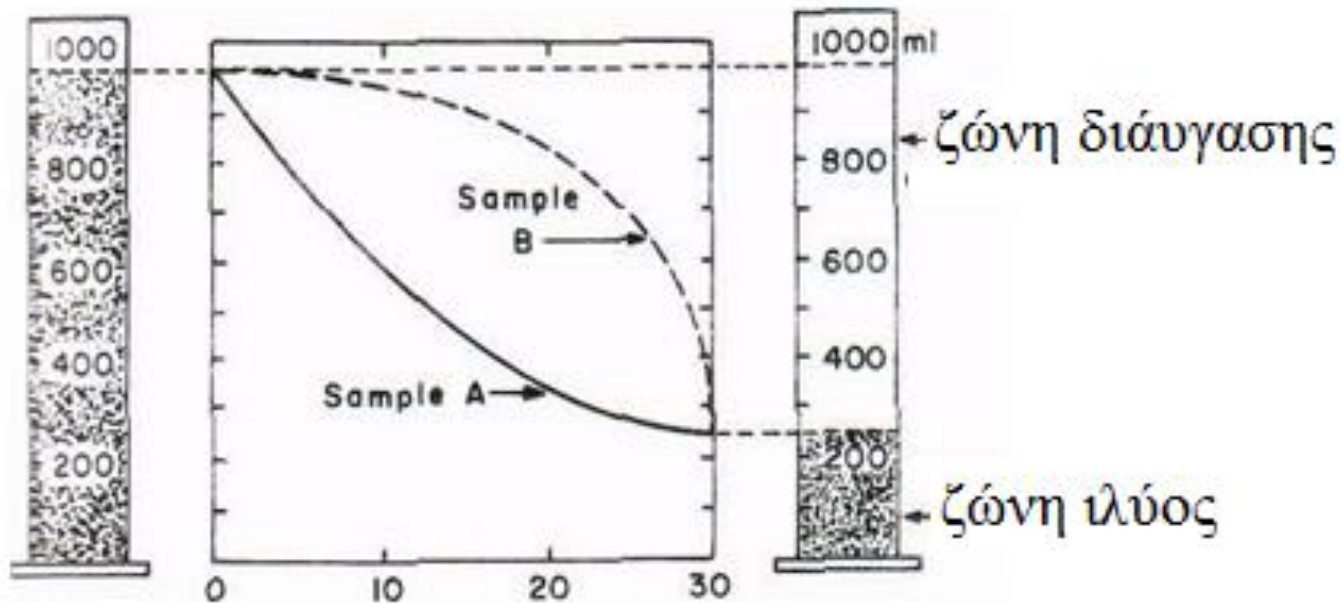


# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Η χρήση της παραμέτρου SVI για τον χαρακτηρισμό της καθιζησιμότητας της ιλύος είναι αμφισβητούμενη όσο η μέτρηση αναφέρεται μόνο σε ένα σημείο της καμπύλης (καμπύλη A)

Η καμπύλη B, η οποία αναφέρεται σε μία ιλύ με τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά καθίζησης, αλλά την ίδια συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων συστατικών 2000 g/L, έχει την ίδια τιμή SVI.



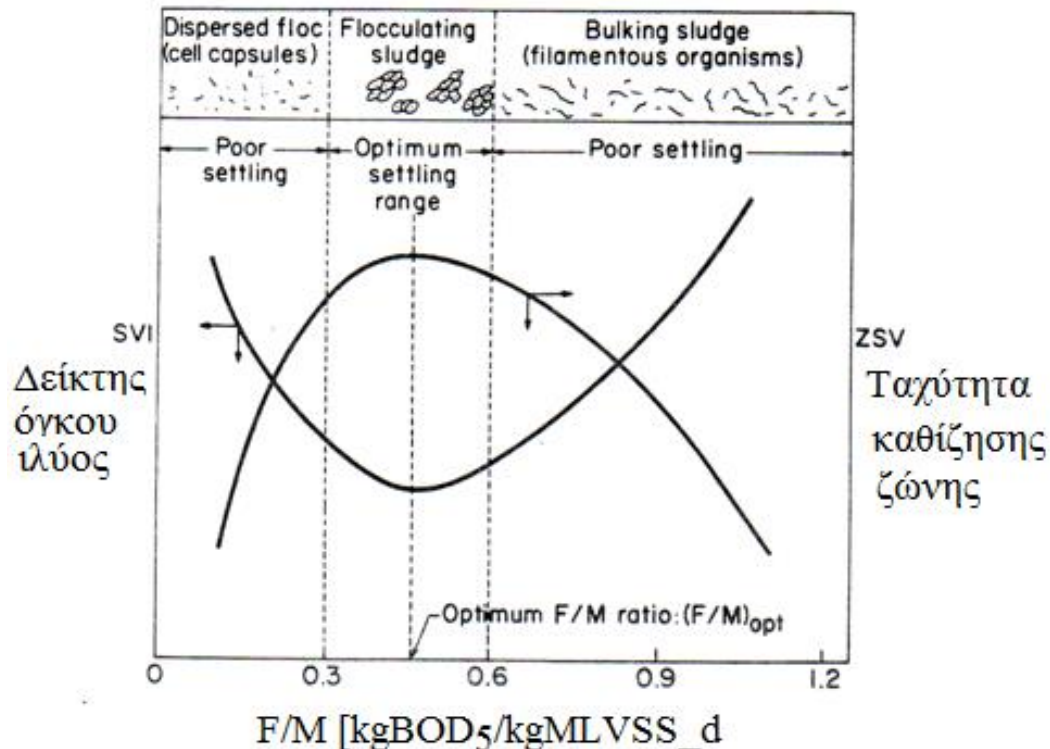
# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Τα χαρακτηριστικά καθίζησης ιλύος συσχετίζονται και με την παράμετρο F/M.

Επειδή η ιλύς για βέλτιστη καθίζηση θα πρέπει να έχει μία μεγάλη ταχύτητα καθίζησης ζώνης και μία χαμηλή τιμή SVI, αντιστοιχεί η άριστη σχέση F/M στο μέγιστο της καμπύλης ταχυτήτων και στο ελάχιστο της καμπύλης SVI.

Για τα περισσότερα υγρά απόβλητα έχει προσδιοριστεί η άριστη σχέση F/M μεταξύ 0,3 και 0,6.



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Εξήγηση του φαινομένου:

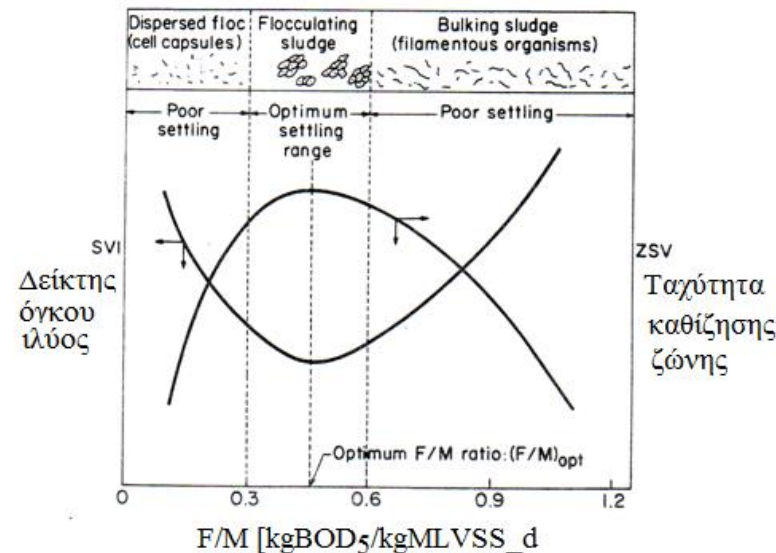
1)

$F/M (<0,3 \text{ kgBOD/kgMLVSS}_d)$

η ποσότητα υποστρώματος είναι μη-επαρκής για ανάπτυξη (εξαναγκάζονται προς ενδογενή αναπνοή

Μεταβολίζονται κυρίως οι ενδοκυτταρικές πρωτεΐνες και τα άλλα διαλυτά συστατικά, ενώ τα κατάλοιπα των κυτταρικών τοιχωμάτων παραμένουν και επειδή έχουν μία περιορισμένη ικανότητα καθίζησης σχηματίζουν διάσπαρτες νιφάδες.

Οι περιοριστικές συνθήκες υποστρώματος οδηγούν επίσης μέσω εξάσκησης επιλεκτικής πίεσης στην κυριαρχία νηματοειδών



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Εξήγηση του φαινομένου:

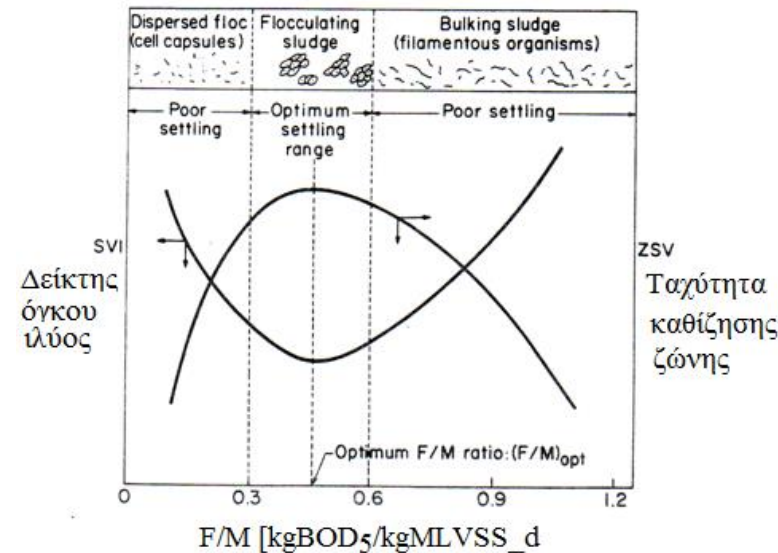
2)

$$F/M > 0,6$$

υπάρχει μεν υψηλή συγκέντρωση C

αλλά μία περιοριστική συγκέντρωση οξυγόνου  
(παροχή οξυγόνου =  $100\text{g}/\text{m}^3\text{-h}$  είναι λίγο πολύ  
τεχνικά μη προσιτή)

Στην περίπτωση αυτή (χαμηλή συγκέντρωση  
διαλυμένου  $\text{O}_2$ ) ευνοείται επιλεκτικά και κυριαρχεί  
ένας μικροοργανισμός που ονομάζεται *Sphaerotilus*  
*natans* (διόγκωση)



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

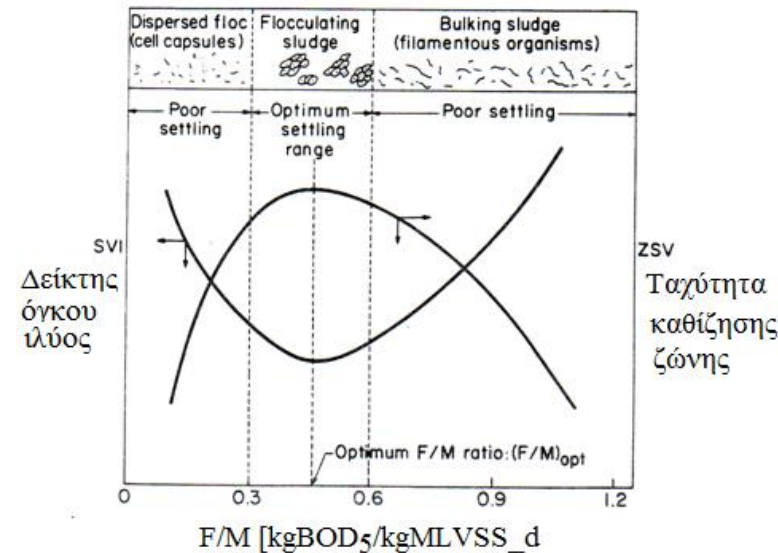
## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Εξήγηση του φαινομένου:

3)

$$0,3 < F/M < 0,6$$

Λαμβάνεται ιλύς με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης συσσωματωμένη ή συμπαγής.



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 7. Λόγος F/M

Χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τους σχεδιασμούς των διεργασιών και συνθήκες λειτουργίας ΜΕΥΑ.

Τυπικές τιμές ποικίλλουν από 0,04g/g.d για μονάδες παρατεταμένου αερισμού έως και 1 g/g.d για υψηλούς ρυθμούς διεργασίας.

Βέλτιστες τιμές της παραμέτρου F/M, κυμαίνονται από 0,3 έως 0,6.

Η σχέση που δίνει τον λόγο F/M είναι η εξής:

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{Ολικός ρυθμός τροφοδοσίας υποστρώματος}}{\text{ολική ποσότητα μικροοργανισμών}} = \frac{QS_o}{VX} \left[ \frac{\text{gBOD ή bsCOD}}{\text{g VSS.d}} \right] \quad \frac{F}{M} = \frac{S_o}{\tau X}$$

F/M = λόγος τροφής προς βιομάζα,

Q = παροχή εισροής, [m<sup>3</sup>/d]

S<sub>o</sub> = συγκέντρωση εισερχόμενου BOD ή bsCOD, [g/m<sup>3</sup>]

V = όγκος δεξαμενής αερισμού, [m<sup>3</sup>]

τ = υδραυλικός χρόνος παραμονής, = V/Q [d]

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## Δευτεροβάθμια καθίζηση

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής καθίζησης θα πρέπει να παρέχει επαρκή διαύγαση της εκροής και πάχυνση των στερεών.

Για την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών της καθίζησης χρησιμοποιούνται ο δείκτης όγκου ιλύος SVI και ο ρυθμός καθίζησης ζώνης (Zone settling rate, ZSR).

Ο σχεδιασμός της ΔΚ συσχετίζεται με την αναμενόμενη ταχύτητα καθίζησης ζώνης (ZSV).

Η ZSV είναι η ταχύτητα καθίζησης για τη επιφάνεια ιλύος/νερού στην αρχή του πειράματος καθίζησης  $V_i$ . Ο ρυθμός της επιφανειακής υπερχείλισης βασίζεται στην ZSV και καθορίζεται ως ακολούθως:

$$OR = \frac{(V_i)(24)}{SF}$$

OR= ρυθμός επιφανειακής υπερχείλισης,  $m^3/m^2.d$

$V_i$  = ταχύτητα καθίζησης της διεπιφάνειας,  $m/h$  ( $m^3/m^2.d$ )

SF = συντελεστής ασφαλείας = 1,7-2,5

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## Δευτεροβάθμια καθίζηση

Σε μία δεδομένη εγκατάσταση ο ρυθμός υπερχειλίσης δεξαμενής καθίζησης δίδεται από τον λόγο της παροχής εισροής προς την επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης.

Για τον σχεδιασμό εφαρμόζονται οι προσεγγίσεις που στηρίζονται στον ρυθμό επιφανειακής υπερχειλίσης και στο ρυθμό του φορτίου των στερεών.

Μεγάλη σημασία θα πρέπει να δοθεί στην εμφάνιση παραμέτρων αιχμής και η χρήση συντελεστών ασφαλείας, λόγω των διακυμάνσεων στην παροχή, την ανακυκλοφορία και στα MLSS.

Οι ρυθμοί υπερχειλίσης στηρίζονται στην παροχή των υγρών αποβλήτων και όχι στην παροχή του μικτού υγρού επειδή ο ρυθμός υπερχειλίσης είναι ισοδύναμος με την ταχύτητα της ανοδικής ροής.

Η ροή της ανακυκλοφορίας αντλείται από τον πυθμένα της δεξαμενής και δεν συνεισφέρει στην ταχύτητα της ανοδικής ροής.

Η επιλογή του ρυθμού επιφανειακής υπερχειλίσης επηρεάζεται από τα θεσμοθετημένα όρια της εκροής και την ανάγκη να παρέχεται σταθερή απόδοση στη διεργασία.



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## Δευτεροβάθμια καθίζηση - Ρυθμός φορτίου στερεών

Υπολογίζεται διαιρώντας τα ολικά στερεά με την ολική επιφάνεια της δεξαμενής

$$SLR = \frac{(Q + Q_R)(X)}{A} = \frac{(1 + R)Q(X)}{A}$$

SLR = ρυθμός φορτίου στερεών (χαρακτηριστική τιμή αιώρησης)

Q = παροχή εισροή, m<sup>3</sup>/d

Q<sub>R</sub> = παροχή ανακυκλοφορίας εισροή, m<sup>3</sup>/d

X = συγκέντρωση στερεών MLSS, g/L

A = επιφάνεια δεξαμενής καθίζησης, m<sup>2</sup>

R = ρυθμός ανακυκλοφορίας (X/(X<sub>R</sub>-X))

Σε μία δεξαμενή δεδομένης επιφάνειας η ποιότητα της εκροής θα χειροτερέψει όταν τα φορτία των στερεών αυξηθούν πέρα από τη χαρακτηριστική τιμή για αιώρηση (4-6 kg/m<sup>2</sup>.h).

Τυπικές τιμές για ρυθμούς επιφανειακής υπερχειλίσης είναι από 16-28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d μέσες τιμές και 40-64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d μέγιστες τιμές.

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

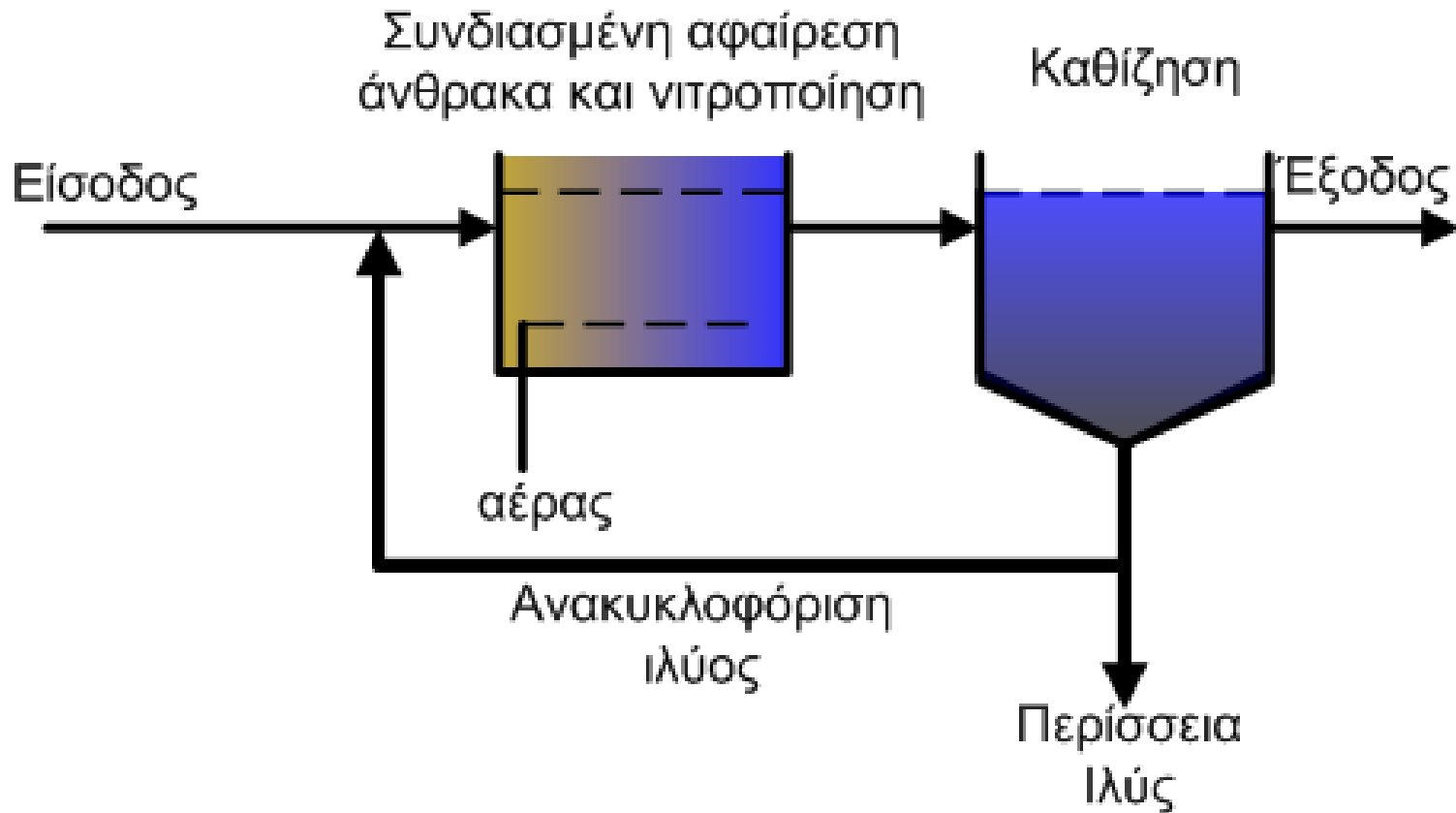
## Δευτεροβάθμια καθίζηση - Χρόνος παραμονής

Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο ένα σωματίδιο παραμένει στην δεξαμενή καθίζησης. Υπολογίζεται από τον όγκο της δεξαμενής προς την εισερχόμενη παροχή.

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

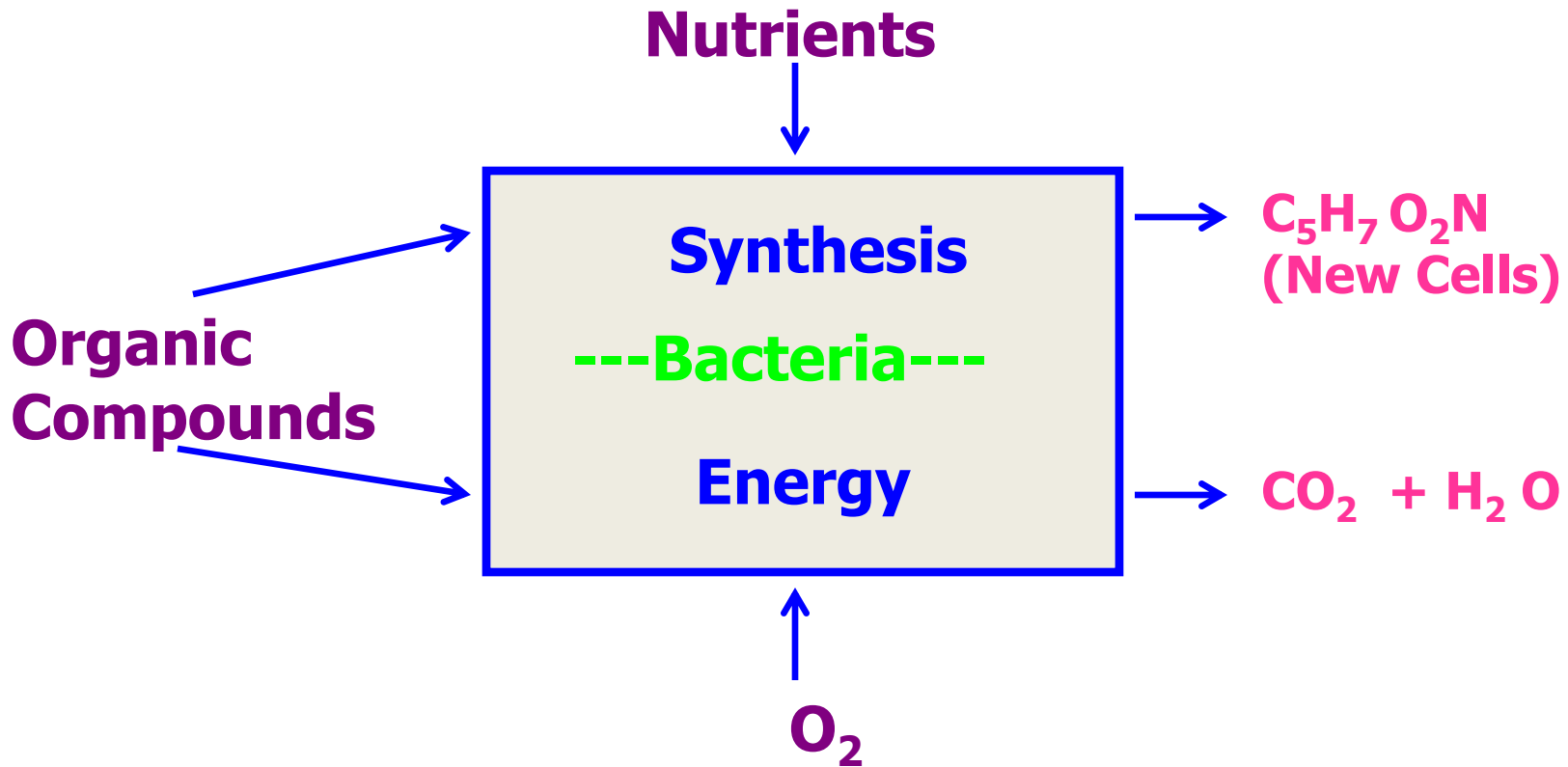
# Συστήματα οξείδωσης του C και του N

## Αερόβια μονάδα επεξεργασίας



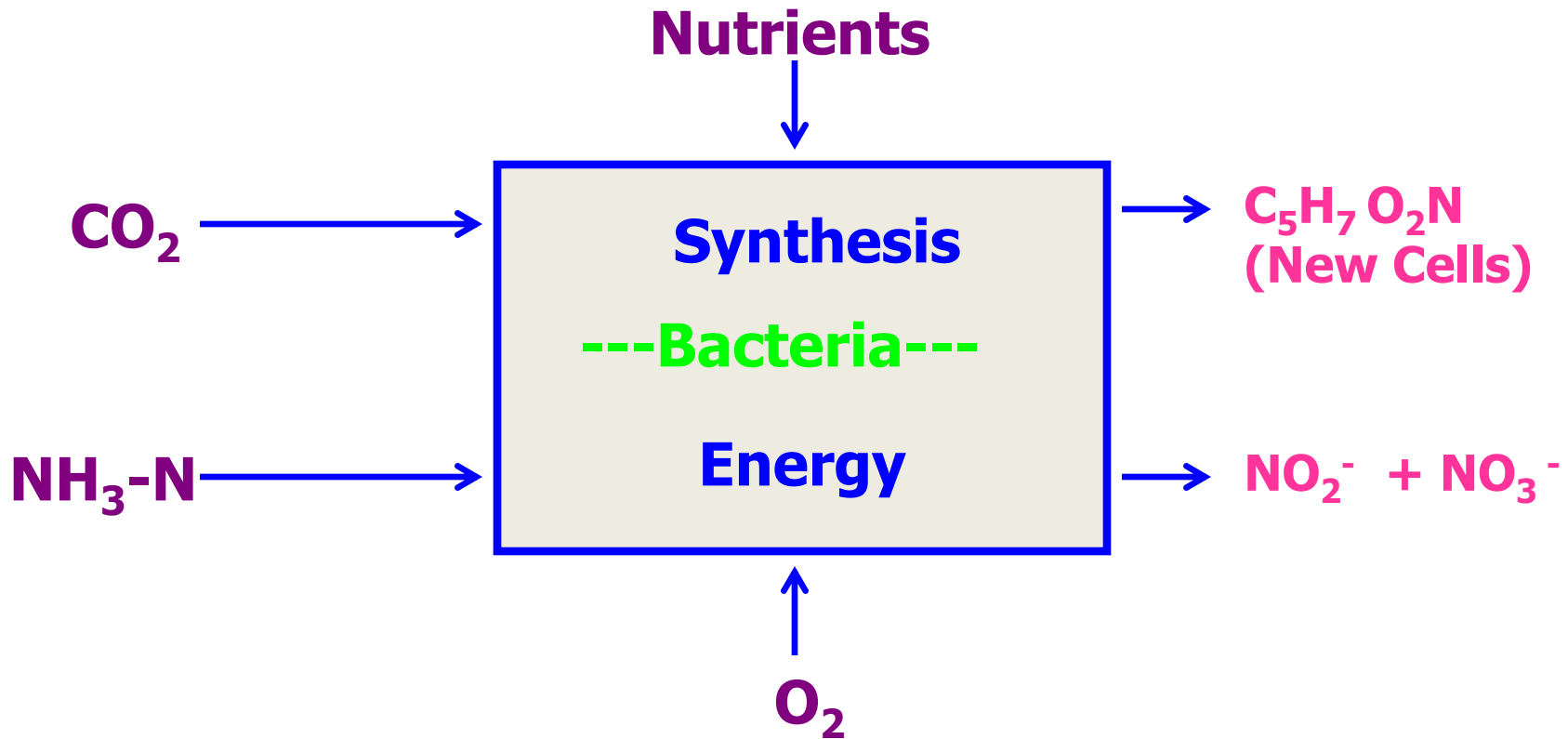
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Αερόβιος Ετερότροφος μεταβολισμός



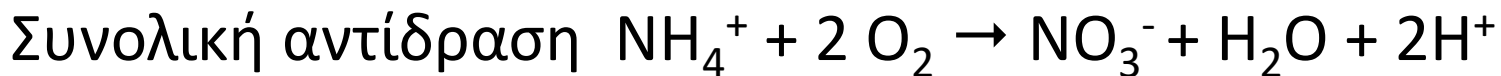
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Αερόβιος αυτότροφος μεταβολισμός



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

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 νιτρωδών ιόντων π.χ. nitrobacter. Ακολουθούνται τα επόμενα βήματα αντίδρασης:



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

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.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

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**.



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

Στον πίνακα παρατηρούμε 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

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

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.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

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

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## 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 νιτρωδών ( $\text{NO}_2^-$ )**

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

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## 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

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Κινητική της Ανάπτυξης

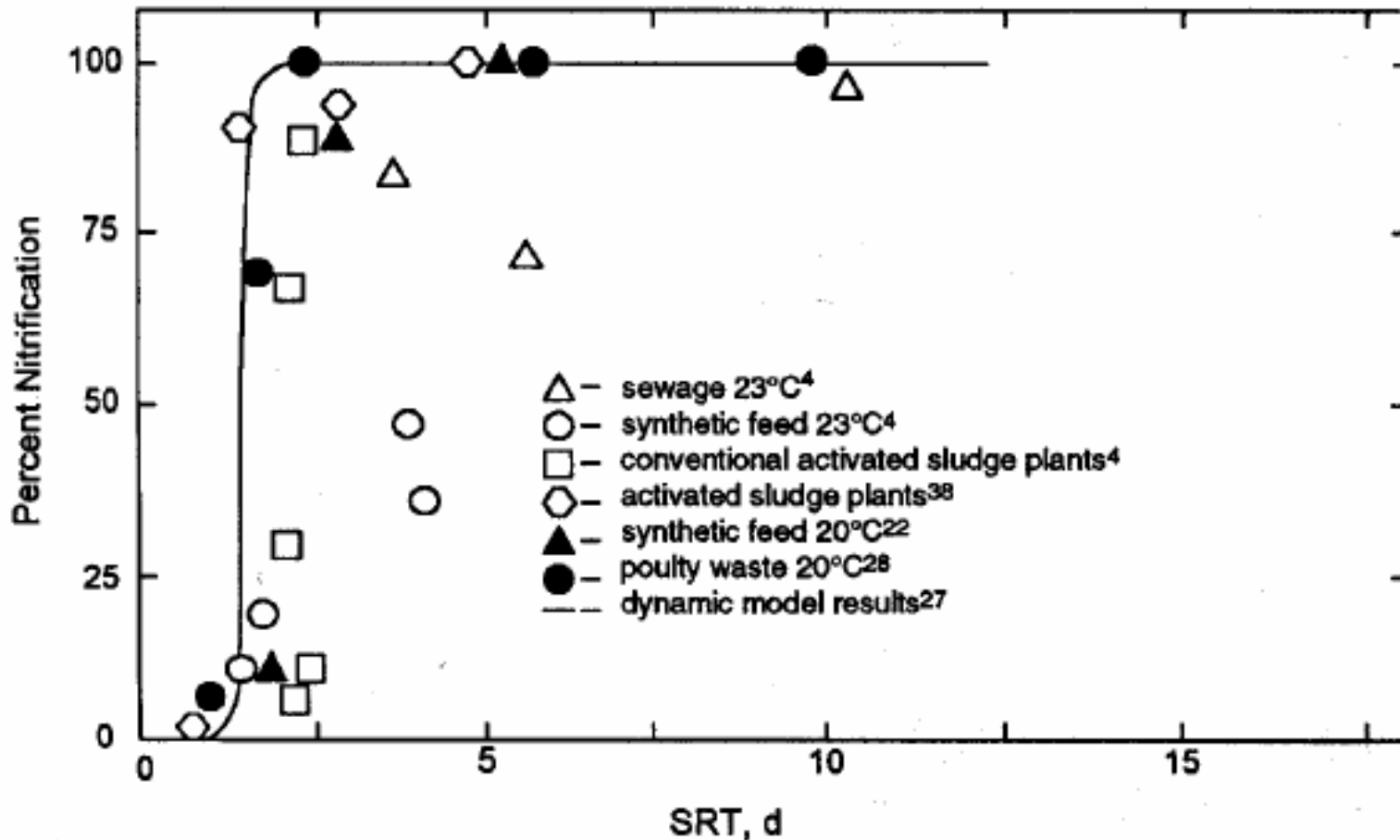
Σε κάθε περίπτωση, οι τιμές του  $\mu_{nm}$  για τους νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές για ετερότροφους οργανισμούς, απαιτώντας πολύ μεγαλύτερες τιμές SRT για νιτροποίησηκά συστήματα ενεργού ιλύος.

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 οξείδωση 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>)

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## 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:

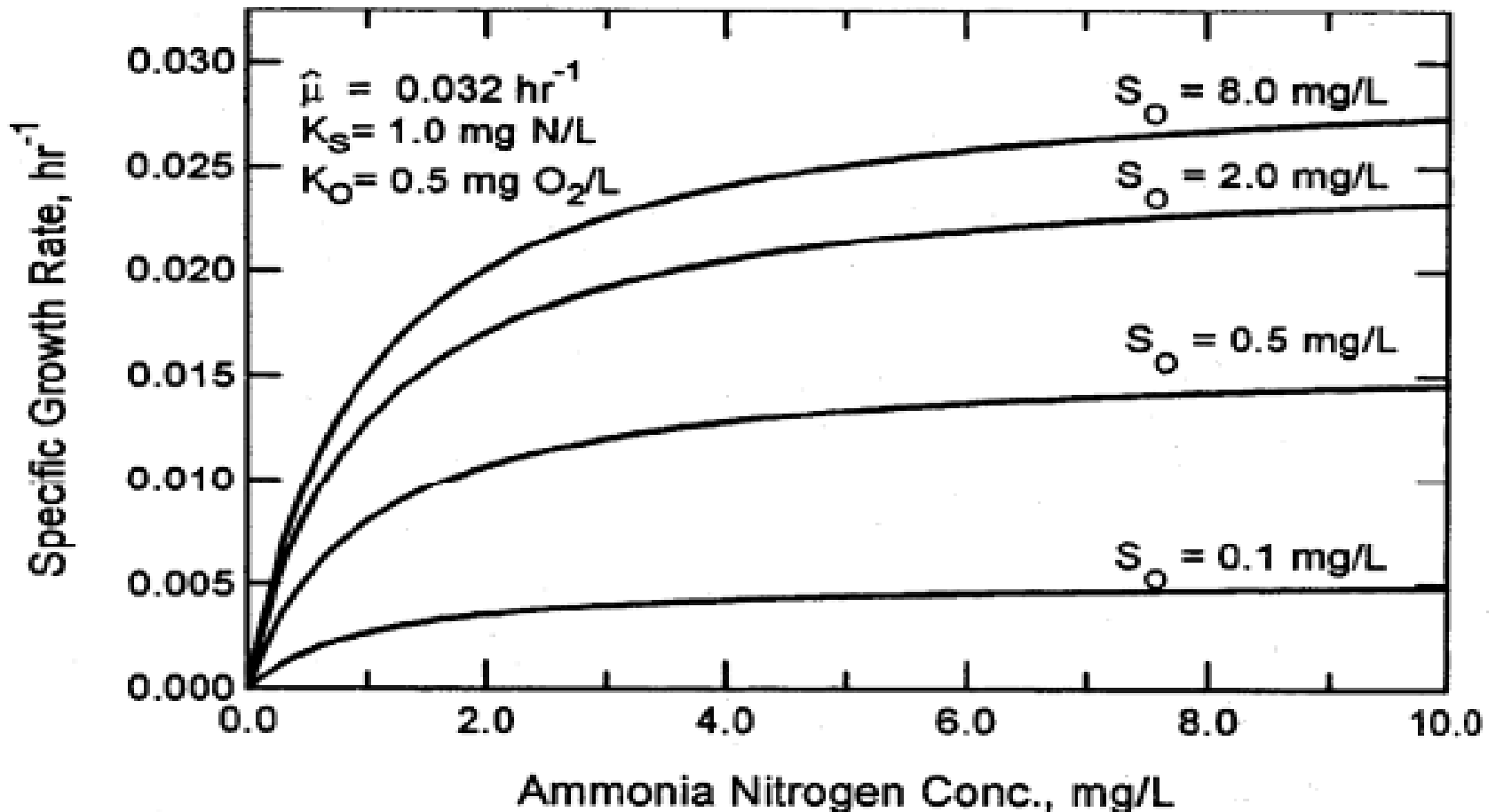
$$\mu_n = \left[ \frac{\mu_{nm} N}{K_n + N} \right] \left[ \frac{DO}{K_o + DO} \right] - k_{dn}$$

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>



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

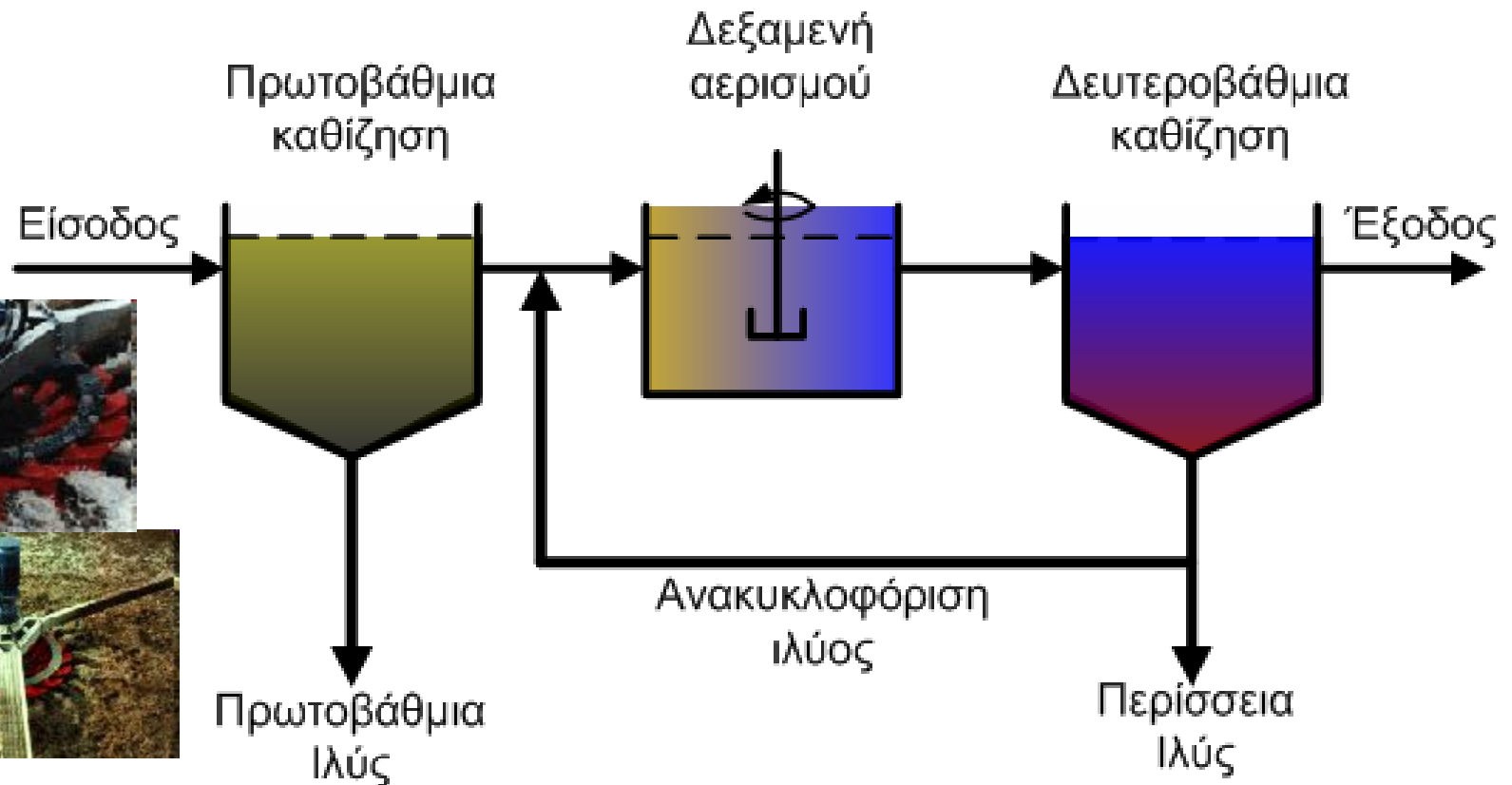
Το διαλυμένο οξυγόνο θα πρέπει να είναι επαρκές για την ασφαλή νιτροποίηση



**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.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης



Σχήμα 3-1. Σύστημα ενεργού ιλύος πλήρους ανάμιξης

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης

- Η οργανική φόρτιση,
- η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών και
- η απαίτηση οξυγόνου **είναι ίδια παντού μέσα στην δεξαμενή αερισμού.**

Ένα **πλεονέκτημα** του συστήματος αυτού είναι η **εξισορρόπηση ξαφνικών** υψηλών φορτίσεων, που εμφανίζεται ιδίως όταν πρόκειται για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης

ο CMAS σύστημα είναι **σχετικά απλό** στην λειτουργία του,

αλλά τείνει στην δημιουργία **χαμηλών οργανικών συγκεντρώσεων (F/M)**,

κάτι που ενθαρρύνει την ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών, οι οποίοι με την σειρά τους οδηγούν σε **διόγκωση της ιλύος (bulking)**.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

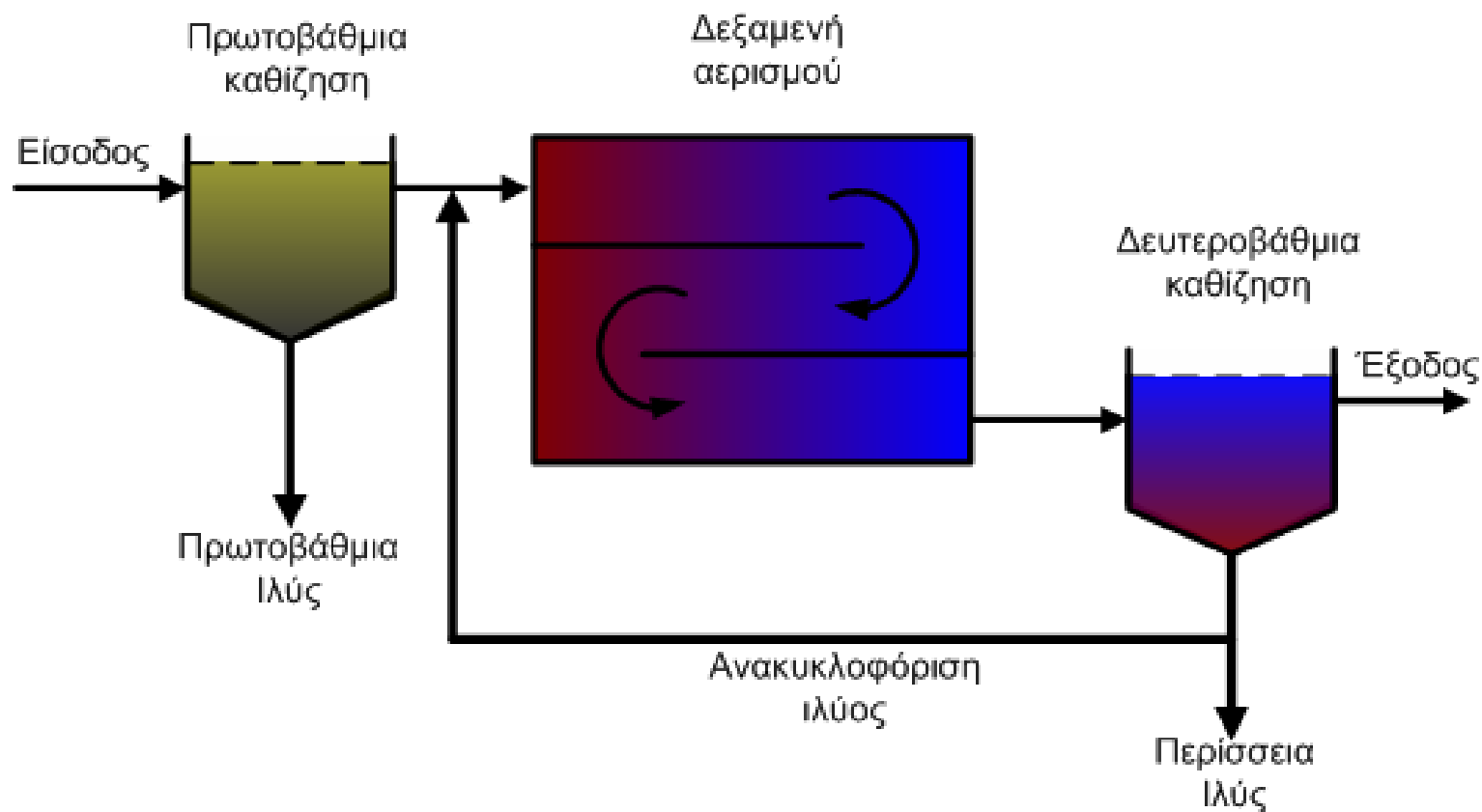
## Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης

Τιμές (F/M) για διάφορα συστήματα

Conventional Activated Sludge	<b>0.2 - 0.5</b>
Contact Stabilization	<b>0.15 - 0.2</b>
Extended Aeration	<b>0.01 - 0.07</b>
Step Aeration	<b>0.2 - 0.5</b>
Two-Stage Aeration	<b>0.07 - 0.15</b>

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής

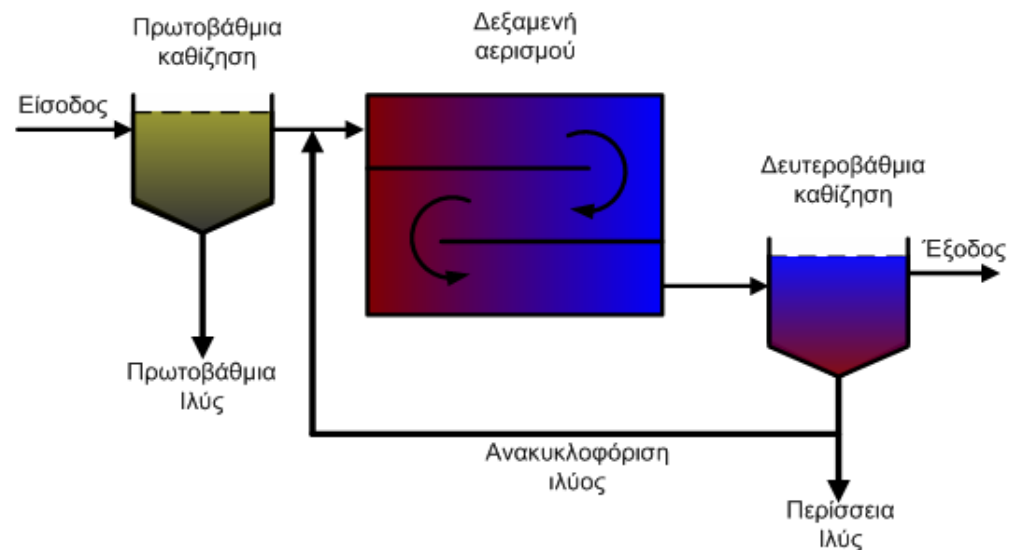


Σχήμα 3-2 Σύστημα ενεργού ιλύος εμβολικής ροής

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής

Το **υγρό απόβλητο** (μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση) και η **ανακυκλοφορούσα ενεργός ιλύς** εισέρχονται στο **μπροστινό άκρο** της δεξαμενής αερισμού και αναμειγνύονται **με διάχυση αέρα ή μηχανική ανάδευση**. Σχεδιάζονται δεξαμενές αποτελούμενες συνήθως από τρία έως πέντε κανάλια. Σε πρώιμες σχεδιάσεις ο αερισμός εφαρμόζονταν σε όλο το μήκος της δεξαμενής.



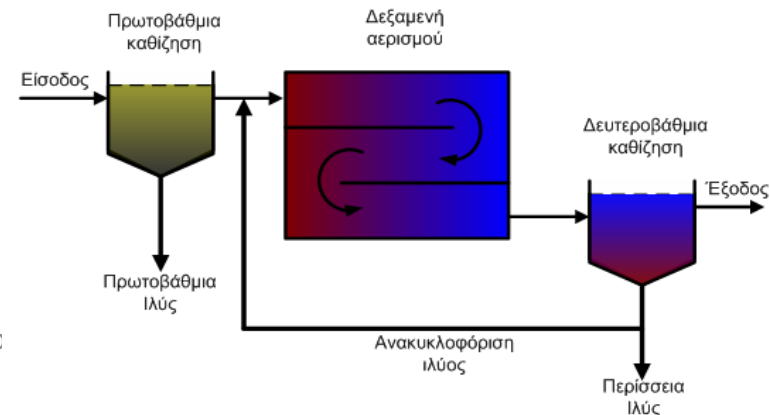
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής

Σε μοντέρνους σχεδιασμούς η οξυγόνωση εφαρμόζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις, δηλαδή στην **αρχή της δεξαμενής** εφαρμόζονται **υψηλοί ρυθμοί αερισμού** και **μικρότεροι προς το τέλος**.

Κατά την διάρκεια του αερισμού λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα **προσρόφησης, συσσωμάτωσης και οξείδωσης** του οργανικού υλικού.

Η ενεργός ιλύς διαχωρίζεται από το νερό σε μία ξεχωριστή δεξαμενή καθίζησης.





# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

Δεξαμενές εμβολικής ροής- Υψηλού ρυθμού αερισμός

Υψηλού ρυθμού αερισμός είναι μια παραλλαγή των δεξαμενών εμβόλιμης ροής,

όπου χαμηλή συγκέντρωση MLSS συνδυάζεται με υψηλή ογκομετρική οργανική (BOD) φόρτιση.

Το σύστημα χαρακτηρίζεται από

1. μικρό χρόνο παραμονής,
2. υψηλό ρυθμό ανκυκλοφορίας ιλύος,
3. υψηλό F/M και
4. σχετικά μικρή συγκέντρωση MLSS.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

Δεξαμενές εμβολικής ροής- Υψηλού ρυθμού αερισμός

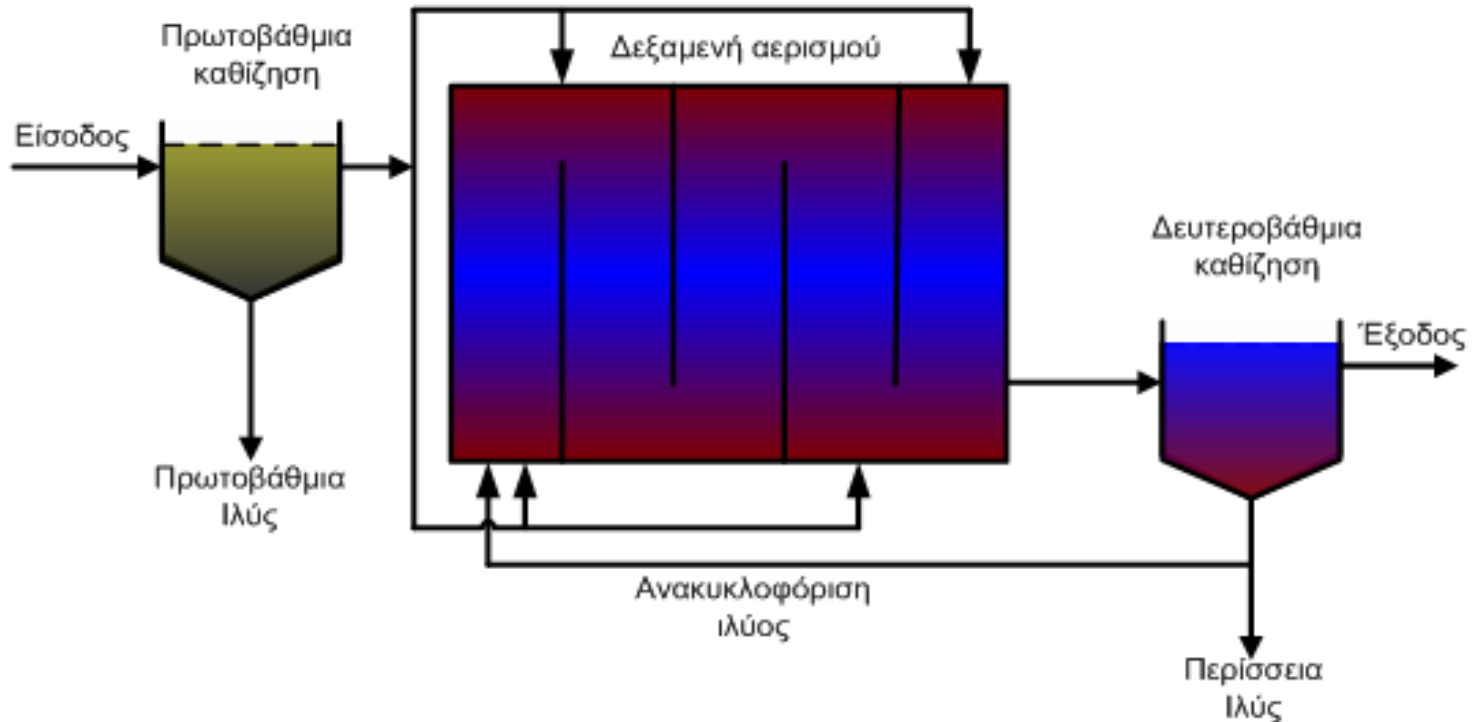
Τα συστήματα αυτά παράγουν μια **χειρότερη ποιότητα** εκροής, σε σχέση με το BOD και τα TSS σε σύγκριση με τα συνήθη συστήματα εμβόλιμης ροής ή πλήρους ανάμιξης.

Εξ αιτίας της **υψηλής φόρτισης** πρέπει να δώσουμε μεγαλύτερη προσοχή στην διατήρηση σταθερών συνθηκών λειτουργίας.

Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει επαρκής ανάδευση και αερισμός.

# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

Δεξαμενές εμβολικής ροής- Βαθμιδωτή παροχή.



Σύστημα ενεργού ιλύος εμβολικής ροής με βαθμιδωτή παροχή

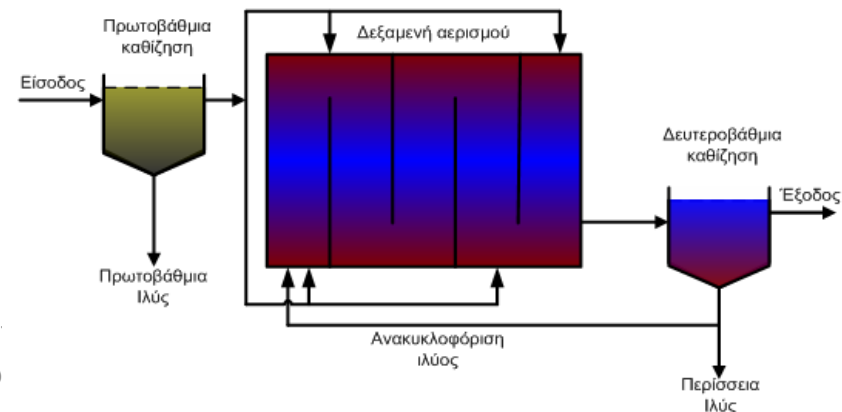
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής- Βαθμιδωτή παροχή

Η βαθμιδωτή παροχή είναι μια παραλλαγή της συνήθους εμβολικής ροής

κατά την οποία το υγρό απόβλητο μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση εισέρχεται στην δεξαμενή αερισμού **σε 3 ή 4 διαφορετικά σημεία**.

Έτσι εξισορροπεί τον λόγο  $F/M$ , **μειώνοντας** κατά αυτό τον τρόπο την **μέγιστη τιμή απαίτησης** οξυγόνου.



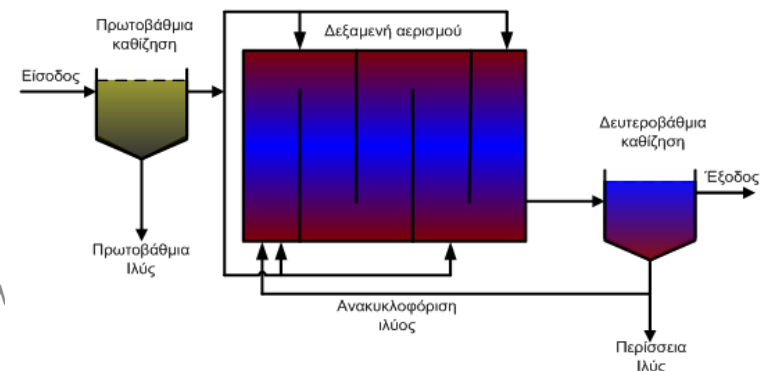
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής- Βαθμιδωτή παροχή

Η **ευκαμψία** στην λειτουργία είναι ένα από σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος, διότι η **αναλογική διανομή της τροφοδοσίας** μπορεί να μεταβληθεί έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι λειτουργικές ανάγκες.

Η συγκέντρωση των MLSS θα μπορεί να είναι από **5000 – 9000 mg/L στο πρώτο σημείο**,

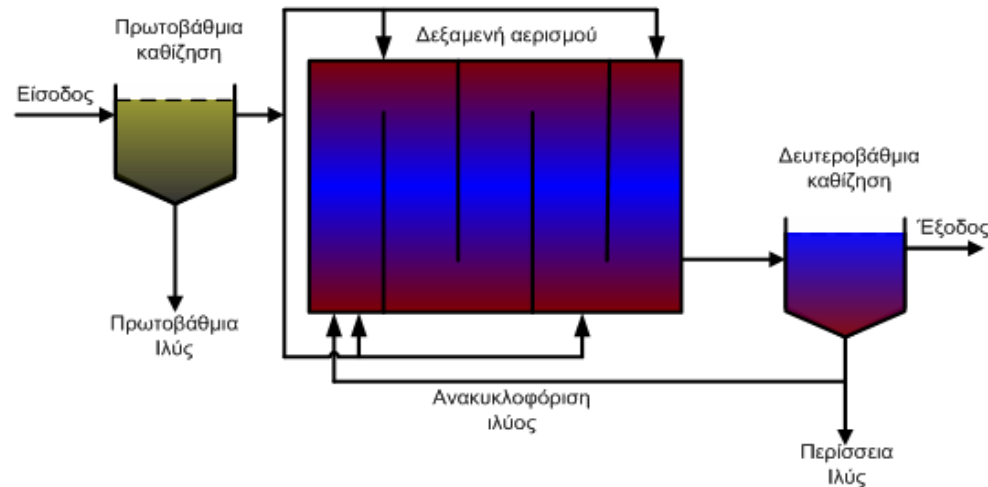
με **μικρότερες** συγκεντρώσεις στα ακόλουθα σημεία όσο περισσότερη παροχή τροφοδοτείται.



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής- Βαθμιδωτή παροχή

Η βαθμιδωτή παροχή έχει την ικανότητα να **περιλαμβάνει μεγαλύτερες ποσότητες στερεών** και έτσι να παρουσιάζει μεγαλύτερο **χρόνο παραμονής στερεών (SRT)** για τον **ίδιο όγκο δεξαμενής**, σε σχέση με την κοινή μέθοδο εμβολικής ροής.

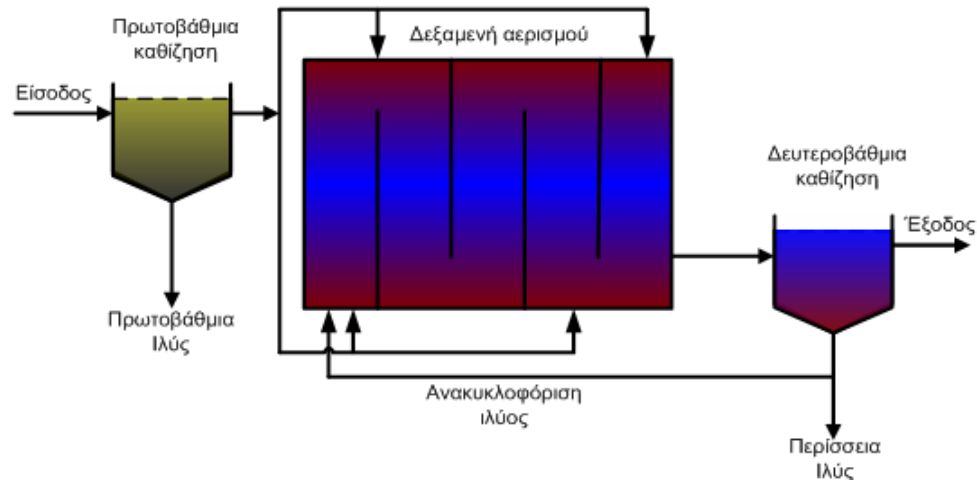


# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Δεξαμενές εμβολικής ροής- Βαθμιδωτή παροχή

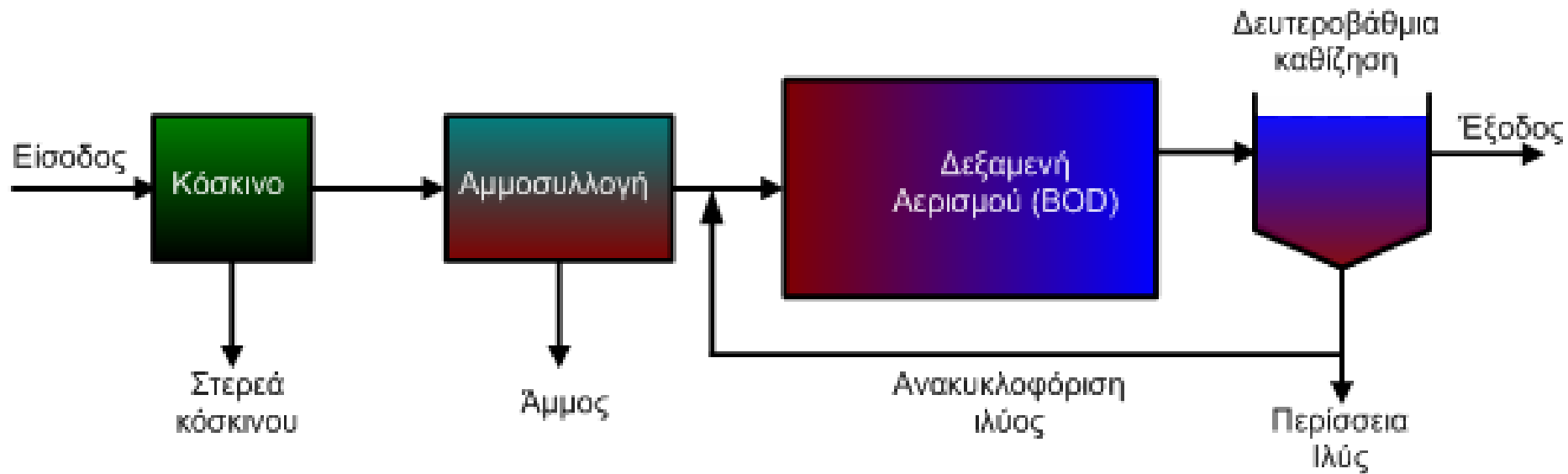
Η διεργασία της βαθμιδωτής μπορεί επίσης να λειτουργηθεί με την μορφή της **σταθεροποίησης επαφής** τροφοδοτώντας **μόνον την τελευταία δεξαμενή**.

Επίσης μεγάλες παροχές σε περιόδους υψηλής βροχόπτωσης μπορούν να παρακαμφθούν στην τελευταία δεξαμενή, μειώνοντας έτσι τα στερεά στην δευτεροβάθμια δεξαμενή.



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Σύστημα παρατεταμένου αερισμού



## Τυπικό σύστημα παρατεταμένου αερισμού



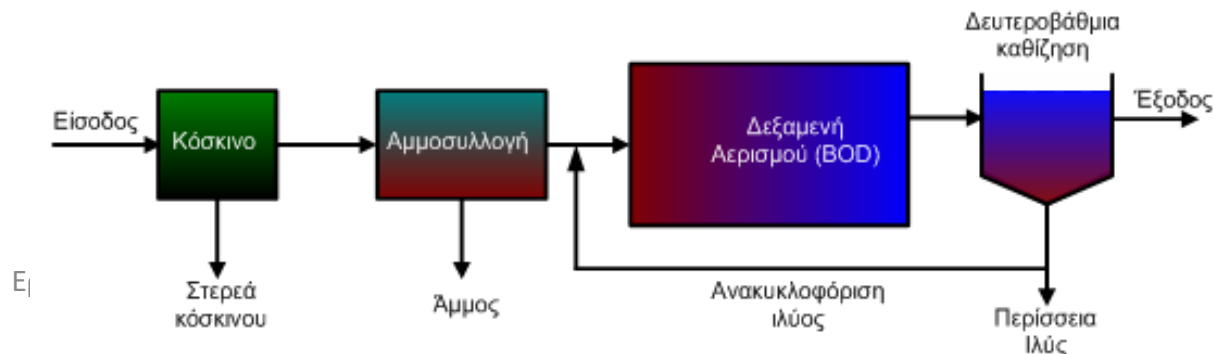
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Σύστημα παρατεταμένου αερισμού

Το σύστημα εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο σε μικρές κοινότητες χωρίς μεγάλες απαιτήσεις σε λειτουργικό έλεγχο.

Γενικώς δεν εφαρμόζεται πρωτοβάθμια καθίζηση και η δευτεροβάθμια καθίζηση σχεδιάζεται για μικρές υδραυλικές φορτίσεις ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη εξισορρόπηση ξαφνικών υψηλών παροχών (κάτι τυπικό για μικρές κοινότητες).

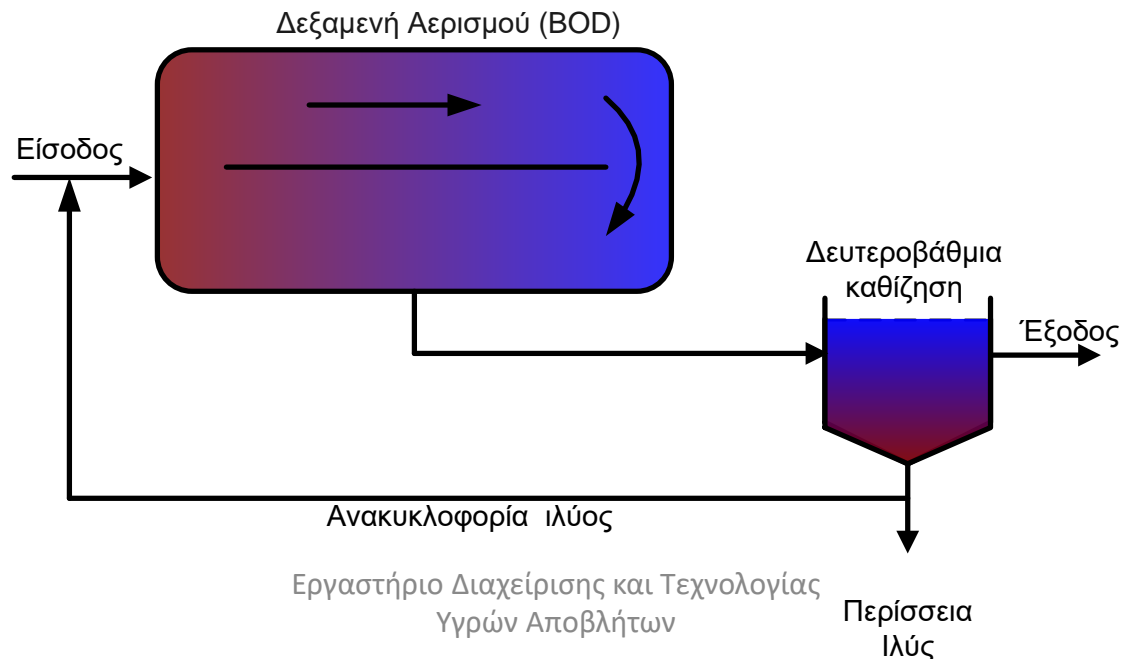
Τα παραγόμενα βιοστερεά είναι καλά σταθεροποιημένα αλλά για την περαιτέρω διάθεση τους απαιτείται επιπλέον επεξεργασία.



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Σύστημα οξειδωτικής τάφρου

Η οξειδωτική τάφρος αποτελείται από κανάλια με μορφή δαχτυλιδιού ή οβάλ επανδρωμένα με μηχανικό αερισμό και σύστημα ανάμιξης. Το υγρό απόβλητο επεξεργάζεται μηχανικά με εσχαρισμό και εξάμμωση και εισέρχεται στην δεξαμενή αερισμού μαζί με την ανακυκλοφορούσα ιλύ



# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

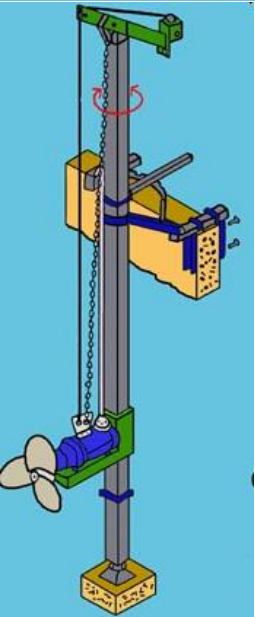
## Σύστημα οξειδωτικής τάφρου

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής και το σύστημα αερισμού και ανάμιξης προάγουν την ροή σε κάθε κατεύθυνση

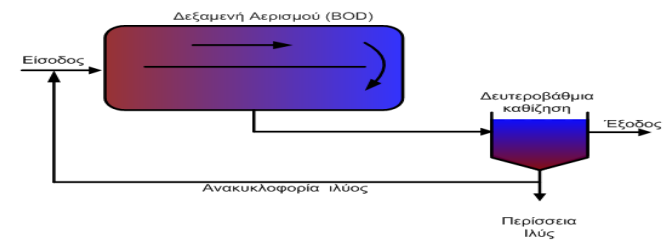
έτσι ώστε η ενέργεια για τον αερισμό να επαρκεί και για την ανάμιξη σε ένα σύστημα με μεγάλο υδραυλικό χρόνο παραμονής.

Το σύστημα αερισμού ανάμιξης που εφαρμόζεται δημιουργεί μία ταχύτητα 0,25-0,39 m/s και αυτό είναι αρκετό να κρατήσει την ενεργό ιλύ σε αιώρηση.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες το ανάμικτο υγρό διεξάγει έναν κύκλο μέσα σε **5-15 min.**



Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας  
Υγρών Αποβλήτων

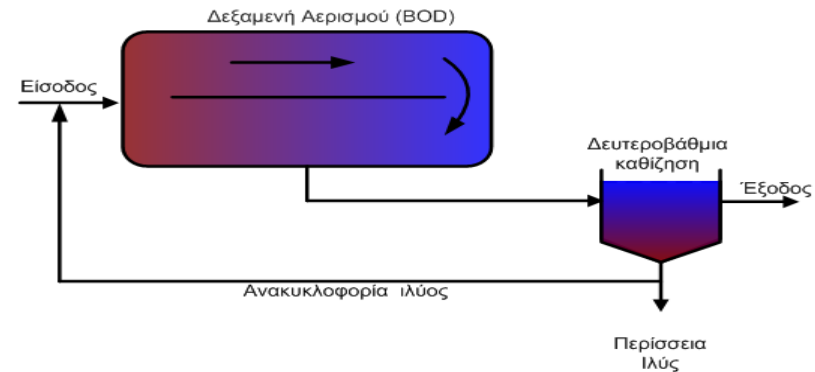


# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Σύστημα οξειδωτικής τάφρου

Το μέγεθος της ροής στο κανάλι είναι τέτοιο ώστε μπορεί να αραίωση την ροή των εισερχομένων υγρών αποβλήτων κατά 20-30 φορές.

Ως αποτέλεσμα η κινητική στην δεξαμενή προσομοιώνει αυτή της **πλήρους ανάμιξης**, αλλά με εμβολική ροή κατά μήκος των καναλιών.



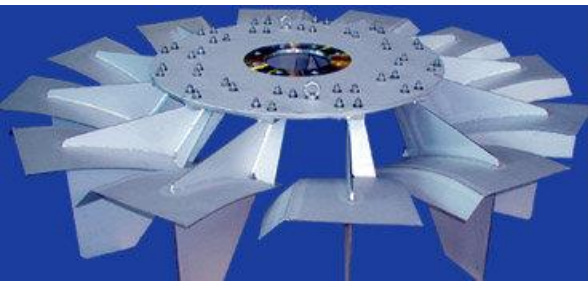
# Βασικές γνώσεις νιτροποίησης

## Σύστημα οξειδωτικής τάφρου

Μόλις το υγρό απόβλητο εγκαταλείπει την δεξαμενή αερισμού **μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο (DO)** και μπορεί να λάβει χώρα η απονιτροποίηση.

Επιφανειακοί αεριστήρες με την μορφή **βούρτσας ή κατακόρυφου άξονα** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάμιξη και τον αερισμό.

Για τον διαχωρισμό των στερεών χρησιμοποιούνται δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.



Διαχείρισης και  
Υγρών Αποβλήτω



## Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού για συστήματα ενεργού ιλύος

Σύστημα	Είδος αντιδραστήρα	SRT [d]	F/M [kg BOD/kgMLVSS.d]	Ογκομετρική φόρτιση [kg BOD/m <sup>3</sup> .d]	MLSS [g/L]	Ολικός χρόνος παραμονής [h]	RAS [%] εισόδου <sup>e</sup>
Υψηλής απόδοσης	Εμβολικής ροής	0,5-2	1,5-2,0	1,2-2,4	0,2-1,0	1,5-3	100-150
Σταθεροποίηση επαφής	Εμβολικής ροής	5-10	0,2-0,6	1,0-1,3	1,0-3,0 <sup>b</sup> 6,0-10,0 <sup>c</sup>	0,5-1 <sup>b</sup> 2-4 <sup>c</sup>	50-150
Τυπικής εμβολικής ροής	Εμβολικής ροής	3-15	0,2-0,4	0,3-0,7	1,0-3,0	4-8	25-75 <sup>f</sup>
Βαθμιδωτής παροχής	Εμβολικής ροής	3-15	0,2-0,4	0,7-1,0	1,5-4,0	3-5	25-75
Πλήρους ανάμιξης	CMAS	3-15	0,2-0,6	0,3-1,6	1,5-4,0	3-5	25-100 <sup>f</sup>
Παρατεταμένος αερισμός	Εμβολικής ροής	20-40	0,04-0,1	0,1-0,3	2,0-5,0	20-30	50-150
Οξειδωτική τάφος	Εμβολικής ροής	15-30	0,04-0,1	0,1-0,3	3,0-5,0	15-30	75-150
SBR	Batch	10-30	0,04-0,1	0,1-0,3	2,0-5,0 <sup>d</sup>	15-40	g

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΒΟD ΚΑΙ ΤΗΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πλήρους ανάμιξης	<p>Σύνηθες, αποδεδειγμένο στην πράξη</p> <p>Εφαρμόσιμο σε πολλά είδη υγρών αποβλήτων</p> <p>Μεγάλη ικανότητα αραίωσης σε περίπτωση υψηλής φόρτισης και τοξικών επιβολών</p> <p>Ομοιόμορφη απαίτηση οξυγόνου</p> <p>Ο σχεδιασμός του είναι σχετικά απλός</p> <p>Κατάλληλος για κάθε σύστημα αερισμού</p>	<p>Επιρρεπής σε νιματοειδή ανύψωση ιλύος</p>
Τυπικής εμβολικής ροής	<p>Αποδεδειγμένο στην πράξη</p> <p>Επιτυγχάνει μεγαλύτερη μείωση αζώτου από το ΠΑ</p> <p>Προσαρμόσιμο σε πολλά λειτουργικά συστήματα συμπεριλαμβανομένου και της βαθμιδωτής παροχής, δεξαμενής επαφής και ανοξικών / οξικών συστημάτων</p>	<p>Ο λεπτομερής σχεδιασμός και η λειτουργία του είναι πιο περίπλοκος</p> <p>Πιθανόν να είναι δύσκολη η προσαρμογή του ανεφοδιασμό με οξυγόνο σύμφωνα με την απαίτηση οξυγόνου στο πρώτο πέρασμα</p>

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΒΟD ΚΑΙ ΤΗΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλής απόδοσης	Απαιτεί μικρότερη σε όγκο δεξαμενή αερισμού από τα τυπικά συστήματα ΕΡ Χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια για αερισμό	Ασταθής λειτουργία Χαμηλότερης ποιότητας απορροή Δεν είναι ικανό για νιτροποίηση Υψηλή παραγωγή ιλύος Υψηλές υδραυλικές παροχές είναι ικανές να συμπαρασύρουν την βιομάζα (MLSS) και να σταματήσει η λειτουργία
Σταθεροποίηση επαφής	Απαιτεί μικρότερους όγκους δεξαμενών Επεξεργάζεται υψηλές υδραυλικές φορτίσεις χωρίς απώλεια βιομάζας	Παρουσιάζει μικρή ικανότητα νιτροποίησης Μερικές φορές η λειτουργία είναι περίπλοκη



## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΒΟD ΚΑΙ ΤΗΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

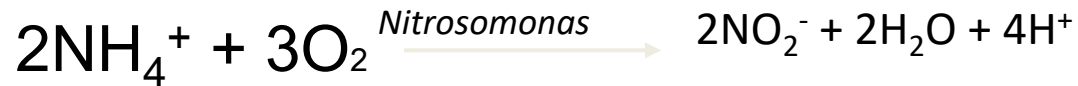
Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Βαθμιδωτής παροχής	Κατανομή της παροχής για επίτευξη ομοιόμορφης απαίτησης σε οξυγόνο Υψηλές παροχές παρακάμπτονται στην τελευταία βαθμίδα για την μείωση υψηλής φόρτισης της καθίζησης με πολλά στερεά Ευέλικτη λειτουργία Προσαρτώμενο σε πολλά συστήματα συμπεριλαμβανομένων και των ανοξικών/οξικών συστημάτων	Πολύπλοκή λειτουργία Ο βαθμός διάσπασης της παροχής δεν μπορεί πολλές φορές να μετρηθεί επαρκώς με ακρίβεια Ακόμα πιο πολύπλοκο σύστημα και λειτουργία του αερισμού
Παρατεταμένος αερισμός	Εκροή υψηλής απόδοσης είναι δυνατή Σχετικά εύκολος σχεδιασμός και λειτουργία Ικανό να επεξεργαστή υψηλές υδραυλικές φορτίσεις και τοξικές επιβολές Καλά σταθεροποιημένη ιλύς, μικρή παραγωγή βιοστερεών	Η ενεργειακή απαίτηση είναι πολύ υψηλή Μεγάλες δεξαμενές αερισμού Εφαρμόσιμο συνήθως σε μικρές κοινότητες

# ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΒΟD ΚΑΙ ΤΗΝ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Σύστημα	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Οξειδωτική τάφρος	<p>Υψηλής αξιοπιστίας σύστημα, απλό στην λειτουργία του</p> <p>Ικανό να επεξεργαστή υψηλές υδραυλικές φορτίσεις και τοξικές επιβολές</p> <p>Οικονομικό σύστημα για μικρές κοινότητες</p> <p>Απαιτεί λιγότερη ενέργεια από το σύστημα ΠΑ</p> <p>Εκροή υψηλής απόδοσης είναι δυνατή</p> <p>Καλά σταθεροποιημένη ιλύς, μικρή παραγωγή βιοστερεών</p>	<p>Μεγάλη δομή και απαίτηση σε χώρο</p> <p>Χαμηλός F/M με συνέπεια την πιθανή διόγκωση της ιλύος</p> <p>Μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση από τα συστήματα CMAS και εμβολικής ροής</p> <p>Επέκταση της δυναμικότητας της μονάδας πολύ δύσκολη</p>
SBR	<p>Απλό σύστημα, δεν απαιτούνται δευτεροβάθμια καθίζηση και ανακυκλοφορία</p> <p>Συμπαγής κατασκευή</p> <p>Η λειτουργία είναι εύκαμπτη, αφαίρεση θρεπτικών μπορεί να ολοκληρωθεί με λειτουργικές αλλαγές</p> <p>Μπορεί να λειτουργήσει και ως επιλογέας για την μείωση της διόγκωσης εξαιτίας νηματοειδών βακτηρίων</p> <p>Μικρή απώλεια στερεών με την απορροή</p>	<p>Η διεργασίες λειτουργίας είναι περίπλοκες</p> <p>Υδραυλικές φορτίσεις μεγαλύτερες του σχεδιασμού καταστρέφουν την λειτουργία</p> <p>Ίσως απαιτηθεί εξισορρόπηση απορροής πριν την διήθηση και απολύμανση.</p> <p>Απαιτείται μεγαλύτερη επιδεξιότητα επιδιόρθωσης για τα μηχανήματα λειτουργίας, ελέγχου και αυτοματισμού</p>

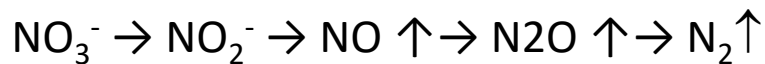
# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

- Νιτροποίηση



Υψηλή απαίτηση  $\text{O}_2$  – πτώση pH – Χαμηλός ρυθμός ανάπτυξης

- Απονιτροποίηση



Απαίτηση ηλεκτρονιακού δότη – Αύξηση αλκαλικότητας

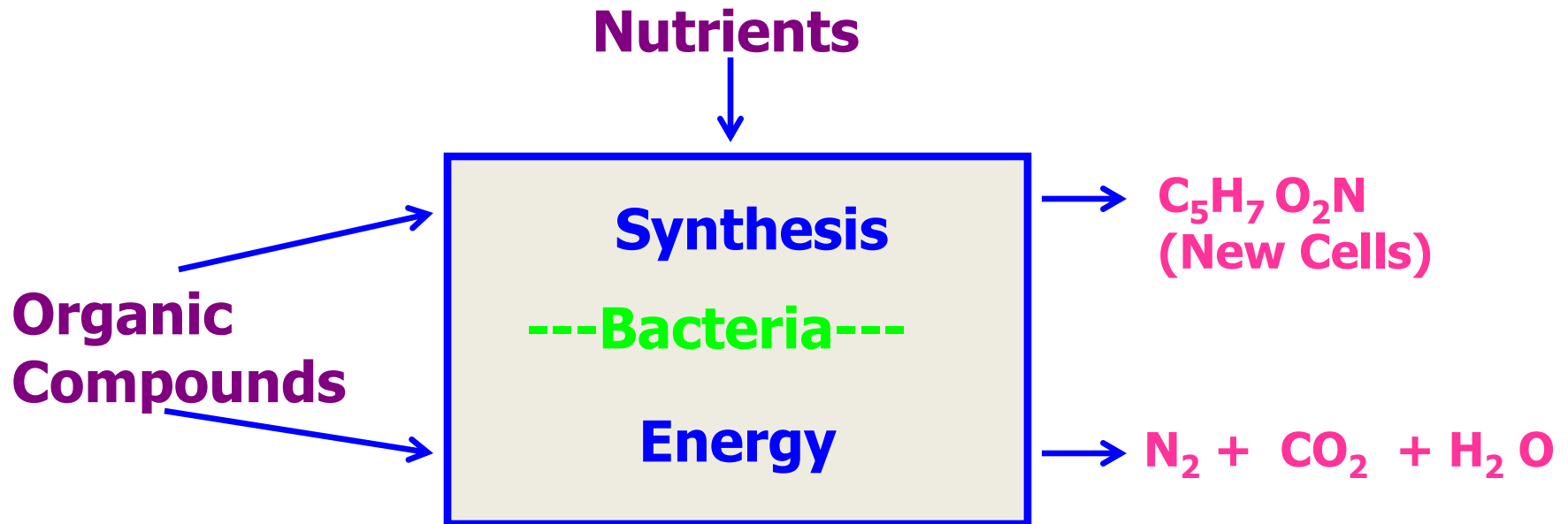
# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

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

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

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

Προαιρετικός Ετερότροφος μεταβολισμός (Ανοξικός)



# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

Παράμετροι σχεδιασμού κλειδιά είναι:

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

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Στοιχεία σχεδιασμού για ένα Ανοξικό/Αερόβιο αντιδραστήρα

1. Η συγκέντρωση του rbCOD παίζει έναν σπουδαίο ρόλο στον ρυθμό απονιτροποίησης στην ανοξική ζώνη.
2. Ως γενικός κανόνας εκτιμούμε ότι 4 g BOD απαιτούνται ανά g αναγόμενου NO<sub>3</sub>.
3. Υγρό απόβλητο με την ίδια συγκέντρωση bCOD αλλά μεγαλύτερο rbCOD θα δημιουργήσει υψηλότερους ρυθμούς απονιτροποίησης στην ανοξική ζώνη.
4. Οι μονάδες αυτές σχεδιάσθηκαν ως μια δεξαμενή ή σειρά δεξαμενών πλήρους ανάμιξης με ίσους ή διαφορετικούς χρόνους παραμονής.
5. Τυπικές απαιτήσεις σε εφαρμόσιμη ισχύ μηχανικής ανάδευσης στην ανοξική ζώνη κυμαίνεται από 8 – 13 kW/10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>.

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Κινητική ανάπτυξης

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

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



# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Κινητική ανάπτυξης

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

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

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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

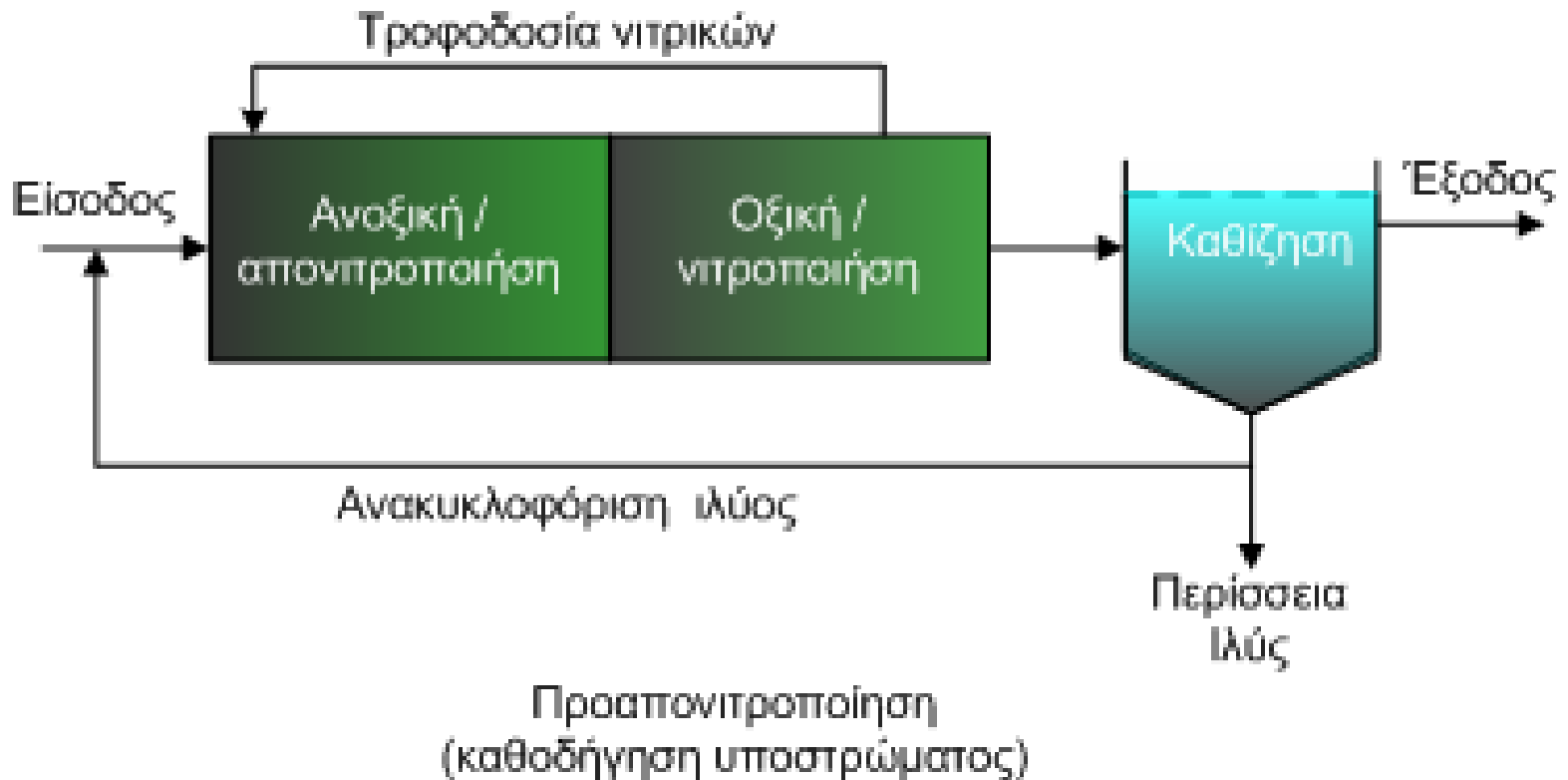
Τα νιτρικά που παράγονται στην δεξαμενή αερισμού ανακυκλοφορούνται στην ανοξική δεξαμενή.

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

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

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση



Σχήμα 2-2: Απονιτροποιητική διεργασία με προτροπή υποστρώματος (προτεταμένη απονιτροποίηση)

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

$BOD/TKN = 4/1$  στο εισερχόμενο υγρό απόβλητο επαρκής

Χρόνος παραμονής ΑΟ μεταξύ 2-4 h,

Όμως, διαίρεση της ΑΟ σε 3 ή 4 τμήματα εν σειρά,

→ Αύξηση των κινητικών βιοσταθερών  $DN$

→ Ολικός χρόνος παραμονής μειώνεται από 50-70%

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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

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

Όπου

$NO_r$  = τα αφαιρούμενα νιτρικά, g/d

$V_{nox}$  = όγκος ανοξικής δεξαμενής, m<sup>3</sup>

SDNR = ειδικός ρυθμός απονιτροποίησης, g NO<sub>3</sub>-N/g

MLVSS.d

MLVSS = Συγκέντρωση αιωρούμενων πτητικών στερεών,  
mg/L

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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

SDNR	Προ-ανοξική	Μετα-ανοξική
gNO <sub>3</sub> -N/gMLVSS <sub>d</sub>	0,04-0,42	0,01-0.04

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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

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

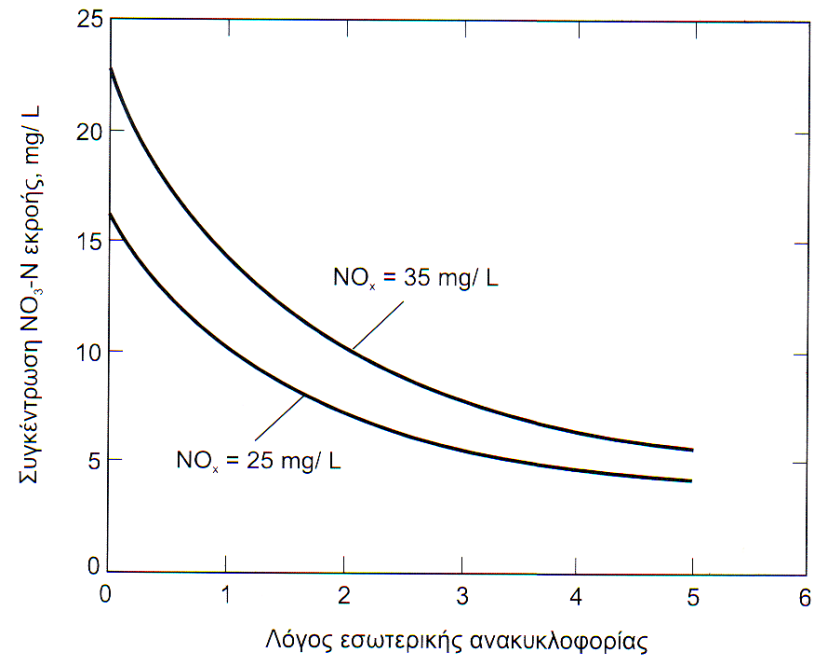
Σε υψηλούς ρυθμούς IR, το εισερχόμενο rbCOD αραιώνεται περισσότερο στον ανοξικό αντιδραστήρα με ανάμικτο υγρό από την δεξαμενή αερισμού, κάτι που οδηγεί σε χαμηλότερους ρυθμούς απονιτροποίησης (SDNR).

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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.





# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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

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

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

2. Επέρχεται ένα λειτουργικό όριο

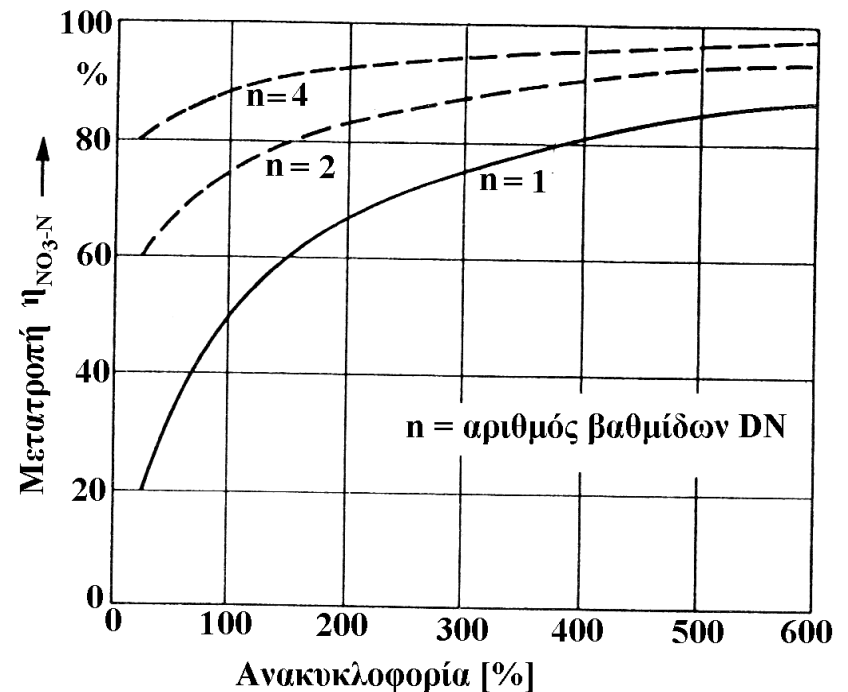
*(εξ αιτίας της μεταφοράς οξυγόνου από την δεξαμενή νιτροποίησης στην ανοξική δεξαμενή, και μειώνει τον βαθμό απονιτροποίησης)*

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση

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

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

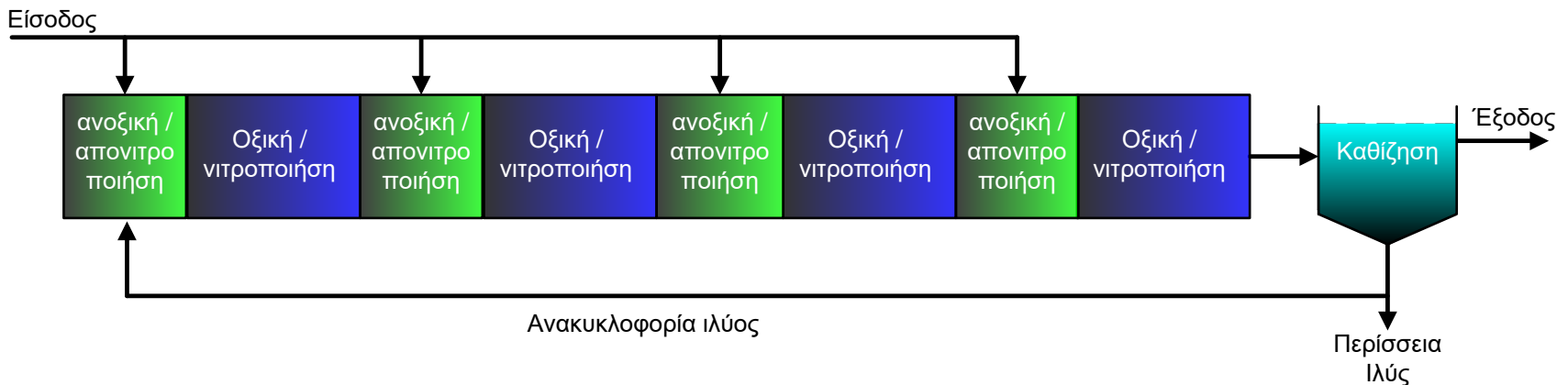


# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση- πολλών βαθμίδων

Η μέθοδος της προτεταμένης απονιτροποίησης ισχύει επίσης και κατά την απονιτροποίηση πολλών βαθμίδων.

Στην περίπτωση αυτή μειώνεται η απαιτούμενη ανακυκλοφορία, διότι τα σχηματιζόμενα νιτρικά στην πρώτη βαθμίδα αποδομούνται στην αμέσως επερχόμενη απονιτροποιητική δεξαμενή.



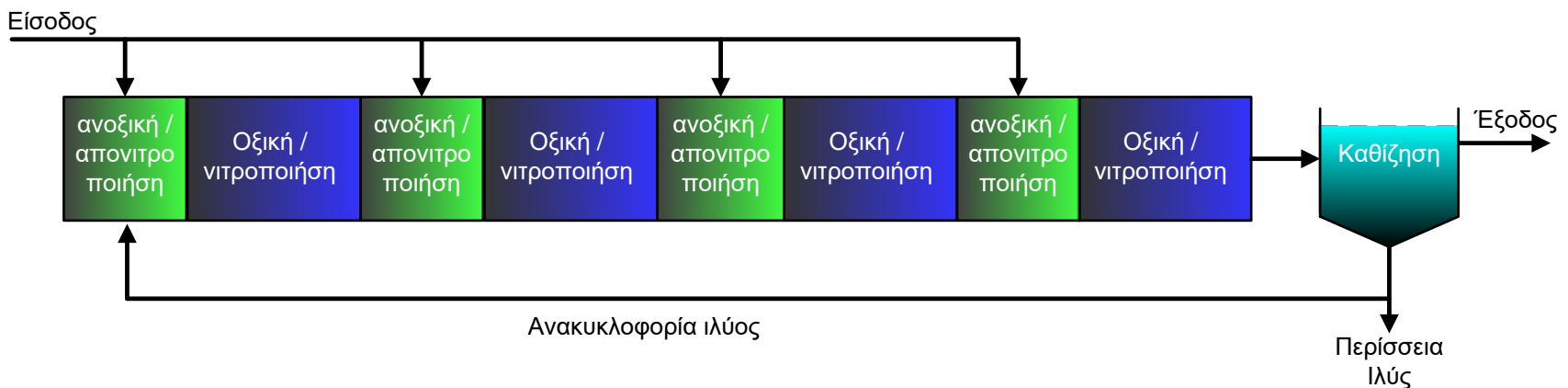
# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Προπορευόμενη απονιτροποίηση- πολλών βαθμίδων

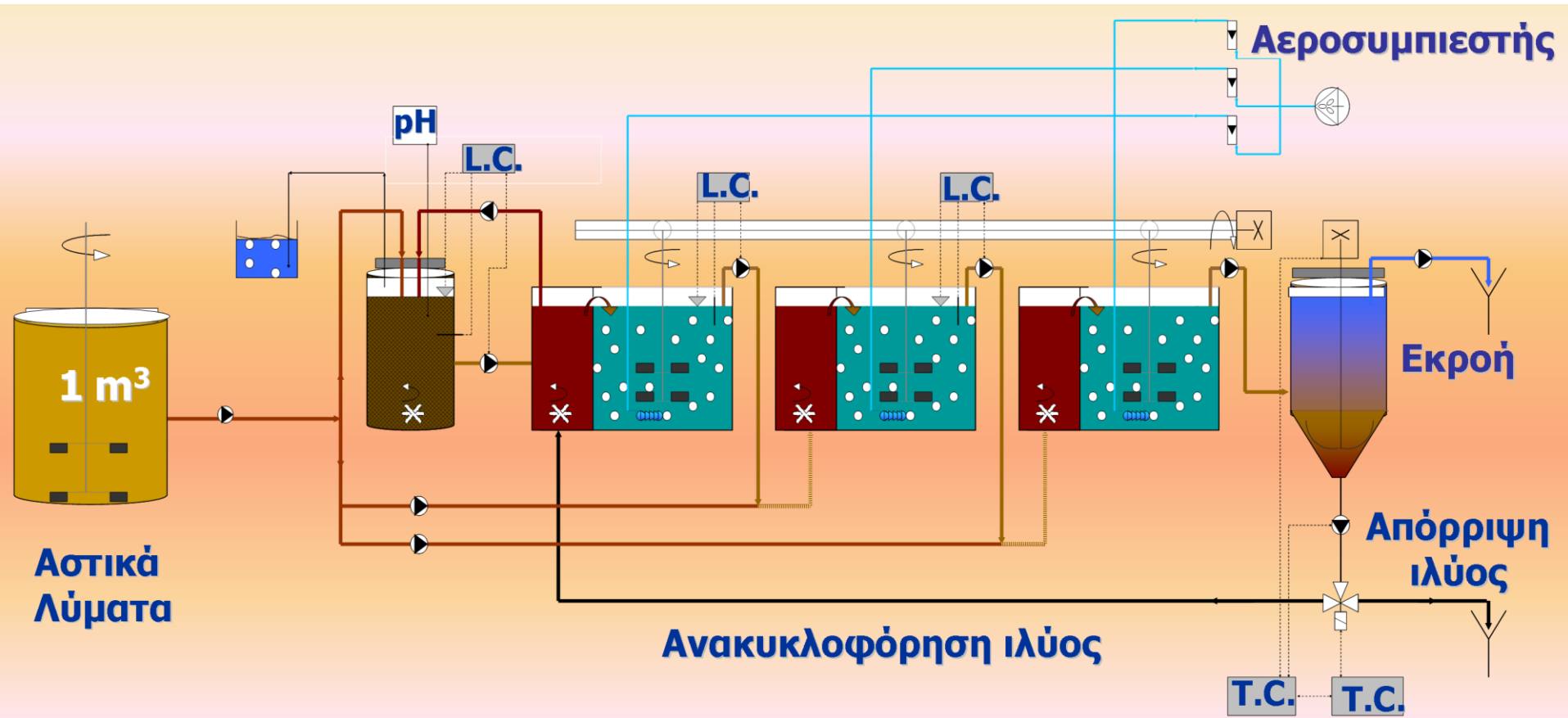
Μια δυνατή ποσοστιαία βαθμίδωση της τροφοδοσίας εισόδου για ένα τεσσάρων βαθμίδων σύστημα είναι 15:35:30:20.

*(Το τελευταίο τμήμα της τροφοδοσίας στην A/O είναι σημαντικό διότι, η συγκέντρωση των νιτρικών σε αυτήν, θα καθορίσει την τελική συγκέντρωση εξόδου της εγκατάστασης)*

Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνονται συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3\text{-N}$  8mg/L.



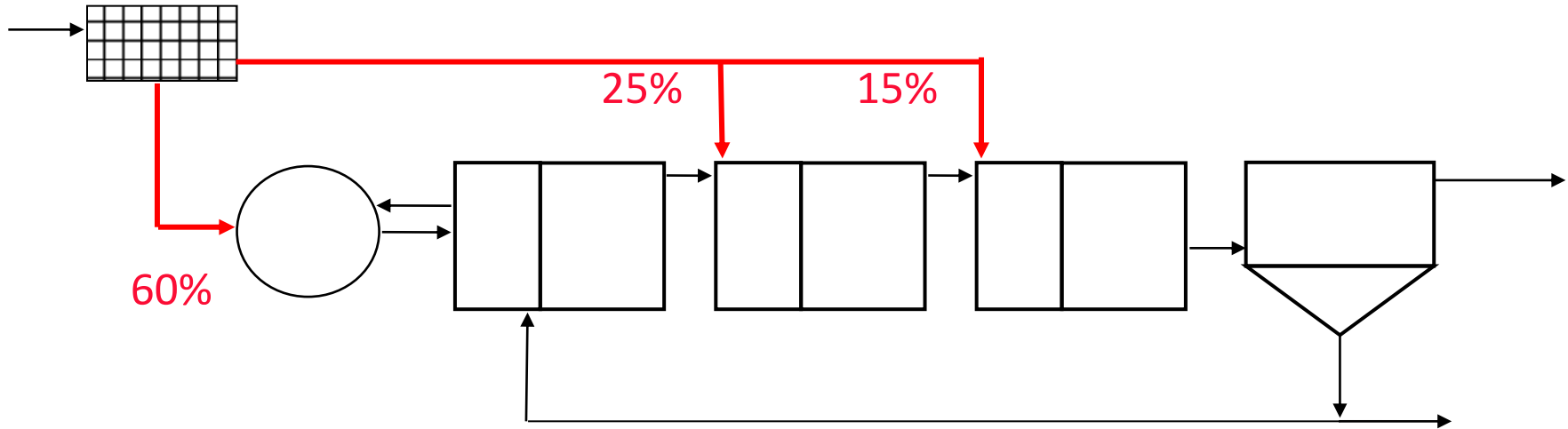
# Προπορευόμενη απονιτροποίηση - πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ



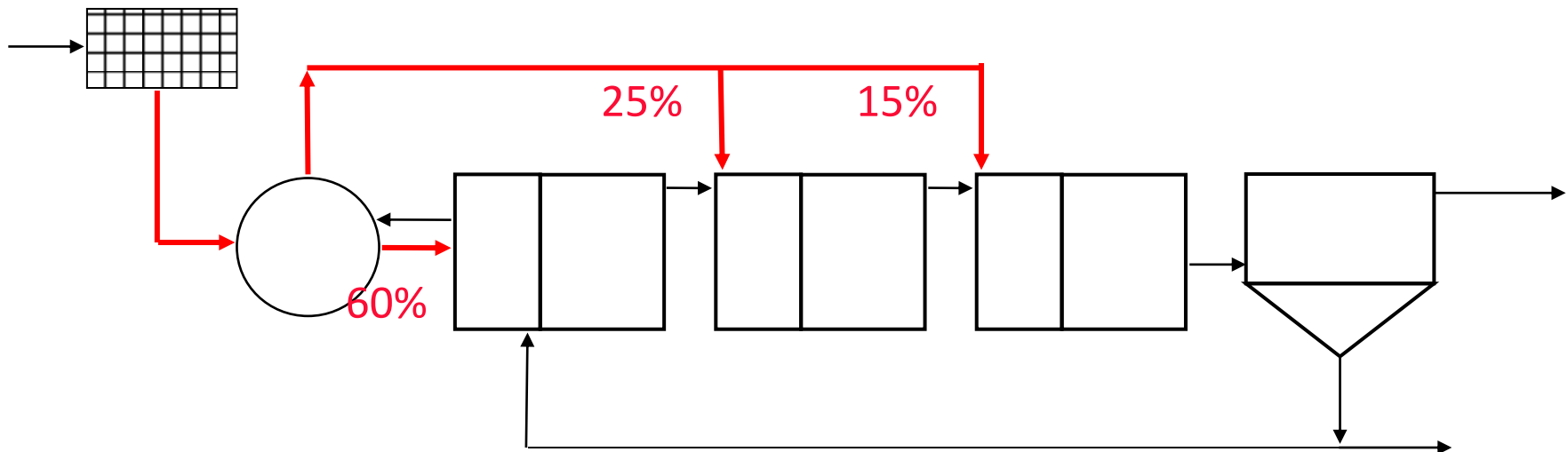
-  Αναερόβιες
-  Ανοξικές
-  Αερόβιες

# Προπορευόμενη απονιτροποίηση - πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ

✓ Κατανομή τροφοδοσίας ΠΡΙΝ τον αναερόβιο επιλογή

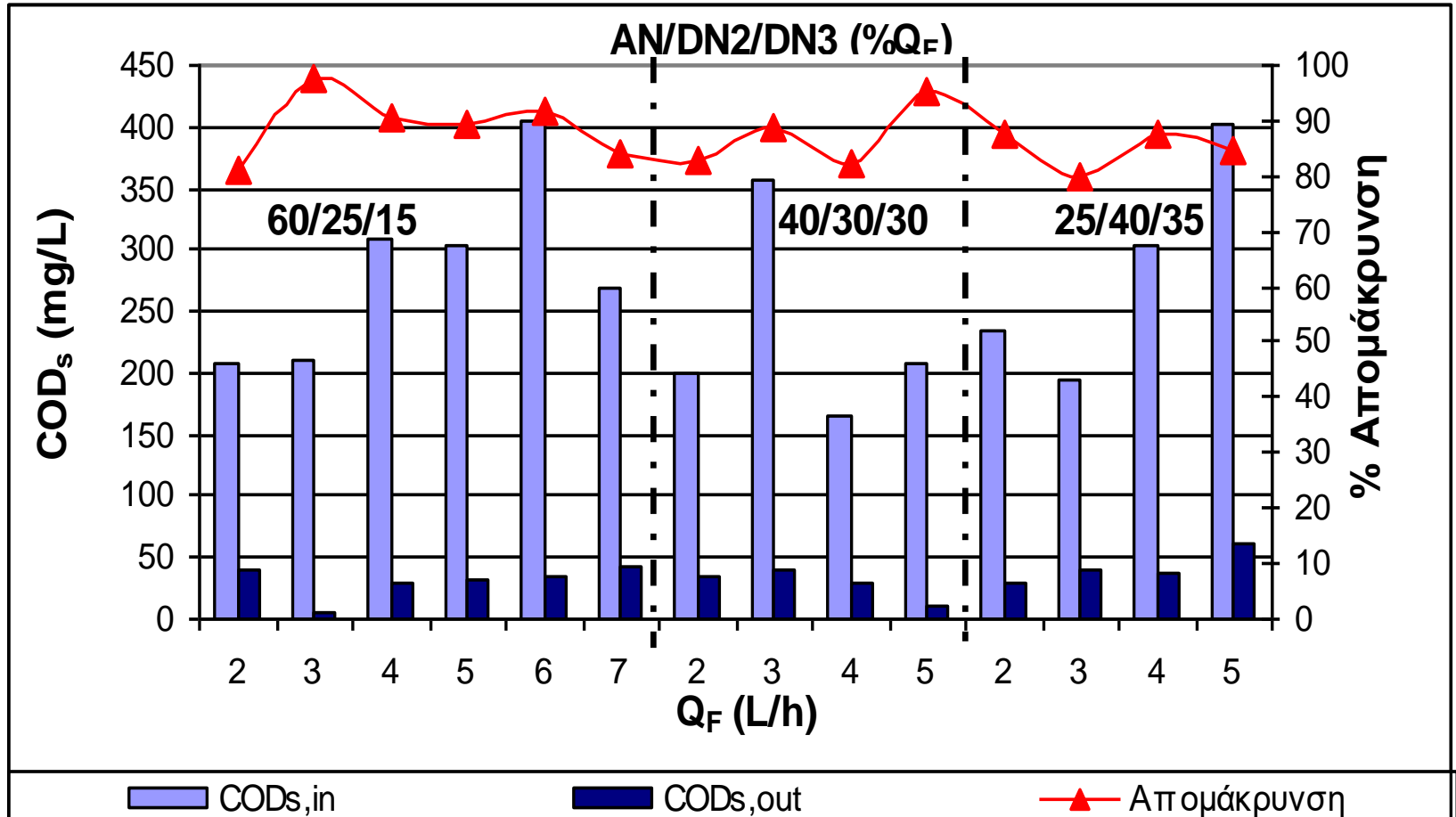


✓ Κατανομή τροφοδοσίας ΜΕΤΑ τον αναερόβιο επιλογή



# Προπορευόμενη απονιτροποίηση - πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ

Αφαίρεση ρυπαντών: COD



89% COD<sub>tot</sub>

55 mg COD<sub>tot</sub>/L

87% COD<sub>sol</sub>

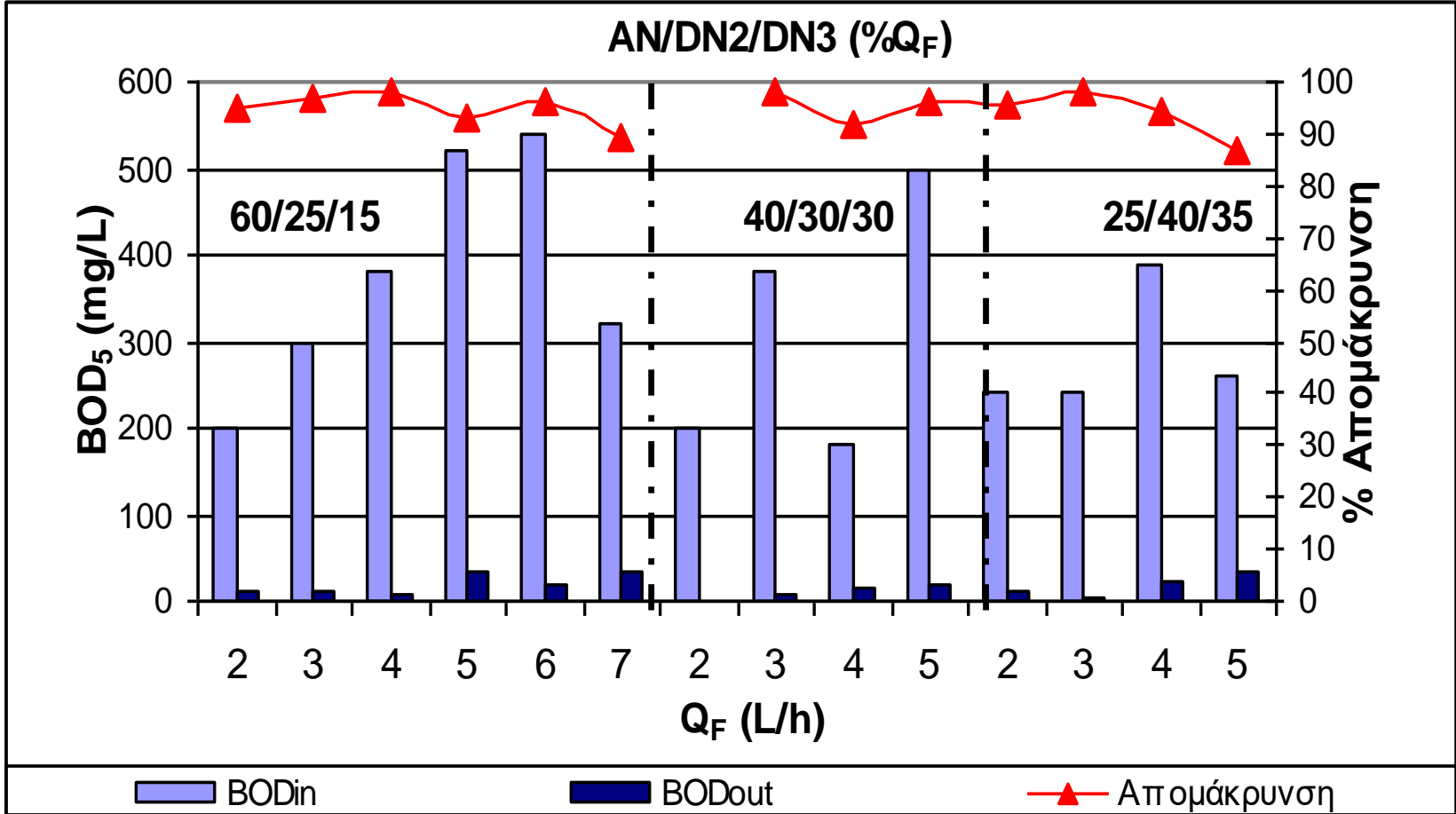
35 mg COD<sub>sol</sub>/L

90% COD<sub>prt</sub>

22 mg COD<sub>prt</sub>/L

# Προπορευόμενη απονιτροποίηση - πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ

Αφαίρεση ρυπαντών: BOD<sub>5</sub>



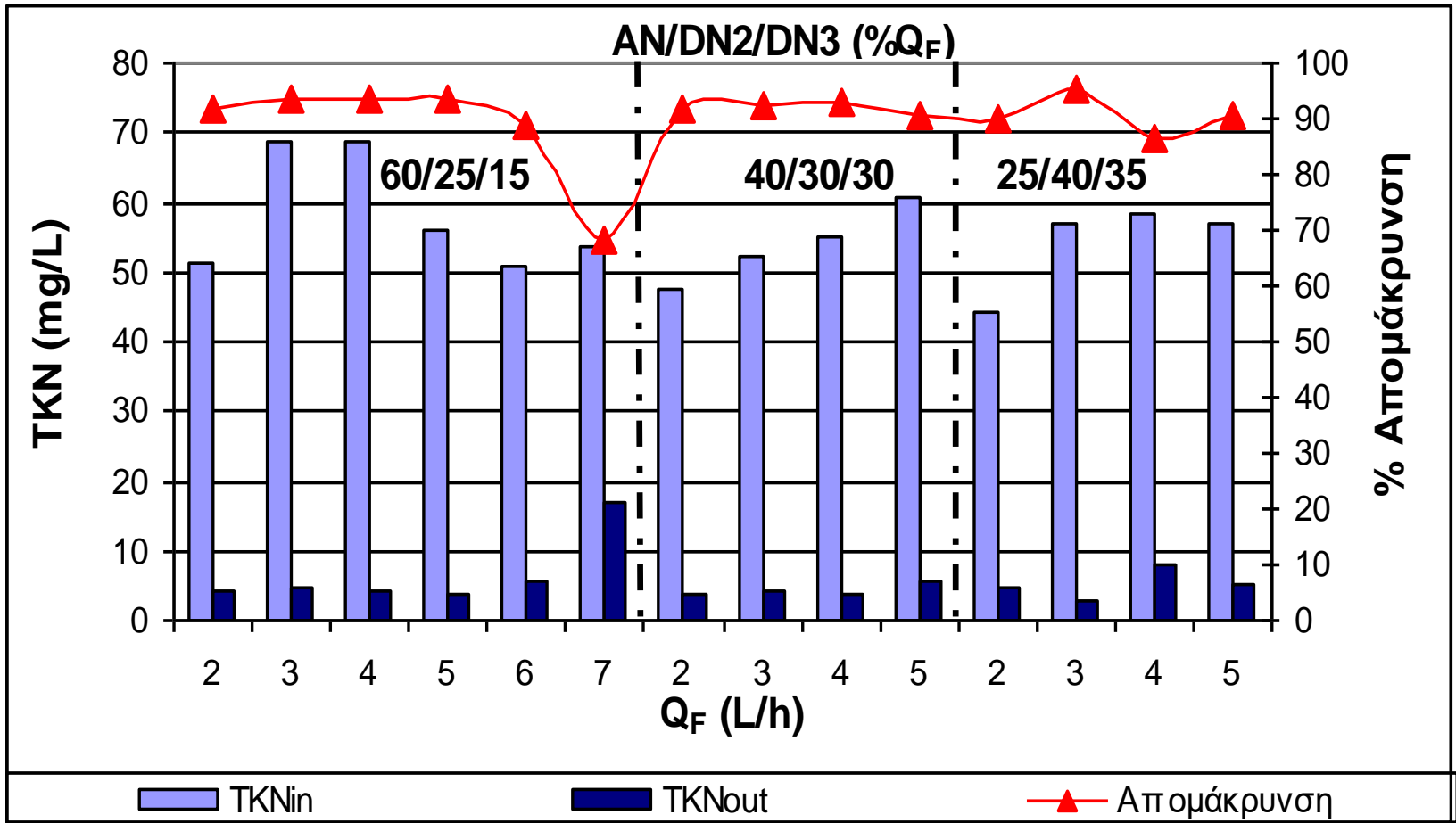
95% BOD<sub>5</sub>

18 mg BOD<sub>5</sub> /L



# Προπορευόμενη απονιτροποίηση - πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ

Αφαίρεση ρυπαντών: TKN

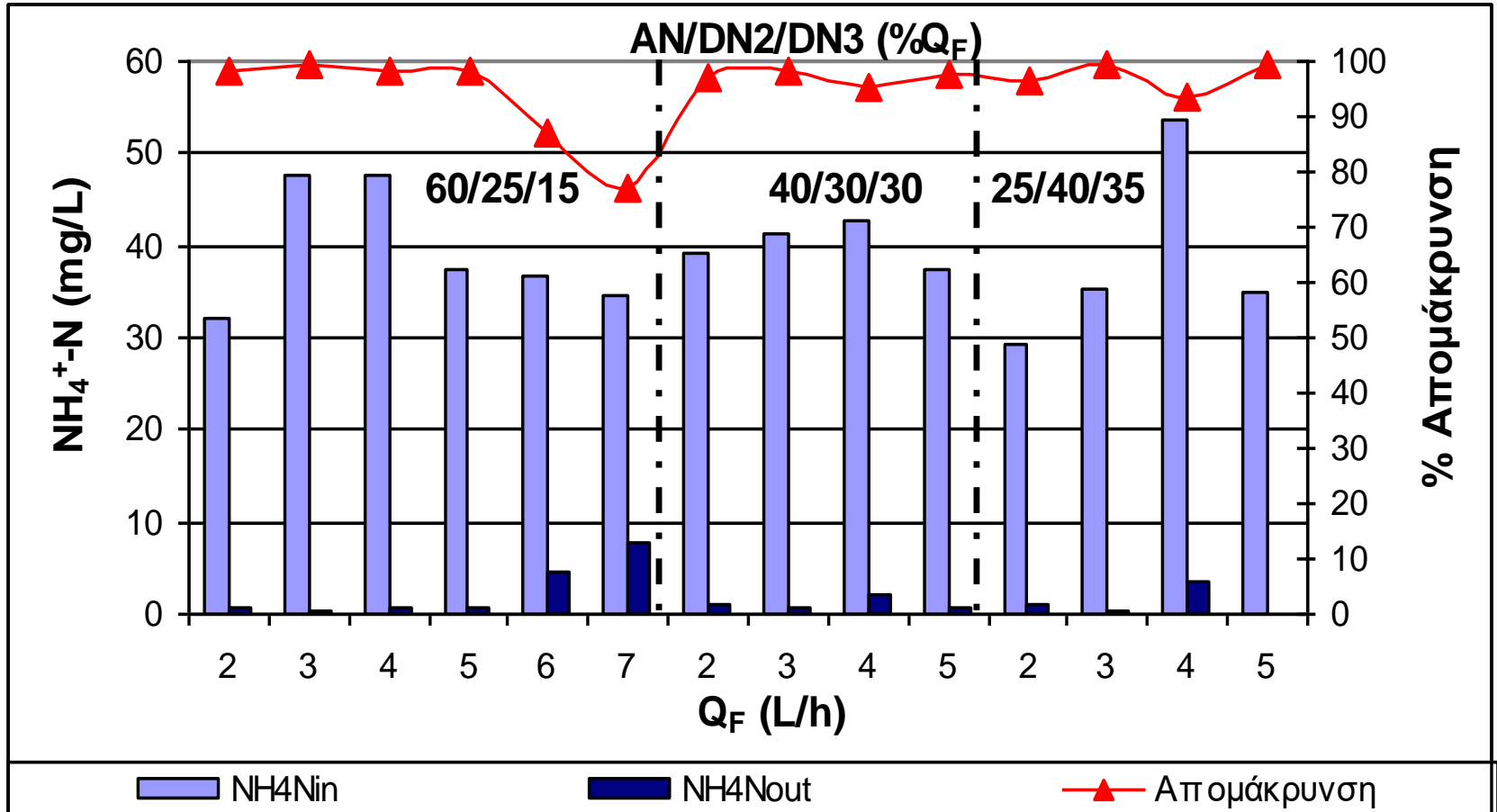


90% TKN

6 mg TKN /L

# Προπορευόμενη απονιτροποίηση - πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ

Αφαίρεση ρυπαντών:  $\text{NH}_4^+\text{-N}$

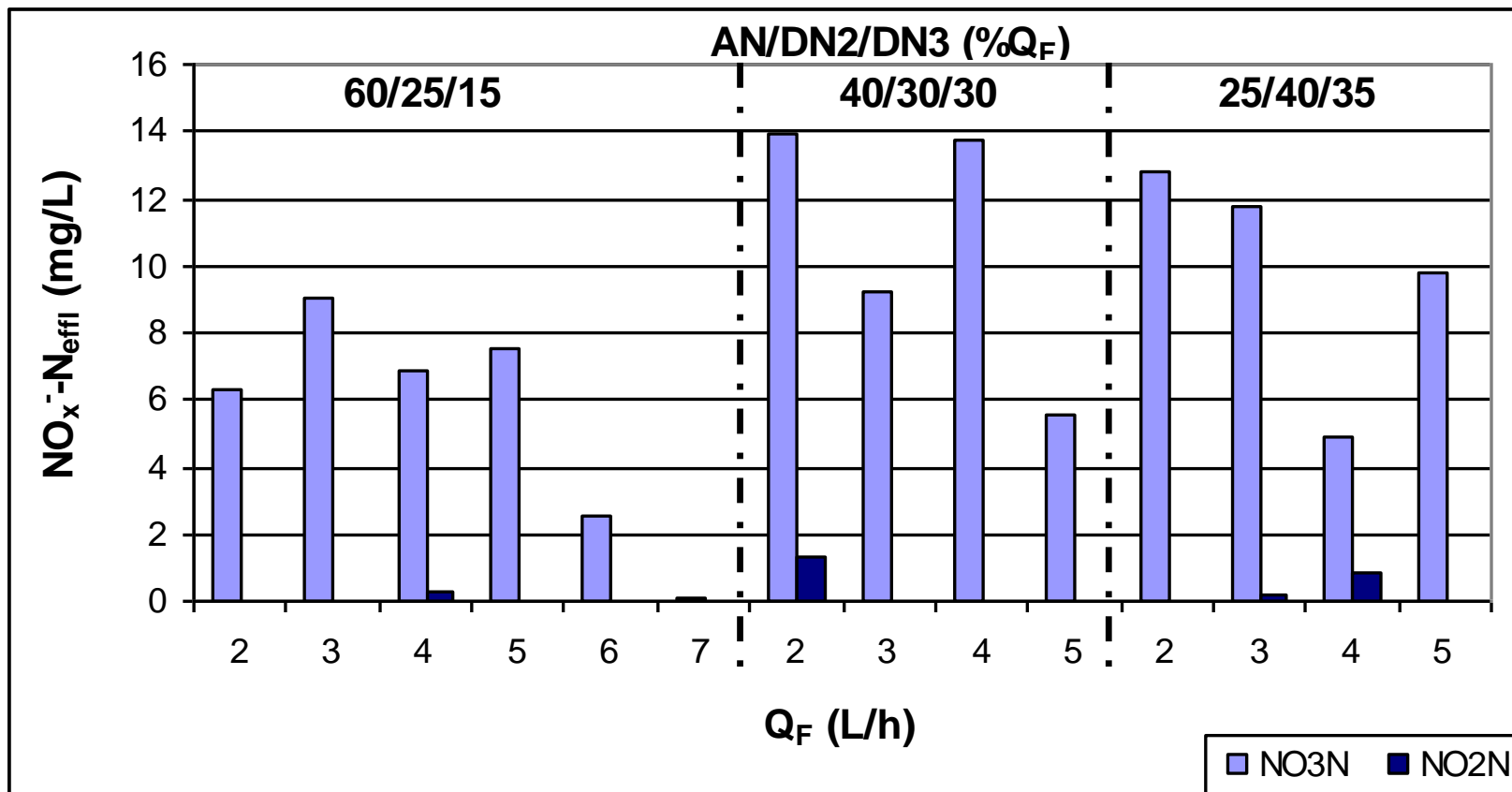


95%  $\text{NH}_4^+\text{-N}$

2 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  /L

# Προπορευόμενη απονιτροποίηση – πολλών βαθμίδων - ΕΤ&ΔΥΑ- ΔΠΘ

Αφαίρεση ρυπαντών:  $\text{NO}_x$ s



8,2 mg  $\text{NO}_3^-$ -N /L 0,2 mg  $\text{NO}_2^-$ -N/L

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## ακολουθούσα απονιτροποίηση

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

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

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

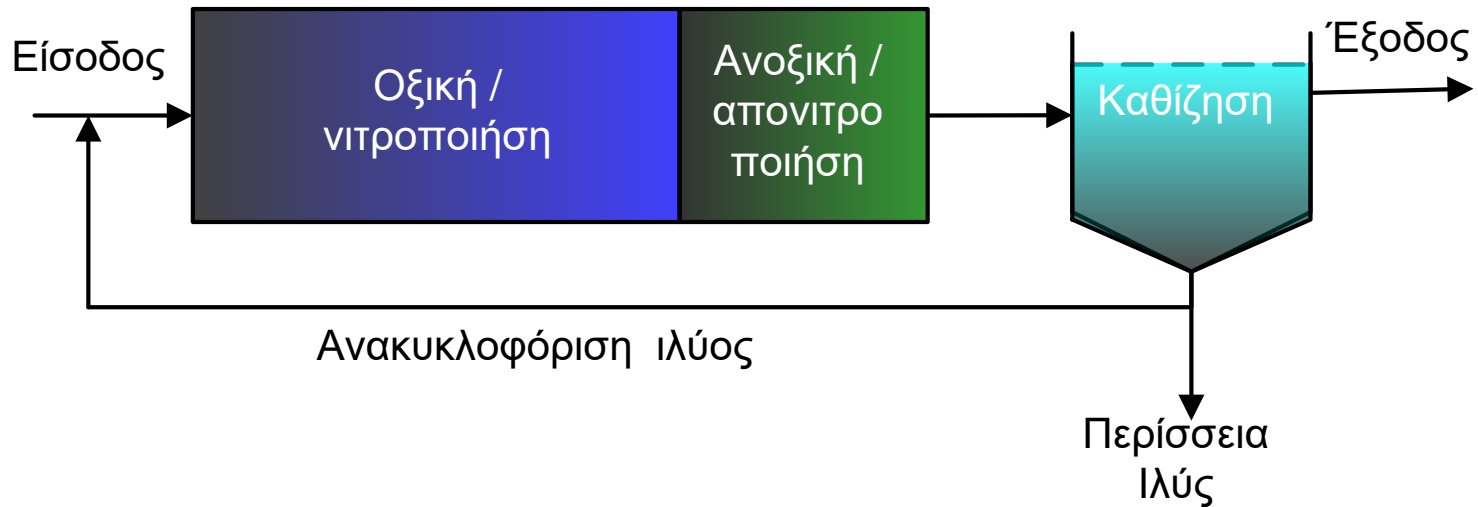
## ακολουθούσα απονιτροποίηση

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

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

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

ακολουθούσα απονιτροποίηση



**Σχήμα 2-2:** Απονιτροποιητική διεργασία με ενδογενή προτροπή (ακολουθούσα απονιτροποίηση)

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## ακολουθούσα απονιτροποίηση

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

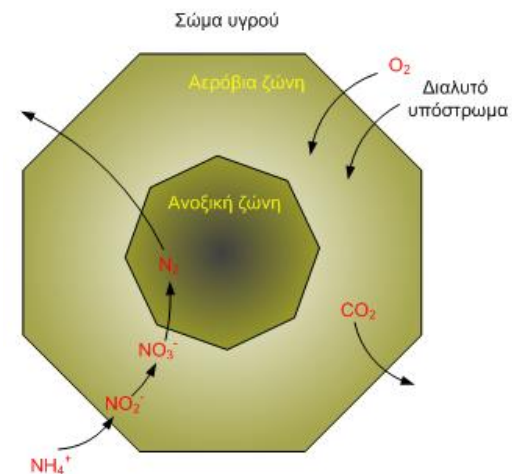
SDNR	Προ-ανοξική	Μετα-ανοξική
gNO <sub>3</sub> -N/gMLVSS <sub>d</sub>	0,04-0,42	0,01-0.04

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Ταυτόχρονη νιτροποίηση-απονιτροποίηση

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  $\tau$  και SRT.

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





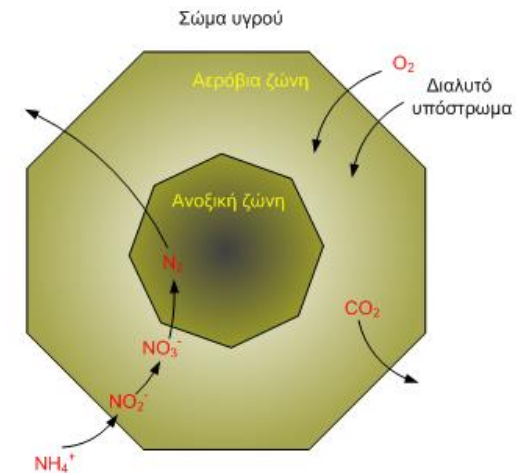
# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

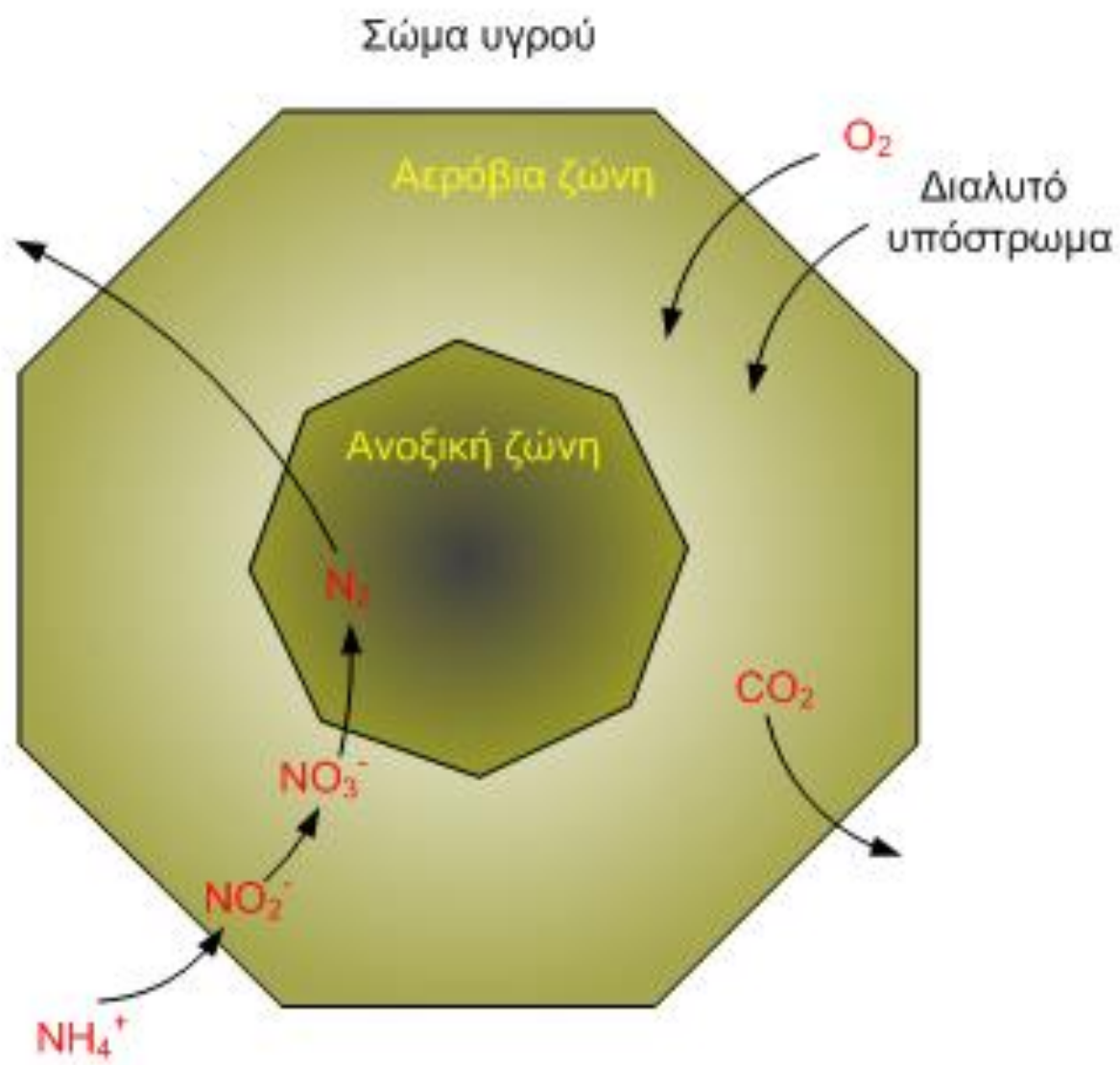
## Ταυτόχρονη νιτροποίηση-απονιτροποίηση

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





# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Ταυτόχρονη νιτροποίηση-απονιτροποίηση

Οι ρυθμοί νιτροποίησης και απονιτροποίησης είναι μία συνάρτηση

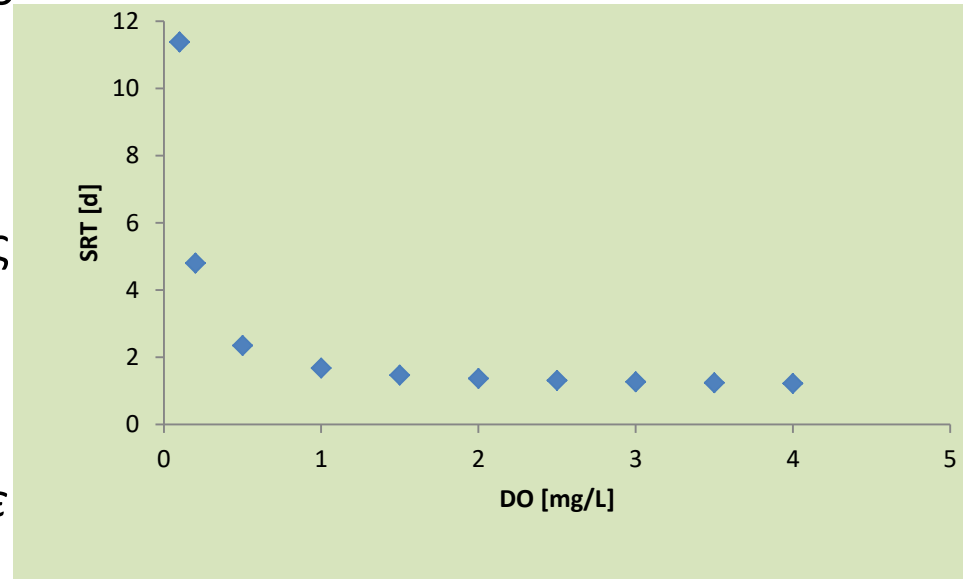
1. της κινητικής της αντίδρασης,
2. του μεγέθους,
3. της δομής και της πυκνότητας της νιφάδας,
4. της φόρτισης του rbCOD και
5. της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο σώμα του υγρού.

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Ταυτόχρονη νιτροποίηση-απονιτροποίηση

Η επίδραση του DO στον σχεδιασμό του SRT γίνεται εμφανής στο διάγραμμα για μία συγκ. εξόδου  $\text{NH}_4\text{-N}$  ίση με 1 mg/L στους 20°C χρησιμοποιώντας τις τιμές κινητικής για την νιτροποίηση και χωρίς συντελεστή ασφαλείας.

*(Η πραγματική τιμή του SRT που θα χρησιμοποιηθεί είναι υψηλότερη σε εξάρτηση από τον συντελεστή ασφαλείας που θα επιλεγθεί)*



Ο ρυθμός νιτροποίησης σε συγκέντρωση DO 0,2 mg/L είναι 24 % του ρυθμού σε συγκέντρωση DO 2,0 mg/L βασισμένο στις τιμές SRT 20 και 5 d αντίστοιχα.

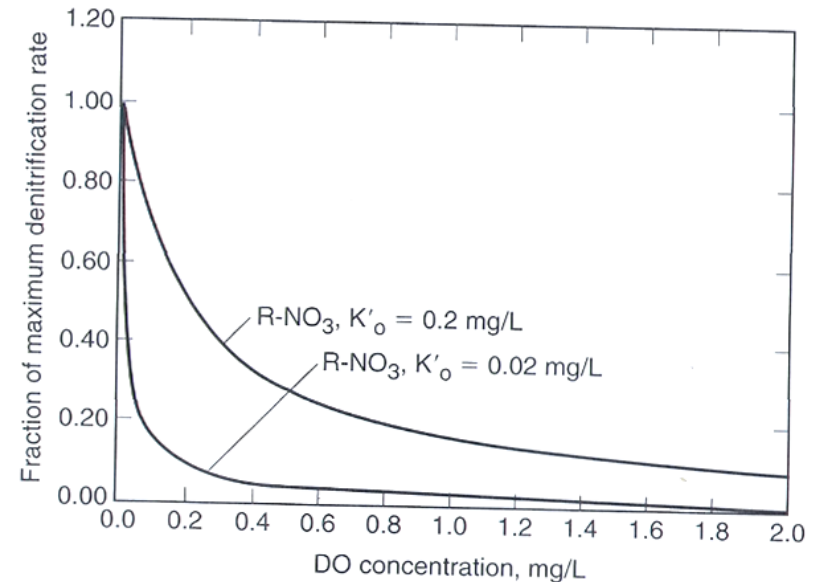
# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Ταυτόχρονη νιτροποίηση-απονιτροποίηση

Η επίδραση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στον ρυθμό απονιτροποίησης φαίνεται στο διάγραμμα για τιμές  $K'_o$  = συντελεστής αναστολής διαλυμένου οξυγόνου = 0,02 και 0,2 mg/L.

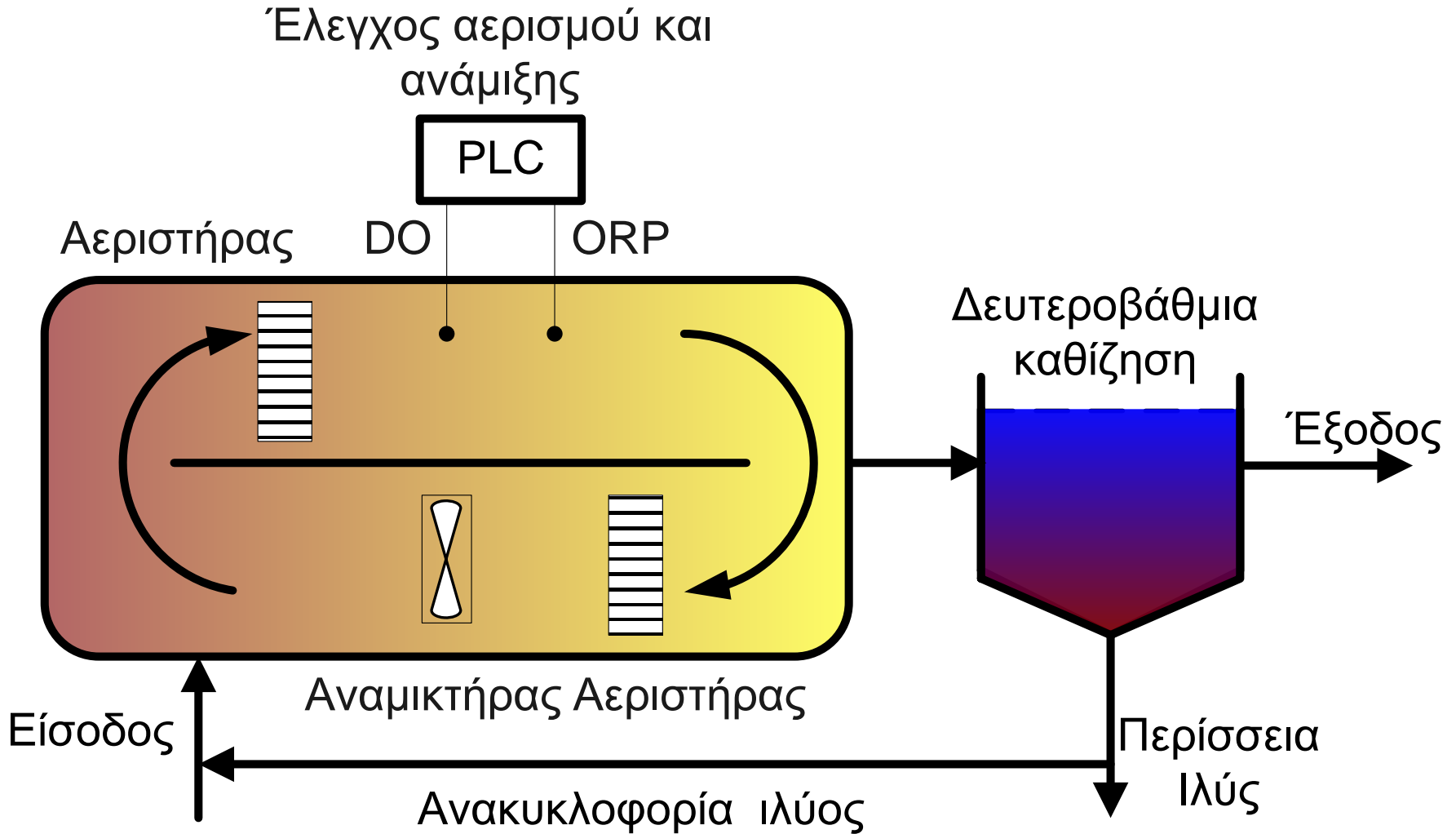
Σε συγκέντρωση 0,2 mg/L ο ρυθμός απονιτροποίησης θα είναι 10-50% του μέγιστου ρυθμού.

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.



# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Οξειδωτική τάφρος - Nitrox



# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Οξειδωτική τάφρος - Nitrox

- Η λειτουργία της οξειδωτικής τάφρου διακόπτεται από Ο σε ΑΟ με την παύση του αερισμού και τη λειτουργία ενός υπόγειου αναδευτήρα για τη διατήρηση της ταχύτητας του καναλιού  
*(Η διεργασία εξαρτάται από τη χρήση του ελέγχου του δυναμικού οξειδοαναγωγής (ORP)  
για (1) να προσδιορισθεί πότε θα εξαντληθούν τα νιτρικά κατά την διάρκεια της ανοξικής λειτουργιάς και (2) να γίνει επανέναρξη του αερισμού)*
- Όταν τα νιτρικά εξαντλούνται κατά την διάρκεια της παύσης του αερισμού, το ORP πέφτει δραματικά.
- Λειτουργούν συνήθως με  
SRT από 18-40d  
HRT > 16h

# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Οξειδωτική τάφρος- Nitrox

- Τα δεδομένα ORP ερμηνεύονται με ένα PC που δίνει εντολή να ξεκινήσει ο αερισμός.
- Μια συνήθης λειτουργική συνθήκη για την διεργασία Nitrox είναι η παύση των αεριστήρων για τουλάχιστον δύο φορές ανά ημέρα, συνήθως το πρωί όταν το φορτίο αυξάνει και στις πρώτες βραδινές ώρες.
- Ο χρόνος παύσης για την εξάντληση των νιτρικών συνήθως διαρκεί 3-5 h, εξαρτάται από το φορτίο της μονάδας και το ποσό των νιτρικών στην οξειδωτική τάφρο.
- Έχουν καταγραφεί συγκεντρώσεις εκροής  $\text{NO}_3\text{-N} < 8 \text{ mg/L}$  και συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  από 1,0 έως 1,5 mg/L.



# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Οξειδωτική τάφος- Nitrox

Εξαιτίας του μεγάλου SRT και HRT οι κινητικές της DN (π.χ. ειδικός ρυθμός απονιτροποίησης, SDNR) σχετίζονται με τη συνολική αποδόμηση του bCOD, του rbCOD και την ενδογενή αποσύνθεση και λιγότερο από το rbCOD το οποίο λόγω της συνεχόμενης εισροής υφίσταται αραίωση και οδηγεί σε χαμηλό F/M!

Ο SDNR υπολογίζεται με:  $SDNR = (0,175A_n)/(Y_{net})SRT$

Όπου SDNR, gNO<sub>3</sub>-N/g βιομάζας.d

$A_n$  = συντελεστής καθαρής κατανάλωσης O<sub>2</sub>, gO<sub>2</sub>/gbCOD

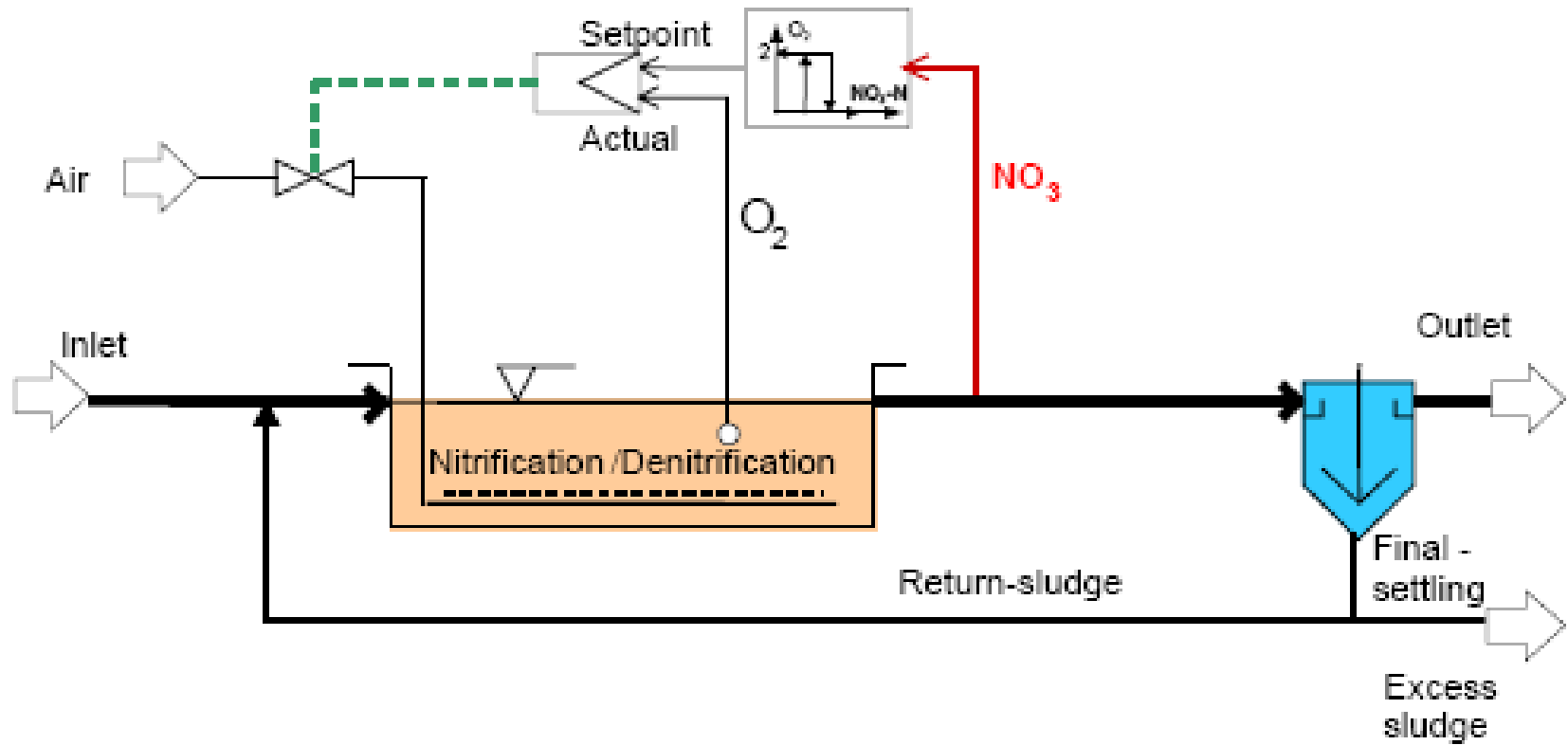
$Y_{net}$  = καθαρή παραγωγή ετεροτροφικής βιομάζας, gVSS/g bCOD

$$A_n = 1,0 - 1,42Y + [1,42(k_d)(Y)SRT / 1 + (k_d)SRT]$$

$$Y_{net} = Y / [1 + (k_d)SRT]$$

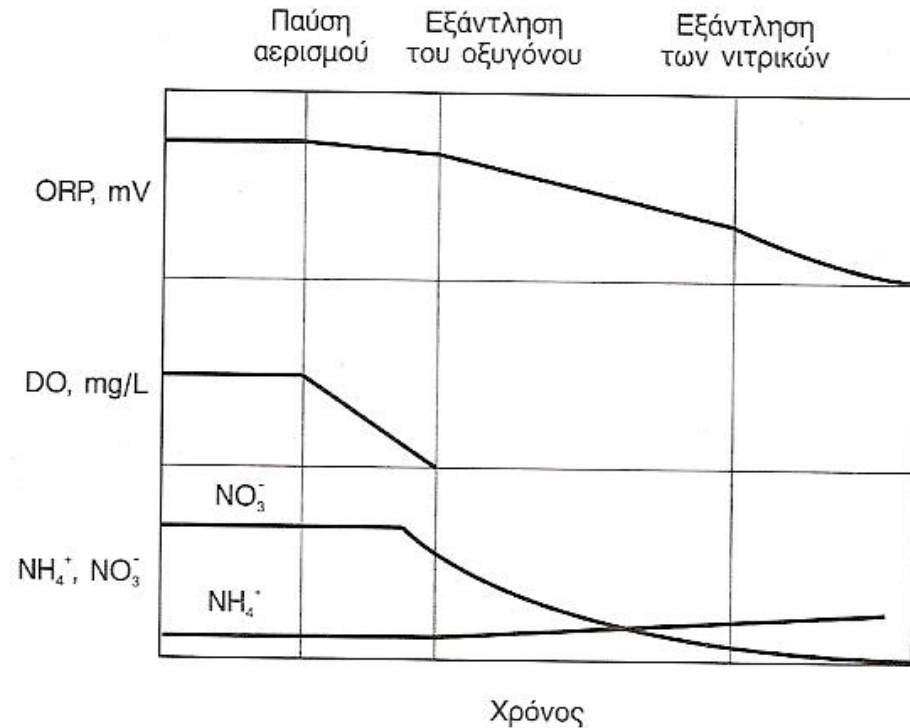
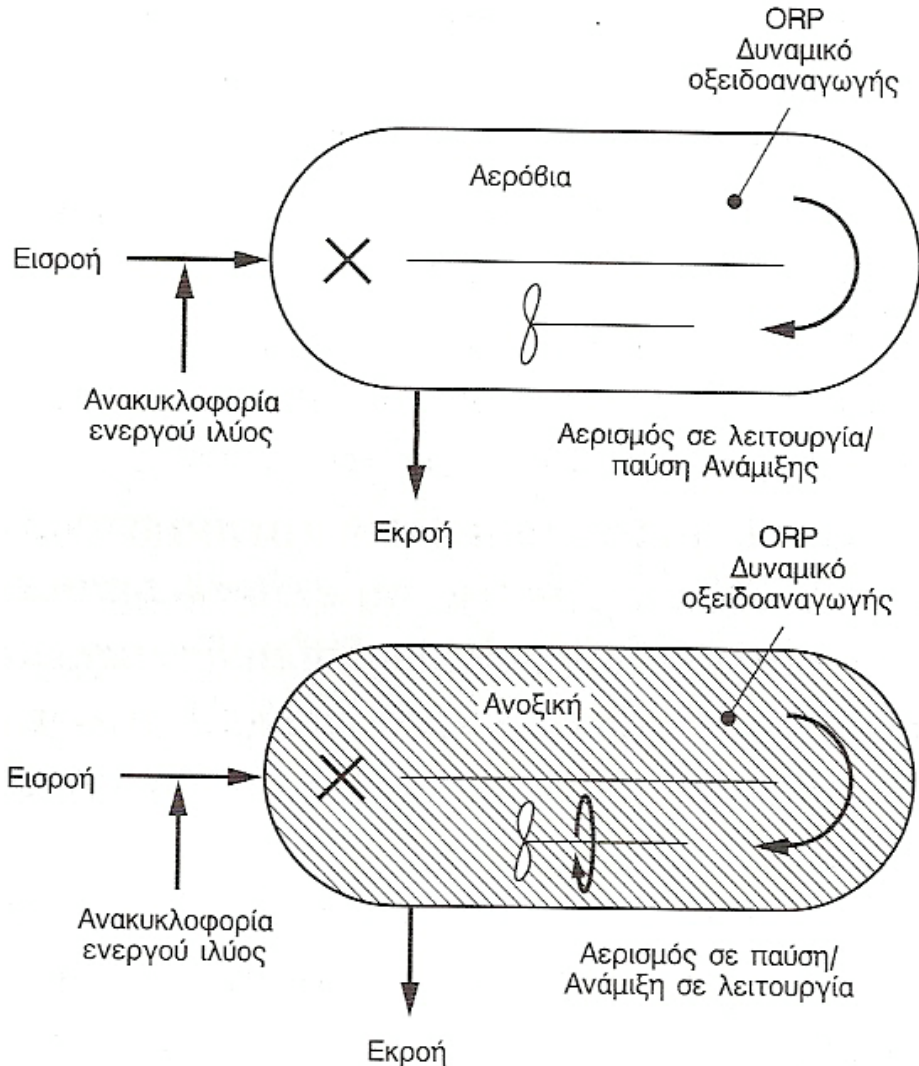
# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Οξειδωτική τάφρος- Nitrox



# Βιολογική αφαίρεση αζώτου

## Οξειδωτική τάφρος- Nitrox



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές

1. Απαιτείται μία αναερόβια δεξαμενή
2. Δεν επιτρέπεται να υφίστανται ή να εισέρχονται από πλάγια ρεύματα ανακυκλοφορίας, διαλυμένο οξυγόνο ή/και νιτρικά
3. Στην αναερόβια δεξαμενή θα πρέπει να είναι διαθέσιμες επαρκείς ποσότητες ευκολαδιασπάσιμου οργανικού φορτίου
4. Απαιτείται η παρουσία μονάδας αφαίρεσης των νιτρικών ή κατ' ελάχιστο αφαίρεση των νιτρικών στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος.

Η κατάταξη των διαφόρων μεθόδων ΒΑΦ βασίζεται ή σύμφωνα με την διάταξη της αναερόβιας δεξαμενής ή με το είδος της αφαίρεση αζώτου.

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές

## 1. Διάταξη αναερόβιας δεξαμενής

Κατά τις διαδικασίες **κυρίου ρεύματος** έρχεται η ιλύς σε επαφή με το συνολικό ρεύμα αποβλήτων.

Στις διαδικασίες **παράλληλου ρεύματος** η αναερόβια δεξαμενή παρατάσσεται στο ρεύμα ανακυκλοφορίας της ιλύος και δεν έχει καμία ή ελάχιστη επαφή με τα υγρά απόβλητα

## 2. Είδος αφαίρεσης του αζώτου

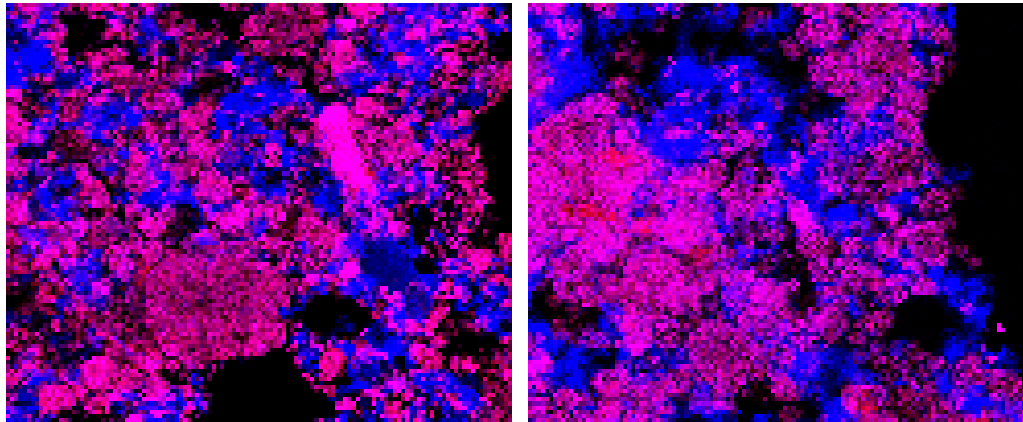
Η αφαίρεση του φωσφόρου μπορεί να επιτευχθεί

- α. Μετά από πλήρη απονιτροποίηση
- β. Μετά από μερική απονιτροποίηση
- γ. Χωρίς καμία απονιτροποίηση

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές μικροβιολογίας

Στη ΒΑΦ, ο φώσφορος στην εισροή είναι ενσωματωμένος στα κύτταρα της βιομάζας και στη συνέχεια απομακρύνεται από τη διεργασία μέσω της απόρριψης της ιλύος.

Οι οργανισμοί που συσσωρεύουν το φώσφορο (Phosphorous Accumulating Organisms, PAO-ροζ-χρώση) αυξάνονται και καταναλώνουν φώσφορο σε συστήματα όπου χρησιμοποιούνται διατάξεις αντιδραστήρων, που παρέχουν στα PAO ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης έναντι των άλλων βακτηρίων.

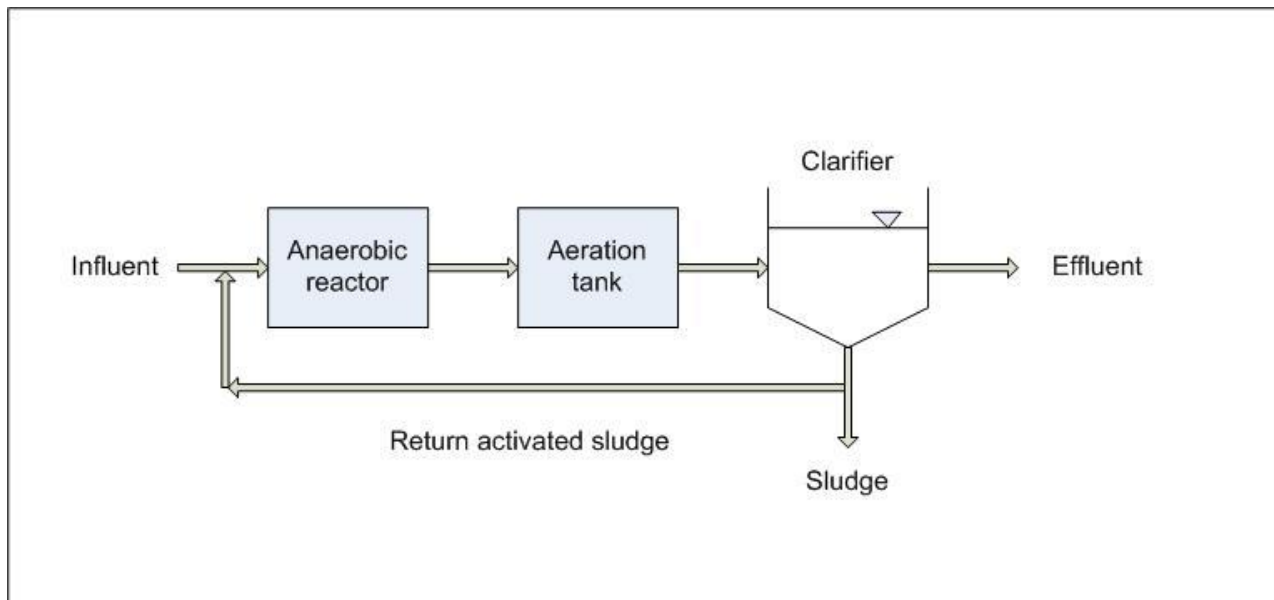


# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές μικροβιολογίας

Η διάταξη των αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του φωσφόρου αποτελούνται από μια **αναερόβια δεξαμενή** με  $\tau$  από 0.50 h ως 0.10 h που βρίσκεται **μπροστά** από μια δεξαμενή αερισμού ενεργού ιλύος (Σχήμα).

Το περιεχόμενο της αναερόβιας δεξαμενής **αναμιγνύεται** ώστε η ενεργός ιλύς που ανακυκλώνεται να έρθει σε επαφή με τα εισερχόμενα υγρά απόβλητα.

Αναερόβιες δεξαμενές επαφής έχουν τοποθετηθεί **μπροστά** από διαφορετικούς τύπους διεργασιών αιωρούμενης βιομάζας με αερόβιες τιμές SRT που κυμαίνονται από 2 μέχρι 40 ημέρες.



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές μικροβιολογίας

Η απομάκρυνση του φωσφόρου στα βιολογικά συστήματα βασίζεται στις ακόλουθες παρατηρήσεις:

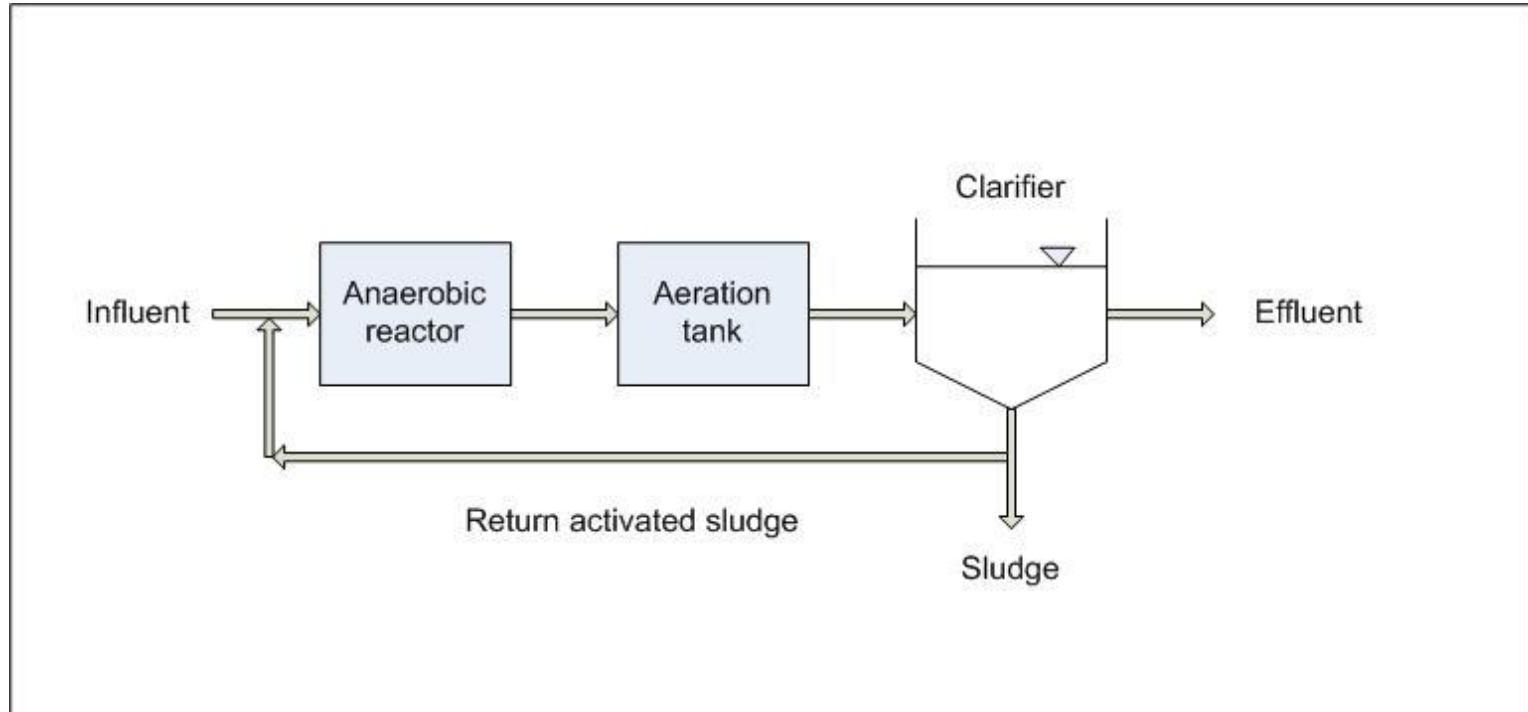
1. Πλήθος βακτηρίων είναι ικανά να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου ως πολυφωσφορικά στα κύτταρά τους.
2. Σε αναερόβιες συνθήκες, τα ΡΑΟ θα αφομοιώσουν τα προϊόντα της ζύμωσης (π.χ. πτητικά λιπαρά οξέα) σε προϊόντα αποθήκευσης μέσα στα κύτταρα, με τη συνακόλουθη έκλυση φωσφόρου από τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά.
3. Σε αερόβιες συνθήκες, παράγεται ενέργεια από την οξείδωση των προϊόντων αποθήκευσης και η αποθήκευση των πολυφωσφορικών στα κύτταρα αυξάνεται .



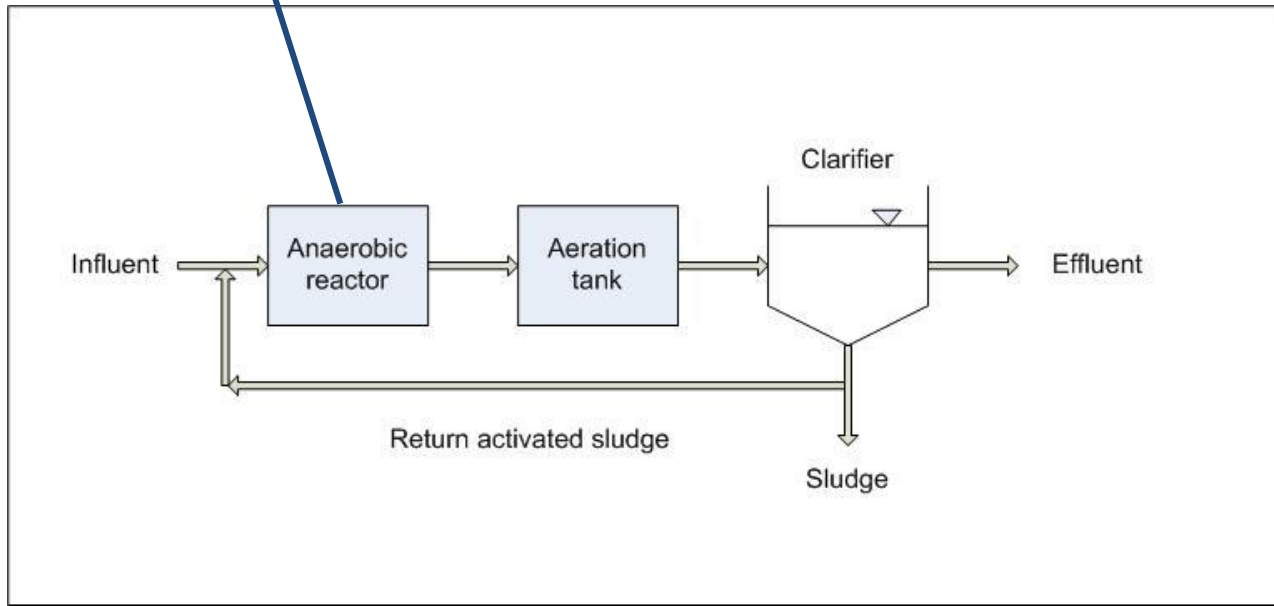
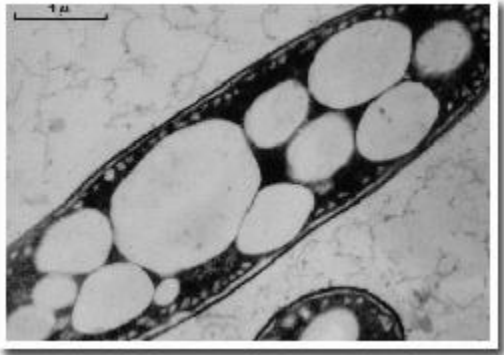
# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές μικροβιολογίας

Σε πολλές εφαρμογές για την απομάκρυνση του φωσφόρου, ένας **ανοξικός** αντιδραστήρας ακολουθεί έναν **αναερόβιο** και προηγείται ενός **αερόβιου** αντιδραστήρα.

Τα περισσότερα PAOs **μπορούν να χρησιμοποιήσουν νιτρικά** αντί του οξυγόνου για να οξειδώσουν την αποθηκευμένη πηγή άνθρακά τους



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου- Βασικές αρχές μικροβιολογίας



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Διεργασίες που Λαμβάνουν Χώρα στην Αναερόβια Ζώνη

➤ Το οξικό οξύ παράγεται από τη ζύμωση του bsCOD

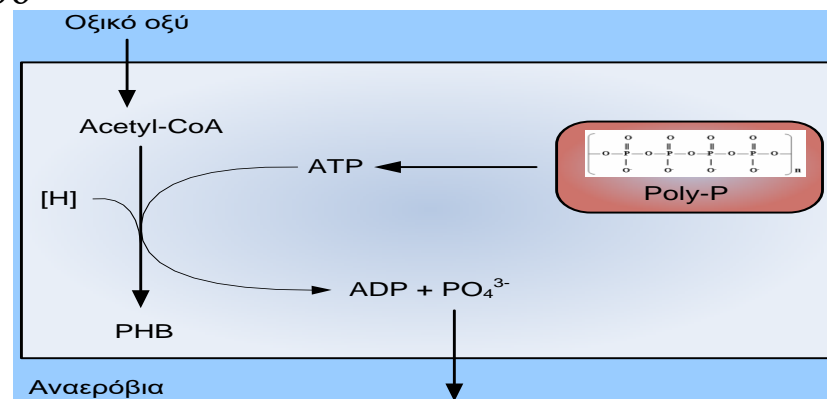
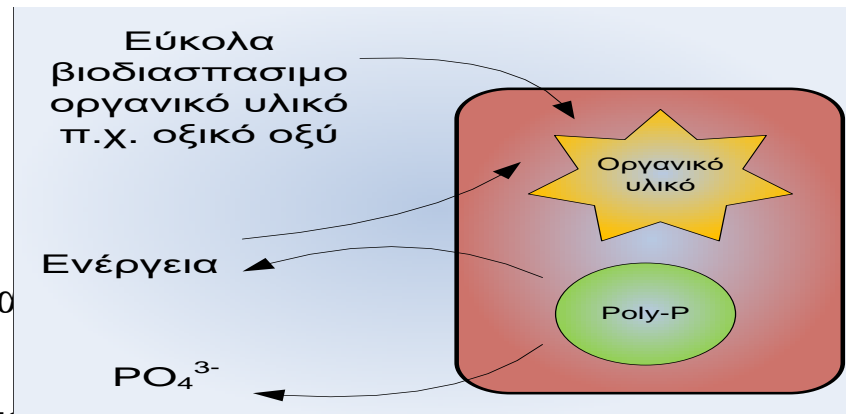
➤ Ανάλογα με την τιμή  $\tau$  για την αναερόβια ζώνη, κλάσμα του κολλοειδούς και του σωματιδιακού COD υδρολύεται και μετατρέπεται σε οξικό οξύ (μικρή ποσότητα σε σχέση με τη μετατροπή του bsCOD).

➤ Τα PAO χρησιμοποιώντας τη διαθέσιμη ενέργεια από τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά, αφομοιώνουν το οξικό οξύ και παράγουν ενδοκυτταρική πολυδροξυβουτυράση ως προϊόντα αποθήκευσης (PHB).

➤ Χρησιμοποιούνται κάποια από τα γλυκογόνα που περιλαμβάνονται στο κύτταρο.

➤ Ταυτόχρονα με τη λήψη του οξικού οξέος, συμβαίνει απελευθέρωση ορθοφωσφορικών ( $\text{o-PO}_4$ ), κατιόντων μαγνησίου, καλίου και ασβεστίου.

➤ Το περιεχόμενο των PAO σε PHB αυξάνει όταν τα πολυφωσφορικά μειώνονται.



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

Διεργασίες που Λαμβάνουν Χώρα στην Αερόβια/Ανοξική Ζώνη

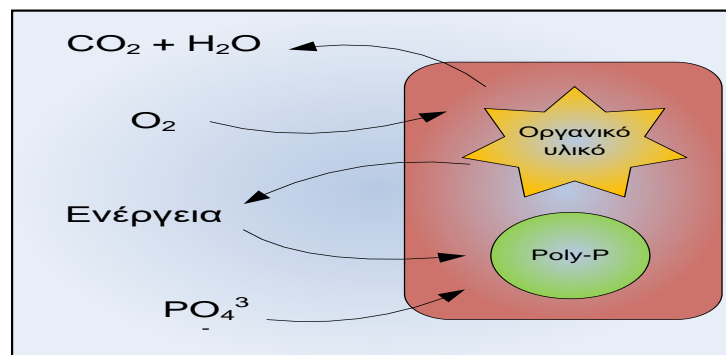
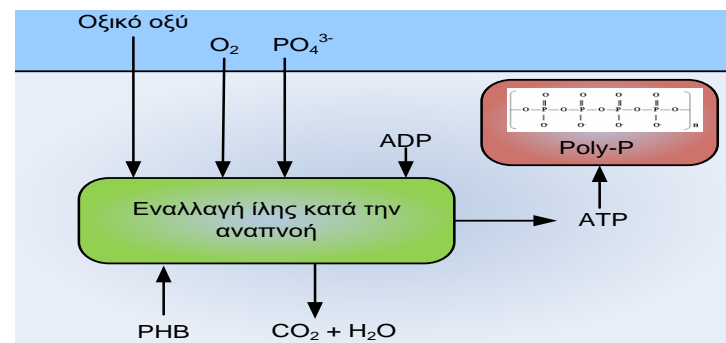
➤ Το αποθηκευμένο **PHB** μεταβολίζεται, παρέχοντας τον άνθρακα και την ενέργεια από την οξείδωση, για την αύξηση των κυττάρων.

➤ Κάποιο γλυκογόνο παράγεται όταν το **PHB** μεταβολίζεται.

➤ Η ενέργεια που εκλύεται από την οξείδωση του **PHB** χρησιμοποιείται για το σχηματισμό πολυφωσφορικών δεσμών στις κυτταρικές αποθήκες, έτσι ώστε τα διαλυτά ορθοφωσφορικά ( $\text{o-PO}_4$ ) να απομακρύνονται από το διάλυμα και να ενσωματώνονται στα πολυφωσφορικά μέσα στα βακτηριακά κύτταρα.

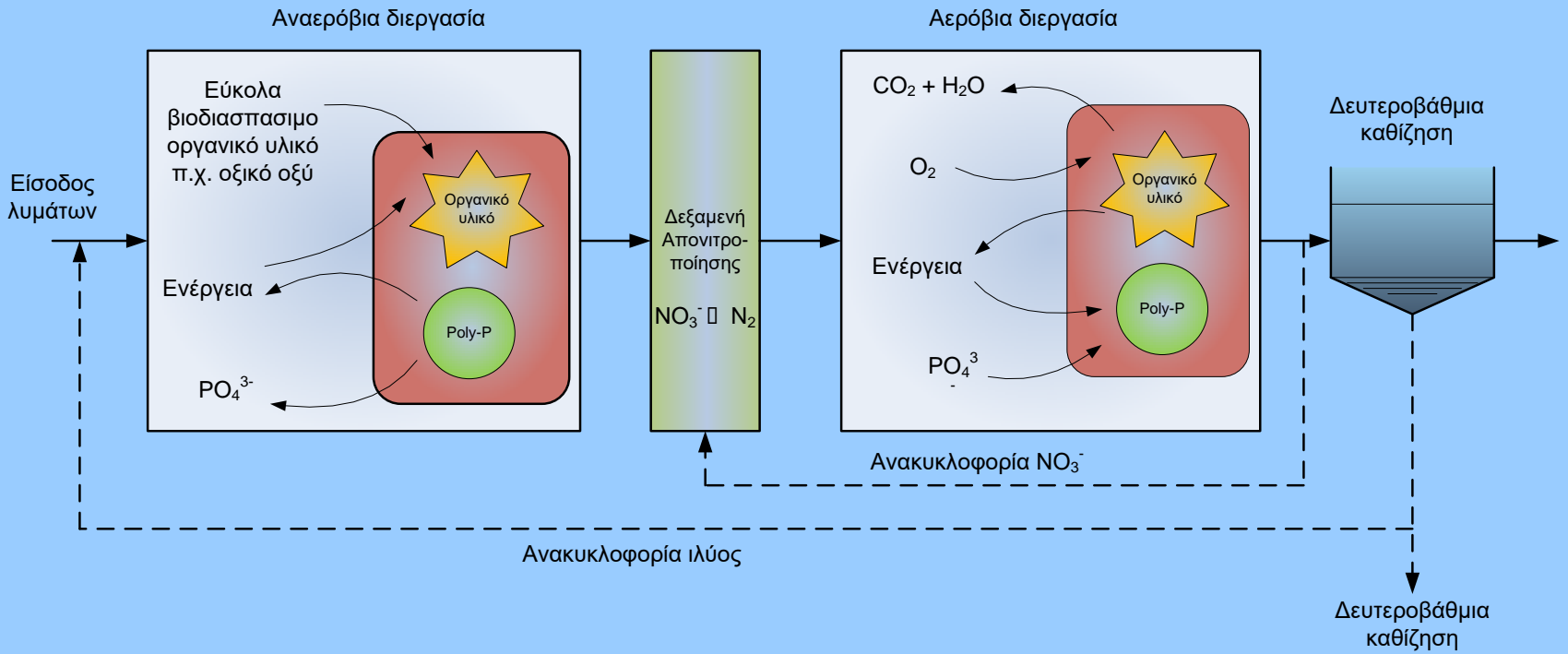
➤ Επιπλέον, λαμβάνει χώρα ανάπτυξη των κυττάρων λόγω κατανάλωσης **PHB** και παράγεται νέα βιομάζα με υψηλή αποθήκευση πολυφωσφορικών

➤ Απομάκρυνση του φωσφόρου με την περίσσεια ιλύ.



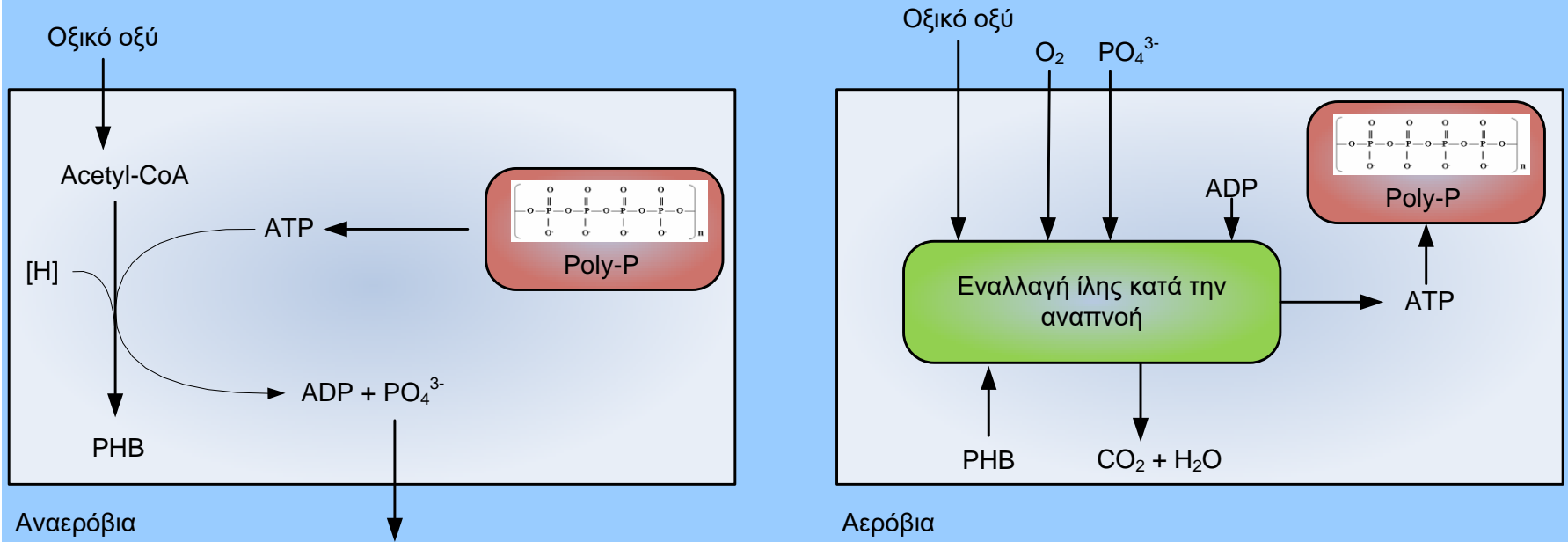
# Μηχανισμός διεργασίας

Βασικός μηχανισμός βιολογικής προσρόφησης φωσφορικών



# Πορεία του διαλυμένου BOD και του φωσφόρου σε αντιδραστήρα απομάκρυνσης θρεπτικών.

Σχήμα των αναερόβιων και αερόβιων αντιδράσεων εναλλαγής της ίλης στο *Acinetobacter* με οξικό οξύ ως υπόστρωμα



ATP = Τριφωσφορική αδενοσίνη, ADP = Διφωσφορική αδενοσίνη, Co-A = Συνένζυμο-A, [H] = Ισοδύναμο αναγωγής (NADH)  
 PHB = Πολύ-β-υδρόξυ-βουτυρικό οξύ (=οργανικό εφεδρικό υλικό), Poly-P = Πολυφωσφορικό

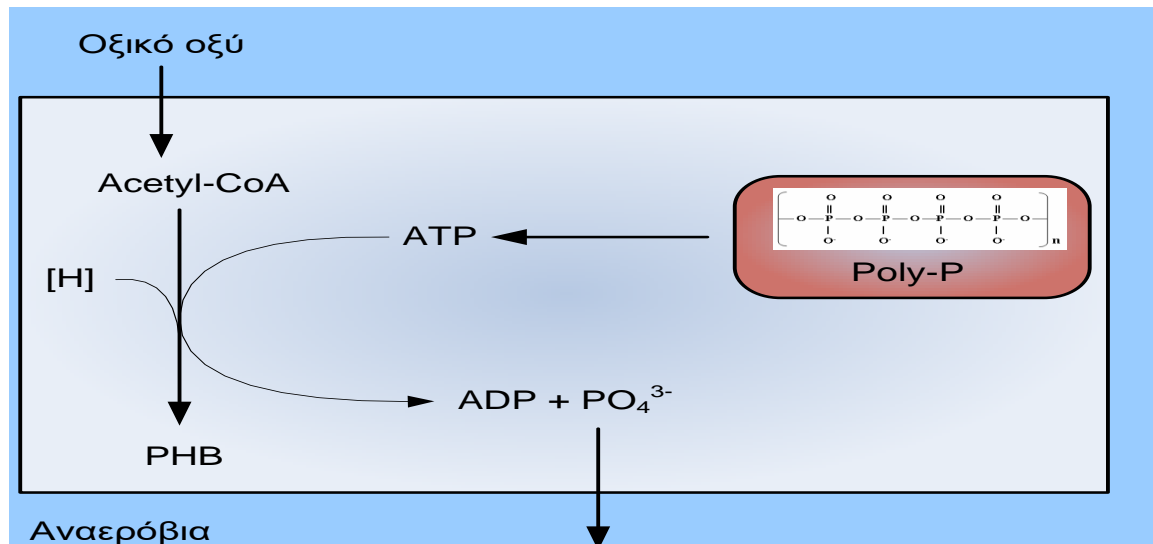
# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Μικροβιολογία

Ο φώσφορος είναι σημαντικός στο **μηχανισμό μεταφοράς ενέργειας στο κύτταρο** μέσω της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και των πολυφωσφορικών.

Όταν παράγεται ενέργεια στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, η διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) μετατρέπεται σε ATP και 7.4 kcal/mole ενέργειας δεσμεύεται στους φωσφορικούς δεσμούς.

Καθώς το κύτταρο καταναλώνει ενέργεια, το ATP μετατρέπεται σε ADP με απελευθέρωση φωσφόρου.



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Μικροβιολογία

Για τα συνηθισμένα ετερότροφα βακτήρια στην επεξεργασία ενεργού ιλύος, η τυπική σύνθεση σε φώσφορο είναι 1.5 ως 2.0 %.

Ωστόσο, πολλά βακτήρια μπορούν να αποθηκεύσουν φώσφορο στα κύτταρά τους με τη μορφή εμπλουτισμένων πολυφωσφορικών, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε φώσφορο να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, 20 ως 30 % του ξηρού βάρους.

Τα πολυφωσφορικά περιέχονται σε σωματίδια, μέσα στα κύτταρα, μαζί με κατιόντα  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  και  $K^+$ .



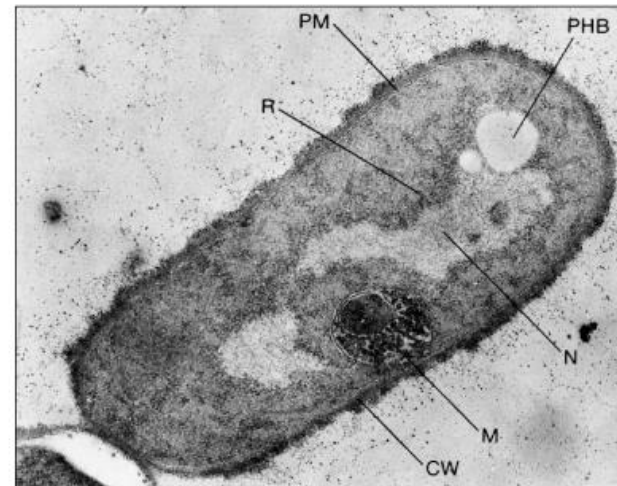
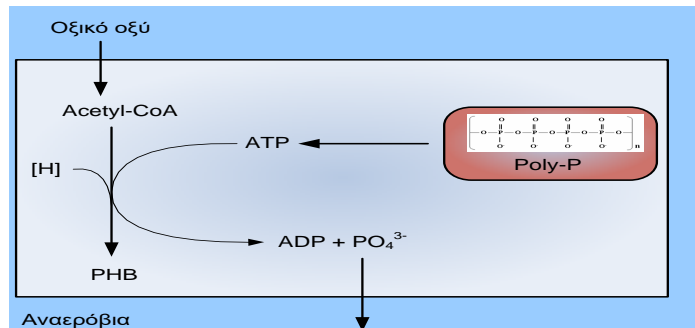
# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Μικροβιολογία

Στην αναερόβια ζώνη, υψηλές συγκεντρώσεις ο-PO<sub>4</sub> μπορούν να μετρηθούν στο υγρό έως 40 mg/L, σε σύγκριση με τη συγκέντρωση στην εισροή που είναι συνήθως 5 ως 8 mg/L.

Η υψηλή συγκέντρωση σε ο-PO<sub>4</sub> σε αυτήν την ζώνη είναι μια ένδειξη πιθανής απελευθέρωσης φωσφόρου από τα βακτήρια.

Επίσης σε αυτήν την ζώνη, βρίσκονται σημαντικές ποσότητες της πολυ-β-υδροξυβουτυράσης (PHB), αποθηκευμένης στα κύτταρα των βακτηρίων, αλλά η συγκέντρωση της PHB μειώνεται αρκετά στις ακόλουθες ανοξικές ή/και αερόβιες ζώνες και μπορεί να αναλυθεί και να μετρηθεί.

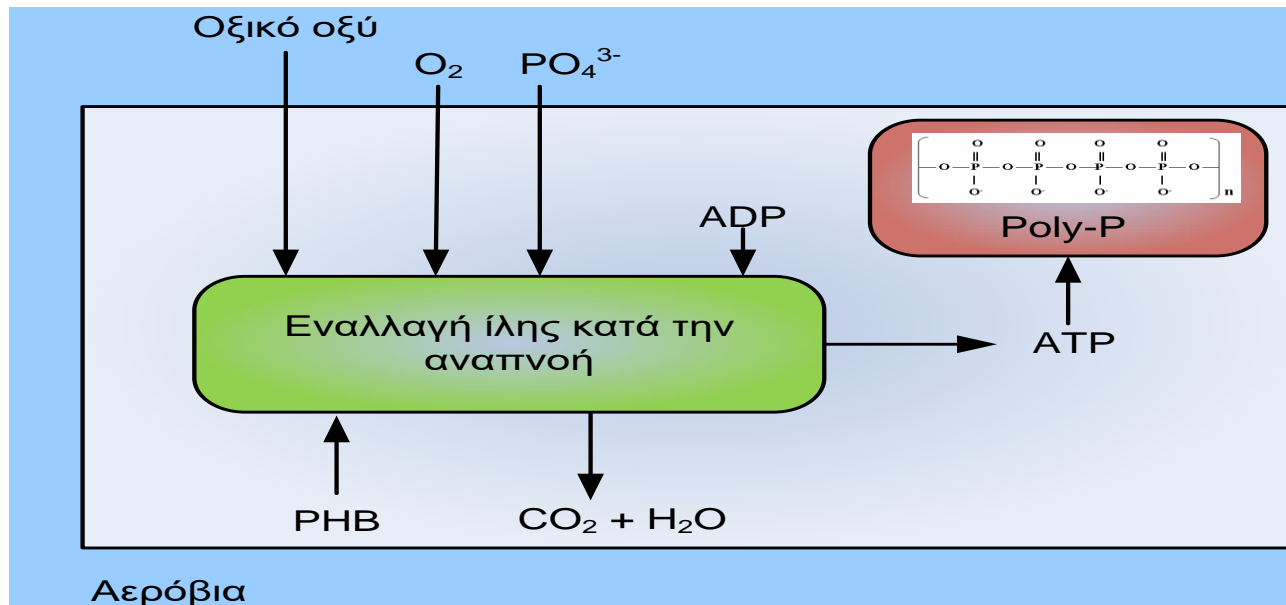


# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

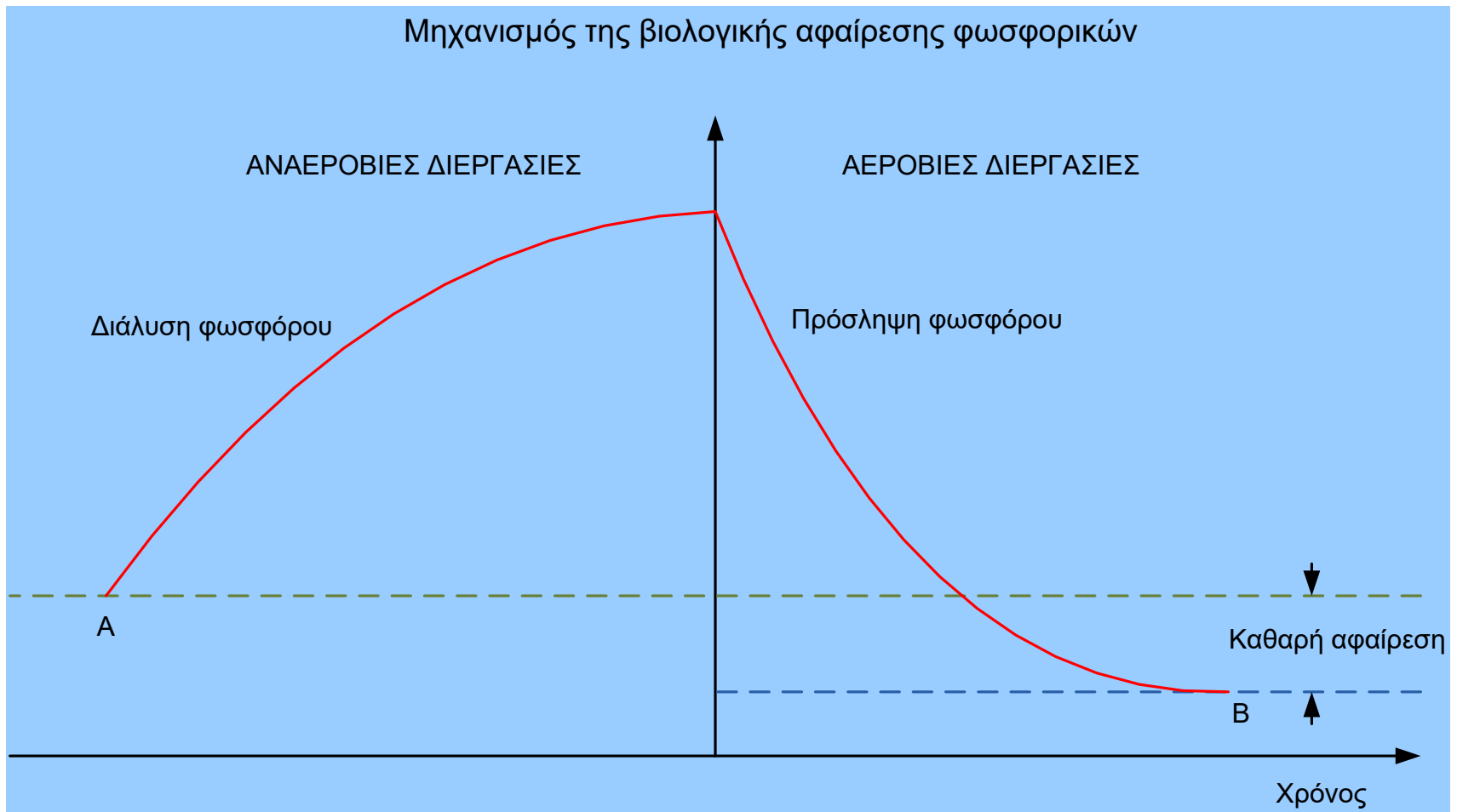
## Μικροβιολογία

Το  $\text{o-PO}_4$  λαμβάνεται από τα διαλύματα στις αερόβιες και ανοξικές ζώνες, και οδηγεί γενικά σε πολύ χαμηλές υπολειμματικές συγκεντρώσεις.

Το οξικό οξύ είναι σημαντικό για τον σχηματισμό PHB υπό αναερόβιες συνθήκες, δίνονται ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα στα ΡΑΟ.



# Πορεία του διαλυμένου BOD και του φωσφόρου σε αντιδραστήρα απομάκρυνσης θρεπτικών.



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Μικροβιολογία

Η αναερόβια ζώνη στην αναερόβια/αερόβια επεξεργασία καλείται και «επιλογέας», επειδή παρέχει τις συνθήκες που ευνοούν τον πολλαπλασιασμό των ΡΑΟ,

*(ένα μέρος του εισερχόμενου bCOD καταναλώνεται από τα ΡΑΟ και όχι άλλα ετερότροφα βακτήρια)*

Τα ΡΑΟ προτιμούν υποστρώματα που είναι προϊόντα ζύμωσης με χαμηλό μοριακό βάρος,

↳ η προτιμώμενη πηγή τροφής δεν θα ήταν διαθέσιμη χωρίς την αναερόβια ζώνη που παρέχει τη ζύμωση του εισερχόμενου bsCOD σε οξικό οξύ

Εξαιτίας της ικανότητας αποθήκευσης πολυφωσφορικών, τα ΡΑΟ έχουν διαθέσιμη αρκετή ενέργεια για να αφομοιώσουν το οξικό οξύ στην αναερόβια ζώνη.

*(ενώ άλλα αερόβια ετερότροφα βακτήρια δεν έχουν τέτοιο μηχανισμό για τη λήψη οξικού οξέος και δεν βρίσκουν τροφή)*

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Μικροβιολογία

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα ΡΑΟ σχηματίζουν **πολύ πυκνά συσσωματώματα** στην ενεργό ιλύ, με ικανοποιητικές **ιδιότητες καθίζησης**, το οποίο αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα.

Σε μερικές εγκαταστάσεις, η αναερόβια/αερόβια ακολουθία διεργασιών χρησιμοποιήθηκε εξαιτίας του πλεονεκτήματος της ιλύος για καθίζηση, ακόμα κι αν δεν απαιτούνταν βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου.

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Μικροβιολογία

Πρέπει να δοθεί προσοχή στη διαχείριση της απορριπτόμενης ιλύος από συστήματα βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου, διότι μπορεί να οδηγήσει σε μια χαμηλότερη αποδοτικότητα ως προς την απομάκρυνση φωσφόρου βιολογικής διεργασίας (δευτερογενής απελευθέρωση):

1. Όταν η ιλύς αποθηκεύεται σε αναερόβιες συνθήκες συμβαίνει απελευθέρωση φωσφόρου.
2. Απελευθέρωση ο-PO<sub>4</sub> είναι δυνατή ακόμη και χωρίς προσθήκη οξικού οξέος, αφού τα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως πηγή ενέργειας τα αποθηκευμένα πολυφωσφορικά.
3. Η απελευθέρωση ο-PO<sub>4</sub> μπορεί επίσης να λαμβάνει χώρα μετά από παρατεταμένο χρόνο επαφής στην αναερόβια ζώνη του συστήματος βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου.

*(Στην περίπτωση αυτή ο εκκλύομενος φώσφορος δεν μπορεί να ληφθεί στην αερόβια ζώνη, επειδή η απελευθέρωση δεν συνοδεύεται από λήψη οξικού οξέος και αποθήκευση PHB για επόμενη οξείδωση)*

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Απομάκρυνσης Φωσφόρου

↳ Η πρόσληψη οξικού οξέος στην αναερόβια ζώνη είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό της ιδιότητας των ΡΑΟ που θα παραχθούν και επομένως, της ποσότητας του φωσφόρου που μπορεί να απομακρυνθεί.

↳ Όταν εισέλθουν στην αναερόβια ζώνη σημαντικές ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου ή νιτρικών, το οξικό οξύ μπορεί να μειωθεί προτού να χρησιμοποιηθεί από τα ΡΑΟ και η απόδοση της επεξεργασίας θα ελαττωθεί.

↳ Η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου δεν χρησιμοποιείται στα συστήματα που σχεδιάζονται με νιτροποίηση και στα οποία δεν περιλαμβάνονται μέσα για την απονιτροποίηση

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Απομάκρυνσης Φωσφόρου

Η ποσότητα του φωσφόρου που απομακρύνεται με βιολογική αποθήκευση μπορεί να υπολογιστεί από την ποσότητα του bsCOD που διατίθεται από τα υγρά απόβλητα στην εισροή, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του bsCOD θα μετατραπεί σε οξικό οξύ στο μικρό αναερόβιο υδραυλικό χρόνο παραμονής τ.

Στον υπολογισμό της στοιχειομετρίας για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες υποθέσεις:

1. 1.06 g οξικού οξέος/g bsCOD θα παραχθεί, αφού το μεγαλύτερο μέρος του COD που υφίσταται ζύμωση θα μετατραπεί σε VFA λόγω της χαμηλής κυτταρικής απόδοσης από τη διαδικασία της ζύμωσης,
2. μια κυτταρική απόδοση 0.30 g VSS/g οξικού οξέος και
3. περιεκτικότητα κυττάρων σε φώσφορο 0.3 g P/gVSS.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραδοχές για την απομάκρυνση 1 g φωσφόρου από το μηχανισμό βιολογικής αποθήκευσης απαιτούνται 10 g bsCOD.



# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Στοιχειομετρία της Βιολογικής Απομάκρυνσης Φωσφόρου

Η βέλτιστη λειτουργία για τα συστήματα απομάκρυνσης του φωσφόρου επιτυγχάνεται όταν το bsCOD ή το οξικό οξύ είναι διαθέσιμα με ένα σταθερό ρυθμό.

Περίοδοι τροφοπενίας ή χαμηλών συγκεντρώσεων bsCOD έχουν ως αποτέλεσμα, μεταβολές

1. στην ενδοκυτταρική αποθήκευση του γλυκογόνου,
2. των PHB και των πολυφωσφορικών και
3. γρήγορα οδηγούν σε μειωμένη αποδοτικότητα την απομάκρυνση του φωσφόρου

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Κινητική της Ανάπτυξης

Η κινητική ανάπτυξης κατά τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αντίστοιχα ετερότροφα βακτήρια.

Οι Mamais and Jenkins (1992) έδειξαν ότι η βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου μπορεί να διατηρηθεί στα αναερόβια/αερόβια συστήματα όταν το **SRT** είναι μεγαλύτερο από 2.5 ημέρες στους 20°C.

Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός αύξησης στους 20° C δίνεται ως 0.95 g/g\_d (Barker and Dold, 1997).

# Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου

## Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

1. Η απόδοση των συστημάτων δεν επηρεάζεται από το DO εφόσον η συγκέντρωση του DO στην αερόβια ζώνη είναι υψηλότερη από 1.0 mg/L. Σε τιμές pH κάτω από 6.5, η απόδοση της απομάκρυνσης του φωσφόρου μειώνεται σημαντικά (Sedlak, 1991).
2. Στα βιολογικά συστήματα απομάκρυνσης φωσφόρου, πρέπει να είναι διαθέσιμα επαρκή κατιόντα που συνδέονται με την αποθήκευση των πολυφωσφορικών.
3. Οι συνιστάμενοι μοριακοί λόγοι του Mg, K και Ca προς το φώσφορο είναι 0.71, 0.50 και 0.25, αντίστοιχα (Wentzel et al., 1989).
  - 3.1 Κατά συνέπεια, για μια διαλυτή συγκέντρωση φωσφόρου στην εισροή 10 mg/L, θα απαιτούνται 5.6, 6.3 και 3.2 mg/L Mg, K και Ca, αντίστοιχα.
  - 3.2 Οι σχετικές ποσότητες αυτών των κατιόντων που σχετίζονται με την αποθήκευση των φωσφορικών είναι 0.28, 0.26 και 0.09 mole/mole φωσφόρου, αντίστοιχα (Sedlak, 1991).
  - 3.3 Στα περισσότερα αστικά λύματα υπάρχει ικανοποιητική ποσότητα