

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ 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

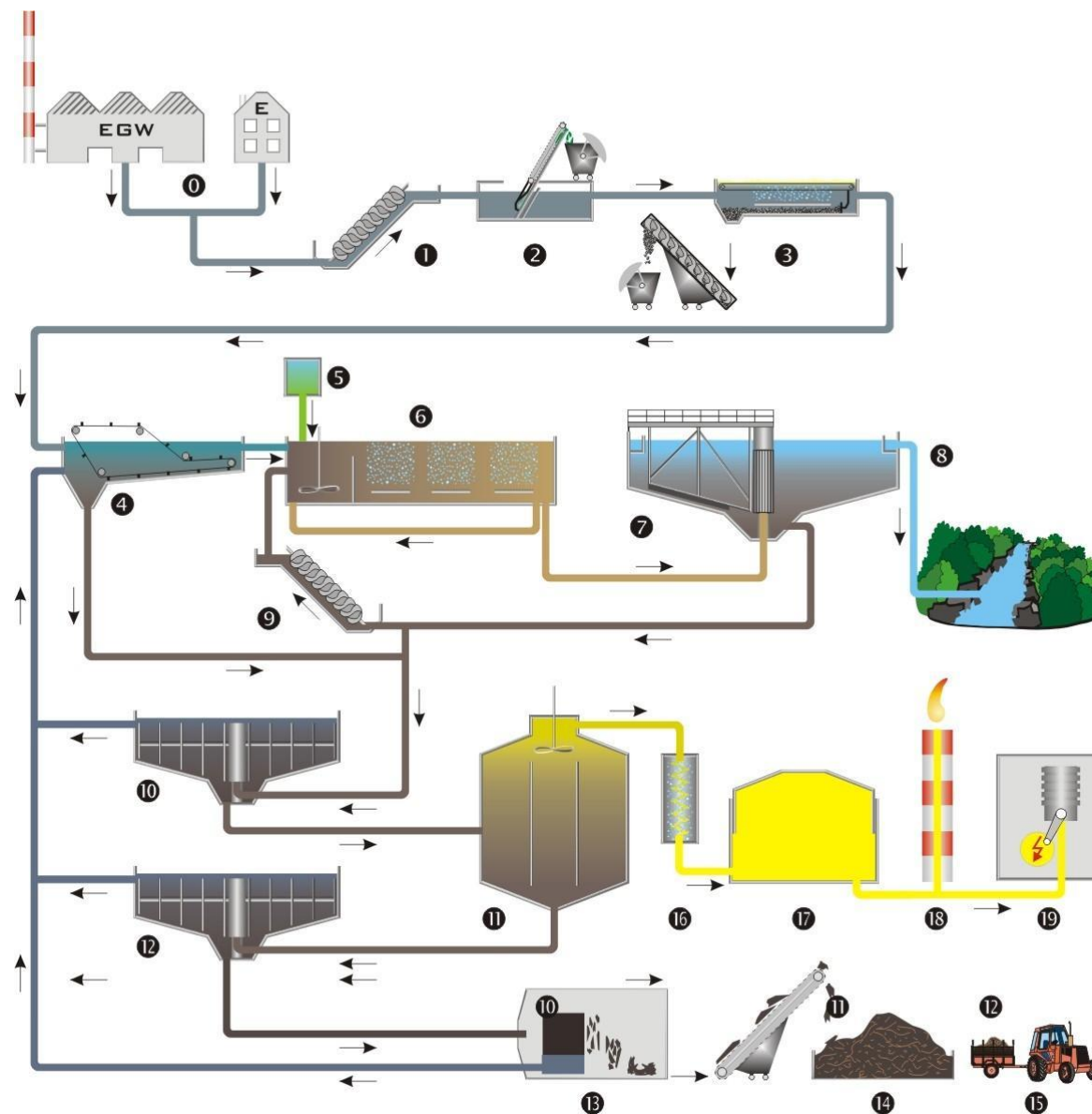
# Γιατί είναι απαραίτητη η επεξεργασία των υγρών απόβλητων;

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

(Πηγή: Διαδίκτυο)

# 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



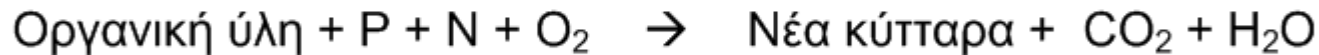
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

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**.

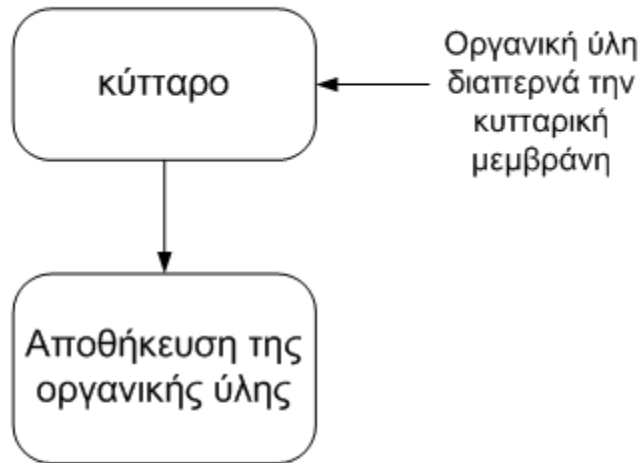
Οι **μη υδατοδιαλυτές ενώσεις**, προσκολλώνται στα τριχίδια του κυττάρου, το οποίο εκκρίνει υδρολυτικά ένζυμα, με τα οποία τις διασπά σε άλλες μικρομοριακές ενώσεις.

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

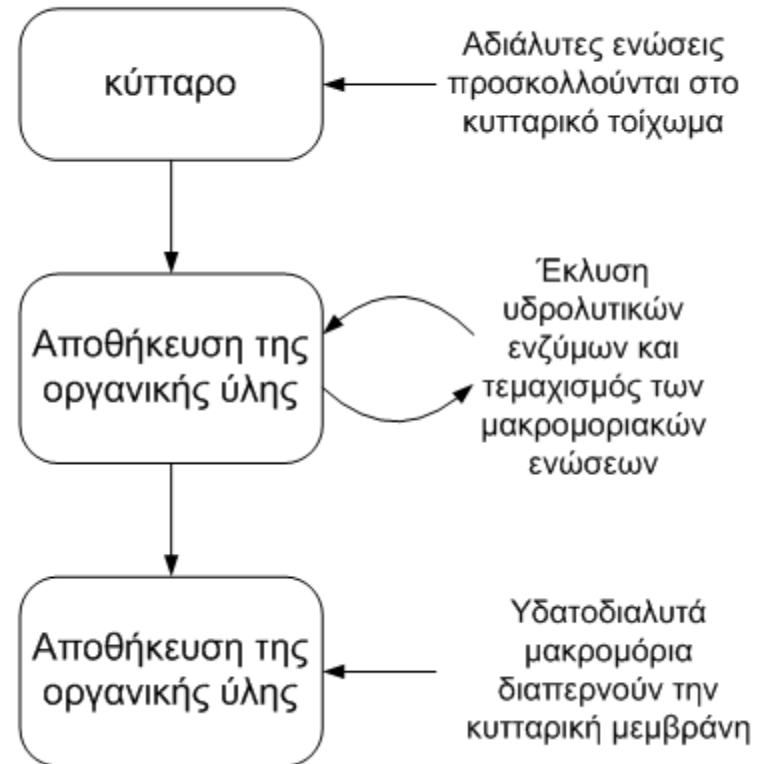
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

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

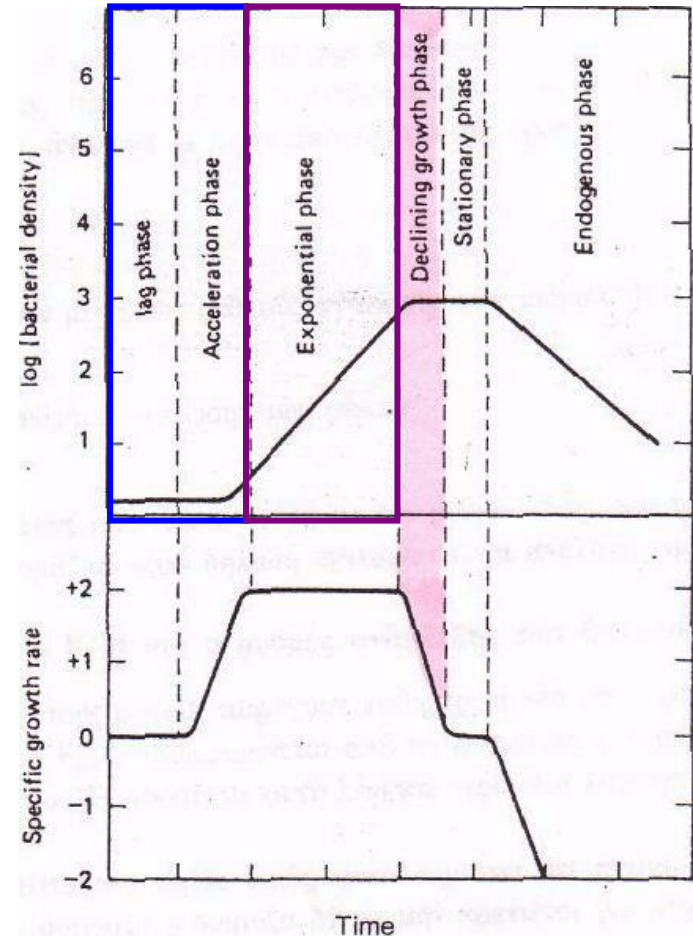
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

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.



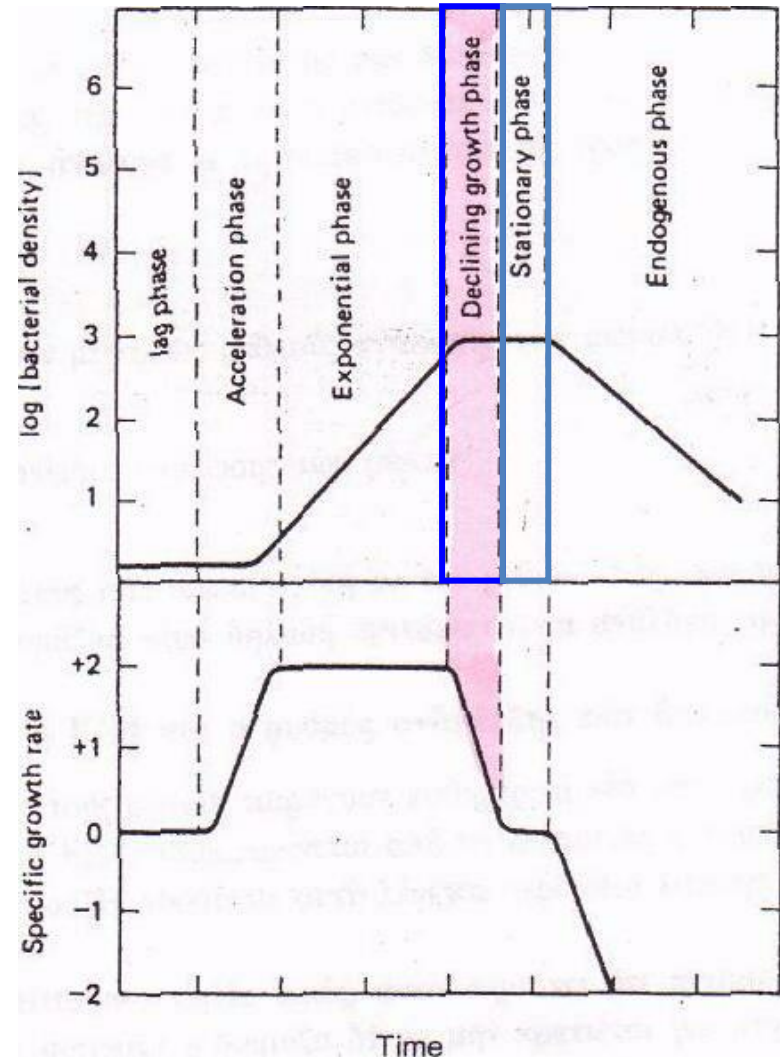
# Το σύστημα της ενεργού ιλύος

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:

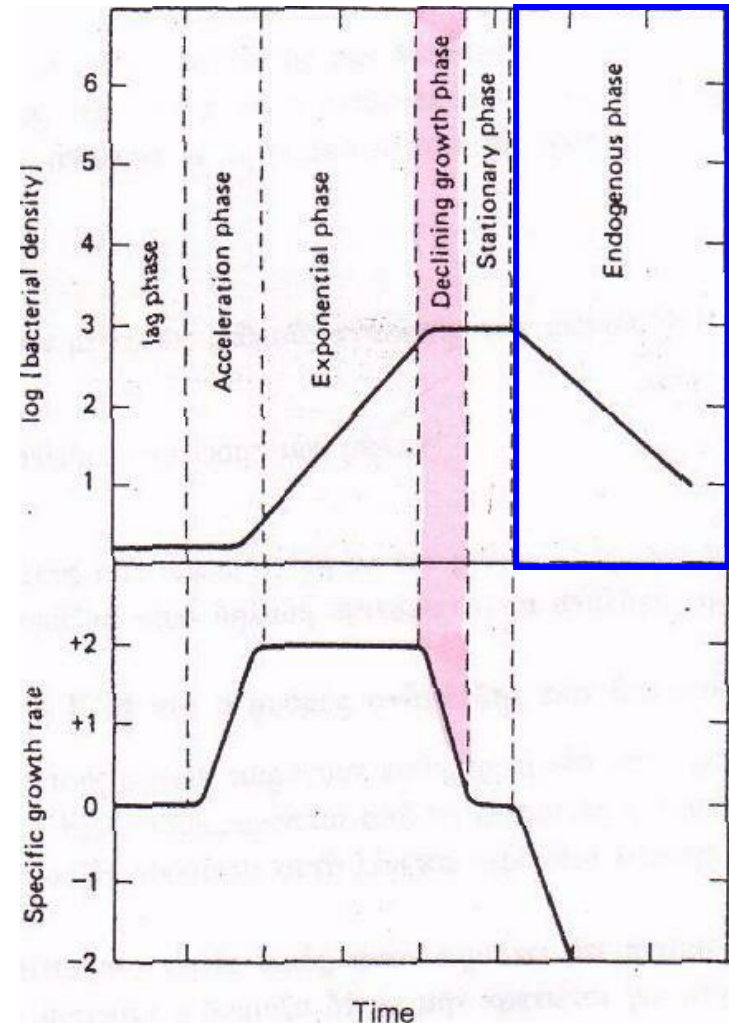
Την μικρή προσφορά **τροφής**

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.

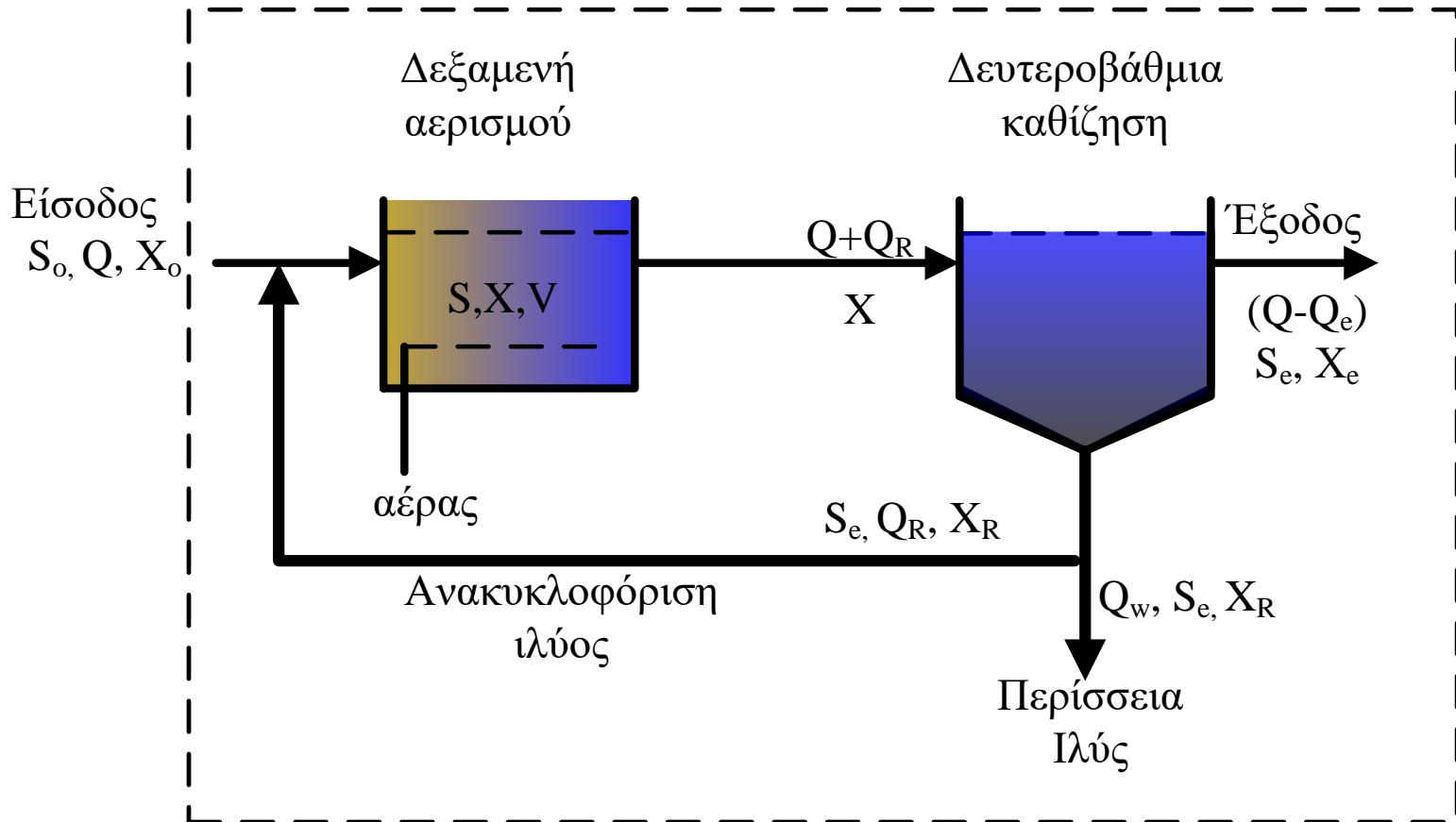
**Οι νιφάδες της ενδογενούς αναπνοής είναι μικρού μεγέθους, με μεγάλο ποσοστό ανόργανων, είναι συμπαγείς και καθιζάνουν πολύ γρήγορα.**



**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.

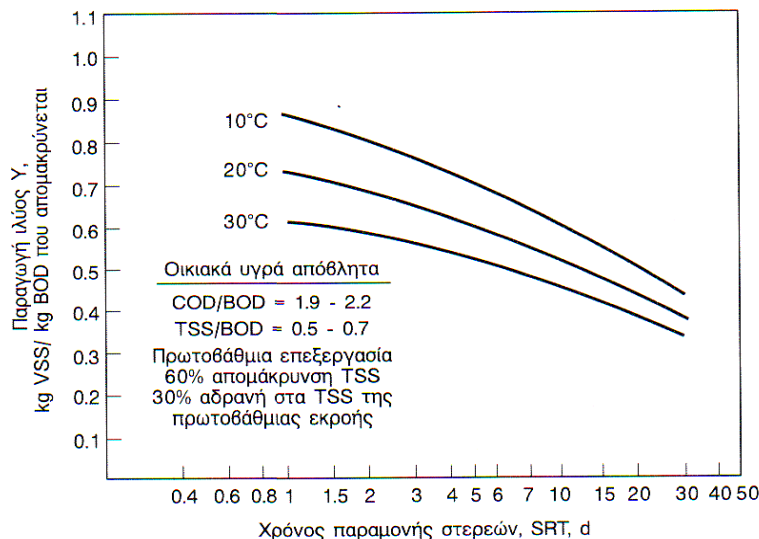
Για μια γρήγορη σχεδιαστική προσέγγιση χρησιμοποιούμε τον τύπο:

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

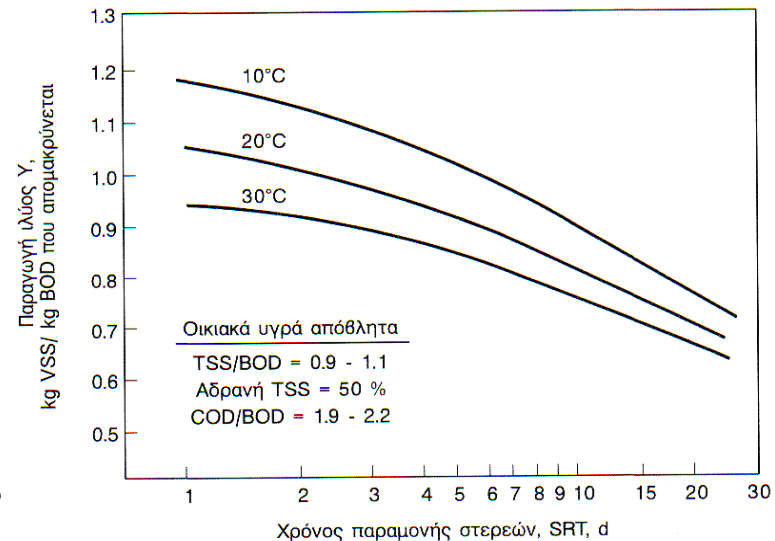
# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 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



(a)



(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
$\theta_{\text{τιμές}}$			
$\mu_m$	-	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 <sub>n</sub>	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
$\theta_{\text{τιμές}}$			
$\mu_n$	-	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

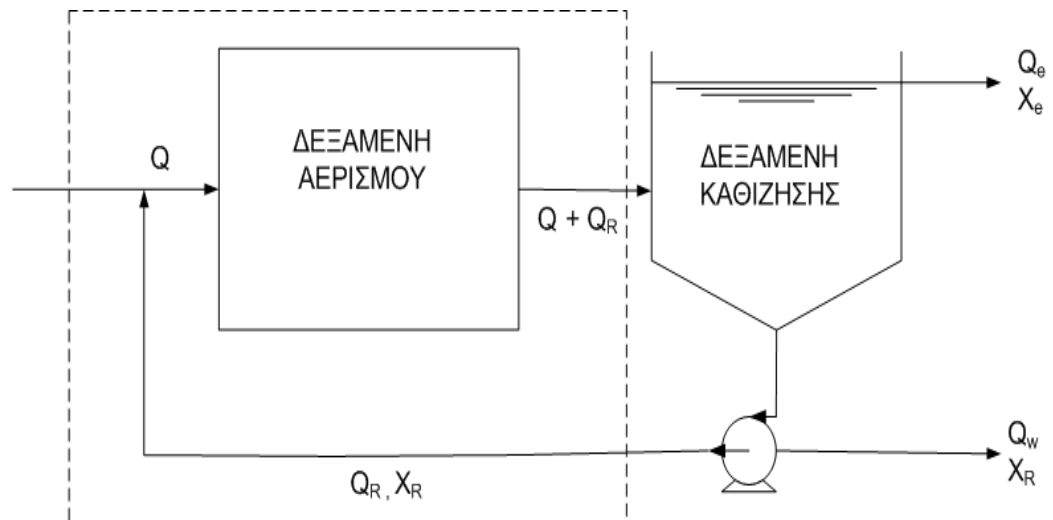
*Ισοζύγιο μάζας για την τον προσδιορισμό της σχέσης ανακυκλοφόρησης ιλύος στην ΔΑ*

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

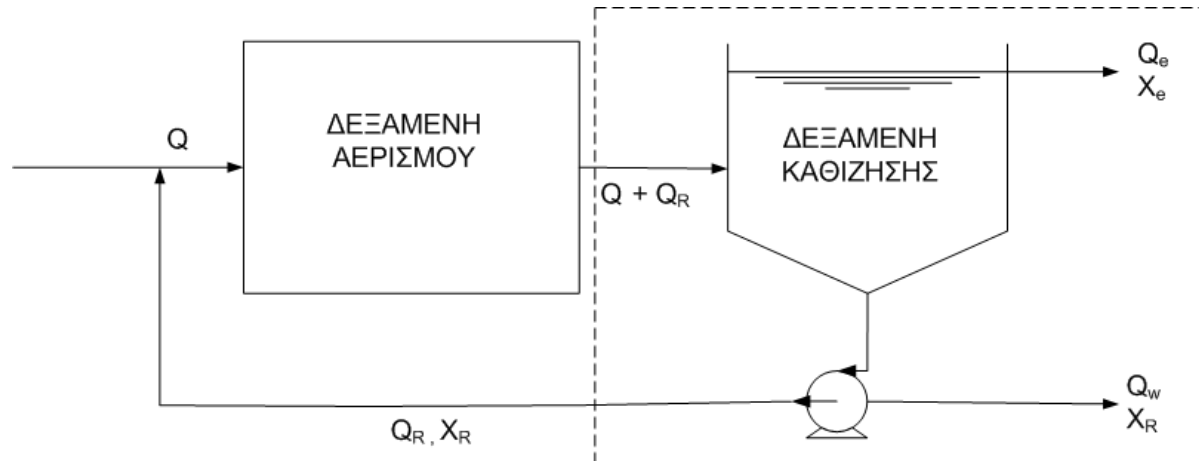
## 5. Προσδιορισμός της σχέσης ανακυκλοφορίας ιλύος

*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

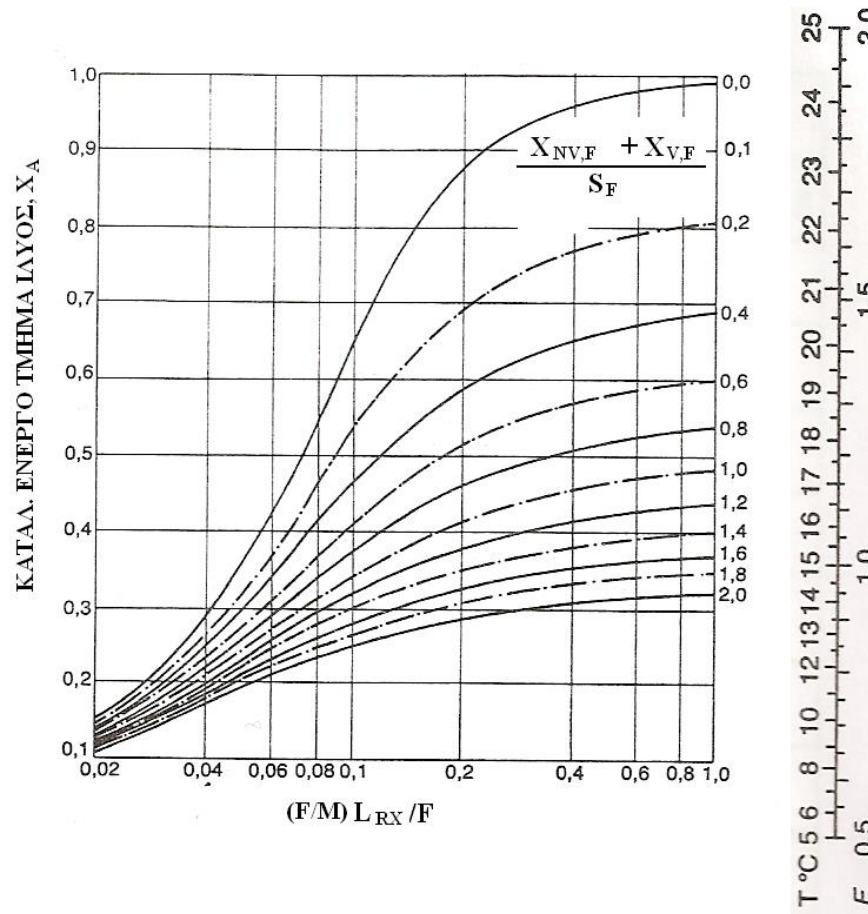
Νομόγραμμα για τον προσδιορισμό του  $r$  από δοθείσες τιμές στερεών στην  $\Delta A$  και στην ανακυκλοφορία



# 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:

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

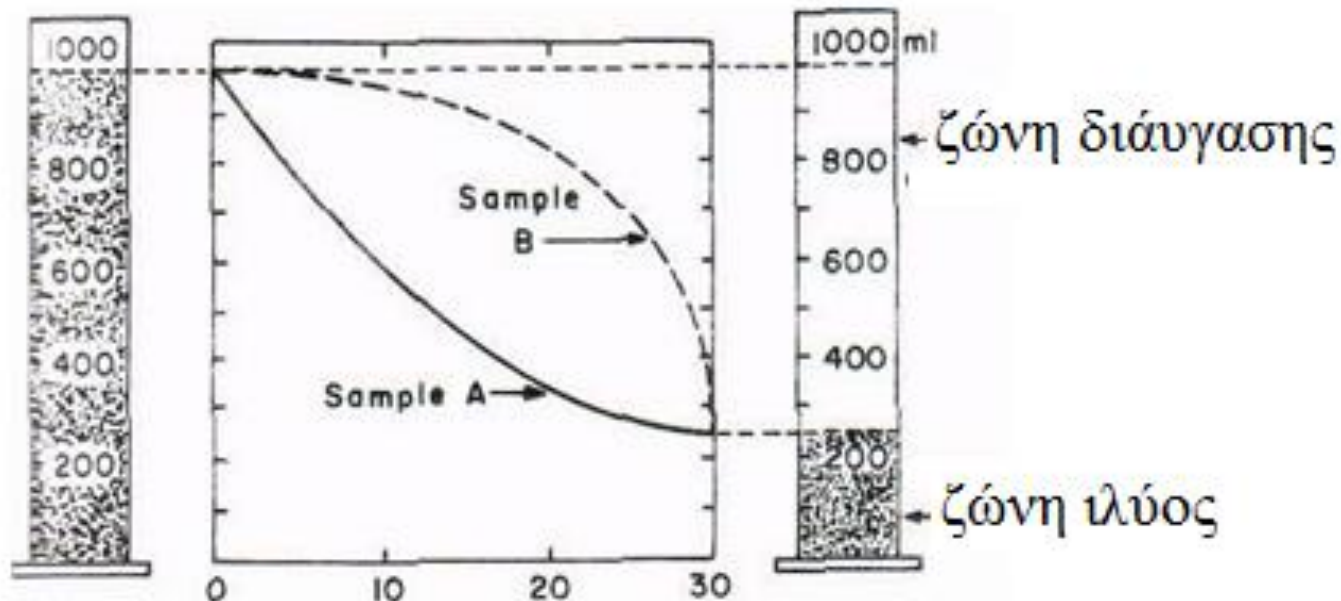


# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 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.



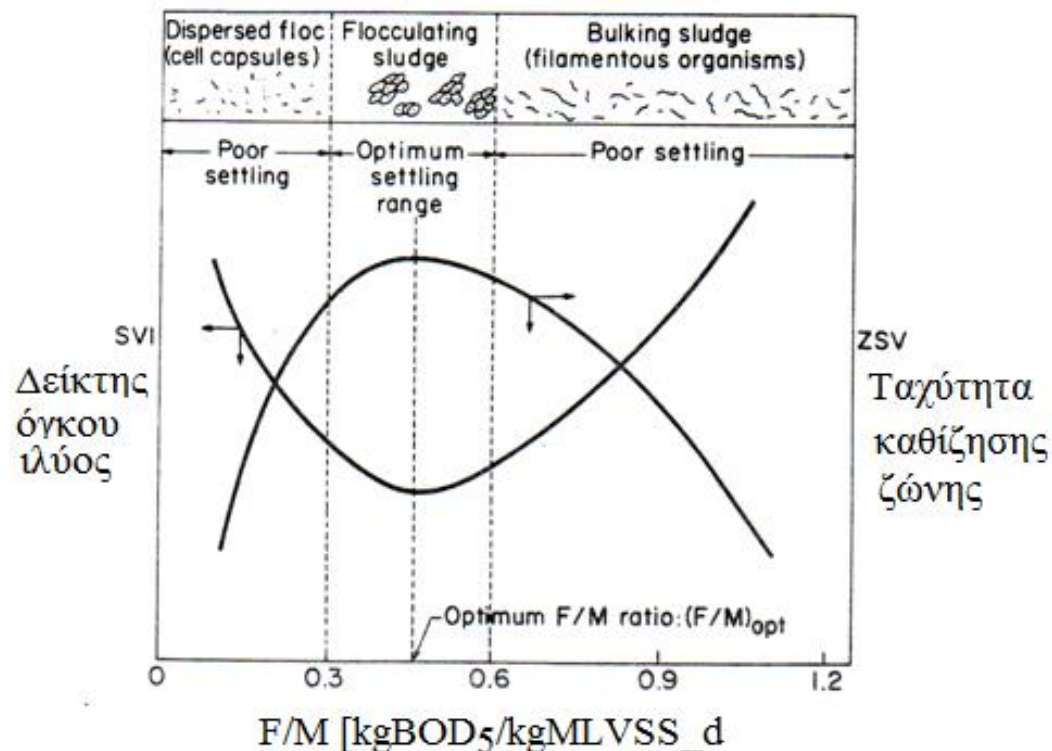
# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

## 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:

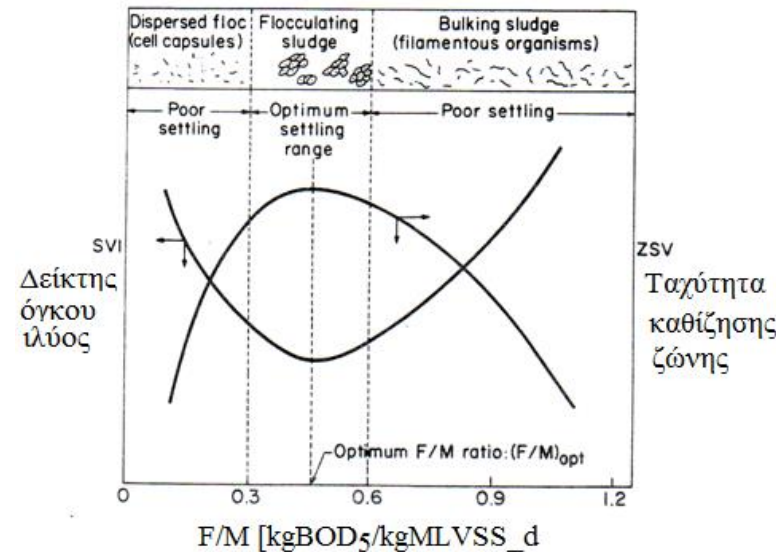
1)

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

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:

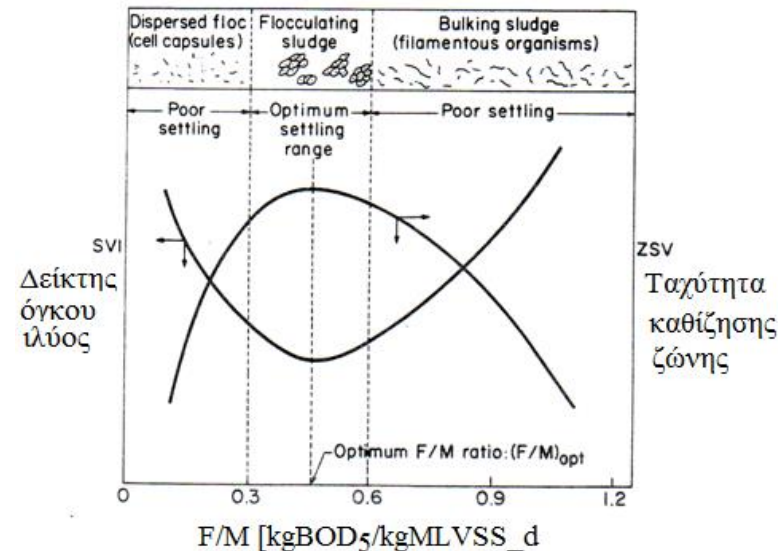
2)

$$F/M > 0,6$$

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

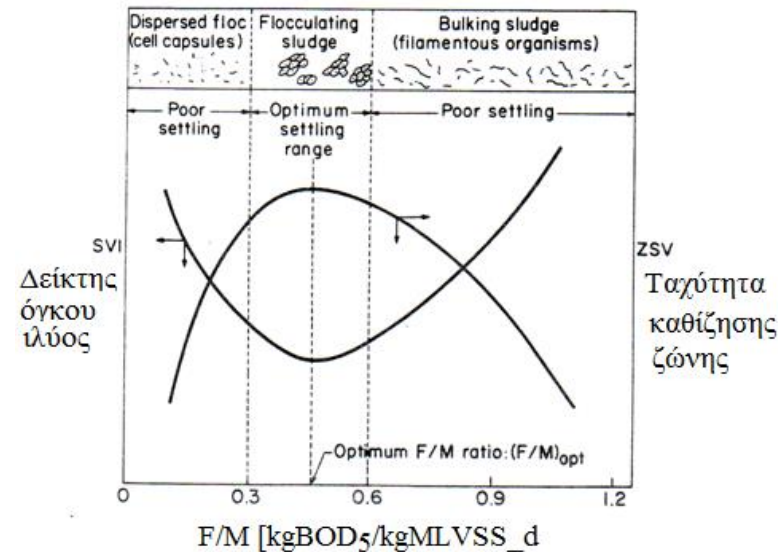
## 6. Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)

Εξήγηση του φαινομένου:

3)

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

Λαμβάνεται ιλύς με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης συσσωματωμένη ή συμπαγή.



# 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:

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

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 υπερχείλισης 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 υπερχείλισης 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 υπερχείλισης στηρίζονται στην παροχή των υγρών αποβλήτων και όχι στην παροχή του μικτού υγρού επειδή ο ρυθμός υπερχείλισης 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 υπερχείλισης 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.

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

# 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