

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Διάλεξη 5: Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Ενεργός Ιλύς

Ανέστης Βλυσίδης

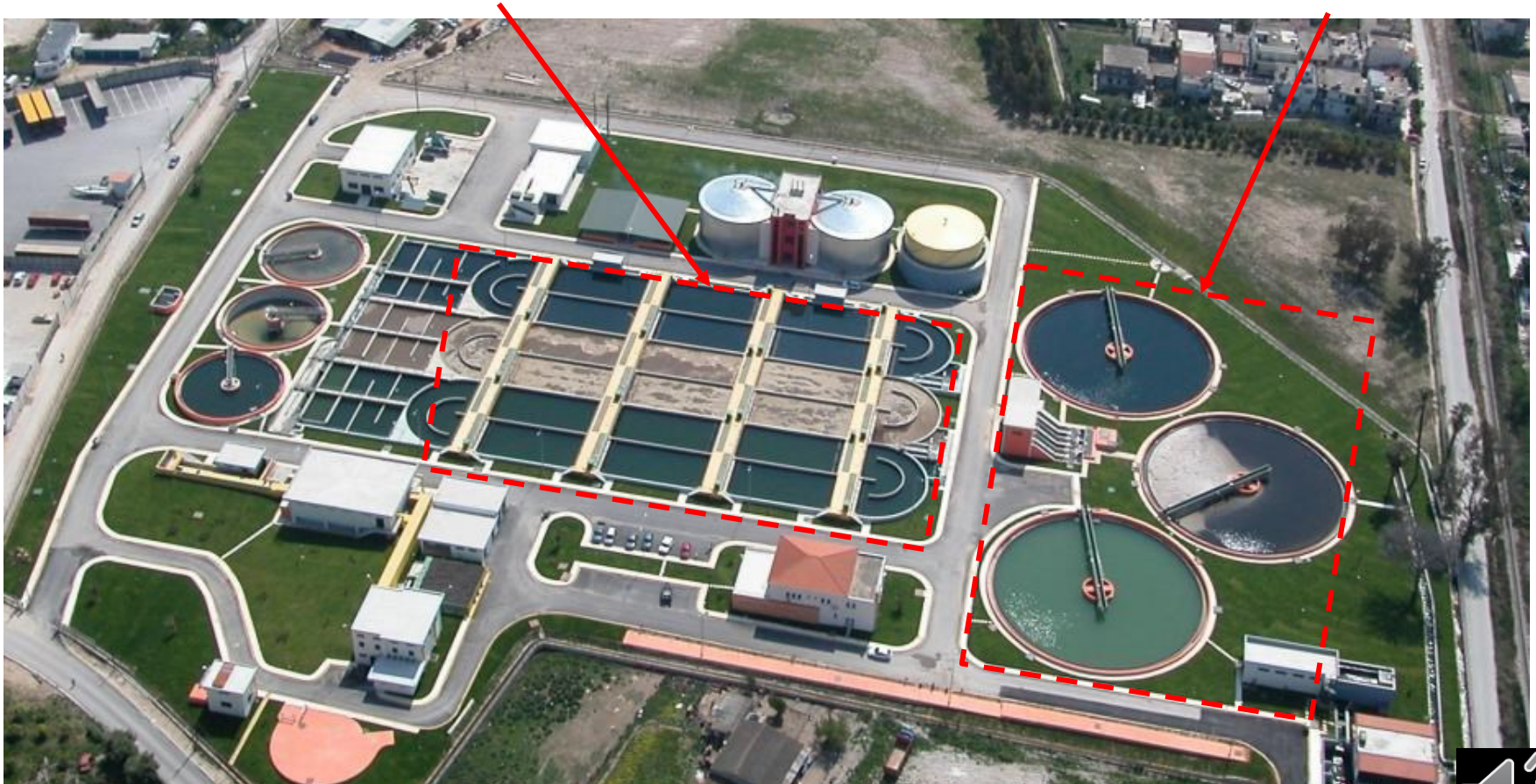
Επίκουρος Καθηγητής, ΕΜΠ



ΜΕΛ Πατρών

Δευτεροβάθμια Βιολογική Επεξεργασία
(δεξαμενές ενεργού ιλύος – οξειδωτικός τάφρος)

Δευτεροβάθμια
Καθίζηση



Arden & Lockett το 1914

Ανάμιξη βιομάζας & Υγρών Αποβλήτων ούτως
ώστε να βρίσκεται **διαρκώς σε αιώρηση**.

Βιολογικές Διεργασίες σε Αιώρημα **ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ**

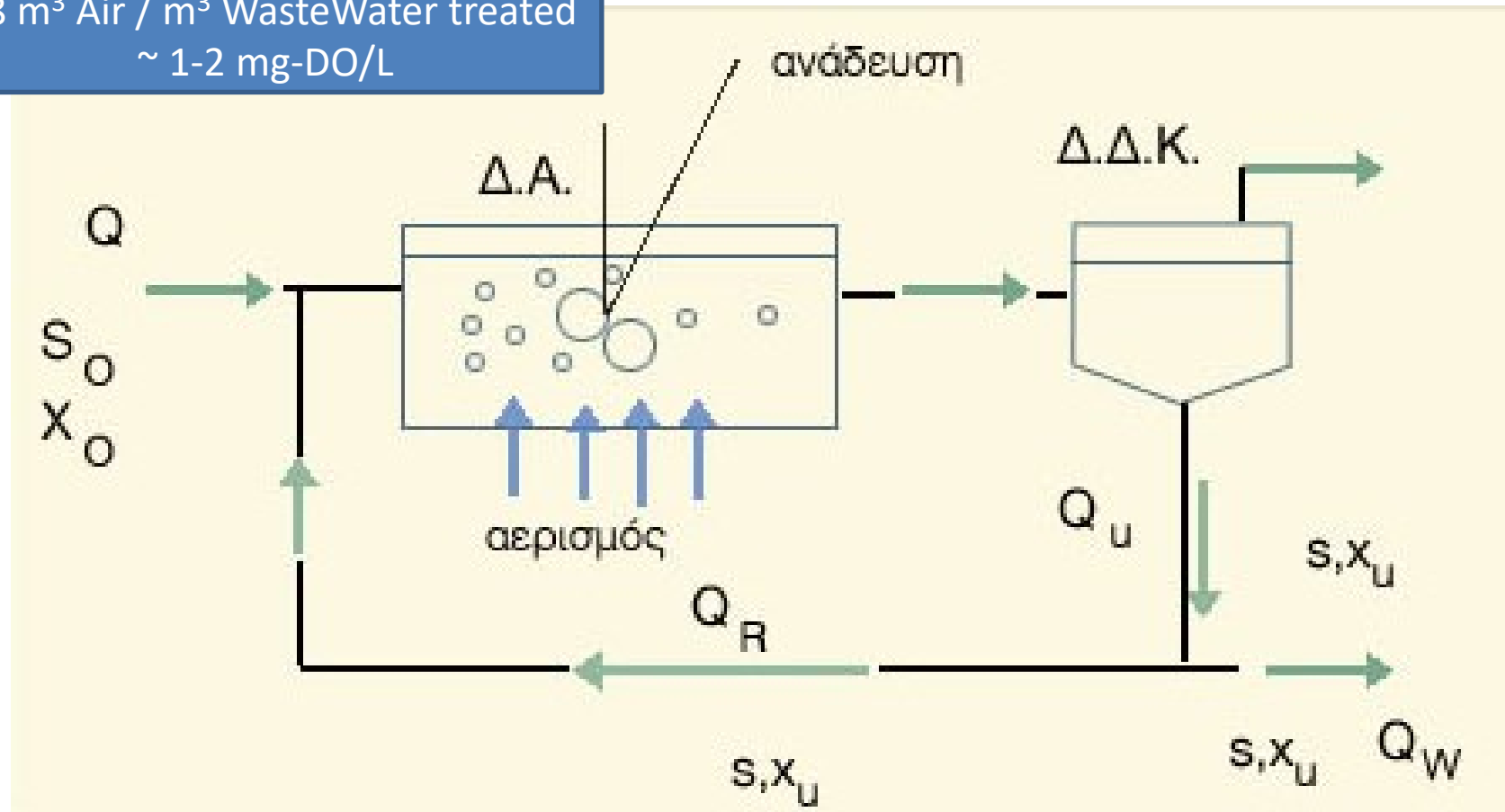
Καθώς οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται και αναμειγνύονται από την ανάδευση του αέρα, οι μεμονωμένοι οργανισμοί **συσσωρεύονται** (κροκιδώνονται) για να σχηματίσουν μια **ενεργή μάζα μικροβίων** (βιολογική κροκίδωση **βιοκροκίδες**) που ονομάζεται ενεργοποιημένη λάσπη (ή ενεργός ιλύς)

Πολλές **τροποποιήσεις** της συμβατικής διαδικασίας ενεργού ιλύος έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση **συγκεκριμένων** προβλημάτων επεξεργασίας



Διεργασία ενεργού ιλύος (Activated Sludge process)

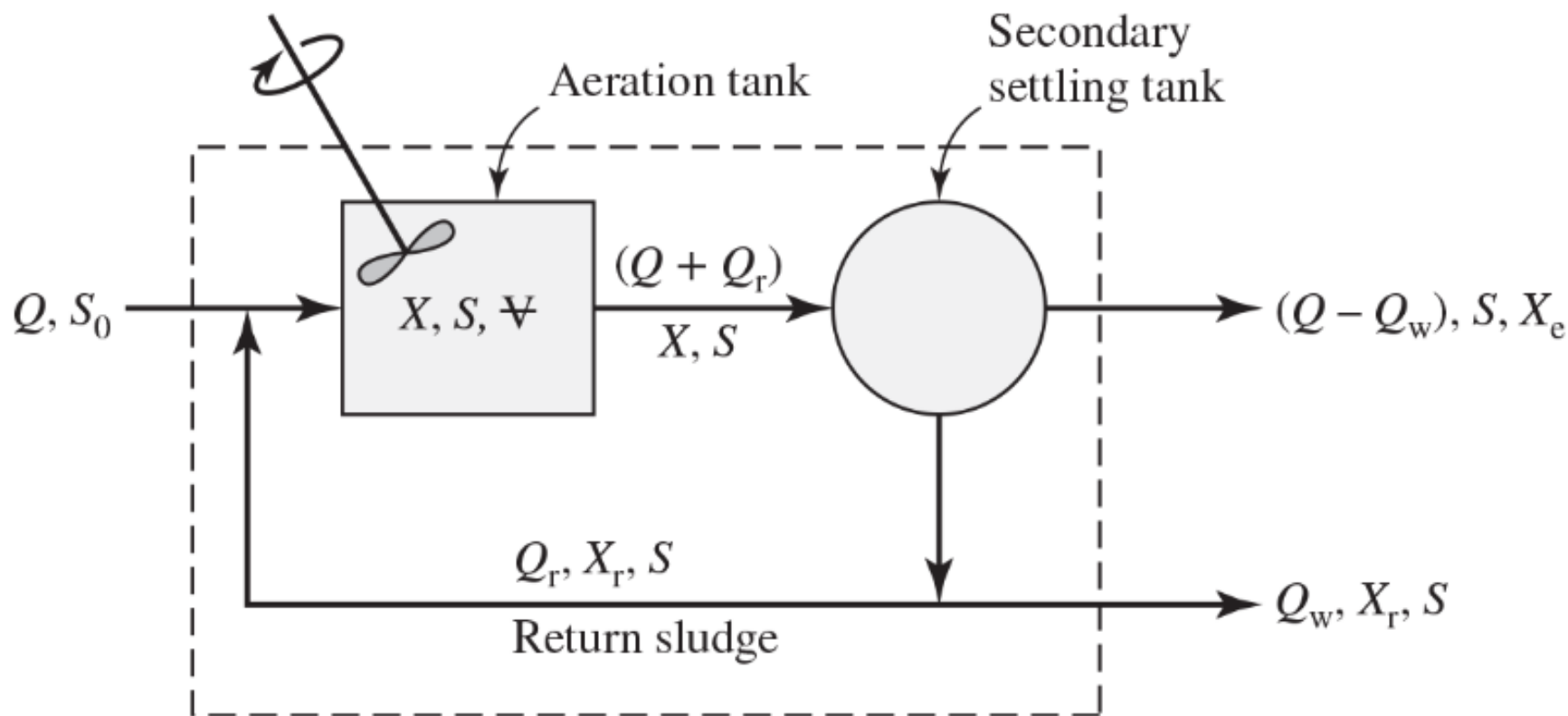
~ 8 m³ Air / m³ WasteWater treated
~ 1-2 mg-DO/L



Η βιοαποδόμηση είναι γρήγορη, αποδοτική και χωρίς μυρωδιές.
Αποδοτική για μικρά BOD. Για αυξημένες [BOD] θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αερόβια διάταξη αφού δεν μπορούμε εύκολα να προσδώσουμε τις απαραίτητες ποσότητες



CSTR με ανακύκλωση λάσπης



Δύο Ισ.Μ. χρειάζονται για να προσδιορίσουμε το σχεδιασμό του αντιδραστήρα.

- Ένα για τη βιομάζα και
- Ένα για το υπόστρωμα (BOD_5)



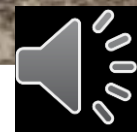
Δεξαμενή αερισμού με επιφανειακούς αεριστήρες (οριζόντιου άξονα)



Επιφανειακός αεριστήρας (κατακόρυφου άξονα)



Επιφανειακοί αεριστήρες



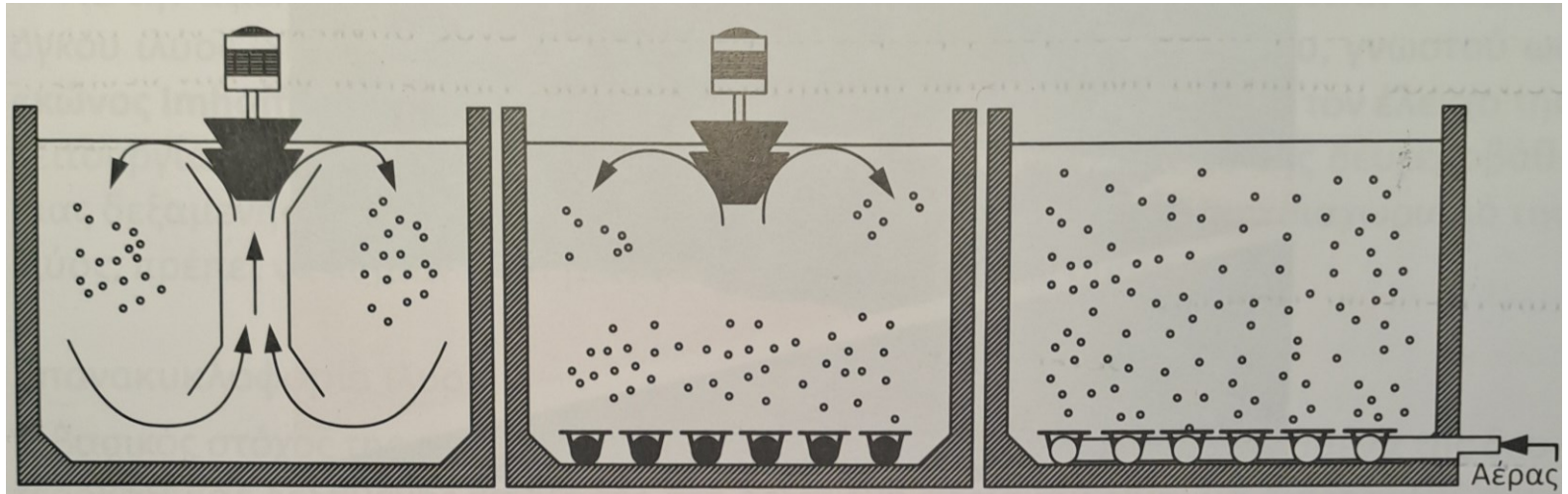


Σύστημα Διάχυσης σε δεξαμενή
ενεργού ιλύος



Αερισμός

Μηχανική ανάδευση ή βυθισμένοι φυσητήρες με διαχυτήρες ή συνδυασμός των 2 συστημάτων



Μηχανική ανάδευση

Συνδυασμός των
δύο συστημάτων

Βυθισμένοι φυσητήρες
με διαχυτήρες

Διαχυτήρας (diffuser)



Φυσητήρας (Blower)



Απόδοση εξοπλισμού αερισμού

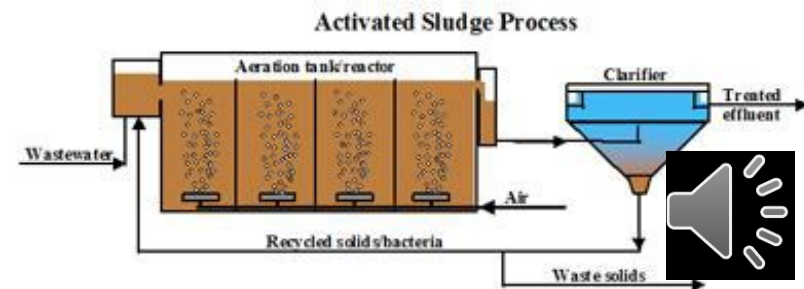
Η ποσότητα του μεταφερόμενου οξυγόνου που εισάγεται στα ΑΥΑ υπό κανονικές συνθήκες ($\text{kg-O}_2/\text{kWh}$).

Ο συντελεστής μεταφοράς οξυγόνου επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- την θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων
- την ισχύ της ανάμιξης
- τη Γεωμετρία της δεξαμενής
- τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων.

Τύπος αεριστήρα	Ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου $\text{kg O}_2/\text{kWh}$
Διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας	2.0 - 2.5
Διαχυτήρες χονδρής φυσαλίδας	0.8 - 1.2
Αεριστήρες κάθετου άξονα	έως 2.0
Αεριστήρες οριζόντιου άξονα (τύπου βούρτσας)	έως 2.0

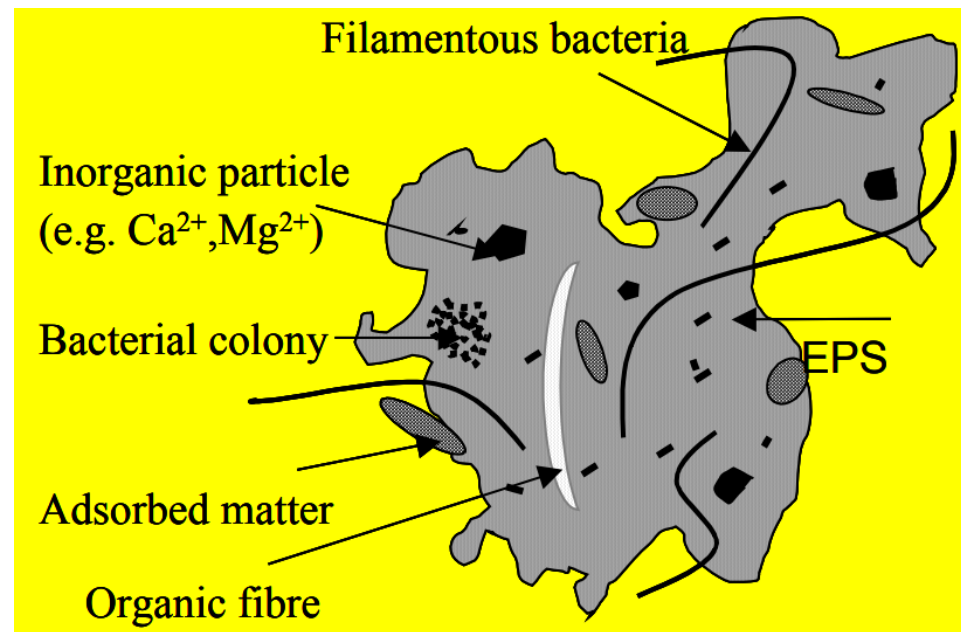
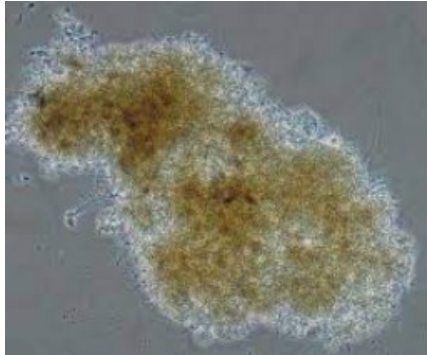
Σύστημα Ενεργού ιλύος: ΔΑ & ΔΔΚ



- Η παροχή αερισμού εξασφαλίζει και την **ανάμιξη** του υγρού.
- Η βιολογική οξείδωση οδηγεί σε **ανάπτυξη** μ/ο.
- Τα κυριότερα είδη μικροοργανισμών σε μία διεργασία ενεργού ιλύος είναι:
 - **βακτήρια** όπως: *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*, αλλά και
 - **μύκητες** νηματώδους μορφής όπως: οι *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thothrix*, *Lecicothrix* και *Geotrichum*.
- Καθώς οι μ/ο αναπτύσσονται και αναμειγνύονται από την ανάδευση του αέρα, οι μεμονωμένοι οργανισμοί **συσσωρεύονται** (κροκιδώνονται) για να σχηματίσουν μια ενεργή μάζα μικροβίων (**βιολογική κροκίδωση**) → **ενεργός ιλύς**



Αλληλεπιδράσεις στην ενεργό ιλύ



- Οι μ/ο παράγουν **λιποπολυσακχαρίτες** και άλλες ουσίες που προκαλούν τη συσσωμάτωση τους σε βιοκροκίδες (**flocs**) που αποτελούν την ενεργό ιλύ.
 - Οι εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες (EPS) είναι τα κυρίαρχα συστατικά της ενεργούς ιλύος και αντιπροσωπεύουν έως και το 80% w/w.
- Η παρουσία των **μυκήτων** (καθώς και κάποιων νηματοειδών βακτηρίων) επηρεάζει τα χαρακτηριστικά καθίζησης της ιλύος στη Δ.Δ.Κ. **δυσμενώς** → **εμποδίζουν** το σχηματισμό κροκίδων με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά καθίζησης.
- Η ιλύς απορροφά τα **διαλυμένα** και **αιωρούμενα** οργανικά (και ανόργανα) στα οποία και **οξειδώνει βιολογικά**.

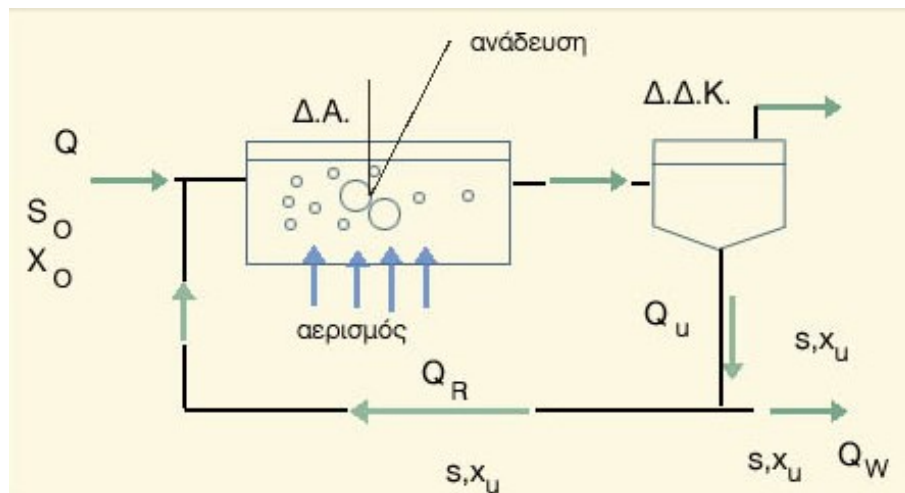


- Για να έχει η ιλύς καλά χαρακτηριστικά καθίζησης, πρέπει να παραμένει στο σύστημα τουλάχιστον για **4 ημέρες**.
- Οι βιο-κροκίδες καθιζάνουν σε $\Delta\Delta\text{Κ}$ και εν μέρει ανακυκλώνονται, ενώ το υπόλοιπο της ιλύος απομακρύνεται (**περίσσεια ιλύος**), για να αποφευχθεί συσσώρευση μικροοργανισμών.
- Η ανακυκλοφορία επιτρέπει την διατήρηση **μεγάλου χρόνου παραμονής των στερεών (Solids Retention Time, SRT)** σε σχέση με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (**Hydraulic Retention Time, HRT**), μειώνοντας έτσι τον συνολικά **απαιτούμενο όγκο** για την επιθυμητή απομάκρυνση οργανικών.

Γιατί έχουμε τη $\Delta\Delta\text{Κ}$;

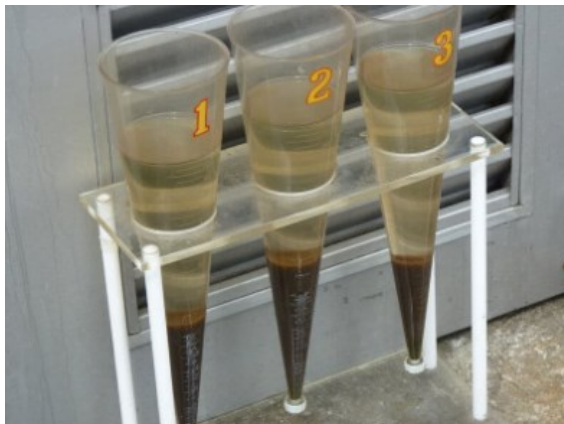
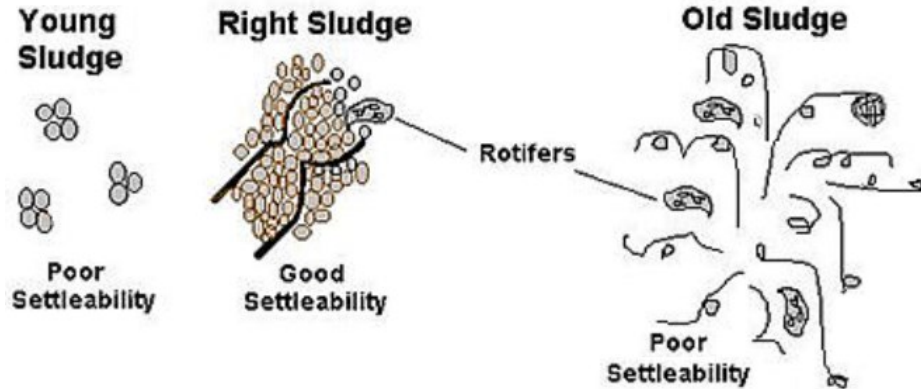
**Δημιουργία
ισορροπίας**

Τι γίνεται όταν υπάρχει μη σωστή ανακυκλοφορία της λάσπης;



Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index)

MLSS* = η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό, mg/L



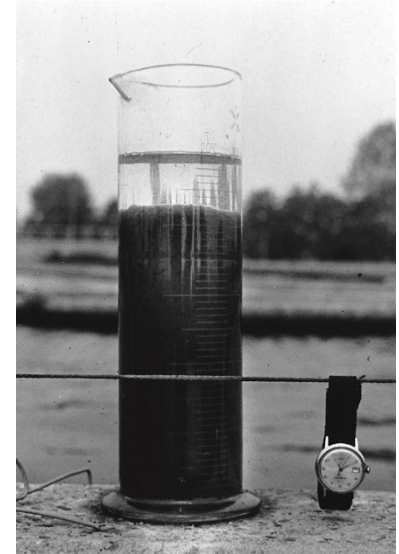
- Εργαστηριακό τεστ
- Μετράμε τον όγκο της καθιζάνουσας λάσπης & τα **MLSS***
- SVI: ορίζουμε ως ο όγκος (mL) που καταλαμβάνεται από 1 g καθιζάνουσας ξηρής ιλύος εάν ενυδατωθεί μετά από καθίζηση 30 min ($\text{mL}_\lambda / \text{g}_\lambda$)
- <100 καλή καθίζηση
- >150 κακή καθίζηση (filamentous growth)

$$\text{SVI} = \frac{(\text{Settled volume of sludge, mL/L}) (10^3 \text{ mg/g})}{\text{MLSS, mg/L}} =$$



Παράδειγμα: Εκτιμήστε τον SVI από τα παρακάτω αποτελέσματα

- Όγκος λάσπης που καθίζησε = 180 mL / L
- Αιωρούμενα στερεά = 2200 mg/L



$$SVI = \frac{(\text{Settled volume of sludge, mL/L}) (10^3 \text{ mg/g})}{MLSS, \text{ mg/L}} = \frac{\text{mL}}{\text{g}}$$

$$SVI = 180 \text{ (mL/L)} * 10^3 \text{ (mg/g)} / 2200 \text{ (mg/L)} = 81,82 \text{ mL}_\lambda / \text{g}_\lambda$$



Προβλήματα με τις λάσπες (1)

(Φτωχά χαρακτηριστικά καθίζησης)

Φαινόμενα διόγκωσης της λάσπης (αρνητικό)

- Νηματοιδή βακτήρια
 - Καλή απόδοση στην αποδόμηση του οργανικού φορτίου
 - Τα βιοκροκιδώματα έχουν όμως φτωχή καθίζηση
- Fungi (@ low pH and/or @ low $\text{BOD}_5:\text{N}<20:1$)
- Νερό που εγκλωβίζεται στο βιοκροκίδωμα



Προβλήματα με τις λάσπες (2)

(επιπλέουσα λάσπη - floating sludge)

- Όταν έχουμε καλή καθίζηση αλλά βλέπουμε ότι έχουμε επίπλευση της λάσπης (rising sludge)
- Φαινόμενο απονιτροποίησης → δλδ αναγωγή των νιτρικών και των νιτρωδών σε αέριο άζωτο στο χαλί λάσπης (ΔΔΚ).
- Εγκλωβίζεται το αέριο προκαλώντας κομμάτια λάσπης να ανέβουν στην επιφάνεια

Λύση προβλήματος

- Αύξηση του Q_R
- Αύξηση του ρυθμού μαζέματος λάσπης
- Μείωση του SRT.



Βασικός Σχεδιασμός Διεργασίας Ενεργού Ιλύος

Σχεδιασμός → Χρήση κάποιου μαθηματικού μοντέλου

Βασικές Παραδοχές

- Βιολογική οξείδωση μόνο στη Δ.Α. & όχι στην Δ.Δ.Κ.
- Περιγραφή της διεργασίας μόνο με δύο μεταβλητές
 - Υπόστρωμα (S)
 - Βιομάζα (X) → [VSS] ή [MLVSS] (ισχύει;)
- $V=V_{\Delta A}$ για υπολογισμό του SRT
 - Οι βιοκροκίδες δεν μεταβάλλονται καθόλου από την έξοδο της ΔΑ μέχρι την επαναφορά τους



$$S_{\Delta A} = S_{\Delta \Delta K} = S_R = S$$



Βασικός Σχεδιασμός Διεργασίας Ενεργού Ιλύος

Μέσος χρόνος υδραυλικής παραμονής
(mean hydraulic retention time):

$$\theta_s = \frac{V + V_s}{Q}$$

όπου Q ο ρυθμός παροχής, V ο όγκος του υγρού στη δεξαμενή αερισμού, και V_s ο όγκος της δεξαμενής καθίζησης.

Μέσος χρόνος υδραυλικής παραμονής στη ΔA

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

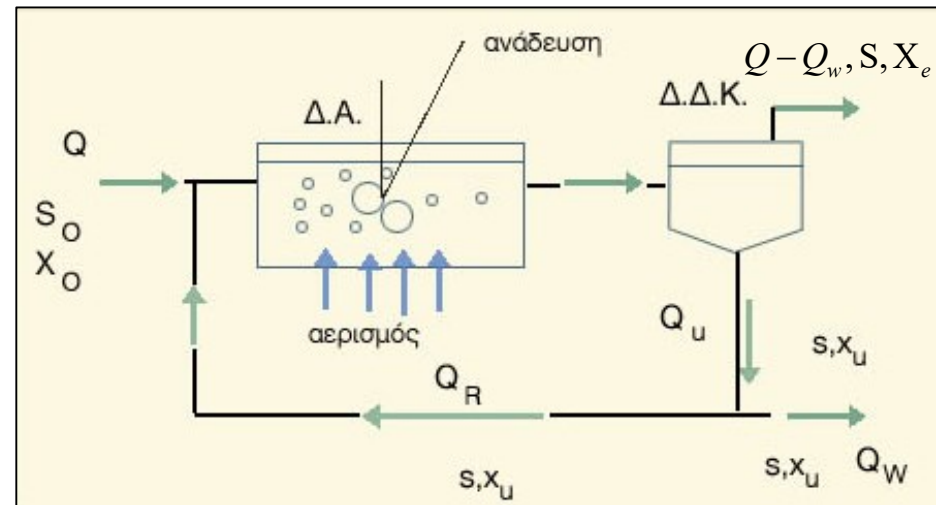
Μέσος χρόνος παραμονής στερεών [solids retention time (SRT), ονομάζεται και ηλικία ιλύος, (sludge age)]

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

X : Συγκέντρωση βιομάζας στη ΔA

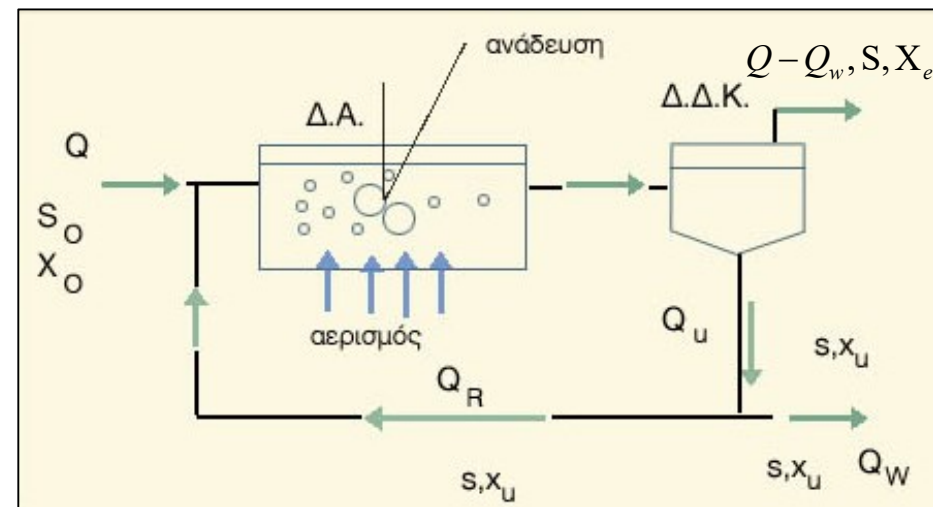
X_u : Συγκέντρωση βιομάζας στο βυθό της ΔΚ

X_e : Συγκέντρωση βιομάζας στο επεξεργασμένο νερό



Βασικός Σχεδιασμός Διεργασίας Ενεργού Ιλύος

- Μέσος χρόνος παραμονής στερεών [solids retention time (SRT), και ηλικία ιλύος, (sludge age)]



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

X : Συγκέντρωση βιομάζας στη ΔΑ

X_u : Συγκέντρωση βιομάζας στο βυθό της ΔΚ

X_e : Συγκέντρωση βιομάζας στο επεξεργασμένο νερό

- Εάν η αφαίρεση της λάσπης γίνει απευθείας από την ΔΑ και όχι από την ΔΔΚ

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X + (Q - Q_w) X_e}$$

X : Συγκέντρωση βιομάζας στη ΔΑ

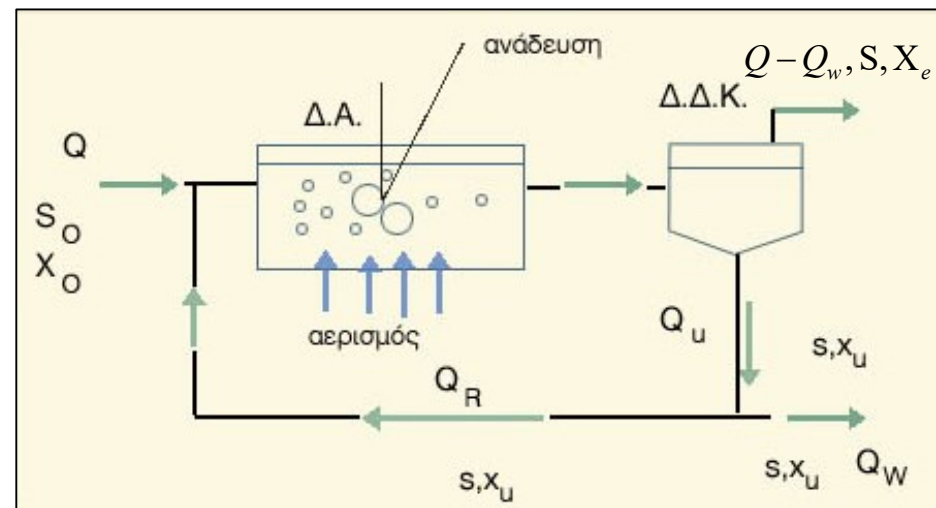
Εάν $X_e \sim 0 \rightarrow$

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w}$$

Έτσι όταν η αφαίρεση λάσπης γίνεται απευθείας από τη ΔΑ ο χρόνος θ_c (που τώρα δεν αντιστοιχεί στον SRT) μπορεί να ρυθμιστεί ανεξάρτητα από τον θ (HRT). Συχνά χρησιμοποιούμε την 2^η σχέση για το θ_c αφού είναι πιο απλή και δεν χρειάζεται να προσδιορίσουμε διάφορες συγκεντρώσεις.



Κάτω από λειτουργικές συνθήκες **μόνιμης κατάστασης**, γράφουμε τα ισοζύγια μάζας των μεταβλητών X και S , για όλο το σύστημα, θεωρώντας **κινητική Monod**



$$0 = QS_0 - (Q - Q_w)S - Q_w S - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV$$

$$0 = QX_0 - (Q - Q_w)X_e - Q_w X_u + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV - k_d XV$$

Συνήθως θεωρούμε ότι:

- Δεν έχουμε αρχικούς μ/ο ($X_0 \sim 0$)
- Έχουμε τέλεια διαύγηση στη ΔΔΚ ($X_e \sim 0$)

Ισοζύγιο Μάζας για το X στη ΔΔΚ: $(Q + Q_R) X = (Q_R + Q_w) X_u$



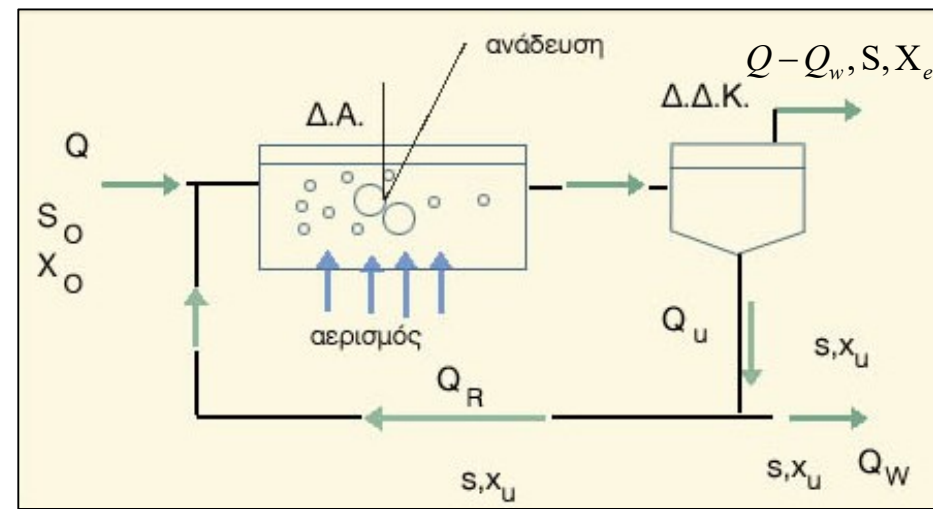
Ορίζοντας $r = \frac{Q_R}{Q}$, $\theta_c = \frac{V}{Q_W}$

για την περίπτωση της απομάκρυνσης
λάσπης **από την ανακυκλοφορία:**

Αν θεωρήσουμε: ($X_o \sim 0$) & ($X_e \sim 0$)

Ισοζύγιο Μάζας για το X στη ΔΔΚ:

$$(Q + Q_R) X = (Q_R + Q_W) X_u$$



$$0 = QX_0 - (Q - Q_w) X_e - Q_w X_u + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV - k_d XV \Leftrightarrow 0 = -Q_w \frac{(Q + Q_R)}{(Q_w + Q_R)} X + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV - k_d XV$$

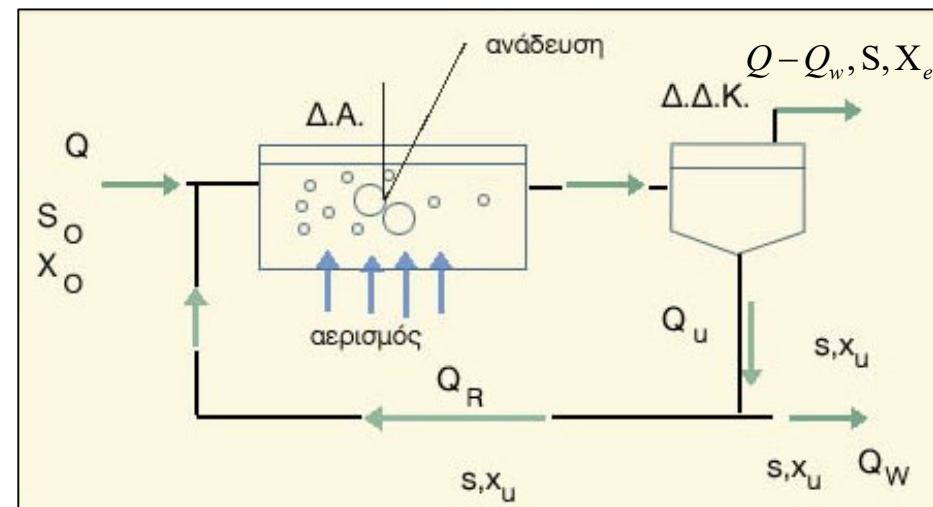
$$\Rightarrow \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} - k_d = \frac{1 + r}{\theta + r\theta_c} \Leftrightarrow S = \frac{\left(\frac{1 + r}{\theta + r\theta_c} + k_d \right) K_s}{\mu_{\max} - k_d - \frac{1 + r}{\theta + r\theta_c}}$$

$$0 = QS_0 - (Q - Q_w) S - Q_w S - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV$$

$$\Leftrightarrow 0 = QS_0 - QS - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV \Leftrightarrow X = \frac{Y(S_0 - S)}{\frac{1 + r}{\theta + r\theta_c} + k_d} \frac{1}{\theta}$$



$$S = \frac{\left(\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d \right) K_s}{\mu_{\max} - k_d - \frac{1+r}{\theta + r\theta_c}}$$



Η **απομάκρυνση των οργανικών** εξαρτάται από:

- Τις κινητικές παραμέτρους $\mu_{\max}$, K_s , k_d
- Τις λειτουργικές παραμέτρους r , θ , θ_c
- Και όχι από το S_0

$$X = \frac{Y(S_0 - S)}{\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d} \frac{1}{\theta}$$

Η **μικροβιακή ανάπτυξη** εξαρτάται από:

- Τις κινητικές παραμέτρους Y , k_d
- Τις λειτουργικές παραμέτρους r , θ , θ_c
- Την συγκέντρωση του υποστρώματος



Μία συχνά χρησιμοποιούμενη παράμετρος, που χρησιμεύει στην **εκτίμηση της κατάστασης** μίας διεργασίας **ενεργού ιλύος** είναι **ο λόγος τροφής/μικροοργανισμών** (F/M: food to microorganism ratio).

Ρυθμίζεται από την απομάκρυνση μέρους των μ/ο → μειώνοντας τα VSS.

Υψηλός ρυθμός απομάκρυνση VSS →
υψηλός λόγος F/M → Οι μ/ο είναι
κορεσμένοι από τροφή → χαμηλή
απόδοση επεξεργασίας.

Χαμηλός ρυθμός απομάκρυνση →
χαμηλός λόγος F/M → Οι μ/ο πεινάνε →
υψηλός βαθμός αποδόμησης των ΥΑ.

$$F/M = \frac{QS_0}{VX} = \frac{S_0}{\theta X} = \frac{S_0 \left[\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d \right]}{Y(S_0 - S)}$$

Υψηλά SRT → Χαμηλά F/M αλλά επίσης μεγαλύτερες και πιο κοστοβόρες ΔΑ (CAPEX & OPEX)

ο **ειδικός ρυθμός χρήσης υποστρώματος** δίνεται
τότε από τη σχέση:

$$U = \frac{1}{Y} \left[\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d \right]$$



η **παρατηρούμενη απόδοση** της διεργασίας
δίνεται από τη σχέση:

$$Y_{obs} = Y \cdot \frac{\frac{1+r}{\theta + r\theta_c}}{\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d}$$

η **αποδοτικότητα** της διεργασίας από τη σχέση:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

$$S = \frac{\left(\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d \right) K_s}{\mu_{\max} - k_d - \frac{1+r}{\theta + r\theta_c}}$$

ο **χρόνος παραμονής των στερεών** σε αυτή την περίπτωση
δίνεται από τη σχέση:

$$SRT = \frac{\theta + r\theta_c}{1+r}$$



Τι σημαίνει το SRT;

Η πιο σημαντική παράμετρος σχεδιασμού.

Αποφασίζει και το βαθμό της επεξεργασίας που χρειάζεται η μονάδα.

Υψηλό SRT (δλδ λάσπη μεγαλύτερης ηλικίας).

→ Μεγαλύτερες ποσότητες στερεών μεταφέρονται στο σύστημα.

→ Μεγαλύτερος βαθμός επεξεργασίας πραγματοποιείται.

→ Λιγότερη λάσπη απομακρύνεται.



Αν η απομάκρυνση της λάσπης γίνεται από την ΔA

Από το Ισ.Μ. για το X:

$$0 = QX_0 - (Q - Q_w)X_e - Q_wX + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV - k_d XV \Leftrightarrow$$

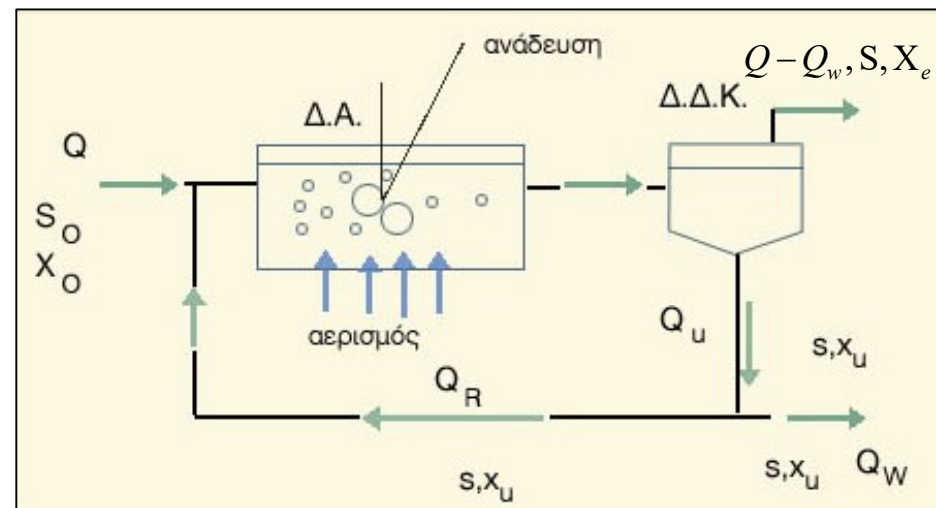
$$0 = -Q_wX + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} XV - k_d XV$$

$$S = \frac{\left(\frac{1}{\theta_c} + k_d \right) K_s}{\mu_{\max} - k_d - \frac{1}{\theta_c}}$$

Από το Ισ.Μ. για το S:

$$X = \frac{Y(S_0 - S)}{\theta \left(\frac{1}{\theta_c} + k_d \right)}$$

Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (S) είναι ανεξάρτητη του HRT και του ρυθμού ανακυκλοφορίας, και εξαρτάται μόνο από τον χρόνο παραμονής των στερεών → δλδ ηλικία της ιλύος.



Αν η απομάκρυνση της λάσπης γίνεται από την ΔΑ

Λόγος τροφής/μικροοργανισμών (F/M: food to microorganism ratio).

$$F / M = \frac{S_0}{\theta X} = \frac{S_0 \left[\frac{1}{\theta_c} + k_d \right]}{Y(S_0 - S)}$$

ο ειδικός ρυθμός χρήσης υποστρώματος:

$$U = \frac{1}{Y} \left[\frac{1}{\theta_c} + k_d \right]$$

Παρατηρούμενη απόδοση της διεργασίας

$$Y_{obs} = Y \frac{1}{1 + k_d \theta_c}$$

Αποδοτικότητα της διεργασίας

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

Όπου το S δίνεται από την προηγούμενη εξίσωση.



Τυπικά για Σχεδιασμό μονάδας Ενεργού Ιλύος ξέρουμε:

- την παροχή (Q)
- την περιεκτικότητα σε ΒΑΟ των αποβλήτων (S_o)
- την απαιτούμενη απομάκρυνση οργανικών $\rightarrow$ δλδ την συγκέντρωση S

Οι βασικές σχεδιαστικές παράμετροι που πρέπει να υπολογισθούν είναι:

(α) Ο όγκος της δεξαμενής αερισμού, V

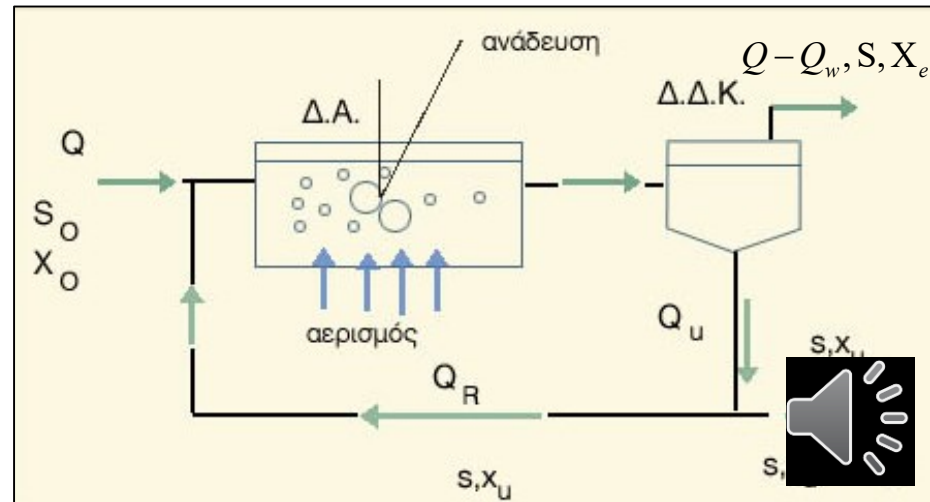
(β) Ο ρυθμός ανακυκλοφορίας, Q_R ($Q_R = r \cdot Q$)

(γ) Ο ρυθμός απομάκρυνσης ιλύος, Q_w

(ή ισοδύναμα των παραμέτρων r, θ , και θ_c)

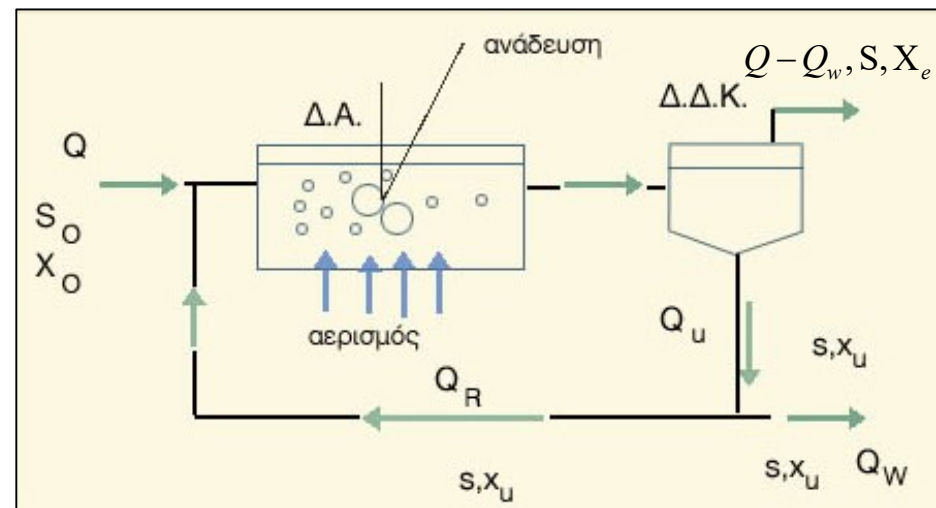
$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w}$$

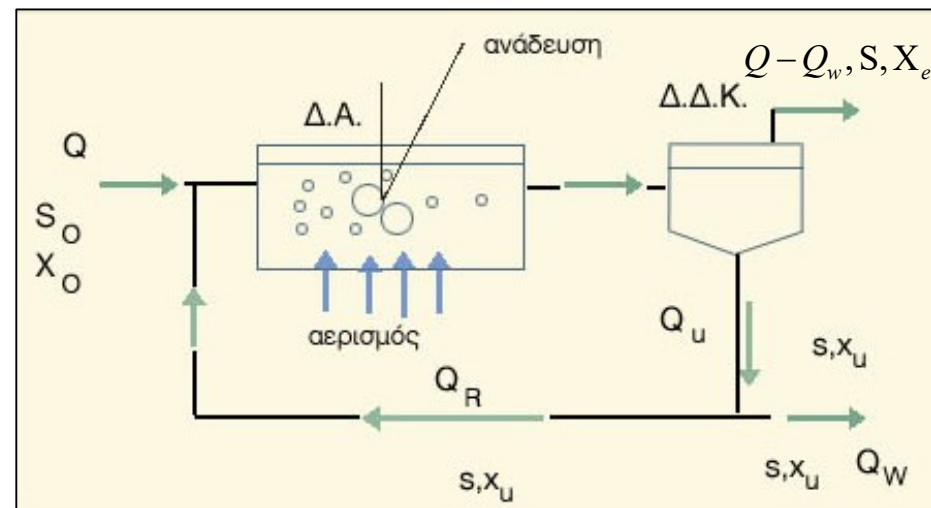


Κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται

- $S < S_{\max}$
- $SRT > SRT_{\min}$, όπου $SRT_{\min}$ ο χρόνος στον οποίο απομακρύνονται όλα τα βακτήρια (έκπλυση)
- $SRT > 3-4$ days για εξασφάλιση **καλών χαρακτηριστικών καθίζησης** των κροκίδων.
 - Συνήθως επιλέγεται το SRT μεταξύ 4-15 d ή το F/M μεταξύ 0,05 και 1.
- Συνήθως $Q_R = Q$



Κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται (συνέχεια)



- Τέλος πρέπει να επιλέξουμε και κάποιο θ (HRT) ($\theta = V/Q$) στη ΔA
 - **Αρκετά μεγάλο** ούτως ώστε $S < S_{\max}$
 - **Όχι πολύ μεγάλο** γιατί αυξάνει το V και άρα και το κόστος (CAPEX & OPEX)
 - **Να μην δίνει μεγάλα X** γιατί ανεβαίνουν οι απαιτήσεις για ανάδευση
 - Συνήθως ρυθμίζεται να δίνει **$X \sim 2.000 - 3.000 \text{ mg/L}$**

Αφού προσδιοριστούν οι παράμετροι (r, θ, θ_c), δηλαδή ισοδύναμα (Q_R, V, Q_w), σχεδιάζεται:

Το **Σύστημα Αερισμού** και

Η **Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης**.



Τιμές κινητικών παραμέτρων για ΑΥΑ

Parameter	Basis	Value ^b	
		Range	Typical
K_s	mg/L BOD ₅	25–100	60
k_d	d ⁻¹	0–0.30	0.10
μ_m	d ⁻¹	1–8	3
Y	mg VSS/mg BOD ₅	0.4–0.8	0.6

Values are valid for 20°C



Τιμές παραμέτρων σχεδιασμού συστημάτων ενεργού ιλύος

Τύπος διεργασίας	Συμβατική	Τροποποιημένου αερισμού	Ταχύρρυθμη	Εκτεταμένου αερισμού
θ_C, d^{-1}	5-15	0,2-0,5	0,5-10	20-30
$F/M, kg_{BOD_5}/kg_{MLVSS}.d$	0,2-0,5	1,5-5,0	0,4-1,5	0,05-0,15
$kgBOD_5/m^3_{αντιδ.}.d$	0,3-0,6	1,2-2,4	1,6-3,6	0,1-0,4
$X, mg/L$	1500-3000	200-500	4000-10000	3000-6000
θ, h	4-8	1,5-3,0	0,5-2,0	18-36
r	0,25-0,5	0,05-0,15	1,0-5,0	0,75-1,5
$kgO_2/kg(\Delta BOD_5)$	0,8-1,2		0,4-0,8	1,3-2



Παραλλαγές ενεργού ιλύος

(α) **Συμβατικό σύστημα:** Η τροφοδοσία και η ανακυκλοφορία γίνονται σε διάφορα σημεία της δεξαμενής αερισμού, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ομοιογένεια του ανάμεικτου υγρού. Το σύστημα αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι "αντέχει" σε ξαφνικές αυξήσεις BOD_5 .

(β) **Τροποποιημένος αερισμός:** Ο αερισμός δεν είναι συνεχής αλλά διακοπτόμενος. Το σύστημα αυτό οδηγεί σε μικρά X και σε μικρότερη απομάκρυνση BOD_5 .

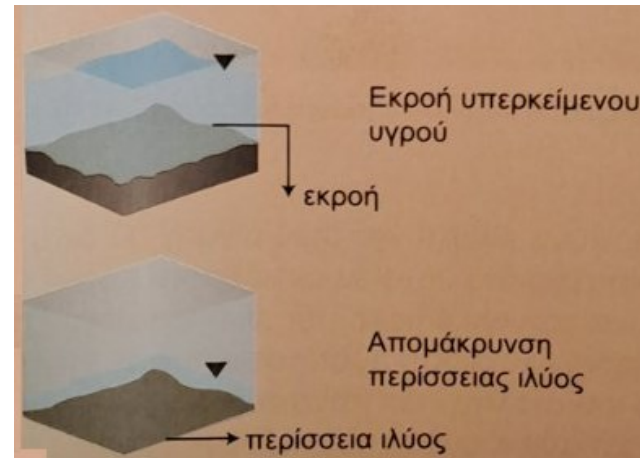
(γ) **Ταχύρρυθμος αερισμός:** Συνδυάζεται υψηλή οργανική φόρτιση με μεγάλη πυκνότητα λάσπης και αερισμό με τουρμπίνες. Οδηγεί σε πολύ ικανοποιητική απομάκρυνση BAO (για μεγάλη φόρτιση όταν ο διαθέσιμος χώρος είναι μικρός).

(δ) **Εκτεταμένος αερισμός:** Λειτουργεί ουσιαστικά στην περιοχή ενδογενούς αναπνοής των οργανισμών, επιτυγχάνοντας έτσι και σταθεροποίηση της ιλύος.

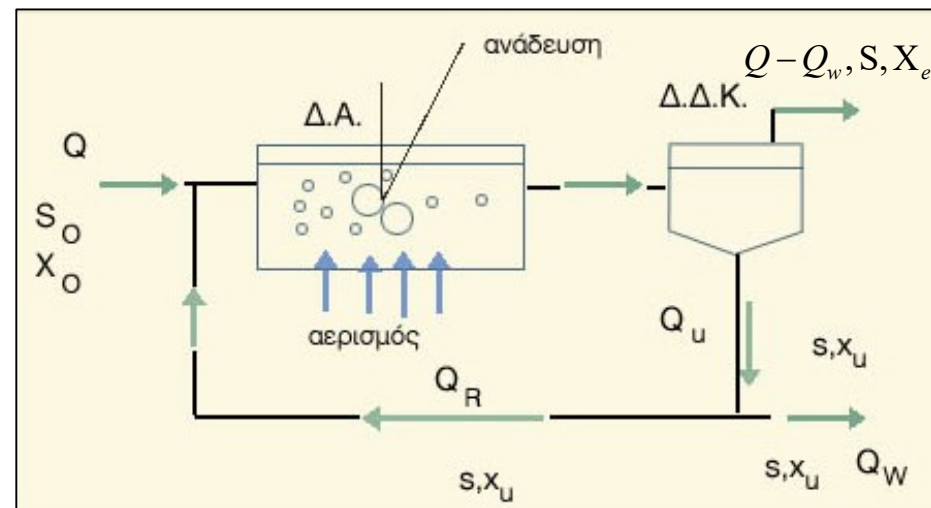
(ε) **Οξειδωτική τάφος:** Το απόβλητο ρέει κυκλικά με ταχύτητα 0,3-0,6 m/s, ο δε αερισμός γίνεται σε συγκεκριμένο σημείο.



Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου με περιοδική λειτουργία (SBR)



Παράδειγμα



Να σχεδιαστεί μια διεργασία ενεργού ιλύος που να δέχεται 21600 m³/d Αστικών Υγρών Αποβλήτων με BAO₅ = 250 mg/L.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο BAO₅ είναι 20 mg/L.

Θεωρήσατε ότι ισχύουν οι εξής κινητικές παράμετροι μικροβιακής ανάπτυξης:

$$Y = 0,5 \text{ units?}$$

$$k_d = 0,05 \text{ d}^{-1}$$

$$\mu_{\max} = 1,563 \text{ d}^{-1}$$

$$K_s = 24 \text{ mg/L}$$



Θεωρούμε ότι η απομάκρυνση λάσπης θα γίνεται από την γραμμή ανακυκλοφορίας.

Θεωρούμε ότι $r=1$ ($Q_R=Q$). Τότε:

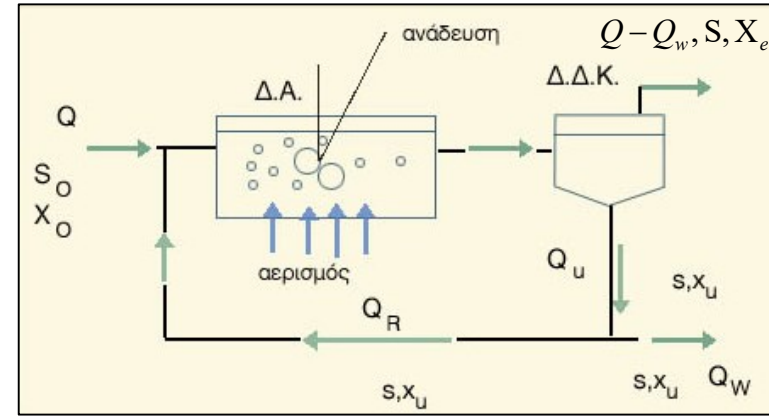
$$S = \frac{\left(\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d \right) K_s}{\mu_{\max} - k_d - \frac{1+r}{\theta + r\theta_c}} \Leftrightarrow S = \frac{\left(\frac{2}{\theta + \theta_c} + 0,05 \right) 24}{1,563 - 0,05 - \frac{2}{\theta + \theta_c}}$$

Για $S < 20$ έχουμε $\theta + \theta_c > 2,34$.

Εάν υποθέσουμε $\theta_c = 10$ d, $\theta = 0,2$ d τότε έχουμε:

$$S = \frac{\left[\frac{2}{10,2} + 0,05 \right] 24}{1,563 - 0,05 - \frac{2}{10,2}} \approx 4,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad \text{και} \quad X = \frac{Y(S_0 - S)}{\frac{1+r}{\theta + r\theta_c} + k_d} \cdot \frac{1}{\theta} \Leftrightarrow X = \frac{0,5(250 - 4,5)}{\frac{2}{10,2} + 0,05} \cdot \frac{1}{0,2} = 2455 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Οι τιμές αυτές είναι ικανοποιητικές γιατί $S = 4,5 \text{ mg/L} < 20 \text{ mg/L}$ και $2000 \text{ mg/L} < X < 3000 \text{ mg/L}$.



Τύπος διεργασίας	Συμβατική
θ_c, d^{-1}	5-15
θ, h	4-8

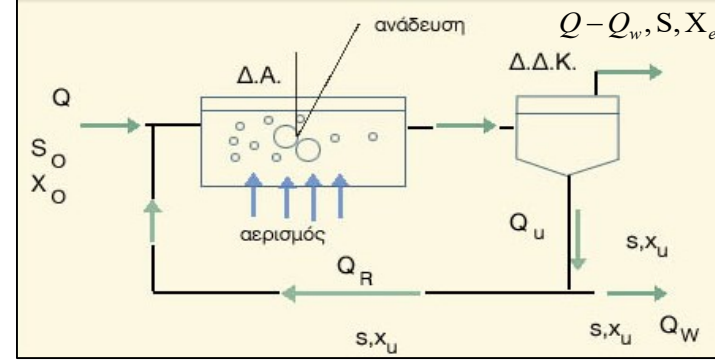


Μεγέθη που μπορούμε να απαντήσουμε

- V , F/M , Q_w , X_u , Π , SRT
- Αποδοτικότητα ΔA ;

$$F / M = \frac{S_0}{\theta X}$$

Μικρότερο θ θα μείωνε τον απαιτούμενο όγκο αλλά θα οδηγούσε σε μεγαλύτερο X



Ο απαιτούμενος όγκος είναι: $V = Q \cdot \theta = 21.600 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,2 \text{ d} = 4.320 \text{ m}^3$

Επίσης: $F/M = \frac{250 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,2\text{d} \times 2.455 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \approx 0,5$ μέσα στα επιτρεπτά όρια 0,05 και 1.

Ο ρυθμός απομάκρυνσης της ιλύος Q_w είναι: $Q_w = \frac{V}{\theta_c} = \frac{4.320 \text{ m}^3}{10 \text{ d}} = 432 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$

Τότε: $X_u = \frac{Q + Q_R}{Q_w + Q_R} X \approx 4.910 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$

η μαζική παροχή ιλύος θα είναι: $\Pi = Q_w \cdot X_u = 432 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 4.910 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \approx 2.121 \text{ kg/d}$

$$SRT = \frac{\theta + r\theta_c}{1 + r}$$

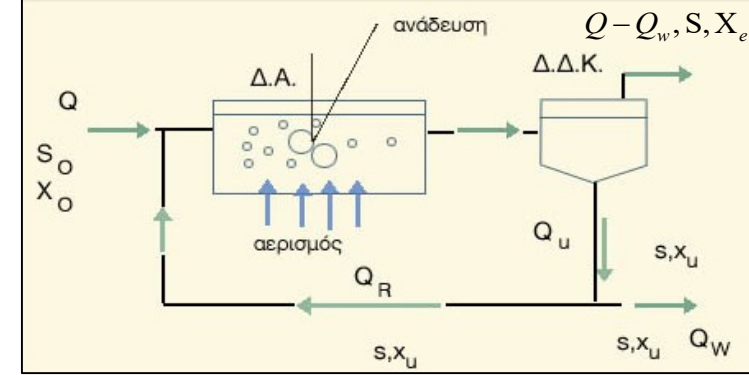
ενώ $SRT = (10 + 0,2)/2 = 5,1 \text{ ημέρες}$ (εντός προδιαγραφών).

$$SRT = \frac{VX}{Q_w X_u}$$

Η **αποδοτικότητα** του καθαρισμού θα είναι: $E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 = \frac{245,5}{250} \times 100 = 98,2\%$



Υπολογισμός Απαιτήσεων σε Αερισμό



- Οι θεωρητικές απαιτήσεις σε οξυγόνο μπορούν να **υπολογισθούν** από το **BAO₅** των **υγρών αποβλήτων** και την **ποσότητα των μ/ων** που απομακρύνονται ως περίσσεια ιλύος.
- Έτσι, υπολογίζοντας το **BAO_{ult}** από το BAO₅ (το BAO₅ είναι $f \cdot \text{BAO}_{\text{ult}}$ όπου $f=0,68$) έχουμε το **συνολικό οξυγόνο** που θα απαιτούσε η **πλήρης οξειδωση των οργανικών**.
- Απ' αυτό πρέπει να **αφαιρεθεί** η περιεκτικότητα σε τελικό BAO των απομακρυνόμενων από το σύστημα μ/ο.
 - Αυτή λαμβάνεται ως **1,42 kg O₂/kg κυττάρων**.
- Έτσι η συνολική **απαίτηση οξυγόνου R** σε kgO₂/d είναι:

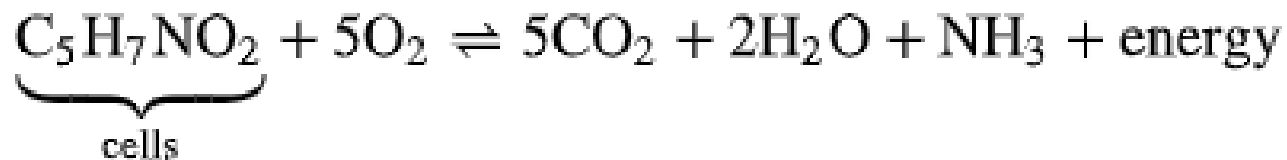
$$R = \frac{Q(S_0 - S) \cdot (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1,42 \Pi$$

Όπου: Π η παροχή στερεών ιλύος σε kg/d



Γιατί 1,42 kgO₂/ kg κυττάρων;

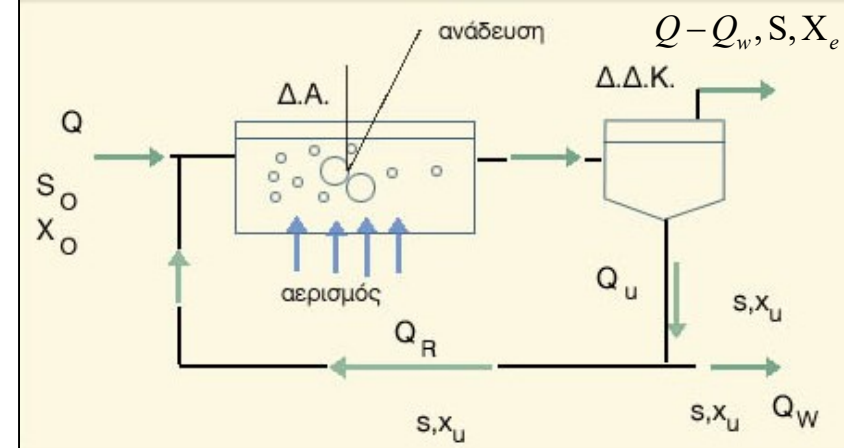
- Μια προσέγγιση της ζήτησης οξυγόνου των κυττάρων που απομακρύνονται γίνεται με βάση ότι η οξείδωση των κυττάρων μπορεί να περιγραφεί από την **ακόλουθη αντίδραση**:



- $\frac{5 \cdot (32)}{113} = 1,42 \text{ kg O}_2/\text{kg κυττάρων}$
- Οπότε η απαίτηση σε O₂ της απορριπτόμενης λάσπης υπολογίζεται ως 1,42 * Π



Υπολογισμός Απαιτήσεων σε Αερισμό



- Ο διαχύτης ή αεριστήρας χαρακτηρίζεται από κάποια **αποδοτικότητα μεταφοράς οξυγόνου** τυπικά **10-30%**.
- Συνήθως απαιτείται η διατήρηση στη δεξαμενή αερισμού **Συγκέντρωσης Διαλυμένου Οξυγόνου (DO)** τουλάχιστον **1 με 2 mg/L**.
- Για να βρεθεί η **πραγματική απαίτηση σε αέρα**, το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο (**R**)
 - Διαιρείται με τον **συντελεστή αποδοτικότητας μεταφοράς οξυγόνου** και
 - Πολλαπλασιάζεται επί **συντελεστή ασφαλείας 2**,
- Για να μπορεί η διεργασία να αντεπεξέλθει σε πιθανές σοβαρές **διακυμάνσεις** στα χαρακτηριστικά του αποβλήτου.



Παράδειγμα για απαιτήσεις σε αερισμό

Για τα δεδομένα του προηγούμενου παραδείγματος, υπολογίστε τη θεωρητική απαίτηση σε οξυγόνο της διεργασίας ενεργού ιλύος.

Είναι:

$$R = \frac{Q(S_0 - S) \cdot (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1,42 \Pi$$

$$R = \frac{(21600 \text{ m}^3/\text{d}) \cdot (250 - 4,5) \text{ g/m}^3}{0,68} \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}} - 1,42 \times 2121 = 4787 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Δεν παρέχουμε οξυγόνο αλλά αέρα → πρέπει να μετρήσουμε την παροχή αέρα

$$\frac{4787 \text{ kgO}_2/\text{d}}{(1,185 \text{ kgAir/m}^3) * (0,232 \text{ kgO}_2/\text{kgAir})} = 17412 \text{ m}^3/\text{d}$$

Τι άλλο;

Πυκνότητα αέρα

Mass fraction

Διαίρεση με την αποδοτικότητα μεταφοράς οξυγόνου (0,1 - 0,3)
Πολλαπλασιασμός με συντελεστή ασφαλείας (1,2)



Υπολογισμός Ισχύος Φυσητήρα (Blower Power)

Η ισχύς που απαιτείται για να παρέχεις τον απαιτούμενο όγκο αέρα μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}$$

P = Ισχύς (kW)

Q = Παροχή αέρα (m³/s) → μετατροπή από m³/d

ΔP = Διαφορική πίεση (Pa ή N/m²) → αφορά την πίεση που πρέπει να ξεπεραστεί για τη διάχυση του αέρα (τυπικά από 5,000 έως 70,000 Pa ανάλογα το βάθος και το σύστημα)

η = Συνολική απόδοση του συστήματος (συνήθως 0.6 – 0.75 για blowers)

→ Λειτουργικό κόστος

Ανάγκες σε θρεπτικά

Οι μ/ο για την ανάπτυξή τους χρειάζονται N και P.

Για μόνο **ΑΥΑ** είναι **ΟΚ** αλλά όταν έχουμε και πολλά βιομηχανικά ίσως έχουμε έλλειψη.

Για τον υπολογισμό των απαιτήσεων στα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις:

$$N \left(\frac{kg}{d} \right) = \frac{0,0558 \cdot X_{\beta} \cdot \Pi}{0,77} + 0,0317 \cdot \frac{(0,77 - X_{\beta}) \cdot \Pi}{0,77}$$

$$P \left(\frac{kg}{d} \right) = \frac{0,0118 \cdot X_{\beta} \cdot \Pi}{0,77} + 0,00454 \cdot \frac{(0,77 - X_{\beta}) \cdot \Pi}{0,77}$$

X_{β} το βιοαποικοδομήσιμο ποσοστό των MLVSS

Π η απομακρυνόμενη από το σύστημα παραγωγή ιλύος, kg/d.

N:BOD₅ = 1:32

P:BOD₅ = 1:150



Δευτεροβάθμια Καθίζηση

