

# Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Καθηγητής Π. Μελίδης  
Μεταδιδάκτορας Κ. Αζής

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων

# Τα υγρά απόβλητα μπορεί να προέλθουν από:

- Ανθρώπινα απόβλητα (blackwater)
- Νερά πλύσης (σώματος, ρούχων, πατώματος, κουζινικών κ.λπ.), (greywater)
- Περίσσεια υγρών εσωτερικών πηγών (ποτά, λάδια μαγειρέματος, φυτοφάρμακα, μπογιές, λάδια αυτοκινήτου, καθαριστικά, κ.λπ.)
- Αστική απορροή βροχοπτώσεων από τους δρόμους, τις στέγες, τα πεζοδρόμια, απορρίμματα, καύσιμα ή λαστιχένια υπολείμματα, μέταλλα από τις εξατμίσεις οχημάτων, κ.λπ)
  
- Βιομηχανικά απόβλητα
  - Ύδατα βιομηχανικών διαδικασιών
  - Βιοδιασπάσιμα απόβλητα
  - Μη βιοδιασπάσιμα απόβλητα
  - Απόβλητα υψηλού ή χαμηλού pH
  - Τοξικά απόβλητα
  - Γεωργικά απόβλητα

# Βασικά συστατικά που σχετίζονται με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

| Συστατικό                  | Εξήγηση της σημασίας                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αιωρούμενα στερεά          | Τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη συσσωματωμάτων ιλύος, καθώς και στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών, όταν τα ανεπεξέργαστα απόβλητα διατίθενται σε υδάτινο περιβάλλον.                                                                                                                                                                                                        |
| Βιοαποικοδομήσιμα οργανικά | Αποτελούμενα κυρίως από πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες και λίπη, τα βιοαποικοδομήσιμα οργανικά συστατικά μετρώνται συνήθως με όρους BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο) και COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο). Εάν διατεθούν στο περιβάλλον χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, η βιολογική αποικοδόμηση τους μπορεί να οδηγήσει στην ελάττωση των φυσικών πηγών οξυγόνου και στην ανάπτυξη σηπτικών συνθηκών. |
| Παθογόνοι παράγοντες       | Μεταδοτικές ασθένειες μπορούν να μεταδοθούν από παθογόνους οργανισμούς που μπορεί να υπάρχουν στα απόβλητα.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

# Βασικά συστατικά που σχετίζονται με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

| Συστατικό                       | Εξήγηση της σημασίας                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Θρεπτικά συστατικά              | Τόσο το άζωτο, όσο και ο φώσφορος, σε συνδυασμό με τον άνθρακα, είναι τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη. Όταν διατίθενται σε υδάτινο περιβάλλον, αυτά τα θρεπτικά μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη ανεπιθύμητης υδροχαρούς βλάστησης. Όταν διατίθενται σε μεγάλες ποσότητες στο έδαφος, μπορούν επίσης να οδηγήσουν στη ρύπανση των υπόγειων νερών. |
| Ρύποι προτεραιότητας            | Οργανικά και ανόργανα συστατικά, των οποίων είναι γνωστή ή πιθανολογούμενη η ικανότητα καρκινογένεσης, τερατογένεσης, η μεταλλαξιογόνος ικανότητα, καθώς και η υψηλή οξεία τοξικότητα. Πολλά από αυτά τα συστατικά βρίσκονται μέσα στα υγρά απόβλητα.                                                                                                                 |
| Δύσκολα αποικοδομήσιμα οργανικά | Αυτά τα οργανικά συστατικά τείνουν να αντιστέκονται στις τυπικές μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν τα απορρυπαντικά, οι φαινόλες και τα φυτοφάρμακα.                                                                                                                                                                           |



# Βασικά συστατικά που σχετίζονται με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

| Συστατικό                       | Εξήγηση της σημασίας                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Δύσκολα αποικοδομήσιμα οργανικά | Αυτά τα οργανικά συστατικά τείνουν να αντιστέκονται στις τυπικές μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν τα απορρυπαντικά, οι φαινόλες και τα φυτοφάρμακα.                   |
| Βαρέα μέταλλα                   | Βαρέα μέταλλα προστίθενται συνήθως στα υγρά απόβλητα από εμπορικές ή βιομηχανικές δραστηριότητες και θα πρέπει να απομακρύνονται, εάν τα επεξεργασμένα απόβλητα θα επαναχρησιμοποιηθούν.                      |
| Διαλυμένα ανόργανα συστατικά    | Ανόργανα συστατικά, όπως το ασβέστιο, το νάτριο και οι θειικές ρίζες προστίθενται στο πόσιμο νερό και μπορεί να χρειάζεται να απομακρυνθούν, εάν τα επεξεργασμένα απόβλητα πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν. |

# Ανόργανα αμέταλλα συστατικά

- ✓ pH
- ✓ Χλωριόντα
- ✓ Αλκαλικότητα
- ✓ Άζωτο
- ✓ Θείο
- ✓ Φώσφορος
- ✓ Αέρια
- ✓ Διαλυμένο οξυγόνο
- ✓ Υδροθείο
- ✓ Μεθάνιο
- ✓ Οσμές

# Οσμές

Κύριες κατηγορίες δύσοσμων συστατικών που σχετίζονται με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα

| Odorous compound                           | Chemical formula                                                               | Odor quality    |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Amines                                     | $\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{NH}$                             | Fishy           |
| Ammonia                                    | $\text{NH}_3$                                                                  | Ammoniacal      |
| Diamines                                   | $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2, \text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$ | Decayed flesh   |
| Hydrogen sulfide                           | $\text{H}_2\text{S}$                                                           | Rotten eggs     |
| Mercaptans<br>(e.g., methyl and ethyl)     | $\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$                      | Decayed cabbage |
| Mercaptans<br>(e.g., T = butyl and crotyl) | $(\text{CH}_3)_3\text{CSH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$               | Skunk           |
| Organic sulfides                           | $(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$                    | Rotten cabbage  |
| Skatole                                    | $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$                                                 | Fecal matter    |

# Ανόργανα αμέταλλα συστατικά

## Οσμές

Οριακές τιμές  
για δύσοσμα  
συστατικά που  
σχετίζονται με  
ανεπεξέργαστα  
υγρά απόβλητα

| Odorous compound | Chemical formula                                   | Molecular weight | Odor threshold, ppm <sub>v</sub> <sup>b</sup> | Characteristic odor  |
|------------------|----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| Ammonia          | NH <sub>3</sub>                                    | 17.0             | 46.8                                          | Ammoniacal, pungent  |
| Chlorine         | Cl <sub>2</sub>                                    | 71.0             | 0.314                                         | Pungent, suffocating |
| Crotyl mercaptan | CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -SH         | 90.19            | 0.000029                                      | Skunklike            |
| Dimethyl sulfide | CH <sub>3</sub> -S-CH <sub>3</sub>                 | 62               | 0.0001                                        | Decayed vegetables   |
| Diphenyl sulfide | (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> S    | 186              | 0.0047                                        | Unpleasant           |
| Ethyl mercaptan  | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -SH                | 62               | 0.00019                                       | Decayed cabbage      |
| Hydrogen sulfide | H <sub>2</sub> S                                   | 34               | 0.00047                                       | Rotten eggs          |
| Indole           | C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> NH                   | 117              | 0.0001                                        | Fecal, nauseating    |
| Methyl amine     | CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>                    | 31               | 21.0                                          | Putrid, fishy        |
| Methyl mercaptan | CH <sub>3</sub> SH                                 | 48               | 0.0021                                        | Decayed cabbage      |
| Skatole          | C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N                    | 131              | 0.019                                         | Fecal, nauseating    |
| Sulfur dioxide   | SO <sub>2</sub>                                    | 64.07            | 0.009                                         | Pungent, irritating  |
| Thiocresol       | CH <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -SH | 124              | 0.000062                                      | Skunk, rancid        |

<sup>a</sup> Adapted from Patterson et al. (1984) and U.S. EPA (1985e).

<sup>b</sup> Parts per million by volume.



# Μεταλλικά συστατικά

Σημαντικά  
μέταλλα για τη  
διαχείριση των  
υγρών  
αποβλήτων

| Μέταλλο     | Σύμβολο | Θρεπτικά απαραίτητα για την ανάπτυξη |              | Όριο συγκέντρωσης<br>ανασταλτικής<br>επίδρασης σε<br>ετερότροφους<br>οργανισμούς, mg/L | Χρησιμοποιείται για<br>την εύρεση του SAR | Χρησιμοποιείται για<br>τη διαπίστωση του<br>εάν τα βιοστερέα είναι<br>κατάλληλα για<br>αγροτική χρήση |
|-------------|---------|--------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |         | Μακροστοιχεία                        | Ιχνοστοιχεία |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Αρσενικό    | As      |                                      |              | 0.05                                                                                   |                                           | ✓                                                                                                     |
| Κάδμιο      | Cd      |                                      |              | 1.0                                                                                    |                                           | ✓                                                                                                     |
| Ασβέστιο    | Ca      | ✓                                    |              |                                                                                        | ✓                                         |                                                                                                       |
| Χρώμιο      | Cr      |                                      | ✓            | 10 <sup>B</sup> , 1 <sup>V</sup>                                                       |                                           |                                                                                                       |
| Κοβάλτιο    | Co      |                                      | ✓            |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Χαλκός      | Cu      |                                      | ✓            | 1.0                                                                                    |                                           | ✓                                                                                                     |
| Σίδηρος     | Fe      | ✓                                    |              |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Μόλυβδος    | Pb      |                                      | ✓            | 0.1                                                                                    |                                           | ✓                                                                                                     |
| Μαγνήσιο    | Mg      | ✓                                    | ✓            |                                                                                        | ✓                                         |                                                                                                       |
| Μαγγάνιο    | Mn      |                                      | ✓            |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Υδράργυρος  | Hg      |                                      |              | 0.1                                                                                    |                                           | ✓                                                                                                     |
| Μολυβδένιο  | Mo      |                                      | ✓            |                                                                                        |                                           | ✓                                                                                                     |
| Νικέλιο     | Ni      |                                      | ✓            | 1.0                                                                                    |                                           | ✓                                                                                                     |
| Κάλιο       | K       | ✓                                    |              |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Σελήνιο     | Se      |                                      | ✓            |                                                                                        |                                           | ✓                                                                                                     |
| Νάτριο      | Na      | ✓                                    |              |                                                                                        | ✓                                         |                                                                                                       |
| Βολφράμιο   | W       |                                      | ✓            |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Βανάδιο     | V       |                                      | ✓            |                                                                                        |                                           |                                                                                                       |
| Ψευδάργυρος | Zn      |                                      | ✓            | 1.0                                                                                    |                                           | ✓                                                                                                     |

ΠΗΓΗ: Crites and Tchobanoglous (1998)

# Μεταλλικά συστατικά

Τυπικά όρια  
εκροών για  
τοξικά συστατικά  
που  
ανιχνεύονται σε  
δευτεροβάθμιες  
εκροές

| Συστατικό                | Μονάδες | Μέση τιμή <sup>α</sup> |         |
|--------------------------|---------|------------------------|---------|
|                          |         | Ημερήσια               | Μηνιαία |
| Αρσενικό                 | μg/L    | 20                     |         |
| Κάδμιο                   | μg/L    | 1.1                    |         |
| Χρώμιο                   | μg/L    | 11                     |         |
| Χαλκός                   | μg/L    | 4.9                    |         |
| Μόλυβδος <sup>β</sup>    | μg/L    | 5.6                    |         |
| Υδράργυρος               | μg/L    | 2.1                    | 0.012   |
| Νικέλιο <sup>β</sup>     | μg/L    | 7.1                    |         |
| Σελήνιο <sup>β</sup>     | μg/L    | 5.0                    |         |
| Άργυρος                  | μg/L    | 2.3                    |         |
| Ψευδάργυρος <sup>β</sup> | μg/L    | 58                     |         |
| Dieldrin <sup>γ</sup>    | μg/L    | 0.0019                 | 0.00014 |
| Lindane                  | μg/L    | 0.16                   | 0.063   |
| Τριβουτυλο-κασσίτερος    | μg/L    | 0.01                   | 0.005   |
| PAH <sup>δ, ε</sup>      | μg/L    | 0.049                  |         |

# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά

Αποτελούνται συνήθως από ένα συνδυασμό άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου μαζί με άζωτο σε ορισμένες περιπτώσεις.

Το οργανικό υλικό των υγρών αποβλήτων αποτελείται κυρίως από:

- ✓ πρωτεΐνες (40-60%)
- ✓ υδρογονάνθρακες (25-50%)
- ✓ λίπη και έλαια (8-12%)
- ✓ ουρία
- ✓ μικρές ποσότητες ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών συνθετικών οργανικών ουσιών.

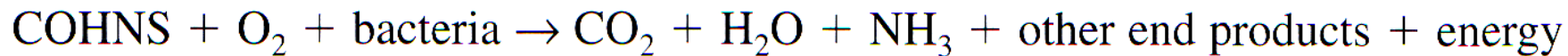
Η μέτρηση του οργανικού περιεχομένου γίνεται με:

1. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)
2. Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)
3. Τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC)

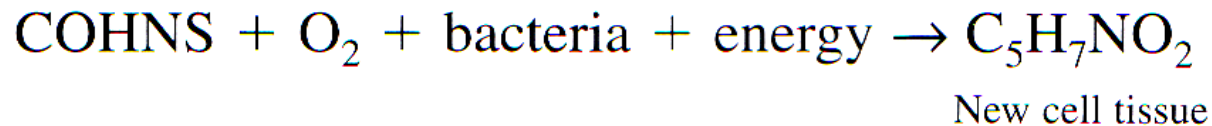
# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά – BOD<sub>5</sub>

## Βάσεις για την ανάλυση του BOD<sub>5</sub>

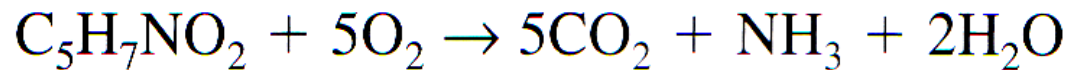
*Oxidation:*



*Synthesis:*



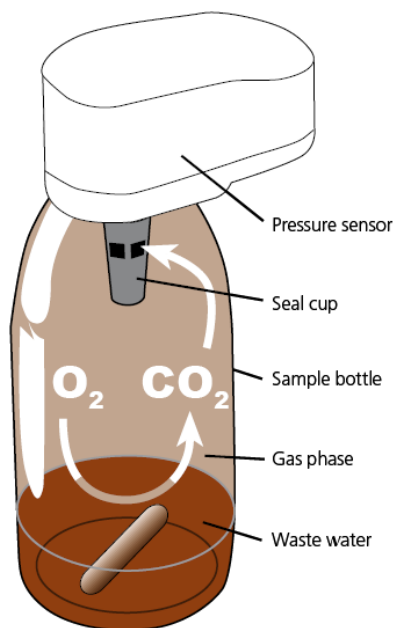
*Endogenous respiration:*



# Μέθοδοι μέτρησης παραμέτρων λειτουργίας

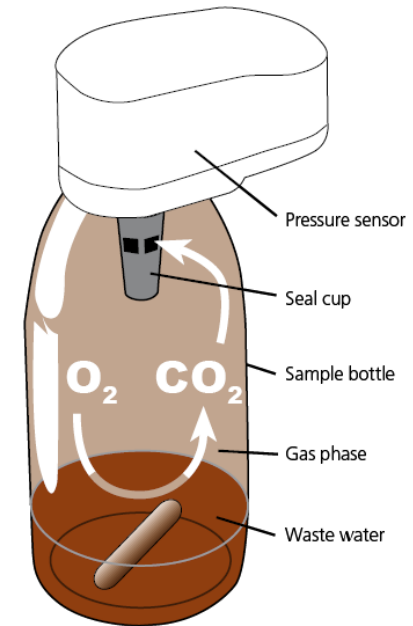


# Μέτρηση του οργανικού φορτίου με το BOD



# Μέθοδος BOD

- Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος
- Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επίδρασης των λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες
- Χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο της απόδοσης των ΜΕΥΑ
- Χρησιμοποιούνται αερόβιοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι καταναλώνουν οξυγόνο.
- Απαιτείται πολύς χρόνος από ότι για το COD
- Υπολογίζεται για τις πρώτες πέντε ημέρες ( $BOD_5$ ) και εκφράζεται ως mg/L (ppm).



# Προϋποθέσεις

1. Η επώαση να γίνεται στους  $20^{\circ}\text{C}$
2. Στα σκοτεινά (αποφυγή ανάπτυξης αλγών)
3. Πρέπει να υπάρχουν οργανικές ενώσεις
4. Επαρκές οξυγόνο, θρεπτικά υλικά (άζωτο, φώσφορο) και ιχνοστοιχεία.
5. Το pH να είναι περίπου ουδέτερο.
6. Αρκετή ανάδευση για την αιώρηση όλων των σωματιδίων



# Η μέτρηση του BOD

- Δεν παρουσιάζει κάποια δυσκολία στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων (πλούσιο και βιοαποδομήσιμο οργανικό υπόστρωμα).
- Προσοχή στα λύματα που έχουν χλωριωθεί (εξουδετέρωση του υπολειμματικού χλωρίου με διάλυμα θειώδους νατρίου)
- Δεν συμβαίνει το ίδιο στα βιομηχανικά απόβλητα  
παρουσία τοξικών ουσιών ή απουσία μικροοργανισμών  
παρεμποδίζουν ή επιβραδύνουν την οξείδωση των οργανικών ενώσεων  
→ απαιτούν ξεχωριστή προετοιμασία

# Τιμές στα αστικά υγρά απόβλητα

Το  $BOD_5$  των αστικών αποβλήτων κυμαίνεται περίπου στα 360 mg/L (24ώρο ανάμικτο δείγμα).

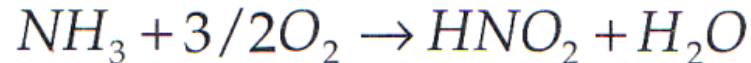
Η ημερήσια παραγωγή αποβλήτων ανά κάτοικο υπολογίζεται σε **60g**  $BOD_5$ /d, από τα οποία κανονικά το 1/3 προέρχεται από τα καθιζάνοντα στερεά, έτσι ώστε μετά από έναν μηχανικό καθαρισμό και προσπέλαση πρωτοβάθμιας καθίζησης παραμένουν μόνο **40 g**  $BOD_5$  /κάτοικο/ημέρα ή 240 mg  $BOD_5$ /L.



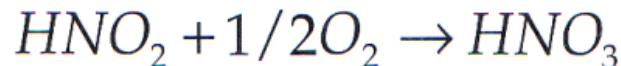
# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά - BOD

Νιτροποίηση στην ανάλυση του BOD

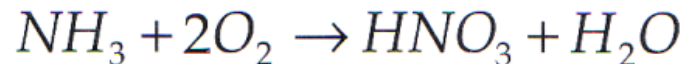
*Μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρώδη (από τα βακτήρια Nitrosomonas):*



*Μετατροπή των νιτρωδών σε νιτρικά (από τα βακτήρια Nitrobacter):*



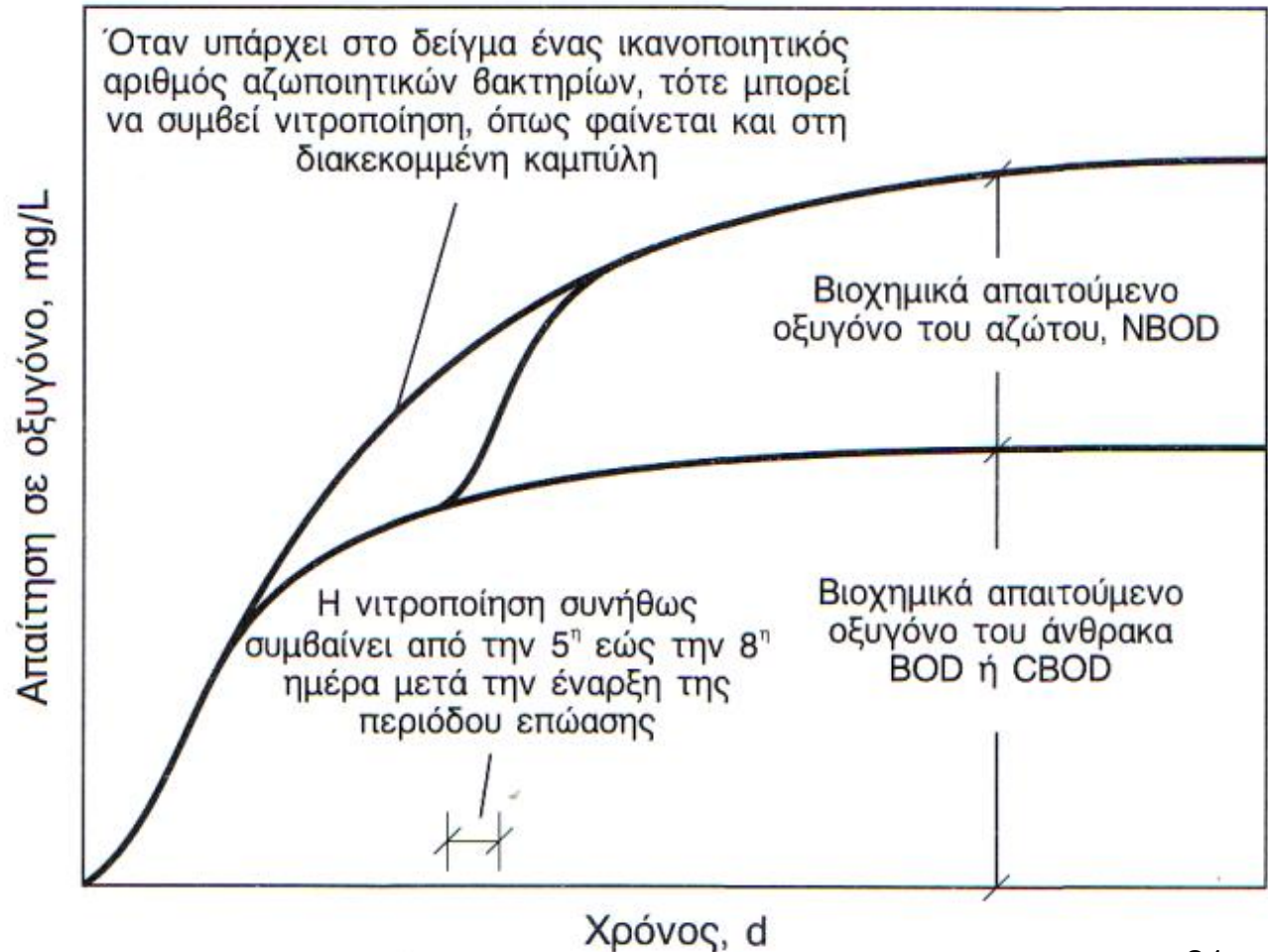
*Συνολική μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικά:*



# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά - BOD

## Νιτροποίηση στην ανάλυση του BOD

Διάγραμμα της κατανομής του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου του άνθρακα και του αζώτου σε ένα δείγμα υγρού αποβλήτου



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά - BOD

## Περιορισμοί στην ανάλυση του BOD

1. Απαιτείται υψηλή συγκέντρωση ενεργών βακτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν ως εμβόλιο
2. Είναι αναγκαία η προεπεξεργασία σε περίπτωση που υπάρχουν τοξικές ουσίες και οι επιδράσεις των αζωτοποιητικών βακτηρίων πρέπει να ελαχιστοποιηθούν
3. Μετρώνται μόνον τα βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά
4. Η ανάλυση δεν έχει στοιχειομετρική ισχύ μετά την κατανάλωση του διαλυτού οργανικού υλικού
5. Απαιτείται σχετικά μεγάλη χρονική περίοδος για την απόκτηση αποτελεσμάτων

# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά - BOD

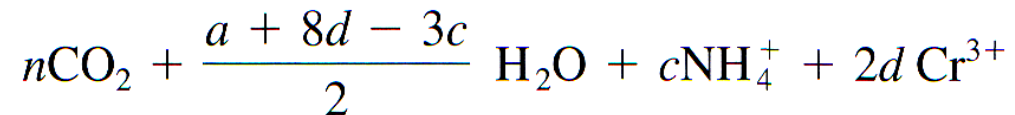
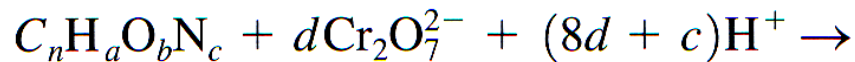
## Περιορισμοί στην ανάλυση του BOD

Ο πιο σοβαρός περιορισμός έγκειται στο ότι η περίοδος των 5 ημερών μπορεί να μην αντιστοιχεί στο σημείο όπου το διαλυτό οργανικό υλικό έχει καταναλωθεί.

Η απουσία στοιχειομετρικής ισχύος όλες τις χρονικές περιόδους μειώνει τη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά - COD

Ολικό και διαλυτό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD & sCOD)



$$\text{where } d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} - \frac{b}{3} - \frac{c}{2}$$



# Συσσωματωμένα οργανικά συστατικά - COD

Ολικό και διαλυτό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD & sCOD)

Λόγοι που προκαλούν τις διαφορές μεταξύ BOD και COD

1. Οξείδωση οργανικών ουσιών όπως η λιγνίνη που δεν οξειδώνονται βιολογικά
2. Οξείδωση ανόργανων ουσιών – αύξηση του φαινομενικού οργανικού υλικού
3. Οξείδωση τοξικών οργανικών ουσιών – για τους μ/ο θα ήταν τοξικές

Άλλα πλεονεκτήματα:

1. Ολοκλήρωση μέσα σε 3 ώρες
2. Γρήγορο τεστ COD σε 15 λεπτά



# Επίπεδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

| Στάδιο επεξεργασίας                           | Περιγραφή                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Προεπεξεργασία                                | Απομάκρυνση των υλικών που περιέχονται στα απόβλητα όπως κουρέλια, ξύλα, επιπλέοντα υλικά, χαλίκια-άμμος, και γράσο, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα συντήρησης ή λειτουργίας στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, στις διεργασίες και στα βοηθητικά συστήματα.                    |
| Πρωτοβάθμια                                   | Απομάκρυνση μέρους των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού υλικού από τα υγρά απόβλητα                                                                                                                                                                                                 |
| Προχωρημένη πρωτοβάθμια                       | Ενισχυμένη απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού υλικού από τα υγρά απόβλητα. Τυπικά πραγματοποιείται με προσθήκη χημικών και διήθηση.                                                                                                                                   |
| Δευτεροβάθμια                                 | Απομάκρυνση των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλικών (διαλυμένων ή αιωρούμενων) και των αιωρούμενων στερεών. Η απολύμανση περιλαμβάνεται επίσης στον τυπικό ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.                                                                            |
| Δευτεροβάθμια με απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών | Απομάκρυνση των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλικών, των αιωρούμενων στερεών και των θρεπτικών ουσιών (άζωτο, φώσφορος, ή και τα δύο μαζί).                                                                                                                                              |
| Τριτοβάθμια                                   | Απομάκρυνση των υπολειπόμενων αιωρούμενων στερεών (μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία) συνήθως με χρήση μέσου διήθησης ή μικροσχάρας. Η απολύμανση είναι επίσης μέρος της τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Σε αυτόν τον ορισμό συμπεριλαμβάνεται συνήθως η απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών |
| Προχωρημένη                                   | Απομάκρυνση των διαλυμένων και αιωρούμενων υλικών που παραμένουν μετά τη συνηθισμένη βιολογική επεξεργασία όταν απαιτείται σε διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού.                                                                                                          |

# Διεργασίες για την απομάκρυνση ρύπων

| Συστατικό                  | Φυσική διεργασία ή βιολογική – χημική διεργασία                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αιωρούμενα στερεά          | Εσχάρωση<br>Απομάκρυνση άμμου<br>Καθίζηση<br>Υψηλού ρυθμού καθίζηση<br>Επίπλευση<br>Χημική κατακρήμνιση<br>Διήθηση χώρου<br>Διήθηση επιφάνειας                                                                                                                                                                                                                         |
| Βιοαποικοδομήσιμα οργανικά | Παραλλαγή αερόβιων συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας<br>Παραλλαγή αερόβιων συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας<br>Παραλλαγή αναερόβιων συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας<br>Παραλλαγή αναερόβιων συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας<br>Παραλλαγές επεξεργασίας σε λιμνοδεξαμενές<br>Φυσικο-χημικά συστήματα<br>Χημική οξείδωση<br>Προχωρημένη οξείδωση<br>Μεμβράνη διήθησης |



# Διεργασίες για την απομάκρυνση ρύπων

| Συστατικό                    | Φυσική διεργασία ή βιολογική – χημική διεργασία                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Θρεπτικά στοιχεία<br>Αζωτο   | Χημική οξείδωση (χλωρίωση έως το κρίσιμο σημείο)<br>Παραλλαγή συστημάτων νιτροποίησης-απονιτροποίησης αιωρούμενης βιομάζας<br>Παραλλαγή συστημάτων νιτροποίησης-απονιτροποίησης σταθερής κλίνης<br>Απαέρωση<br>Ιοντοεναλλαγή |
| Φώσφορος                     | Χημική επεξεργασία<br>Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου                                                                                                                                                                         |
| Αζωτο και φώσφορος           | Παραλλαγές βιολογικής απομάκρυνσης θρεπτικών                                                                                                                                                                                 |
| Παθογόνοι μικροοργανισμοί    | Ενώσεις χλωρίου<br>Διοξείδιο του χλωρίου<br>Όζον<br>Υπεριώδης ακτινοβολία                                                                                                                                                    |
| Κολλοειδή και διαλυτά στερεά | Μεμβράνες<br>Χημική επεξεργασία<br>Προσρόφηση σε άνθρακα<br>Ιοντοεναλλαγή                                                                                                                                                    |
| Πτητικές οργανικές ενώσεις   | Απαέρωση<br>Προσρόφηση άνθρακα<br>Προχωρημένη οξείδωση                                                                                                                                                                       |
| Οσμές                        | Χημικές πλυντρίδες<br>Προσρόφηση σε άνθρακα<br>Βιοφίλτρα<br>Φίλτρα με υλικό βιοαπικοδομήσεως                                                                                                                                 |

# Το δίκτυο αποχέτευσης ως βιολογικός αντιδραστήρας

Καθηγητής Π. Μελίδης  
Διδάκτορας Κ. Αζής

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων

# Δίκτυα αποχέτευσης - ορισμοί

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία για την επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων (Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 Φ.Ε.Κ. 192Β/14-3-97), **οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο των 2.000 θα πρέπει να διαθέτουν δίκτυα αποχέτευσης αστικών λυμάτων.**

**Δίκτυο αποχέτευσης** ονομάζεται το **σύνολο των τεχνικών έργων** που απαιτούνται για την **συλλογή και τη διοχέτευση αστικών λυμάτων και επιφανειακών αστικών απορροών**, σε προκαθορισμένους χώρους για περαιτέρω διεργασίες χημικής ή βιολογικής επεξεργασίας, πριν την τελική τους διάθεση.

# Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης - ορισμοί

Το δίκτυο αποχετεύσεως αποτελείται από **αγωγούς (βαρυτικούς ή υπό πίεση), αντλιοστάσια και έναν αριθμό λοιπών κατασκευών (π.χ. φρεάτια)** που στόχο έχουν να βοηθήσουν στην συλλογή και στην μεταφορά των υδραυλικών φορτίων.

Τα υδραυλικά φορτία που πρέπει να διαχειριστεί ένα δίκτυο αποχετεύσεως χαρακτηρίζονται από μεγάλη διακύμανση.

Υπό ξηρές συνθήκες (dry weather conditions), η **διακύμανση** της υδραυλικής παροχής μεταξύ ημέρας και νύχτας φθάνει ως και **μία τάξη μεγέθους**.

Σε γεγονότα βροχής, η αντίστοιχη διακύμανση κυμαίνεται μεταξύ δύο και τριών τάξεων μεγέθους.



# Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης - Είδη

## Είδη σύγχρονου δικτύου αποχετεύσεως

### Δίκτυα αστικών λυμάτων (ακαθάρτων)

Τα δίκτυα αστικών λυμάτων σχεδιάζονται με στόχο την συλλογή και μεταφορά των αστικών λυμάτων στην Μ.Ε.Υ.Α..

Η ροή πραγματοποιείται μέσω βαρυτικών αγωγών και/ή μέσω αγωγών υπό πίεση.

Οι υπό πίεση αγωγοί αποτελούν υδραυλικές κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των αστικών λυμάτων σε μεγαλύτερα υδραυλικά ύψη.

Αποτελούνται από ένα αντλιοστάσιο στο οποίο συλλέγονται τα λύματα, ώστε ακολούθως με τη βοήθεια αντλιών, να μεταφερθούν τμηματικά σε ανάντη σημεία, από όπου είτε μεταφέρονται μέσω βαρυτικών αγωγών είτε οδηγούνται σε επόμενο αντλιοστάσιο.

# Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης - Είδη

## **Δίκτυα ομβρίων**

Σχεδιάζονται για την συλλογή και μεταφορά των επιφανειακών απορροών.

Τα νερά εισέρχονται στο δίκτυο από φρεάτια ή υδατορεύματα, με τελικό προορισμό την διάθεση τους σε κάποιο αποδέκτη, με περιορισμένη ή καμία επεξεργασία.



# Σύγχρονα δίκτυα αποχέτευσης - Είδη

## Παντοροϊκά δίκτυα

Αστικά λύματα και αστικές επιφανειακές απορροές συλλέγονται και μεταφέρονται μαζί.

Σε ξηρές συνθήκες, τα παντοροϊκά δίκτυα λειτουργούν ως δίκτυα ακαθάρτων.

Ωστόσο ο σχεδιασμός τους, που εξαρτάται από τα υδραυλικά φορτία σε γεγονότα βροχής, επηρεάζει σημαντικά τις βιολογικές και χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα υπό ξηρές συνθήκες. Η ροή πραγματοποιείται μέσω βαρυτικών αγωγών ή/και αγωγών υπό πίεση.

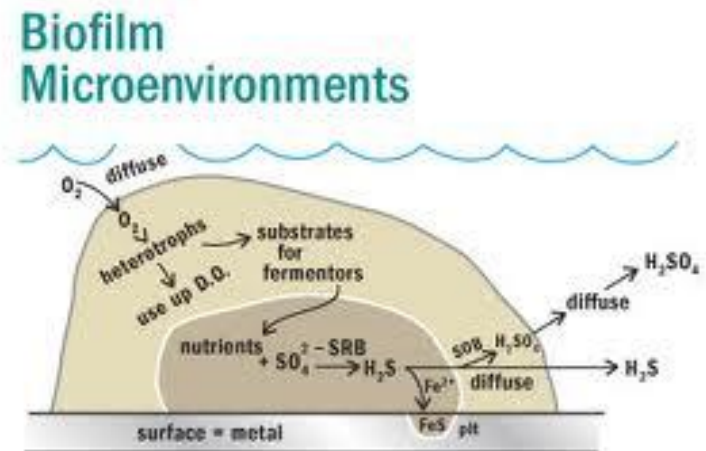


# Διατύπωση Προβλήματος

Ο σχεδιασμός, όμως, του δικτύου αποχέτευσης με βάση αποκλειστικά υδραυλικά δεδομένα αποτέλεσε το αίτιο για σημαντικό αριθμό λειτουργικών προβλημάτων που εμφανίστηκαν από τα μέσα του περασμένου αιώνα

**Το δίκτυο δεν είναι απλά ένα υδραυλικό σύστημα αλλά και ένας αντιδραστήρας που πραγματοποιούνται χημικές και βιολογικές μετατροπές, οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται, και αυτές υπόψη, κατά τον σχεδιασμό του.**

Ακόμα και σήμερα, όμως, οικονομικοί παράγοντες ή έλλειψη γνώσεων και εμπειρίας στον σχεδιασμό οδηγούν στην κατασκευή δικτύων που ευνοούν βιολογικές μετατροπές με αρνητικές επιπτώσεις στο δίκτυο, στην Μ.Ε.Υ.Α. ή ακόμα και στο αστικό περιβάλλον.

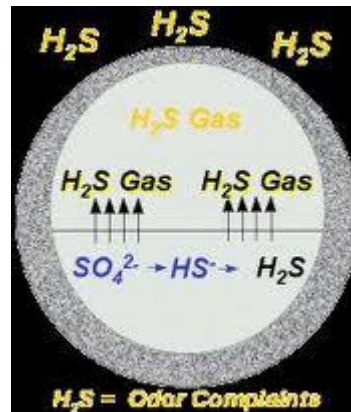


# Διατύπωση Προβλήματος

Κυριότερο παράδειγμα αποτελεί η βιολογική παραγωγή υδρόθειου, ως αποτέλεσμα της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών.

## Η παραγωγή υδρόθειου στο δίκτυο:

- μειώνει το χρόνο ζωής του έργου λόγω της διάβρωσης που προκαλεί η οξείδωση του στις επιφάνειες των αγωγών,
- οδηγεί σε λειτουργικά προβλήματα της Μ.Ε.Υ.Α. και
- γενικότερα έχει αρνητικές επιπτώσεις σε σημαντικό αριθμό αστικών δραστηριοτήτων λόγω εμφάνισης προβλημάτων δυσοσμίας.





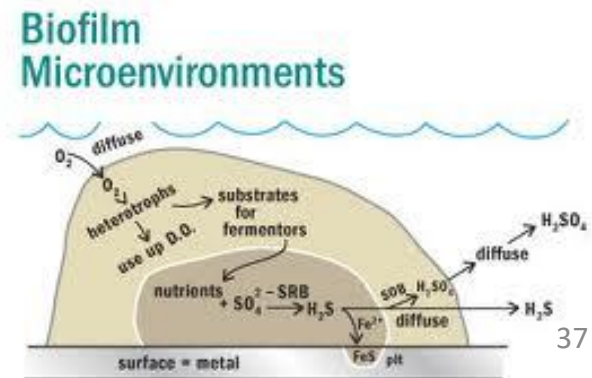
# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

Το δίκτυο δεν είναι μόνο ένα σύστημα συλλογής και μεταφοράς αλλά, ταυτόχρονα, και ένα **πολύπλοκο σύστημα όπου λαμβάνουν χώρα χημικές και βιολογικές μετατροπές**.

Οι μετατροπές αυτές λαμβάνουν χώρα σε τέσσερα διαφορετικά υποσυστήματα, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

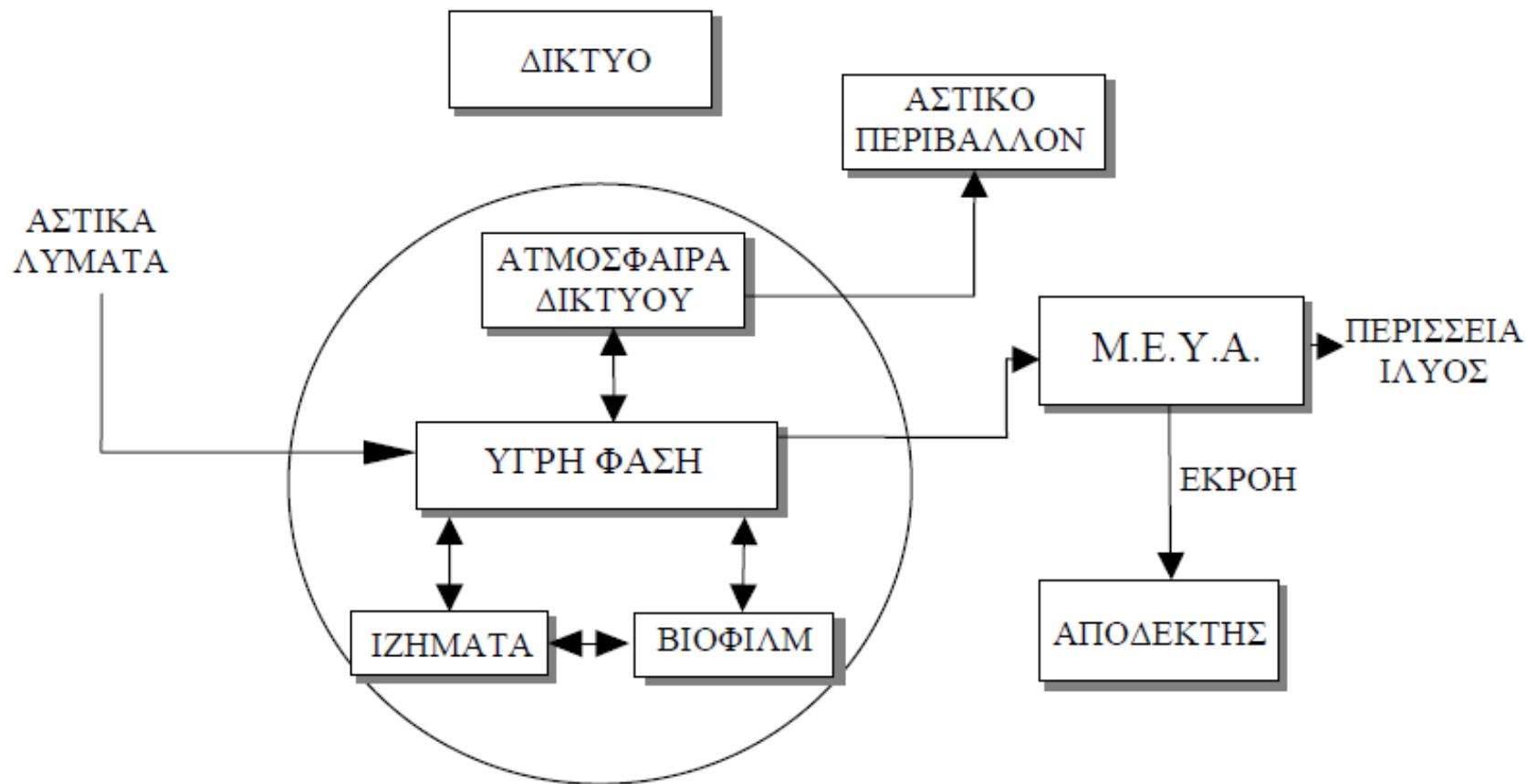
Τα υποσυστήματα αυτά είναι:

- Το αστικό λύμα (υγρή φάση)
- Το υμένιο καθηλωμένης βιομάζας (βιοφίλμ)
- Οι αποθέσεις στερεών
- Η ατμόσφαιρα του δικτύου (αέρια φάση).



# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

Τα υποσυστήματα βιολογικών και χημικών μετατροπών σε δίκτυα αστικών λυμάτων (Μαθιουδάκης 2009)



# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

Ο σχεδιασμός των δικτύων επηρεάζει το είδος των χημικών και βιολογικών μετατροπών που επικρατούν σε αυτό.

Οι επικρατούσες μετατροπές σε ένα δίκτυο καθορίζονται από την διαθεσιμότητα των ηλεκτρονιακών δεκτών.

| Συνθήκες   | Ηλεκτρονιακός δέκτης          | Είδη δικτύου που τυπικά παρουσιάζονται                                          |
|------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Αερόβιες   | $O_2$                         | Μερικώς πληρωμένοι βαρυτικοί αγωγοί<br>Προσθήκη αέρα/οξυγόνου σε αγωγούς πίεσης |
| Ανοξικές   | $NO_3^- / NO_2^-$             | Προσθήκη νιτρικού/νιτρώδους σε δίκτυα                                           |
| Αναερόβιες | $SO_4^{2-}$<br>Οργανικό υλικό | Πληρωμένοι βαρυτικοί αγωγοί<br>Αγωγοί πίεσης                                    |

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

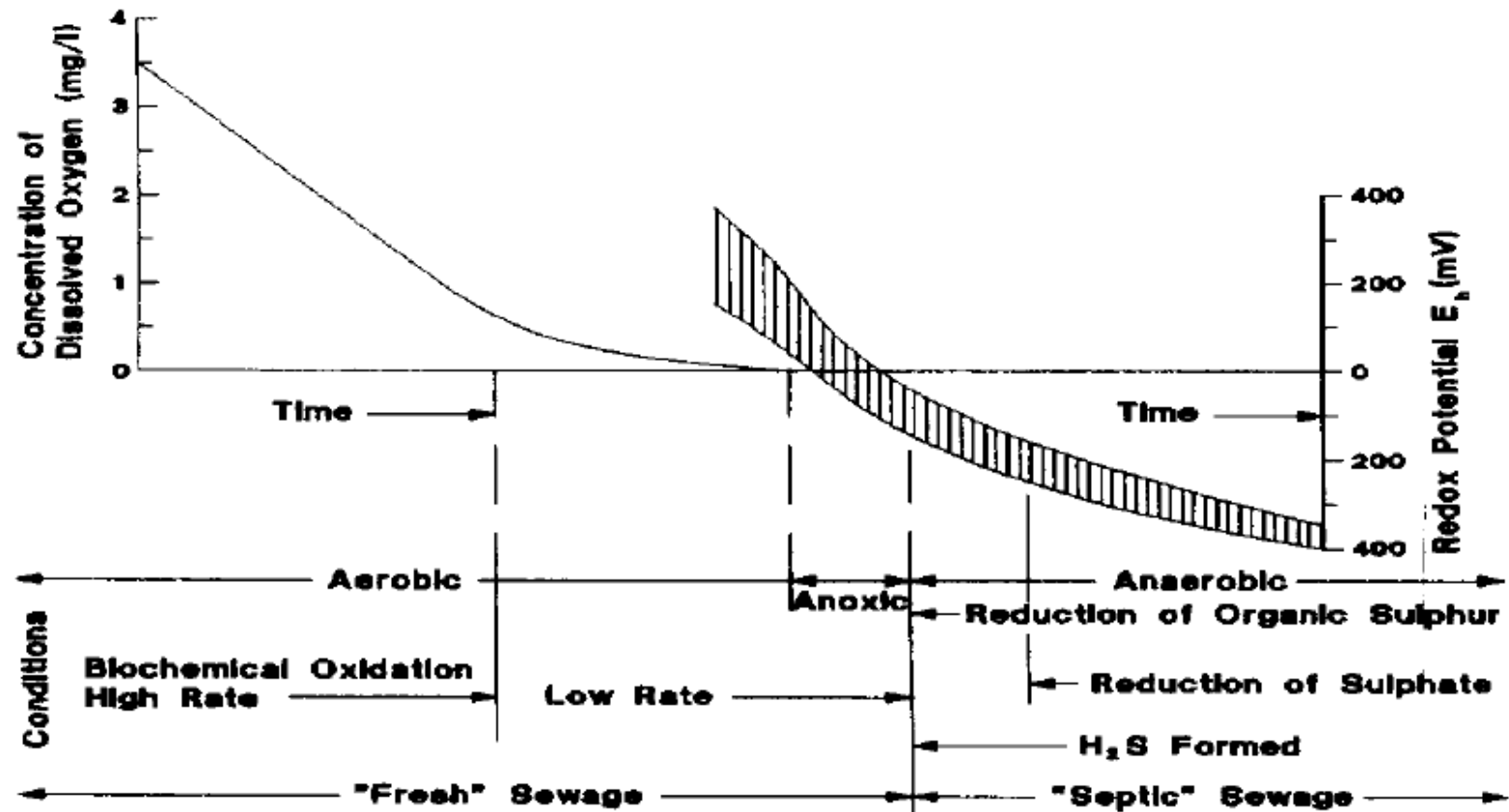
Σε μερικώς πληρωμένους βαρυτικούς αγωγούς, είναι δυνατή η μεταφορά οξυγόνου από την αέρια φάση στην υγρή φάση (επαναερισμός), με αποτέλεσμα να λαμβάνουν χώρα **αερόβιες μετατροπές**.

Αντίθετα, οι αγωγοί υπό πίεση είναι πληρωμένοι και ο επαναερισμός είναι αδύνατος.

Συνεπώς, κάτω από αυτές τις συνθήκες, θα λάβουν χώρα **αναερόβιες μετατροπές**, όπου το θειικό και το οργανικό υλικό λειτουργούν ως ηλεκτρονιακοί δέκτες.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

Μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στο αστικό λύμα σε σχέση με την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Μαθιουδάκης 2010)





# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Συνέπειες επικράτησης αναερόβιων συνθηκών στο δίκτυο αστικών λυμάτων

Η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών στο δίκτυο αστικών λυμάτων οδηγεί σε αρνητικές συνέπειες που σχετίζονται με:

- Προβλήματα οσμών
- Την διάβρωση κατασκευών από μέταλλα και τσιμέντο
- Την λειτουργία της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (Μ.Ε.Υ.Α.)

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Διάβρωση σκυροδέματος και μετάλλων



Είναι μία λευκή μάζα σε επιφάνειες σκυροδέματος, πάνω από την επιφάνεια των λυμάτων.

- Υπεύθυνα βακτήρια για την οξείδωση του υδρόθειου σε θειικό οξύ, ανήκουν κυρίως στα αερόβια χημειο-αυτότροφα βακτήρια του γένους *Thiobacillus*.
- Το κύριο προϊόν της διάβρωσης είναι το θειικό ασβέστιο (γύψος).
- Ραγδαία απώλεια σκυροδέματος.
- Προστατεύει το σκυρόδεμα από το θειικό οξύ.
- Ενώ, όταν ο γύψος ξεπλένεται από το δίκτυο, νέες επιφάνειες εκτίθενται σε επίθεση των οξέων επιταχύνοντας την διάβρωση.

(Πηγή: Διαδίκτυο)

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Διάβρωση σκυροδέματος και μετάλλων



## Διάβρωση ανθρωποθυρίδας

(Πηγή: Διαδίκτυο)

- Επίσης τα περισσότερα μέταλλα, μεταξύ αυτών και ο ανοξείδωτος χάλυβας, μπορούν να δεχτούν επίθεση και να καταστραφούν από την έκθεση τους σε ισχυρά οξέα.
- Γίνεται είτε με αποσύνθεση από οξέα που παράγονται από το γένος *Thiobacillus*, είτε με άμεση μοριακή επίθεση.
- Τα μέταλλα μετατρέπουν τους ισχυρούς μεταλλικούς δεσμούς τους σε λιγότερο ισχυρούς δεσμούς μετάλλου- θείουχου.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Επίδραση στις Μ.Ε.Υ.Α.

1. Μειώνει την αποτελεσματικότητα της βιολογικής επεξεργασίας λόγω επικράτησης θειο-οξειδωτικών νηματοειδών που οδηγούν σε φαινόμενα διόγκωσης ιλύος.
2. *Η νιτροποιητική δραστηριότητα μειώνεται, ως και 80%, σε μονάδες ενεργού ιλύος μειώνεται κατά 28%, 67%, 76% σε συγκεντρώσεις θειούχων 1, 5, 10 g/m<sup>3</sup>, αντίστοιχα (0,5 gS<sup>-2</sup>/m<sup>3</sup>)*
3. Η παρουσία θειούχου οδηγεί σε μεταβολή των νιφάδων ιλύος λόγω της αναγωγής του εσωτερικά δεσμευμένου τρισθενούς σιδήρου σε θειούχο σίδηρο, μειώνει την συνοχή των νιφάδων και τις οδηγεί στην αποσύνθεση.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Έλεγχος σηπτικότητας στο δίκτυο αστικών λυμάτων

1. **Ενεργητικές αρχές σχεδιασμού.** Λαμβάνονται υπόψη, κατά την φάση σχεδιασμού, ώστε να περιορίζονται ή να αποφεύγονται οι αναερόβιες συνθήκες.
2. **Παθητικές αρχές σχεδιασμού.** Λαμβάνονται υπόψη, κατά την φάση σχεδιασμού, (περιορίζονται οι συνέπειες της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών).
3. **Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας.** Στοχεύουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων σηπτικότητας και των συνεπειών τους, κατά την φάση λειτουργίας ενός δικτύου.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Ενεργητικές αρχές σχεδιασμού

Στόχο έχουν τον σχεδιασμό ενός δικτύου αστικών λυμάτων ώστε:

1. Ο ρυθμός επαναερισμού να επαρκεί για διατήρηση των αερόβιων συνθηκών.
2. Η τυρβώδης ροή να περιορίζεται σε σημεία όπου το λύμα είναι σηπτικό.
3. Η συσσώρευση στερεών στο δίκτυο να είναι περιορισμένη.
4. Το πάχος του σχηματισμένου βιοφίλμ στους αγωγούς να είναι όσο το δυνατόν λεπτότερο.



# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Παθητικές αρχές σχεδιασμού

Αποσκοπούν να **περιορίσουν την διάβρωση με τη χρήση υλικών με αντοχή στην διάβρωση** και στο σχεδιασμό ενός συστήματος εξαερισμού στα σημεία του δικτύου, όπου η μεταφορά του υδρόθειου στην αέρια φάση είναι σημαντική.

Μία αύξηση του τσιμέντου Portland στο μείγμα του σκυροδέματος ή η χρήση αλκαλικών υλικών μειώνει το ρυθμό διάβρωσης του, λόγω της αύξησης της αλκαλικότητας.

Ειδικοί τύποι σκυροδέματος, με υψηλή αντοχή στην διάβρωση επίσης υπάρχουν, αλλά το κόστος τους είναι σχετικά υψηλό.

Εναλλακτικά, η επιφάνεια του σκυροδέματος μπορεί να καλυφθεί με ειδικά αντιδιαβρωτικά καλύμματα ή διαφορετικά μπορεί να γίνει χρήση πλαστικών υλικών.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

Οι μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία των δικτύων αστικών λυμάτων, τα τελευταία σαράντα με πενήντα χρόνια, λόγω **της αδυναμίας πρόβλεψης των προβλημάτων σηπτικότητας κατά την φάση σχεδιασμού.**

Συνήθως απαιτούν την **προσθήκη ενός χημικού** και θα πρέπει να εξετάζονται ιδιαίτερα προσεκτικά οι πιθανές αρνητικές συνέπειες στην μετέπειτα επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

Πίνακας 2.14 Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων.

| Μέθοδος                                |                                                                                                             |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Περιορισμός βιολογικής δραστηριότητας  | Προσθήκη βάσεων<br>Χλωρίωση                                                                                 |
| Χημική οξείδωση/κατακρήμνιση υδρόθειου | Προσθήκη αλάτων σιδήρου<br>Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου<br>Οζόνωση<br>Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου |
| Μέθοδοι επεξεργασίας της αέριας φάσης  | Χημικές<br>Βιολογικές                                                                                       |
| Μηχανικές μέθοδοι                      | Πλύση δικτύου για απομάκρυνση των αποθέσεων<br>Χρήση υδραυλικών μηχανισμών για την αποκόλληση του βιοφίλμ   |
| Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής        | Προσθήκη ατμοσφαιρικού οξυγόνου<br>Προσθήκη καθαρού οξυγόνου<br>Προσθήκη νιτρικού/νιτρώδους                 |

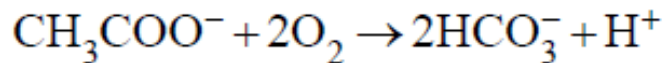
# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας - Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής Προσθήκη νιτρικού

Πίνακας 2.15 Η επίδραση του ηλεκτρονιακού δέκτη στην παραλαβή ενέργειας μέσω ετερότροφου μεταβολισμού.

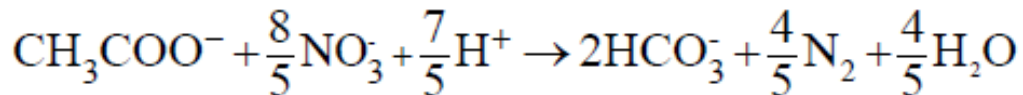
---

Αερόβια αναπνοή



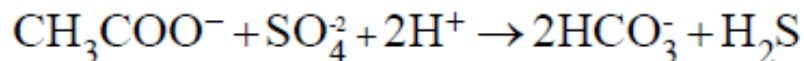
$$\Delta G_0' = -201,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με νιτρικό



$$\Delta G_0' = -189,0 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με θειικό



$$\Delta G_0' = -11,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

---

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

Περιορισμός βιολογικής δραστηριότητας

Προσθήκη βάσεων

Χλωρίωση

Χημική οξείδωση/κατακρήμνιση διαλυτού υδρόθειου

Προσθήκη αλάτων σιδήρου

Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου

Οζόνωση

Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου

## Μέθοδοι επεξεργασίας της αέριας φάσης

Προσρόφησης σε βασικά ή οξειδωτικά διαλύματα,

Βιόφιλτρα (ο επιβαρυμένος αέρας διέρχεται μέσα από φίλτρο (οξειδία τρισθενούς σιδήρου) όπου έχει αναπτυχθεί βιοφίλμ.

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών



Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου.



Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου.



# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών



Μονάδα επεξεργασίας αέρα για απομάκρυνση υδρόθειου.

(Πηγή: Διαδίκτυο)

# Υποσυστήματα βιοχημικών μετατροπών

## Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας

### Μηχανικές μέθοδοι

Η επανααιώρηση των στερεών αποθέσεων μέσω ελεγχόμενης πλύσης του δικτύου και η αποκόλληση του βιοφίλμ με χρήση μηχανικής σφαίρας αποτελούν τα κυριότερα παραδείγματα μηχανικών μεθόδων για τον έλεγχο των προβλημάτων σηπτικότητας.



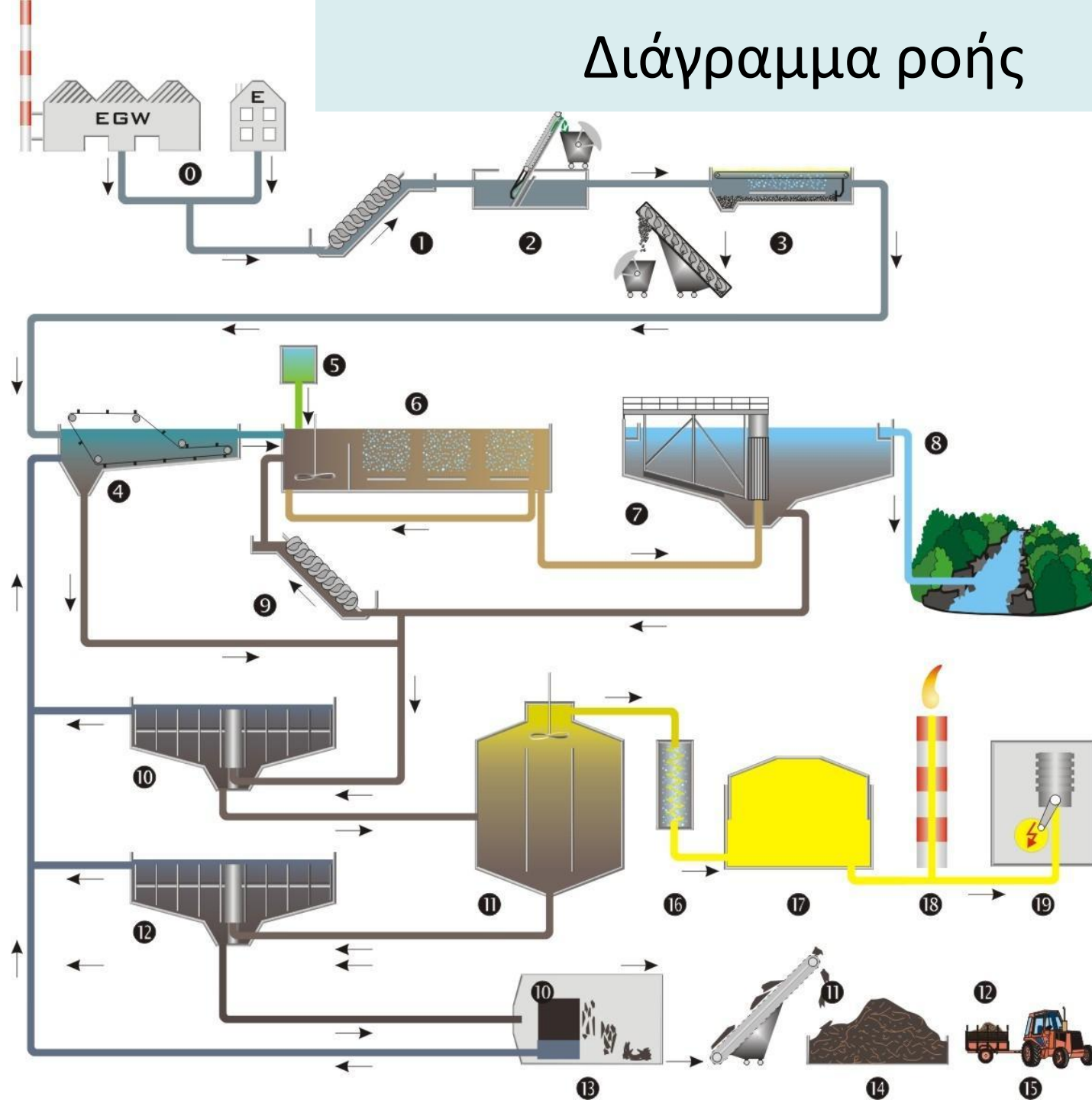
Σφαίρες αποκόλλησης βιοφίλμ για δίκτυα αστικών λυμάτων.

# Προεπεξεργασία

Καθηγητής Π. Μελίδης  
Διδάκτορας Κ. Αζής

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών  
Αποβλήτων

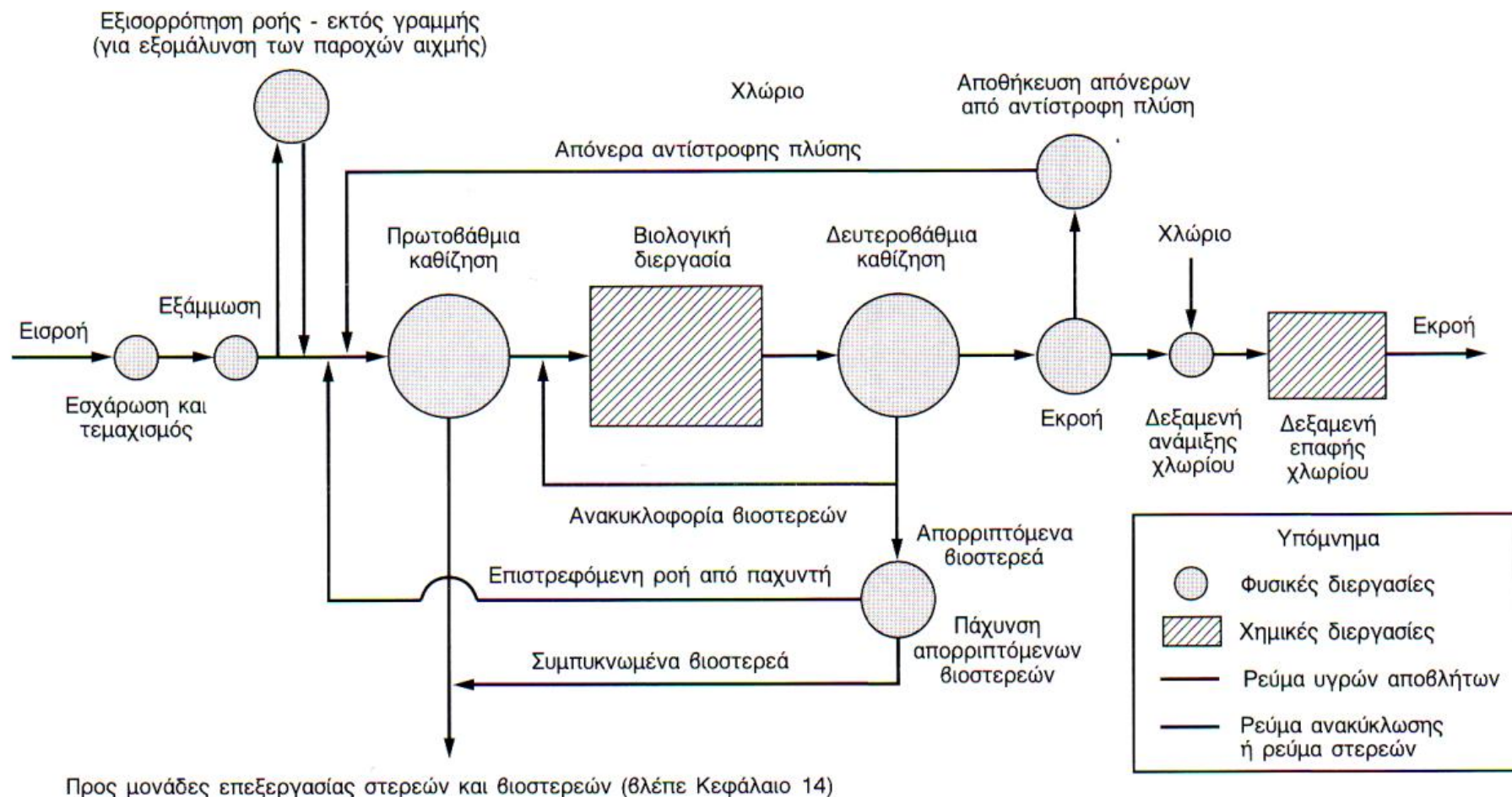
# Διάγραμμα ροής



# Φυσικές διεργασίες

1. Εσχάρωση
2. Ελάττωση των χονδρών στερεών (τεμαχισμό, θραύση, άλεση, εσχαρισμάτων)
3. Εξισορρόπηση ροής
4. Ανάμιξη ροής
5. Ανάμιξη και συσσωμάτωση
6. Εξάμμωση
7. Καθίζηση
8. Διαύγαση υψηλού ρυθμού
9. Διαχωρισμός με επιτάχυνση της βαρύτητας (δίνη)
10. Επίπλευση
11. Μεταφορά οξυγόνου
12. Αερισμός

# Φυσικές διεργασίες



Διάταξη των φυσικών διεργασιών στο διάγραμμα ροής μιας ΜΕΛ.

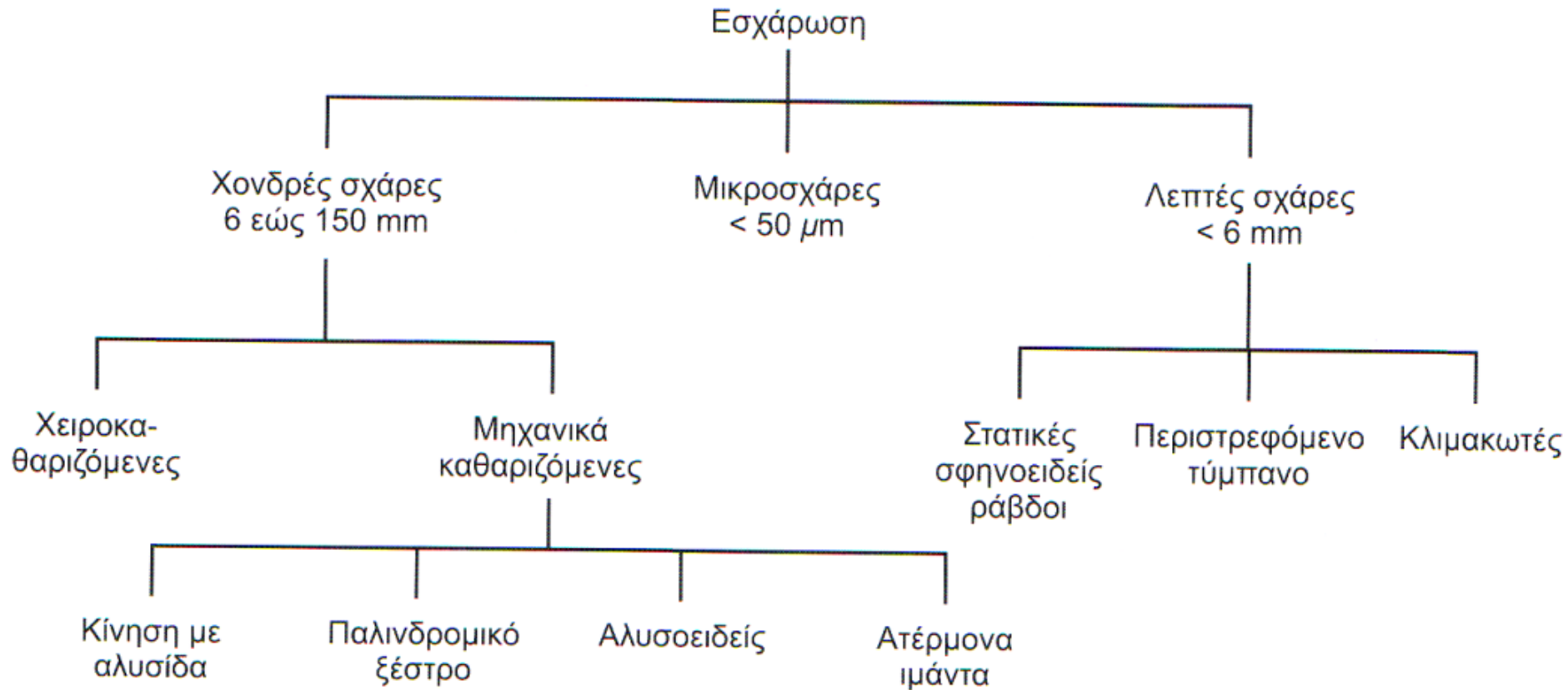


# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση

Ο ρόλος της είναι η απομάκρυνση σωματιδίων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν:

1. Ζημία στον εξοπλισμό
2. Να ελαττώσουν τη συνολική αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης
3. Να προκαλέσουν ρύπανση των υδάτινων ρευμάτων

# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση



Σχηματικά διαγράμματα για τους τύπους των σχαρών που χρησιμοποιούνται

# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση



Coarse Screen



Fine Screen



Perforated Plate Screen



Mesh Screen

## Είδη διάτρητων σχαρών

Η διάταξη εσχάρωσης μπορεί να αποτελείται από:  
→ παράλληλες ράβδους ή χονδρά σύρματα (απομάκρυνση στερεών μεγάλου μεγέθους),  
→ δικτυωτό, μεταλλικό πλέγμα ή διάτρητη πλάκα και

- τα ανοίγματα μπορεί να έχουν οποιοδήποτε σχήμα
- γενικά είναι σπές με κυκλική ή ορθογώνια διατομή

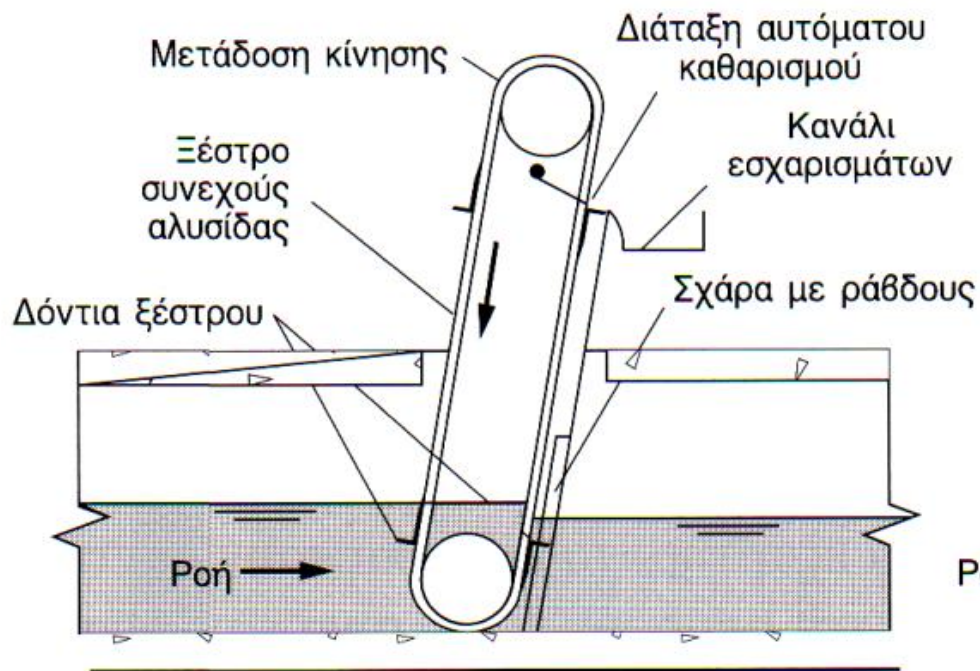
# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση

## Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού

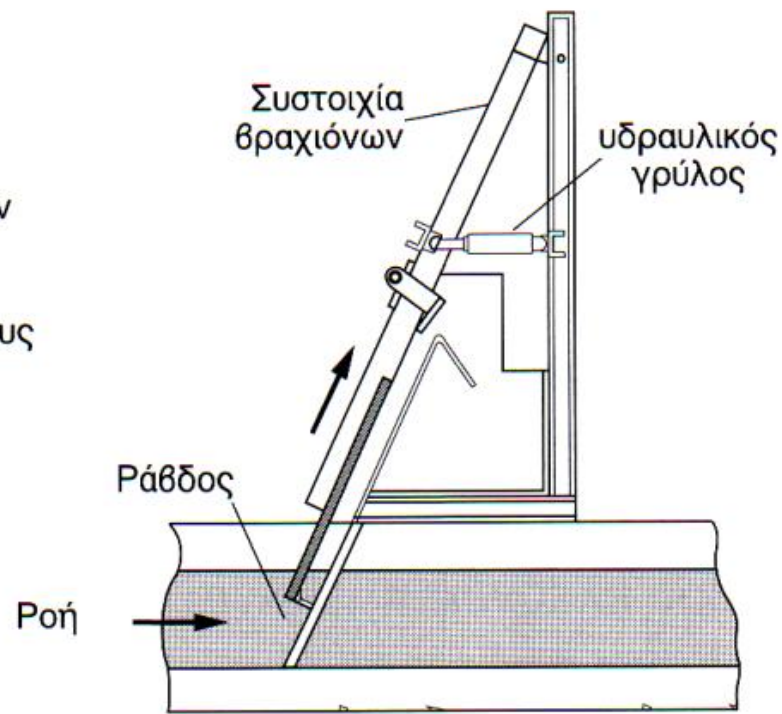
| Παράμετρος                           | Μονάδα | Μονάδες Η.Π.Α<br>Μέθοδος καθαρισμού |          | Μονάδα | Μονάδες SI<br>Μέθοδος καθαρισμού |          |
|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|----------|--------|----------------------------------|----------|
|                                      |        | Χειρωνακτικά                        | Μηχανικά |        | Χειρωνακτικά                     | Μηχανικά |
| Μέγεθος ράβδου                       |        |                                     |          |        |                                  |          |
| Πλάτος                               | in     | 0.2–0.6                             | 0.2–0.6  | mm     | 5–15                             | 5–15     |
| Βάθος                                | in     | 1.0–1.5                             | 1.0–1.5  | mm     | 25–38                            | 25–38    |
| Διάκενα μεταξύ των<br>ράβδων         | in     | 1.0–2.0                             | 0.6–3.0  | mm     | 25–50                            | 15–75    |
| Κλίση ως προς την<br>κατακόρυφο      | °      | 30–45                               | 0–30     | °      | 30–45                            | 0–30     |
| Ταχύτητα προσέγγισης                 |        |                                     |          |        |                                  |          |
| Μέγιστη                              | ft/s   | 1.0–2.0                             | 2.0–3.25 | m/s    | 0.3–0.6                          | 0.6–1.0  |
| Ελάχιστη                             |        |                                     | 1.0–1.6  | m/s    |                                  | 0.3–0.5  |
| Επιτρεπόμενες<br>υδραυλικές απώλειες |        |                                     | 6–24     | mm     | 150                              | 150–600  |



# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση



(α)



(β)

Τυπικές μηχανικά καθαριζόμενες χονδρές σχάρες  
α) πρόσθιου καθαρισμού, β) παλινδρομικού ξέστρου



# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση



Τυπικές μηχανικά καθαριζόμενες χονδρές σχάρες  
α) πρόσθιου καθαρισμού, β) παλινδρομικού ξέστρου



# Φυσικές διεργασίες - Εσχάρωση

Τυπικά στοιχεία απομάκρυνσης του BOD και των TSS με λεπτές σχάρες που χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν την καθίζηση

| Τύποι σχαρών             | Μέγεθος ανοιγμάτων |      | Απομάκρυνση % |         |
|--------------------------|--------------------|------|---------------|---------|
|                          | in                 | mm   | BOD           | TSS     |
| Σταθερή παραβολική       | 0.0625             | 1.6  | 5 - 20        | 5 - 30  |
| Περιστρεφόμενου τύμπανου | 0.01               | 0.25 | 25 - 50       | 25 - 45 |

<sup>a</sup> Η πραγματική απομάκρυνση που μπορεί να επιτευχθεί εξαρτάται από τη φύση του συστήματος συλλογής των υγρών αποβλήτων και το χρόνο μεταφοράς των υγρών αποβλήτων.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα - Περιγραφή

Η καθίζηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση:

Άμμου,

TSS (πρωτοβάθμια καθίζηση)

Βιολογικών κροκίδων (δευτεροβάθμια καθίζηση)

Χημικών κροκίδων

Πύκνωση των στερεών σε παχυντές λάσπης.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Θεωρία διαχωρισμού με βαρύτητα - Περιγραφή

Με βάση τη συγκέντρωση και την τάση των σωματιδίων να αλληλεπιδρούν, υπάρχουν τέσσερις τύποι καθίζησης με βαρύτητα:

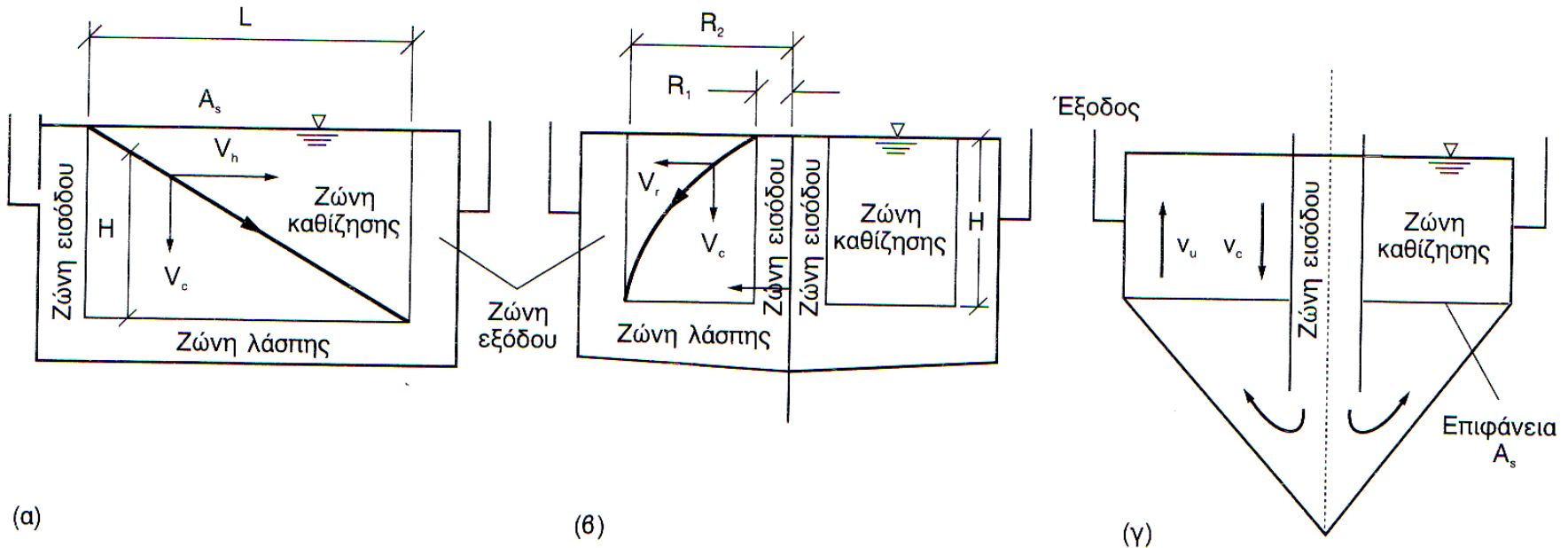
- (1) διακεκριμένων σωματιδίων,
- (2) συσσωμάτωσης,
- (3) παρεμποδισμένη (επίσης καλείται ζώνης) και
- (4) με συμπίεση.

Άλλες διεργασίες διαχωρισμού με βαρύτητα περιλαμβάνουν την καθίζηση υψηλού ρυθμού, την καθίζηση με επιταχυνόμενη βαρύτητα και την επίπλευση.

# Διαχωρισμός με βαρύτητα

## Καθίζηση Διακεκριμένων Σωματιδίων (ιδανική)

Η ιδανική καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε τρεις διαφορετικούς τύπους δεξαμενών καθίζησης α) ορθογώνια, β) κυκλική, γ) ανοδικής ροής



(Πηγή: Μηχανική Υγρών Αποβλήτων)

# Απομάκρυνση άμμου

## Απομάκρυνση άμμου

Η απομάκρυνση άμμου από υγρά απόβλητα μπορεί να επιτευχθεί με εξαμμωτές ή με φυγοκεντρικό διαχωρισμό των στερεών.

Οι εξαμμωτές σχεδιάζονται για την απομάκρυνση:

χαλικιών,

αμμοχάλικου,

τέφρας ή

άλλων βαριών στερεών υλικών που έχουν ταχύτητα καθίζησης ή σχετική πυκνότητα μεγαλύτερη από αυτή των οργανικών σηπτικών στερεών στα υγρά απόβλητα.

# Απομάκρυνση άμμου

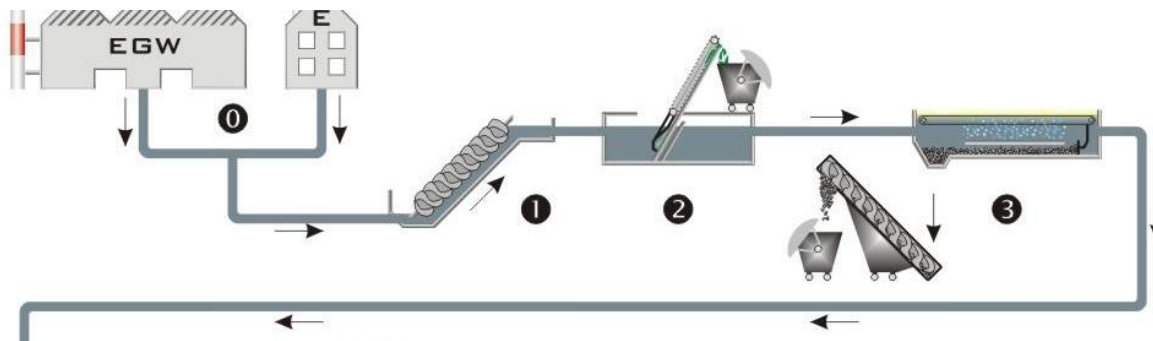
## Απομάκρυνση άμμου

Οι εξαμμητές συνήθως τοποθετούνται μετά από τις σχάρες και πριν τη πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης.

Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των βαριών οργανικών στερεών.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις, οι εξαμμητές προηγούνται των εγκαταστάσεων εσχάρωσης.

Γενικά, η εγκατάσταση των διατάξεων εσχάρωσης μπροστά από τους εξαμμητές διευκολύνει τη λειτουργία και τη συντήρηση των διατάξεων απομάκρυνσης της άμμου.





# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη εξαμμωτών

Οι εξαμμωτές χρησιμοποιούνται για:

- (1) να προστατεύσουν τον κινούμενο μηχανικό εξοπλισμό από τριβές και από μη φυσική φθορά,
- (2) να μειώσουν το σχηματισμό αποθέσεων σε αγωγούς, κανάλια και σωληνώσεις και
- (3) να μειώσουν τη συχνότητα καθαρισμού των χωνευτών που προκαλείται από υπερβολική συσσώρευση άμμου.

Η απομάκρυνση της άμμου είναι ουσιώδης όταν προηγείται από φυγόκεντρες αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας και αντλίες διαφράγματος υψηλής πίεσης.

# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη εξαμμωτών

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι εξαμμωτών:

- οριζόντιας ροής σε ορθογώνια ή τετράγωνη διάταξη,
- αεριζόμενοι ή
- τύπου δίνης.

# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη εξαμμωτών

Στον τύπο οριζόντιας ροής, η ροή περνάει μέσα από μια δεξαμενή σε οριζόντια κατεύθυνση και η γραμμική ταχύτητα της ροής ελέγχεται από τις διαστάσεις της μονάδας, τη θύρα διανομής της εισροής και τον υπερχειλιστή στην έξοδο της εκροής.

Ο αεριζόμενος τύπος αποτελείται από μια δεξαμενή αερισμού με ελικοειδή ροή όπου η ελικοειδής ταχύτητα αναπτύσσεται και ελέγχεται από τις διαστάσεις της δεξαμενής και την ποσότητα του αέρα που παρέχεται στη μονάδα.

Ο τύπος δίνης αποτελείται από μια κυλινδρική δεξαμενή στην οποία η ροή εισάγεται εφαπτομενικά έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ροή τύπου δίνης.

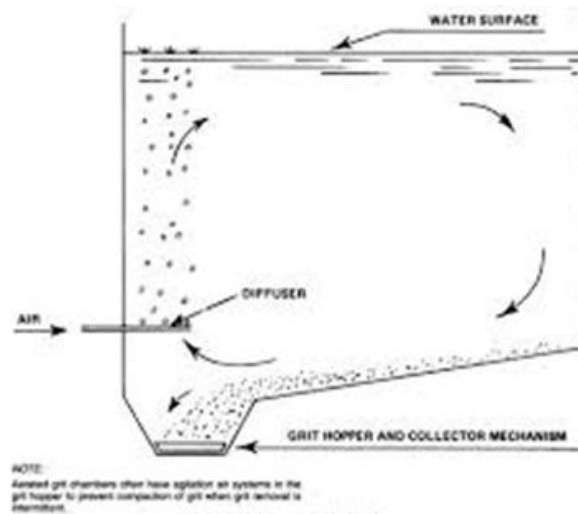
# Απομάκρυνση άμμου

## Είδη εξαμμωτών

Ο διαχωρισμός της άμμου οφείλεται στις δυνάμεις βαρύτητας και στις φυγόκεντρες δυνάμεις.

Ο σχεδιασμός των εξαμμωτών βασίζεται συνήθως στην απομάκρυνση σωματιδίων άμμου με σχετική πυκνότητα 2.65 και σε θερμοκρασία υγρών αποβλήτων 15.5°C.

Ωστόσο, η ανάλυση των δεδομένων απομάκρυνσης άμμου δείχνει ότι η σχετική πυκνότητα κυμαίνεται από 1.3 έως 2.7.



# Απομάκρυνση άμμου

## Ορθογώνιοι Εξαμμεωτές Οριζόντιας Ροής

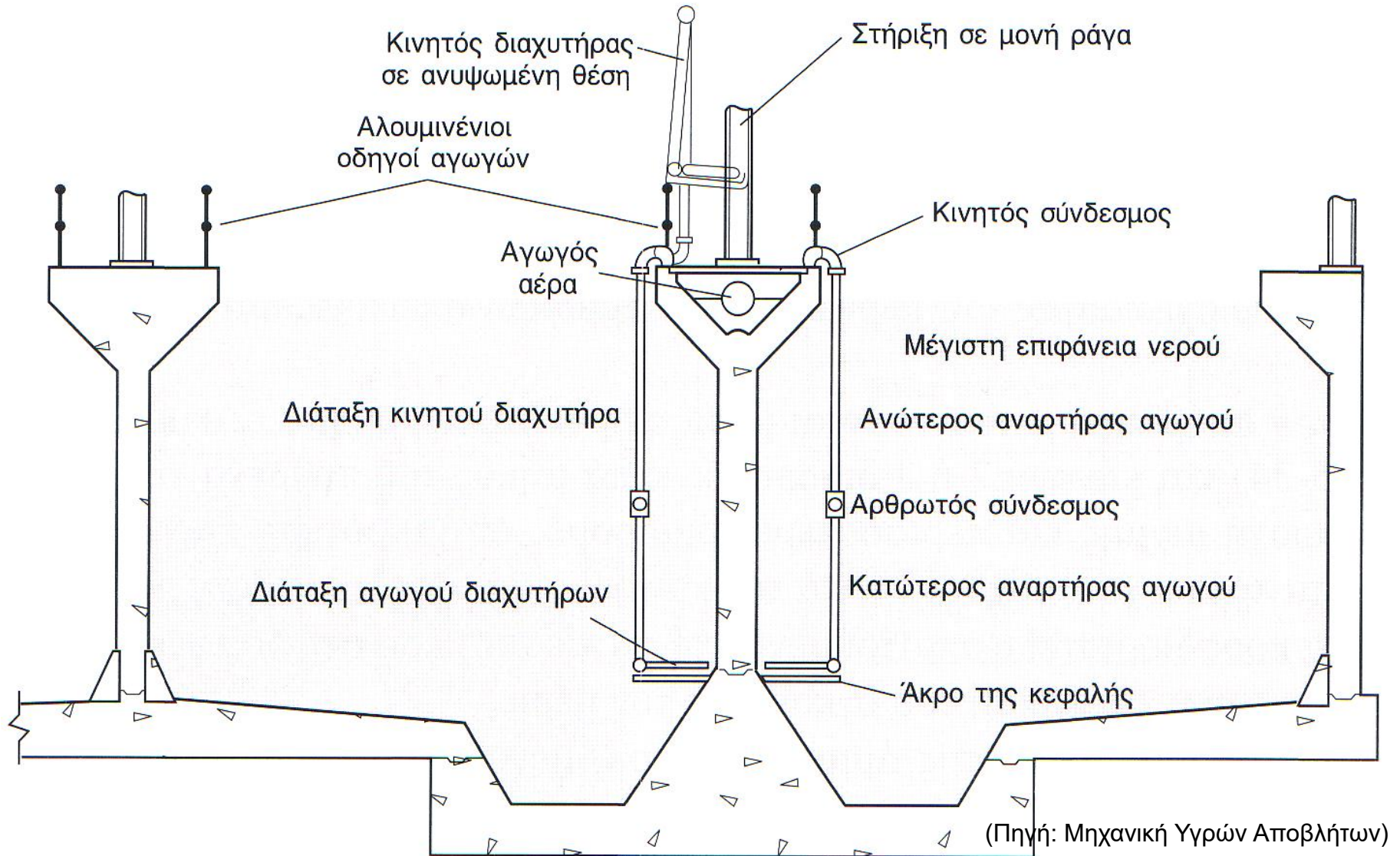
|                                                                     | Μονάδες Η.Π.Α       |             |                 | Μονάδες S.I.       |             |                 |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|-----------------|--------------------|-------------|-----------------|
|                                                                     | Μονάδες             | Εύρος τιμών | Τυπική τιμή     | Μονάδες            | Εύρος τιμών | Τυπική τιμή     |
| Χρόνος παραμονής                                                    | s                   | 45 – 90     | 60              | s                  | 45 – 90     | 60              |
| Οριζόντια ταχύτητα                                                  | ft/s                | 0.8 – 1.3   | 1.0             | m/s                | 0.25 – 0.4  | 0.3             |
| Ταχύτητα καθίζησης για απομάκρυνση:                                 |                     |             |                 |                    |             |                 |
| 0.21 mm (65-mesh) σωματιδίων                                        | ft/min <sup>α</sup> | 3.2 – 4.2   | 3.8             | m/min <sup>α</sup> | 1.0 – 1.3   | 1.15            |
| 0.15 mm (65-mesh) σωματιδίων                                        | ft/min <sup>α</sup> | 2.0 – 3.0   | 2.5             | m/min <sup>α</sup> | 0.6 – 0.9   | 0.75            |
| Υδραυλικές απώλειες σε ένα τμήμα ελέγχου ως % του βάθους στο κανάλι | %                   | 30 – 40     | 36 <sup>β</sup> | %                  | 30 – 40     | 36 <sup>β</sup> |
| Επιπλέον μήκος που απαιτείται για το τυρβώδες στην είσοδο και έξοδο | %                   | 25 – 50     | 30              | %                  | 25 – 50     | 30              |

<sup>α</sup> Όταν η σχετική πυκνότητα της άμμου είναι σημαντικά μικρότερη από 2.65, πρέπει να χρησιμοποιούνται μικρότερες ταχύτητες.

<sup>β</sup> Για τη ρύθμιση με μετρητή Parshall.

# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμηωτές

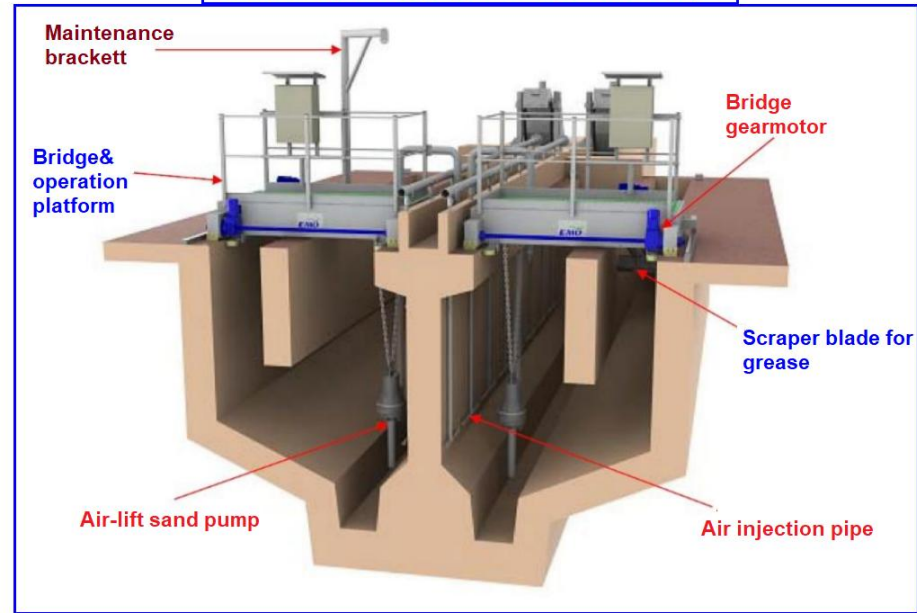
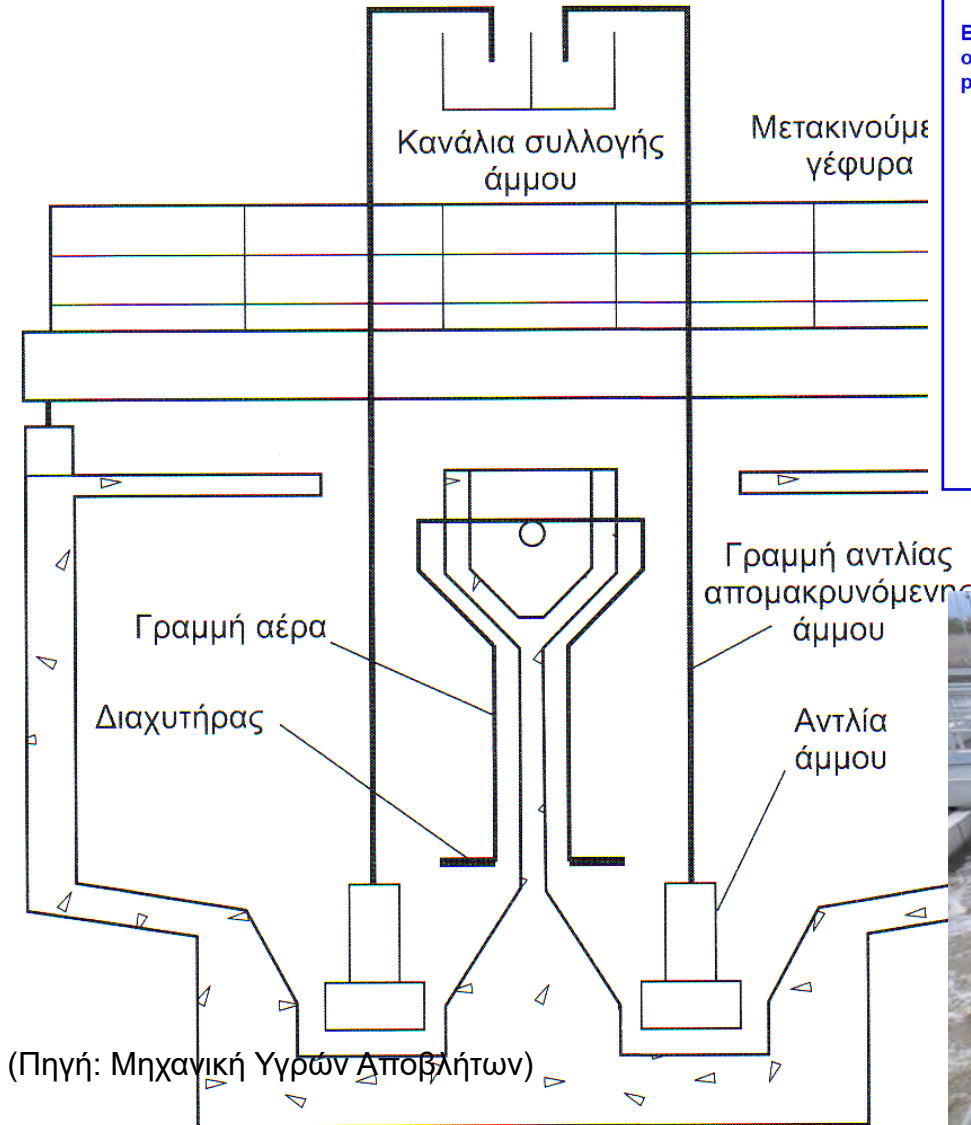




# Απομάκρυνση άμμου

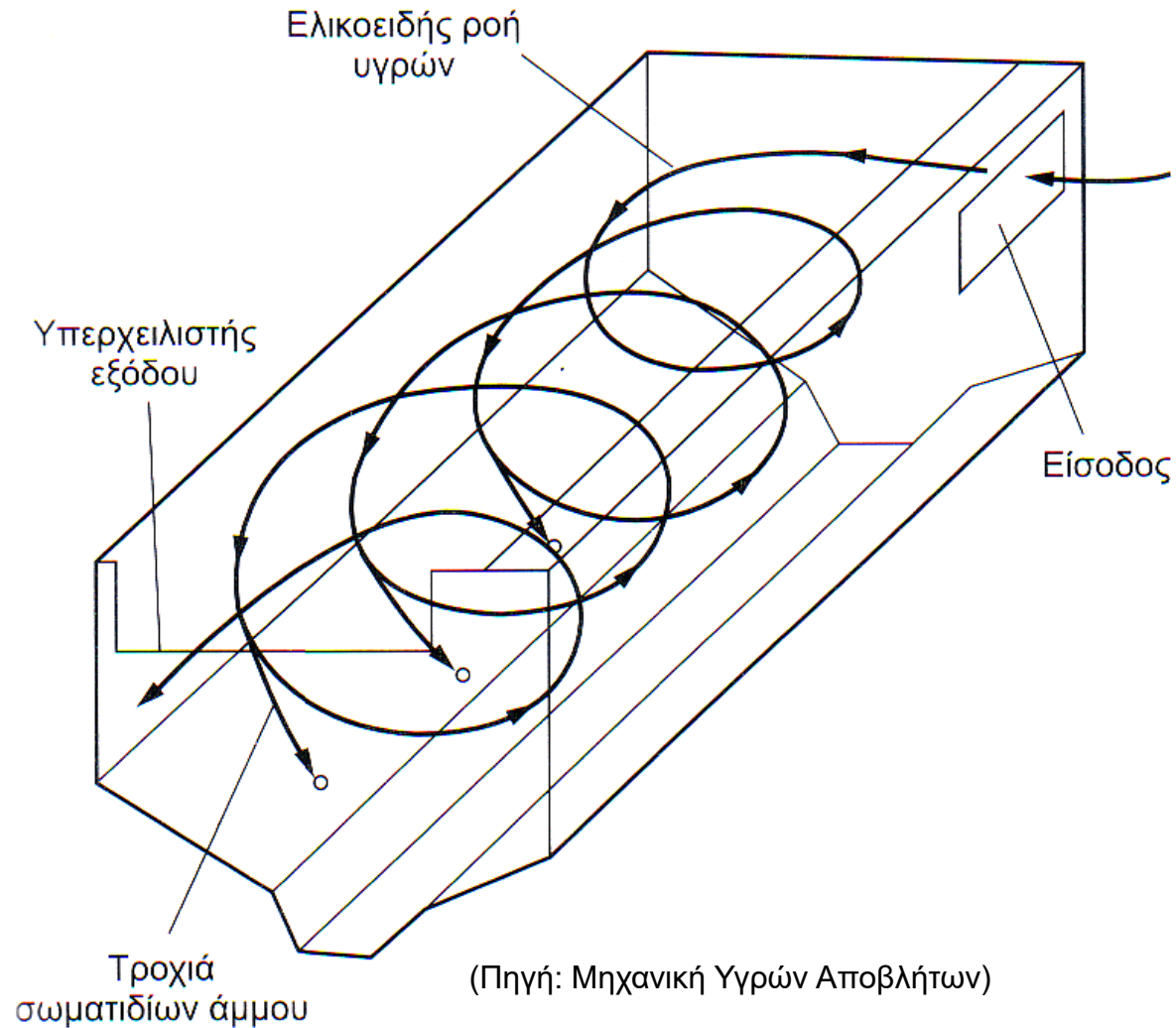
Aerated Grit Chambers with Air Lift Pumps

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές



# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμηωτές



# Απομάκρυνση άμμου

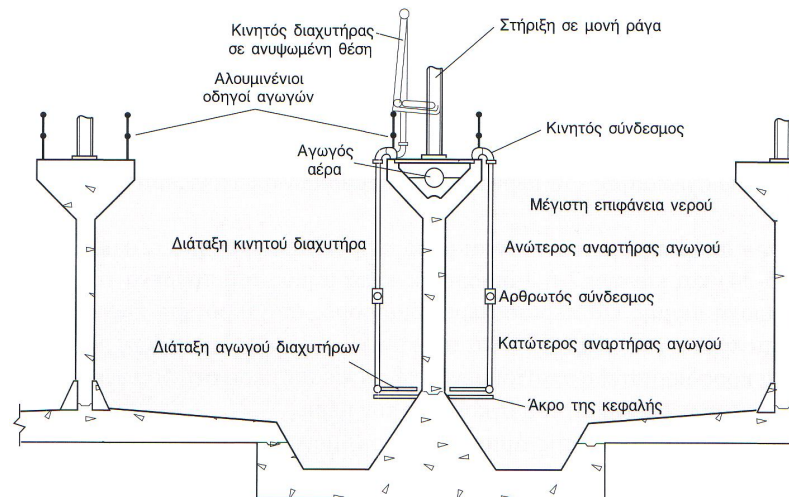
## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές

Στους αεριζόμενους εξαμμωτές, ο αέρας εισάγεται από τη μια πλευρά της ορθογώνιας δεξαμενής για να δημιουργηθεί μια ελικοειδής ροή κάθετη στη ροή μέσα από τη δεξαμενή.

Τα βαρύτερα σωματίδια της άμμου που έχουν υψηλότερες ταχύτητες καθίζησης καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής.

Τα ελαφρύτερα, κυρίως οργανικά σωματίδια, παραμένουν σε αιώρηση και περνούν μέσα από τη δεξαμενή.

Η ταχύτητα της περιστροφής ή ανάδευσης καθορίζει το μέγεθος των σωματιδίων τα οποία θα απομακρυνθούν με δεδομένη σχετική πυκνότητα.



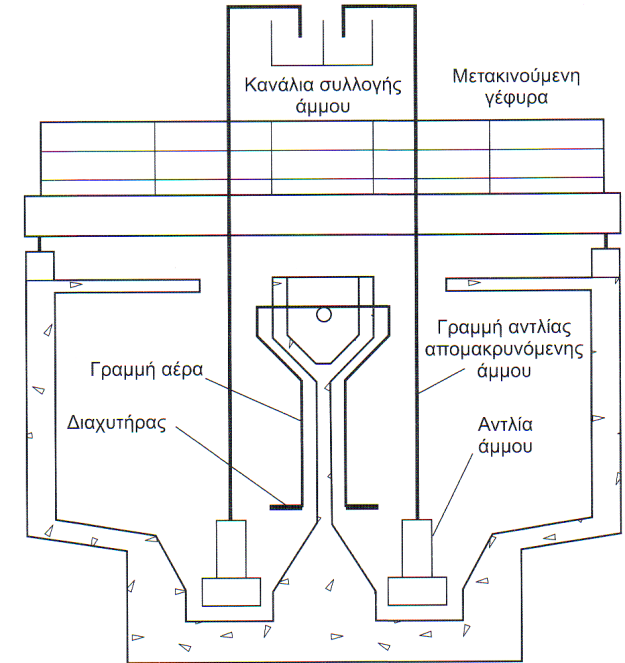
# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμωτές

Σχεδιάζονται για να απομακρύνονται σωματίδια με διάμετρο 0.21 mm ή μεγαλύτερα, με χρόνους παραμονής 2- ή 5- λεπτών κατά την ωριαία παροχή αιχμής.

Οι διαχυτήρες τοποθετούνται 0.45 έως 0.6 m πάνω από τον πυθμένα.

Ανακλαστήρες εισόδου και εξόδου χρησιμοποιούνται συχνά για υδραυλικό έλεγχο και βελτίωση της απόδοσης απομάκρυνσης άμμου.





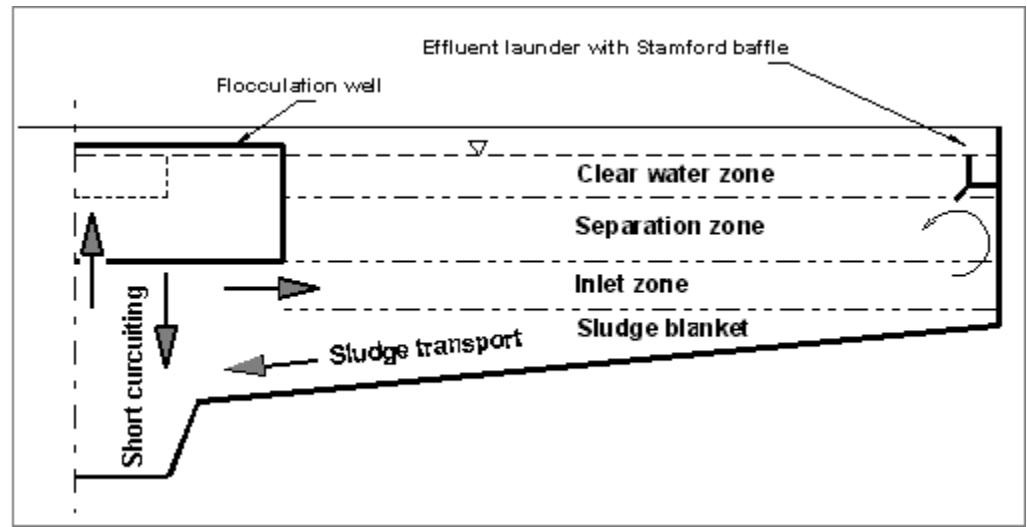
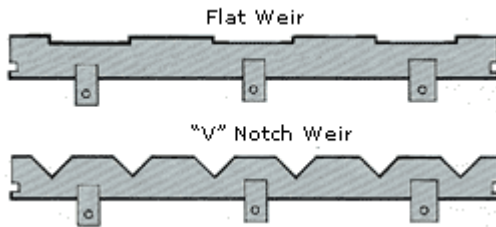
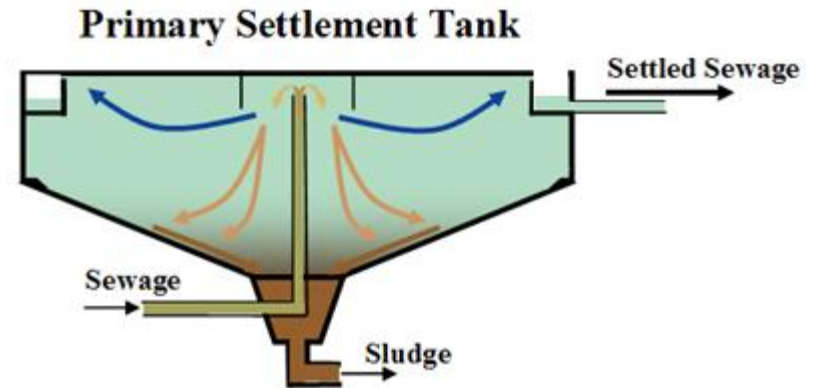
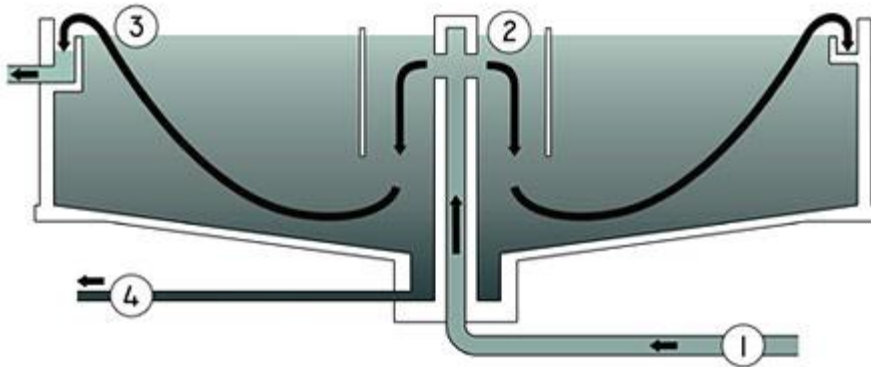
# Απομάκρυνση άμμου

## Αεριζόμενοι Εξαμμηωτές – Βασικά στοιχεία σχεδιασμού

| Παράμετροι                        | Μονάδες Η.Π.Α           |             |             | Μονάδες S.I.                                   |             |             |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                   | Μονάδες                 | Εύρος τιμών | Τυπική τιμή | Μονάδες                                        | Εύρος τιμών | Τυπική τιμή |
| Χρόνος παραμονής σε παροχή αιχμής | min                     | 2-5         | 3           | min                                            | 2-5         | 3           |
| Διαστάσεις:                       |                         |             |             |                                                |             |             |
| Βάθος                             | ft                      | 7-16        |             | m                                              | 2-5         |             |
| Μήκος                             | ft                      | 25-65       |             | m                                              | 7.5-20      |             |
| Πλάτος                            | ft                      | 8-23        |             | m                                              | 2.5-7       |             |
| Λόγος πλάτους- βάθους             | Λόγος                   | 1:1 to 5:1  | 1.5:1       | Λόγος                                          | 1:1 to 5:1  | 1.5:1       |
| Λόγος μήκους - πλάτους            | Λόγος                   | 3:1 to 5:1  | 4:1         | Λόγος                                          | 3:1 to 5:1  | 4:1         |
| Παροχή αέρα ανά μονάδα μήκους     | ft <sup>3</sup> /ft·min | 3-8         |             | m <sup>3</sup> /m·min                          | 0.2-0.5     |             |
| Ποσότητα άμμου                    | ft <sup>3</sup> /Mgal   | 0.5-27      | 2           | m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> | 0.004-0.20  | 0.015       |

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης





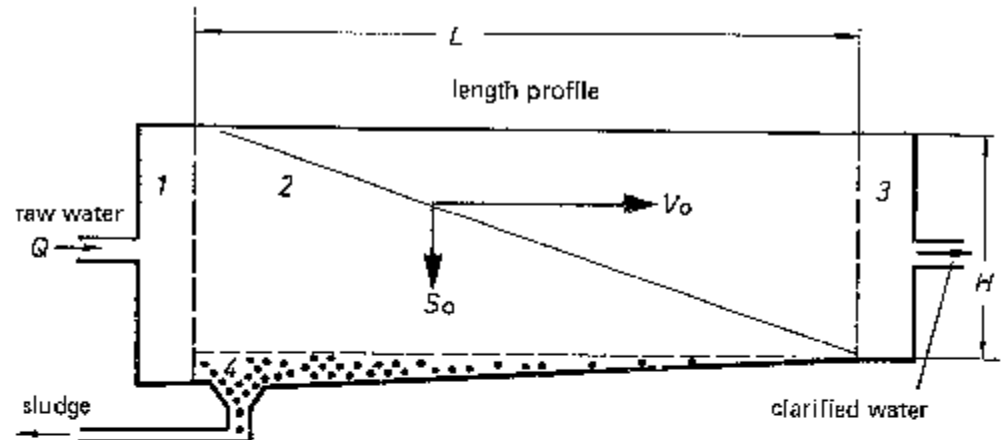
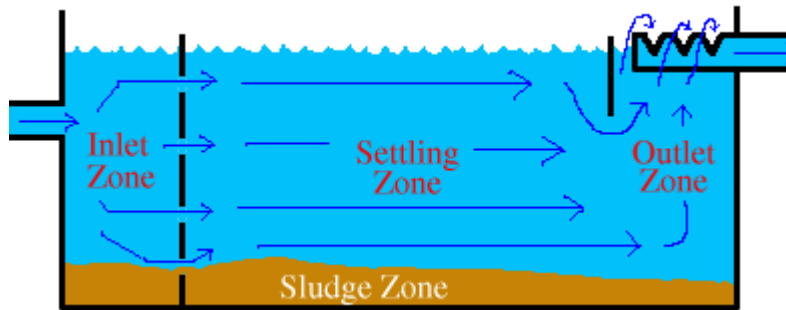
# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Τυπικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά για δεξαμενές Α καθίζησης

| Παράμετρος                                                            | Μονάδες                          | Πεδίο   | Τυπικές τιμές |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|---------------|
| Δεξαμενές Α καθίζησης που ακολουθούνται από δευτεροβάθμια επεξεργασία |                                  |         |               |
| Χρόνος παραμονής                                                      | h                                | 1.5-2.5 | 2.0           |
| Ταχύτητα υπερχείλισης                                                 |                                  |         |               |
| Μέση παροχή                                                           | $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ | 30-50   | 40            |
| Ωριαία παροχή αιχμής                                                  | $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ | 80-120  | 100           |
| Φόρτιση υπερχειλιστή                                                  | $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ | 125-500 | 250           |
| Α βάθμια καθίζηση με επιστροφή αποβλήτων ενεργού ιλύος                |                                  |         |               |
| Χρόνος παραμονής                                                      | h                                | 1.5-2.5 | 2.0           |
| Ταχύτητα υπερχείλισης                                                 |                                  |         |               |
| Μέση παροχή                                                           | $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ | 24-32   | 28            |
| Ωριαία παροχή αιχμής                                                  | $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ | 48-70   | 60            |
| Φόρτιση υπερχειλιστή                                                  | $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ | 125-500 | 250           |

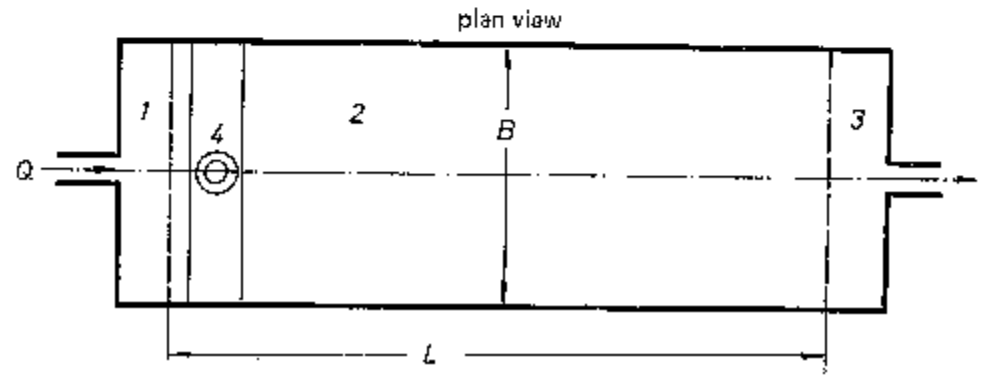
# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Παράδειγμα: Σχεδιασμός Πρωτοβάθμιας Δεξαμενής Καθίζησης



$L$  = length  
 $B$  = width  
 $H$  = depth

1 inlet zone  
2 settling zone  
3 outlet zone  
4 sludge zone



# Πρωτοβάθμια καθίζηση

## Τυπικές διαστάσεις για ορθογώνιες και κυκλικές δεξαμενές

| Παράμετρος                                                    | Μονάδες | Πεδίο     | Τυπικές τιμές |
|---------------------------------------------------------------|---------|-----------|---------------|
| <b>Ορθογώνιες:</b>                                            |         |           |               |
| Βάθος                                                         | m       | 3-4.9     | 2.0           |
| Μήκος                                                         | m       | 15-90     |               |
| Πλάτος                                                        | m       | 32-24     | 40            |
| Ταχύτητα ξέστρων                                              | m/min   | 0.6-1.2   | 100           |
| <b>Α βάθμια καθίζηση με επιστροφή αποβλήτων ενεργού ιλύος</b> |         |           |               |
| Βάθος                                                         | m       | 3-4.9     | 4.3           |
| Διάμετρος                                                     | m       | 3-60      | 12-45         |
| Κλίση πυθμένα                                                 | mm/mm   | 1/16-1/6  | 281/12        |
| Ταχύτητα ξέστρων                                              | m/min   | 0.02-0.05 | 0.03          |

# Τα βασικά της διεργασίας της ενεργού ιλύος

Καθηγητής Π. Μελίδης  
Διδάκτορας Κ.Αζής

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.  
Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών  
Αποβλήτων

# Γιατί είναι απαραίτητη η επεξεργασία

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

# Τυπικά ποιοτικά χαρακτηριστικά αστικών αποβλήτων (σε mg/l)

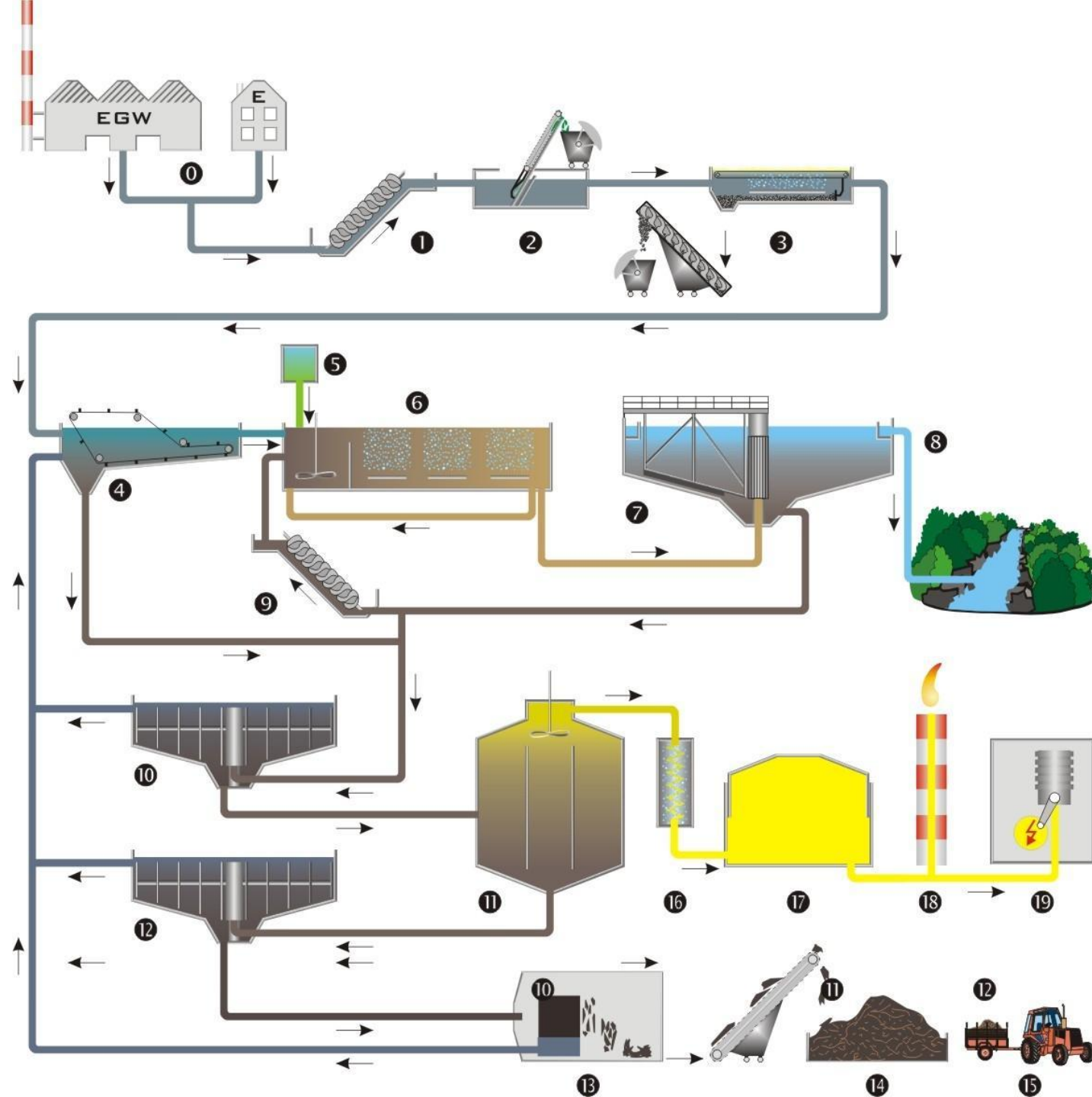
|                     |          |
|---------------------|----------|
| • Αλκαλικότητα      | 50- 200  |
| • BOD <sub>5</sub>  | 100-300  |
| • COD               | 250-1000 |
| • SS (αιωρ. στερεά) | 100-350  |
| • Ολικό N           | 20-80    |
| • Ολικός P          | 5-20     |



# Τι είναι το σύστημα ενεργού ιλύος

Είναι η διεργασία, η οποία με τη βοήθεια μικροοργανισμών αποικοδομεί τους οργανικούς ρύπους των αποβλήτων σε αερόβιο περιβάλλον.

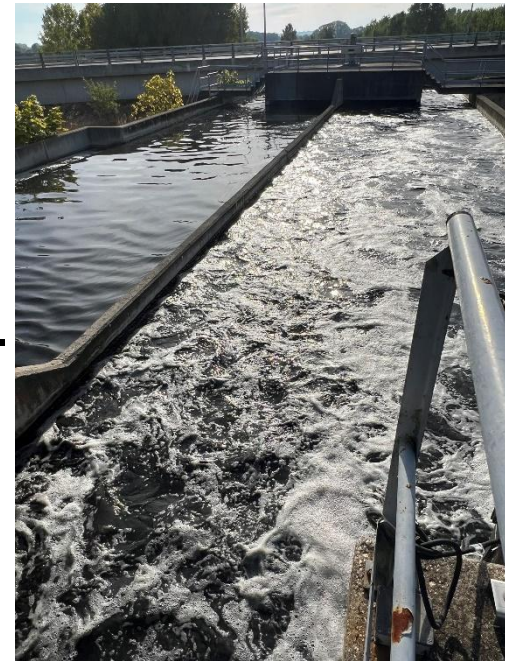
Η διεργασία αυτή ακολουθείται από μια φάση διαχωρισμού των βακτηρίων από το επεξεργασμένο νερό.



# Ενεργός Ιλύς

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

- Διαχωρίζεται από το επεξεργασμένο υγρό 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.



# 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

# Τα βακτήρια χρησιμοποιούν οξυγόνο για τρεις σκοπούς:

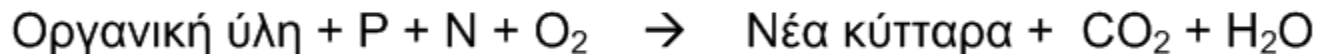
1. για να διατηρηθούν στην ζωή χρησιμοποιώντας ως θρεπτικά συστατικά τα αποθηκευμένα συστατικά του κυττάρου τους.
2. για να οξειδώσουν την οργανική ύλη για παραγωγή ενέργειας, διοξειδίου του άνθρακα και νερού
3. για αναπαραγωγή
4. για να οξειδώσουν τις ουσίες που προέρχονται από τους νεκρούς οργανισμούς

# Οι βιολογικές αντιδράσεις στην οξείδωση του ανθρακούχου ρύπου

## Μετατροπή της οργανικής ύλης



## Παραγωγή νέων κυττάρων



## Αποδόμηση νεκρών κυττάρων



Το σύστημα της ενεργού ιλύος, στην πρώτη του μορφή, απομάκρυνε μόνο τον **ανθρακούχο ρύπο**.

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**.

**(ΈΩΣ ΕΔΩ)**



# Μηχανισμός δημιουργίας των νιφάδων ενεργού ιλύος

Η νιφάδα δημιουργείται σε τρία στάδια:

A. Βιοπροσρόφηση

B. Μετατροπή (οξειδωση)

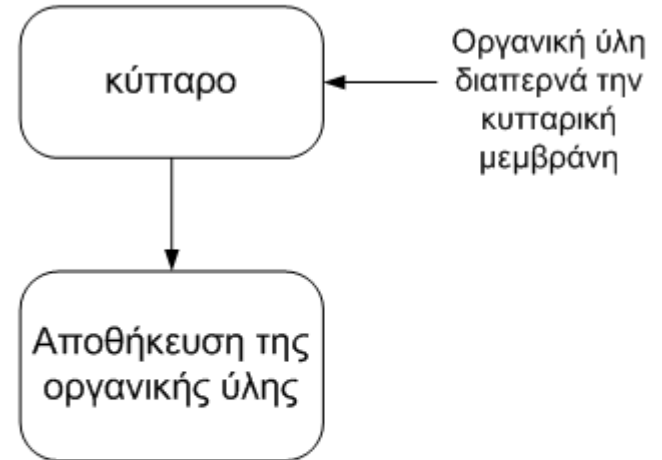
Γ. Βιοκροκίδωση

# 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**.

Υδατοδιαλυτές ενώσεις

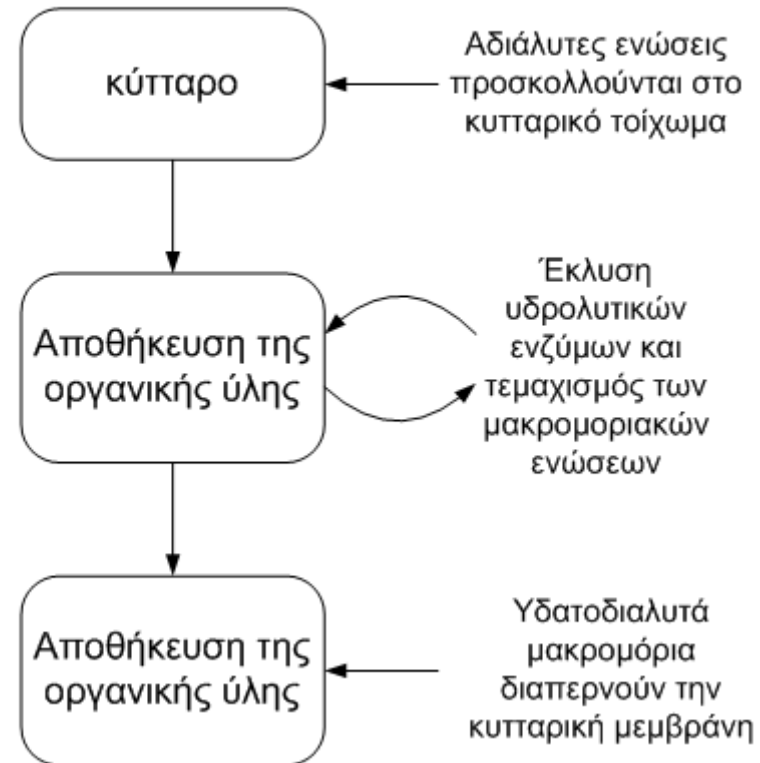


# Βιοπροσρόφηση

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.

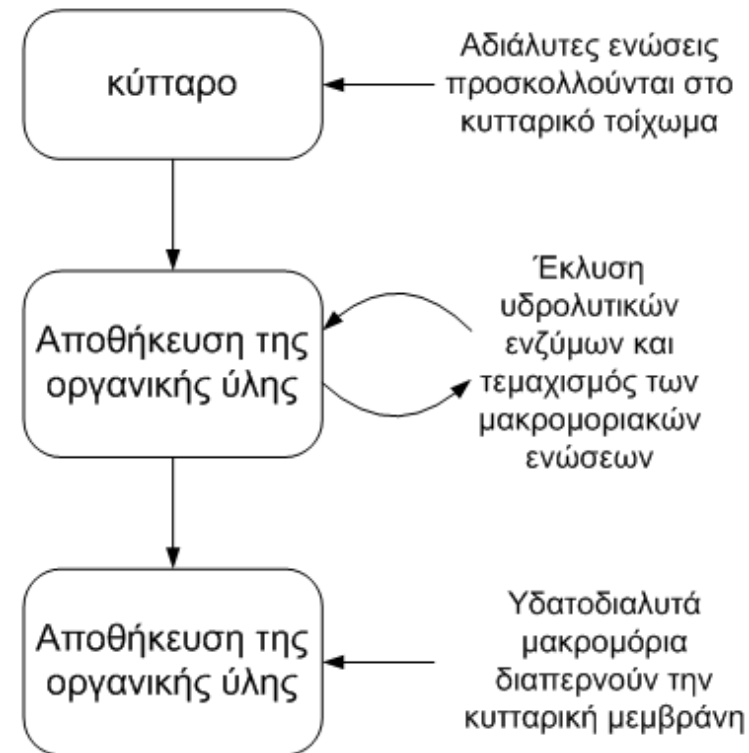
Αδιάλυτες μεγαλομοριακές ενώσεις



# Βιοπροσρόφηση

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.**

Αδιάλυτες μεγαλομοριακές ενώσεις



# 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.

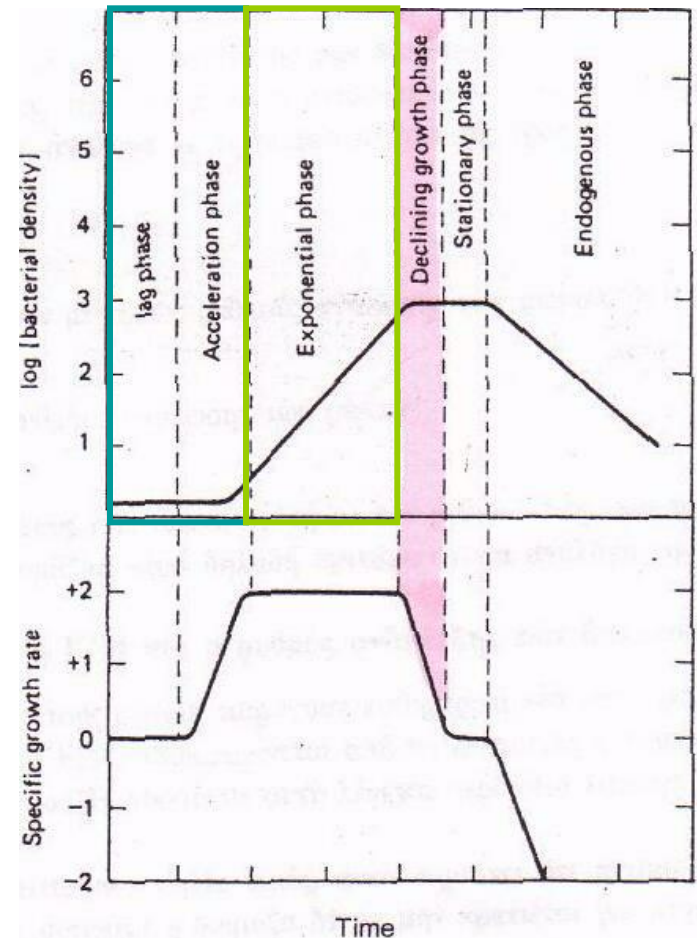
Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται **νιφάδες**.

# 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.

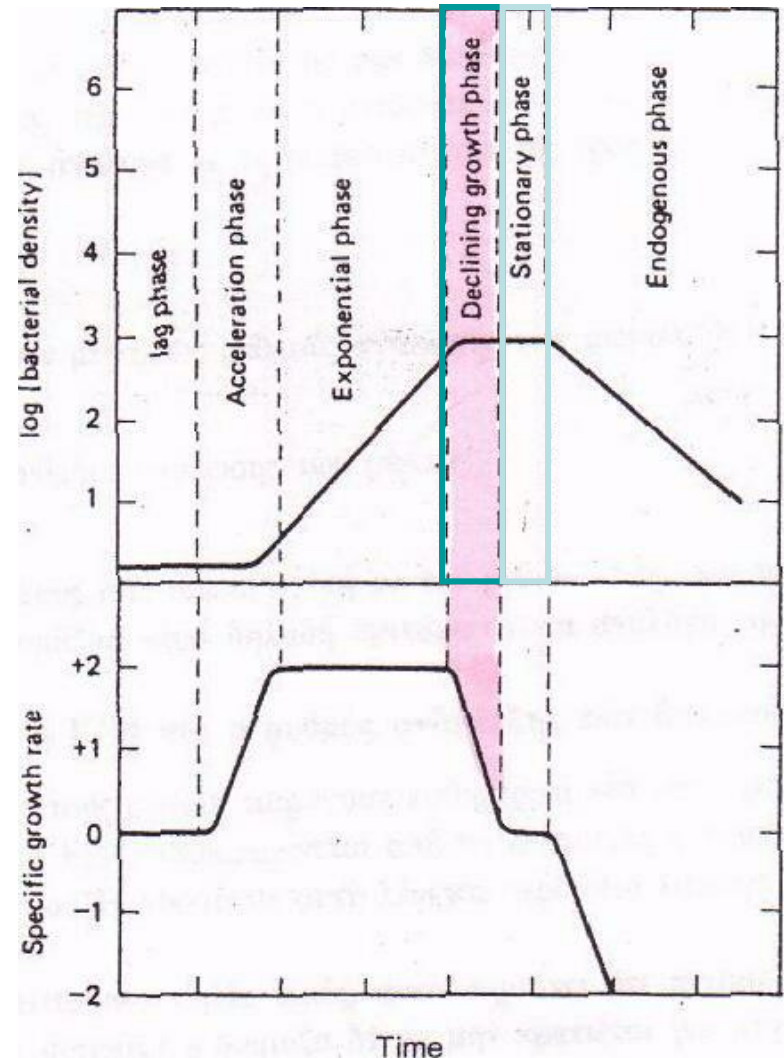


# Η εξάρτηση της ποιότητας της νιφάδας από την ανάπτυξη των βακτηρίων

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**.



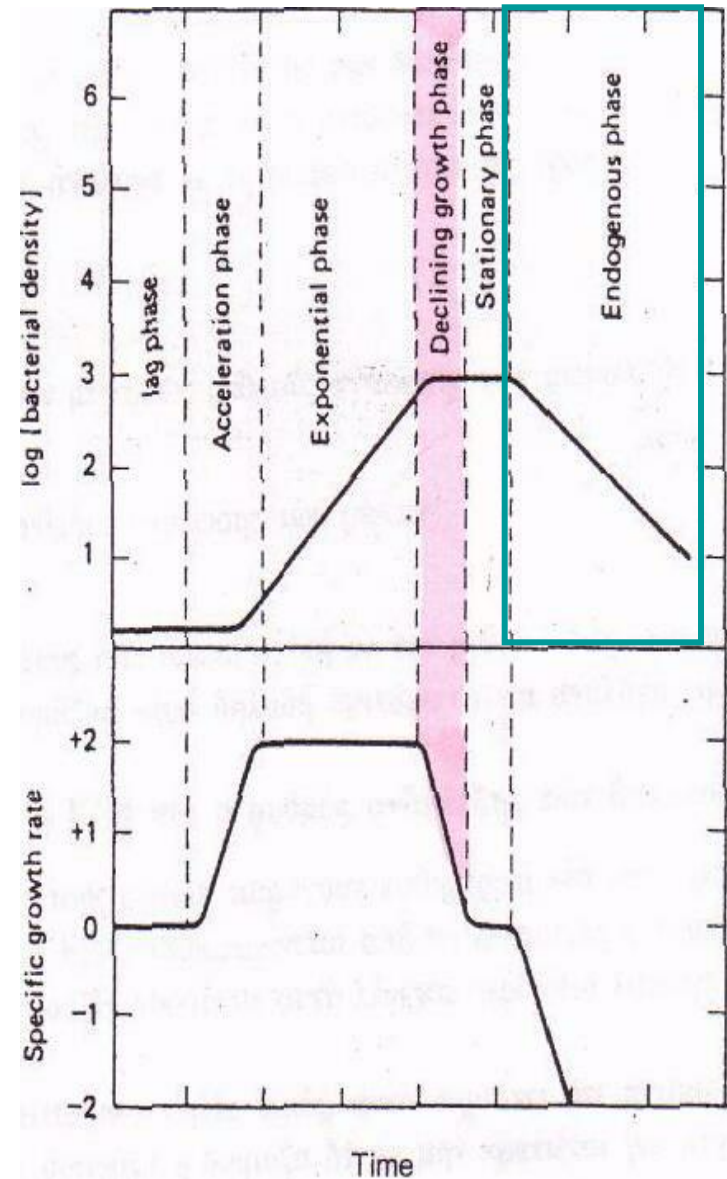


IV. Η τελευταία φάση ονομάζεται και **φάση ενδογενούς** αναπνοής, χαρακτηρίζεται από:

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  
καθιζησιμότητάς του από το ρυθμό  
ανάπτυξης των μικροοργανισμών.**

# Βασικές παράμετροι λειτουργίας του συστήματος ενεργού ιλύος

Το σύστημα της ενεργού ιλύος, αναφέρεται στην προσφορά και στην ανάλωση τροφής (ρύπων) από μικροοργανισμούς,

Επομένως η πρωταρχική λειτουργική παράμετρος είναι η αναλογία της τροφής προς την ποσότητα των μικροοργανισμών.

Η αναλογία αυτή συμβολίζεται ως  $F/M$ ,

$F$  η ποσότητα τροφής μέσα στα λύματα και

$M$  η ποσότητα των μικροοργανισμών μέσα στις δεξαμενές.

# Πώς σχετίζεται ο λόγος $F/M$ με την απόδοση του συστήματος;

**αν η τροφή  $F$  είναι πολύ περισσότερη από όση χρειάζονται οι μικροοργανισμοί  $M$ ,**

τότε αυτοί θα αναλώσουν ένα μέρος της τροφής και η υπόλοιπη τροφή θα διαφύγει από τις δεξαμενές αερισμού με τα επεξεργασμένα νερά.

**αν η τροφή  $F$  είναι όση χρειάζονται οι μικροοργανισμοί,**

τότε αυτοί θα την αναλώσουν όλη και τα επεξεργασμένα νερά θα είναι πολύ καθαρά και η βιομάζα  $M$  χωρίς προβλήματα.

Πώς σχετίζεται ο λόγος  $F/M$  με την απόδοση του συστήματος;

**αν η τροφή  $F$  δεν επαρκεί για την ποσότητα  $M$ ,**  
τότε οι μικροοργανισμοί για να ζήσουν, θα αναγκασθούν να εξαντλήσουν τα αποθέματα των κυττάρων τους.  
Τα επεξεργασμένα νερά είναι συνήθως καθαρά και η βιομάζα μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα καθίζησης.

**Είναι προφανής συνεπώς η εξάρτηση της απόδοσης της εγκατάστασης από τη φόρτιση  $F/M$  των δεξαμενών.**

# Πώς σχετίζεται η φόρτιση με το ρυθμό ανάπτυξης των βακτηρίων;

Ο ρυθμός **λήψης και ανάλωσης** της τροφής είναι ανάλογος του **λόγου  $F/M$** , γιατί τα βακτήρια αναγκάζονται να προσαρμοσθούν στο ρυθμό αυτόν, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της τροφής.

# Πώς σχετίζεται η φόρτιση με το ρυθμό ανάπτυξης των βακτηρίων;

Έτσι,

σε **μεγάλα F/M**

τα βακτήρια εμφανίζουν μεγάλους ρυθμούς ανάλωσης των ρύπων

και σε **μικρά F/M**

εμφανίζουν μικρούς ρυθμούς ανάλωσης των ρύπων

Αλλά,

**ο ρυθμός ανάπτυξης τους έχει άμεση σχέση με τον ρυθμό λήψης και μεταβολισμού της τροφής τους. Η παραγωγή νέας βιομάζας, νέων δηλαδή κυττάρων είναι ανάλογη της ποσότητας του αναλωθέντος ρύπου.**



# Τι σχέση έχει η φόρτιση $F/M$ και ο ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων με την περίσσεια της λάσπης;

Τα βακτήρια **μεταβολίζουν** τους ρύπους παράγουν καθημερινά **νέα κύτταρα**.

Για να **διατηρηθεί η αναλογία  $F/M$** , απομακρύνεται από τις δεξαμενές μια ποσότητα μικροοργανισμών (ιλύος) ίση με αυτή που παράγεται ημερησίως.

Η ποσότητα αυτή λέγεται **περίσσεια λάσπης**.

Αν η περίσσεια τηρείται σε υψηλές τιμές, αυτό σημαίνει ότι πετάμε από το σύστημα μεγάλες ποσότητες μικροοργανισμών, με συνέπεια η βιομάζα  $M$  να μην κρατιέται για μεγάλο χρονικό διάστημα στις δεξαμενές και ο λόγος  $F/M$  να είναι μεγάλος, αφού το  $M$  είναι μικρό.

Τι σχέση έχει η φόρτιση  $F/M$  και ο ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων με την περίσσεια της λάσπης;

Όταν όμως το  $F/M$  είναι μεγάλο, τότε, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα βακτήρια τίθενται σε υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης.

Αν η απόρριψη περίσσειας ιλύος τηρείται σε χαμηλές τιμές, τότε κρατάμε τη βιομάζα πιο πολύ μέσα στις δεξαμενές, αυξάνουμε το  $M$  και μειώνουμε το  $F/M$ .

Σε χαμηλά όμως  $F/M$  ο ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων είναι χαμηλός.

Τη χρονική διάρκεια που κρατάμε τη βιομάζα κατά μέσο όρο μέσα στις δεξαμενές ονομάζουμε, **ηλικία της λάσπης.**

**Έτσι, σε μεγάλες ηλικίες των βακτηρίων**

- το αντίστοιχο  $F/M$  είναι μικρό .
- ο ρυθμός ανάπτυξης είναι μικρός· η απόδοση της εγκατάστασης μεγάλη

**Αντίθετα, σε μικρές ηλικίες βακτηρίων**

- το αντίστοιχο  $F/M$  είναι μεγάλο
- ο ρυθμός ανάπτυξης μεγάλος
- η απόδοση της εγκατάστασης είναι μικρή

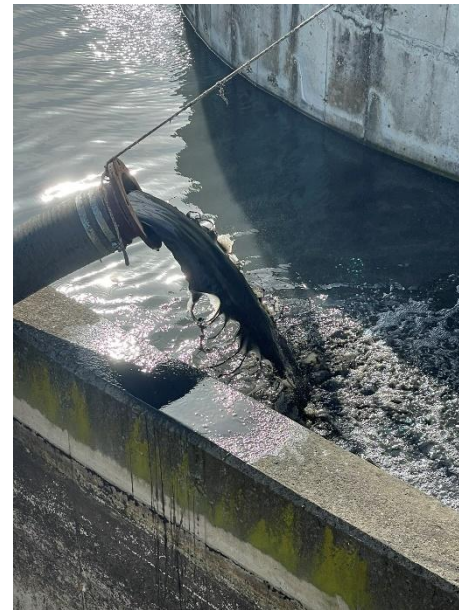
# Ο διαχωρισμός της ιλύος στην δεξαμενή καθίζησης και η επανακυκλοφορία

Η ενεργός ιλύς πρέπει:

- να καθιζάνει εύκολα
- να μην παραμένει μεγάλο χρονικό διάστημα στην δεξαμενή καθίζησης
- να επανακυκλοφορεί κατά συνεχή τρόπο.

## Λανθασμένες πρακτικές

- Ανεπαρκής επανακυκλοφορία,
- Διακοπτόμενη επανακυκλοφορία,
- χρήση της δεξαμενής καθίζησης ως δεξαμενή αποθήκευσης της λάσπης (δημιουργία επικαθίσεων στον πυθμένα)



Η **καθιζησιμότητα** της ιλύος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από:

- τη φόρτιση των δεξαμενών,
- τον αερισμό,
- τη θερμοκρασία,
- την ύπαρξη νηματοειδών μικροοργανισμών
- και από την γεωμετρία των δεξαμενών

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

| <b>Σύστημα</b>         | <b>Πλεονεκτήματα</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Μειονεκτήματα</b>                                                                                                                                                                                |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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> |



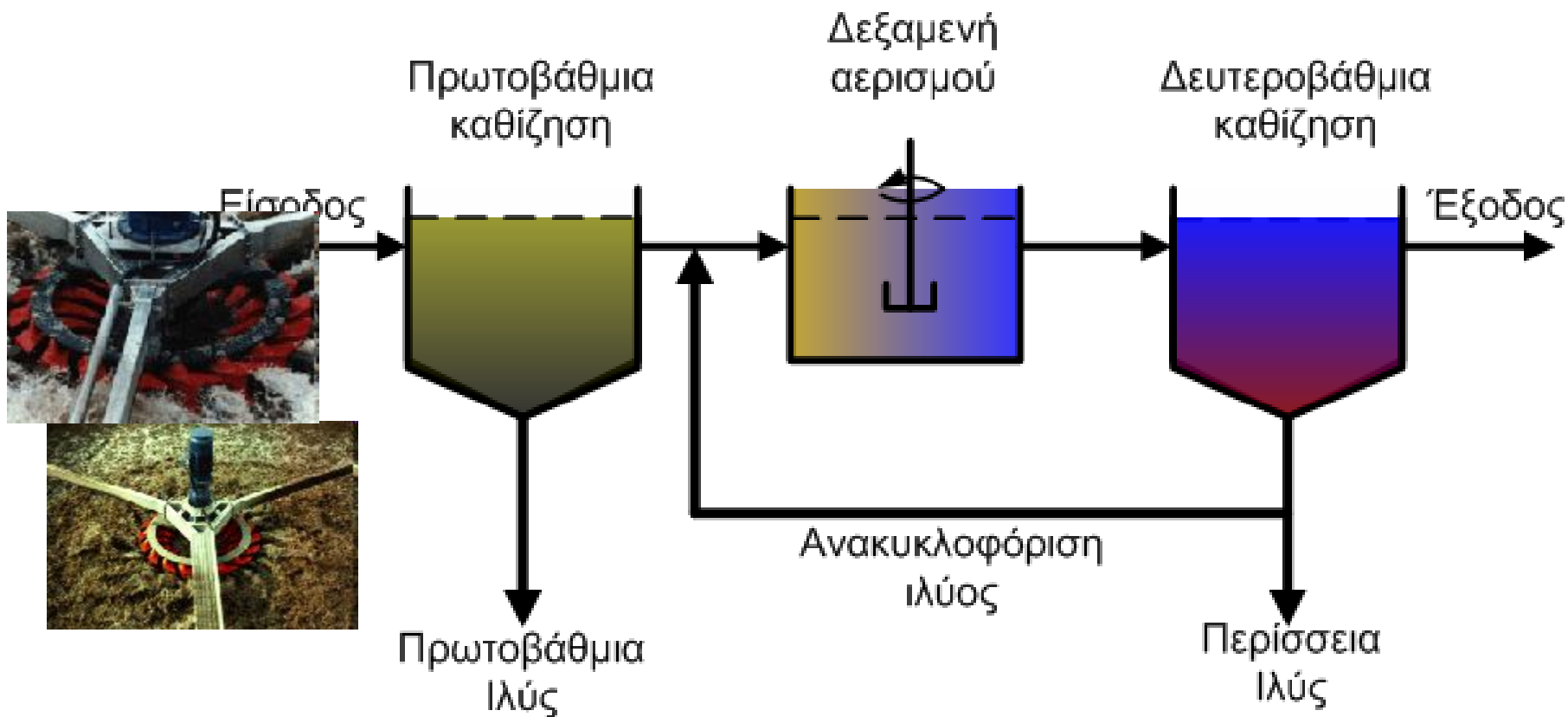
# ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης  
(CMAS, Complete-mix activated sludge)

Το σύστημα αυτό είναι μία εφαρμογή του αντιδραστήρα **πλήρους ανάμιξης και συνεχούς ροής**.

Το υγρό απόβλητο, μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση, εισέρχεται σε ξεχωριστό σημείο από την ανακυκλοφορούσα ενεργό ιλύ.

# Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης (CMAS, Complete-mix activated sludge)



## Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης (CMAS, Complete-mix activated sludge)

- Η οργανική φόρτιση,
- η συγκέντρωση των αιωρουμένων 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.

## Δεξαμενές πλήρους ανάμιξης (CMAS, Complete-mix activated sludge)

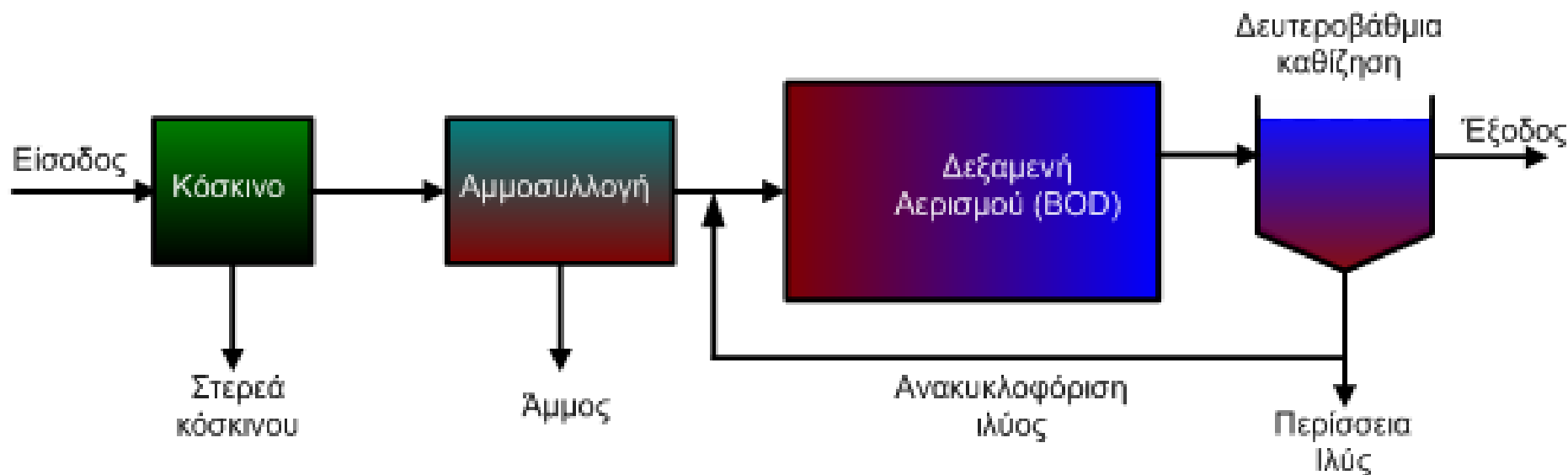
ο CMAS σύστημα είναι **σχετικά απλό** στην λειτουργία του,

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)**.

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

# Σύστημα παρατεταμένου αερισμού



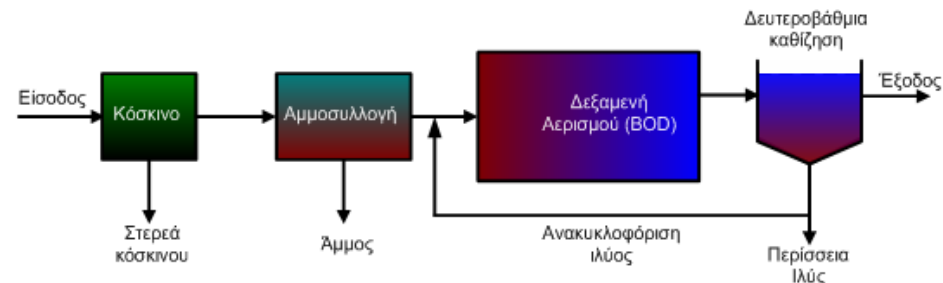
Τυπικό σύστημα παρατεταμένου αερισμού

# 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.





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

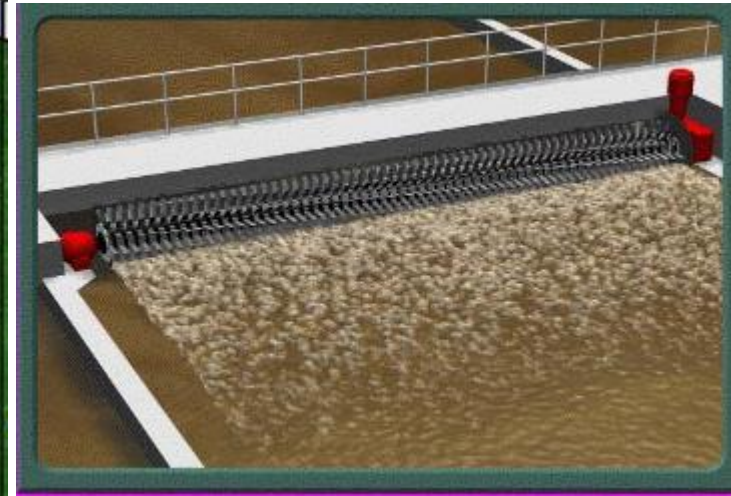
# Σύστημα οξειδωτικής τάφρου

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 εξάμμιση και εισέρχεται στην δεξαμενή αερισμό μαζί με την ανακυκλοφορούσα ιλύ



# Σύστημα οξειδωτικής τάφρου



## Οξειδωτική τάφρος

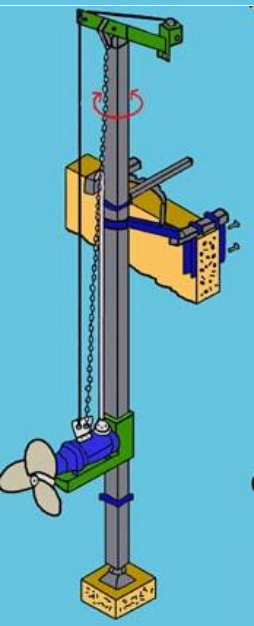
# Σύστημα οξειδωτικής τάφρου



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.

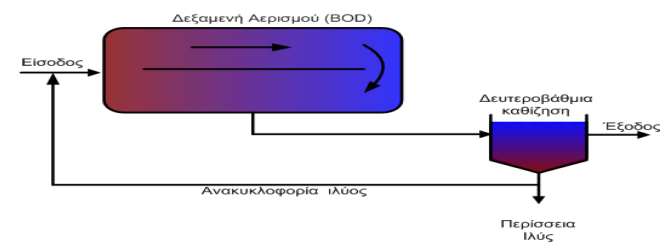
Το σύστημα αερισμού ανάμιξης που εφαρμόζεται δημιουργεί μία ταχύτητα 0,25-0,39 m/s και αυτό είναι αρκετό να κρατήσει την ενεργό ιλύ σε αιώρηση.

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



26

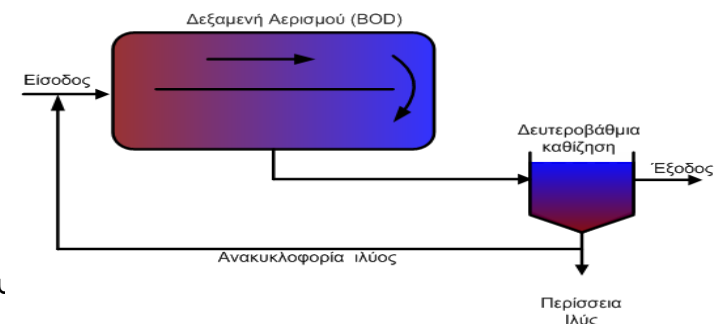
Εργαστήριο Διαχείρισης και  
Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων



# 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.





# Σύστημα οξειδωτικής τάφρου

