



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ



# Περιβαλλοντική Μηχανική

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης  
8<sup>ο</sup> Εξάμηνο

# Κεφάλαιο 6

## Γενικά χαρακτηριστικά των Υγρών Αποβλήτων

- Τύποι αποχετευτικών συστημάτων
- Αιωρούμενα στερεά
- Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά αποβλήτων
- Οργανικά και ανόργανα συστατικά αποβλήτων
- Τοξικά και βαρέα μέταλλα
- Αέρια στα απόβλητα
- Είδη αντιδραστήρων για την επεξεργασία αποβλήτων
- Στάδια επεξεργασίας λυμάτων
- Είδη παροχών
- Προκαταρκτική - Πρωτοβάθμια - Δευτεροβάθμια επεξεργασία
- Συστήματα και Διαγράμματα ροής ΜΕΥΑ ενεργού ιλύος
- Νιτροποίηση – Απονιτροποίηση
- Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου
- Βιολογική επεξεργασία με διαχωρισμό μεμβρανών (MBR)
- Τριτοβάθμια επεξεργασία
- Απολύμανση και Επιλογή μεθόδου απολύμανσης



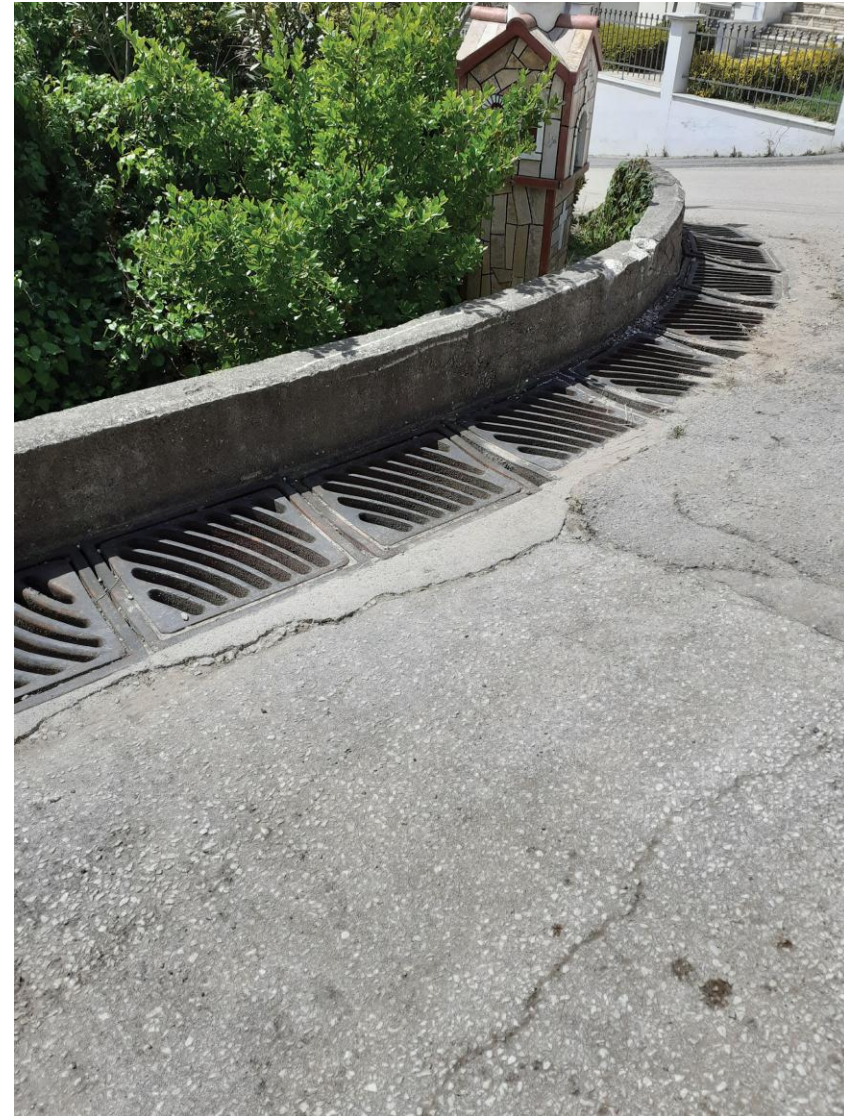




- Τα έργα αποχέτευσης και επεξεργασίας αποβλήτων έχουν ως σκοπό την όσο το δυνατό γρηγορότερη και οικονομικότερη απομάκρυνση των νερών που έχουν χρησιμοποιηθεί και είναι πιο ακάθαρτα και βλαβερά για το περιβάλλον, και την κατάλληλη επεξεργασία τους, ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον.
- Το σύστημα αποχέτευσης όμβριων και ακάθαρτων υδάτων διακρίνεται σε:
  - Χωριστικό αποχετευτικό σύστημα
  - Παντοροϊκό αποχετευτικό σύστημα
  - Μεικτό σύστημα
- Τα απόβλητα διακρίνονται ανάλογα την προέλευσή τους στις παρακάτω κατηγορίες:
  - Αστικά απόβλητα
  - Απόβλητα βιομηχανιών και βιοτεχνιών
  - Νερά διήθησης - εισροής
  - Επιφανειακά νερά απορροής

# Τύποι αποχετευτικών συστημάτων

- Το σύστημα αποχέτευσης όμβριων και ακάθαρτων υδάτων διακρίνεται σε:
  - Χωριστικό αποχετευτικό σύστημα = υπάρχει ξεχωριστό δίκτυο αγωγών συλλογής των ακάθαρτων και των όμβριων υδάτων
  - Παντοροϊκό αποχετευτικό σύστημα = το δίκτυο όμβριων υδάτων και των ακάθαρτων είναι κοινό
  - Μεικτό σύστημα = μέρος της αποχετευόμενης παροχής εξυπηρετείται με χωριστικό σύστημα και μέρος παντοροϊκό



Τα απόβλητα διακρίνονται ανάλογα την προέλευσή τους στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αστικά απόβλητα = προέρχονται από οικιακά συγκροτήματα, γραφεία, καταστήματα, σχολεία, ξενοδοχεία κ.α.
- Απόβλητα βιομηχανιών και βιοτεχνιών = διοχετεύονται στο αποχετευτικό σύστημα χωρίς (ή μετά από) μερική επεξεργασία
- Νερά διήθησης - εισροής = δέχεται το αποχετευτικό σύστημα λόγω της μη απόλυτης στεγανότητάς του (αρμοί αγωγών, σημεία με φθορές κ.α.) και προέρχονται από τον υδροφόρο ορίζοντα και τα νερά επιφανειακής απορροής
- Επιφανειακά νερά απορροής = νερά της βροχής μαζί με τα προϊόντα έκπλυσης των δρόμων καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα (επίσης το νερό από λιώσιμο χιονιού)

# Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Παντοροϊκού συστήματος

- **Πλεονεκτήματα:**

- Περιορίζεται το προσωπικό και το κόστος αστυνόμευσης και συντήρησης του δικτύου
- Μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές με στενούς δρόμους
- Τα όμβρια των πρώτων λεπτών κάθε βροχόπτωσης οδηγούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων
- Απαιτείται μικρότερο κόστος για την κατασκευή του δικτύου και των συνδέσεων

- **Μειονεκτήματα:**

- Κατά τις ισχυρές βροχοπτώσεις ένα μέρος των όμβριων με αραιωμένα λύματα διοχετεύεται κατευθείαν στον αποδέκτη λόγω υπερχειλίσεων
- Κατά τις ισχυρές βροχοπτώσεις μπορεί να προκληθεί πλημμύρισμα των υπογείων
- Αυξημένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας (αντλιοστάσια, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων)
- Μεγάλες διαμέτρους αγωγών και τοποθέτησή τους σε μεγάλα βάθη = μεγάλο κόστος κατασκευής
- Σε ξηρές περιόδους λόγω μείωσης της ταχύτητας των ακάθαρτων μπορεί να έχουμε εναποθέσεις στον πυθμένα των αγωγών

# Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Χωριστικού συστήματος

- **Πλεονεκτήματα:**

- Ελαττώνεται ο κίνδυνος μολύνσεων των υδάτινων αποδεκτών
- Οι αγωγοί είναι μικρότερης διαμέτρου
- Σε βιομηχανικές περιοχές αποφεύγεται η ανάμειξη βιομηχανικών αποβλήτων και όμβριων
- Μείωση των εξόδων κατασκευής αντλιοστασίων και κέντρων επεξεργασίας λυμάτων
- Μείωση κόστους λειτουργίας ΜΕΛ λόγω μειωμένων παροχών

- **Μειονεκτήματα:**

- Σε περιοχές με μικρές ταχύτητες απαιτείται έκπλυση των αγωγών για αποφυγή επικαθήσεων
- Σε κεντρικούς δρόμους πόλεων με μικρό πλάτος, είναι δύσκολη η τοποθέτηση δύο ξεχωριστών αγωγών (όμβριων και ακάθαρτων)
- Το κόστος κατασκευής, αστυνόμευσης και συντήρησης είναι μεγαλύτερο
- Υπάρχει κίνδυνος εσφαλμένων συνδέσεων

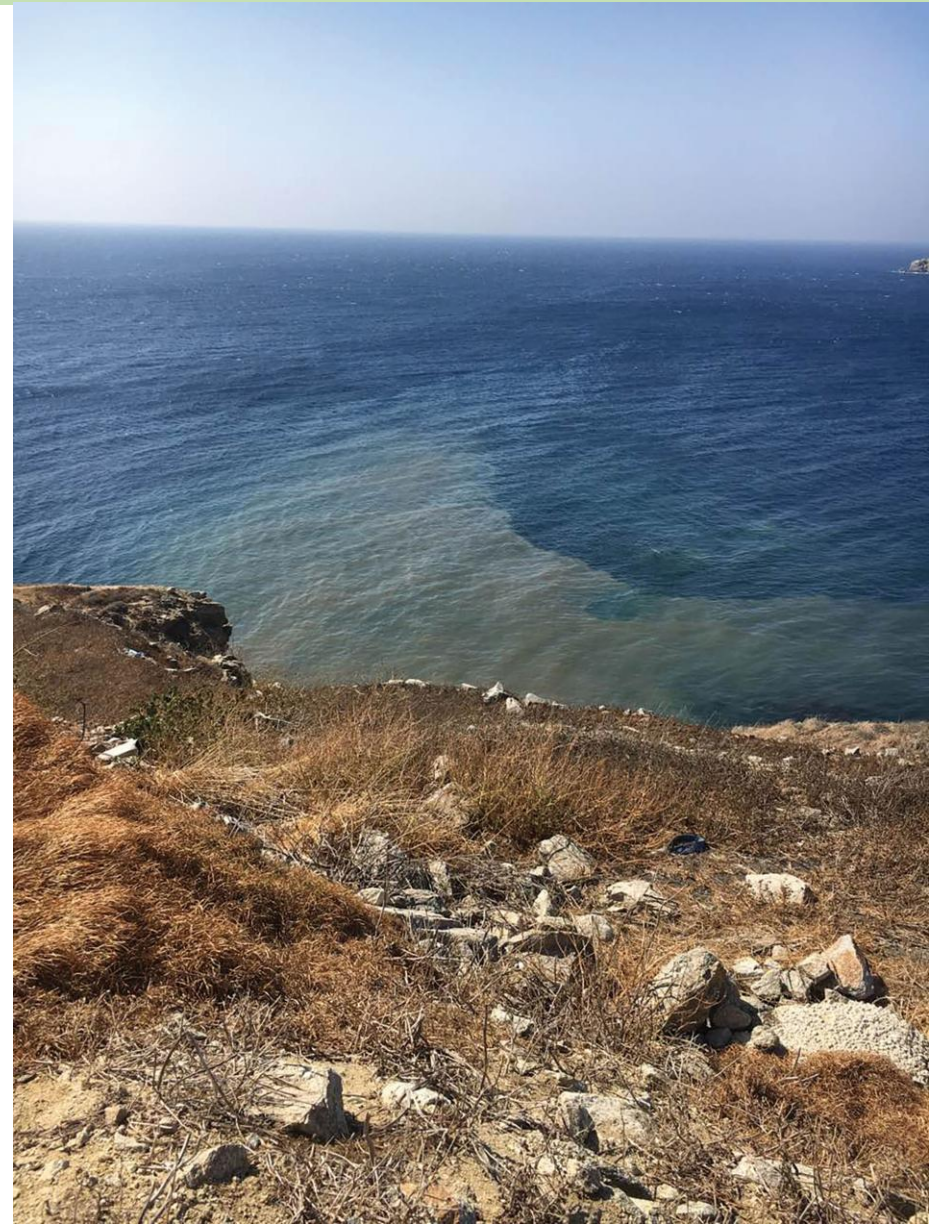
# Παροχή και χαρακτηριστικά των αποβλήτων

- Η παροχή των αποβλήτων εκτιμάται με βάση τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό
- Στην Ελλάδα μια μέση τιμή για την κατανάλωση νερού ανά άτομο είναι από 150 έως 260 L/ημέρα
- Τα τελευταία χρόνια η τάση είναι αυξητική στις περισσότερες περιοχές της χώρας
- Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων χωρίζονται σε:
  - Φυσικά
  - Χημικά
  - Βιολογικά

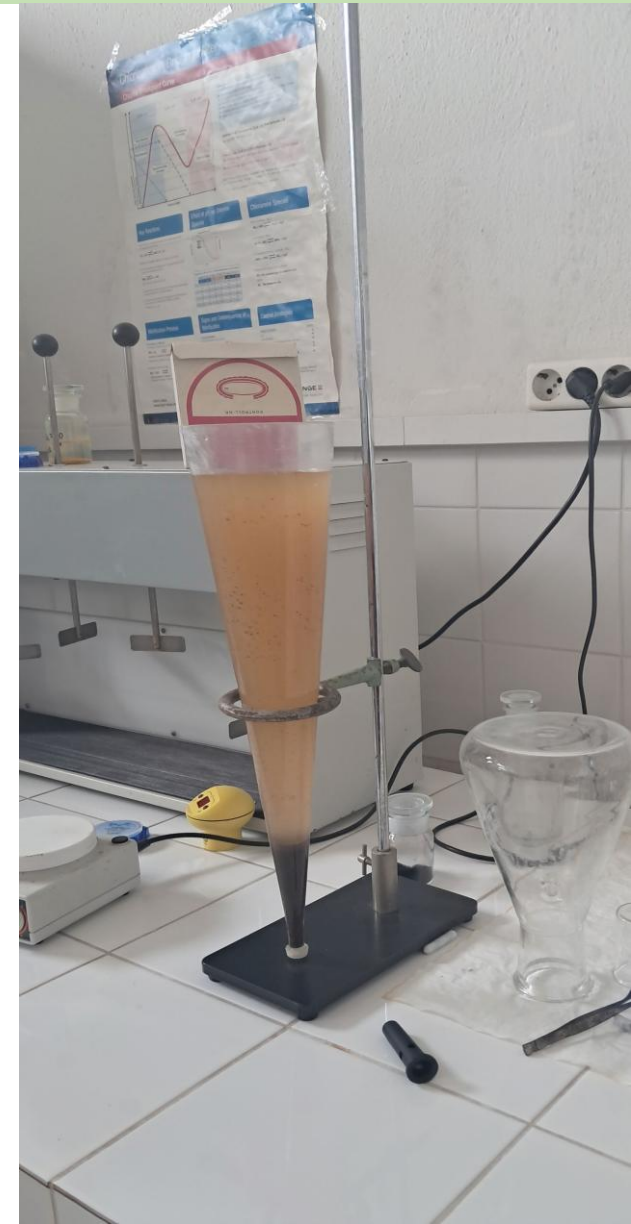


- Τα βασικά φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι τα στερεά που περιέχουν, η θερμοκρασία, το χρώμα, η οσμή, η πυκνότητα και η θολότητα
- Τα στερεά βρίσκονται αιωρούμενα ή διαλυμένα στη μάζα των αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά και ανόργανα συστατικά
- Υπάρχουν τα:
  - Ολικά στερεά (Total Solids – TS)
  - Διαλυμένα στερεά (Dissolved Solids – DS)
  - Αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids – SS)

- Τα **ολικά στερεά** (Total Solids – TS) ορίζονται ως το υπόλειμμα δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμιση του στους 105 °C και μετριοούνται σε mg υπολείμματος ανά λίτρο δείγματος
- Τα **διαλυμένα στερεά** (Dissolved Solids – DS) αναφέρονται στη συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κolloειδή μορφή στη μάζα των αποβλήτων και περνούν μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο (πόροι 0,45 – 2 μm)
- Τα **αιωρούμενα στερεά** (Suspended Solids – SS) είναι αυτά που συγκρατούνται από το προαναφερθέν φίλτρο και σε κάποιες περιπτώσεις αναφέρονται και ως ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids – TSS)



- Η μέτρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών και το  $BOD_5$  είναι από τις συνηθέστερες μετρήσεις για τον έλεγχο της λειτουργίας των ΜΕΛ
- Στα βιομηχανικά απόβλητα και ιδίως αν υπάρχουν τοξικά άλατα τα διαλυμένα στερεά είναι σημαντική παράμετρος ρύπανσης
- Στα αστικά λύματα τα ολικά αιωρούμενα στερεά είναι η πιο σημαντική παράμετρος ρύπανσης
- $DS + SS = TSS$



- Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι γενικά υψηλότερη από εκείνη του πόσιμου νερού γιατί επηρεάζεται από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα
- Συνήθως κυμαίνεται από 10 έως και 22 °C
- Υψηλές θερμοκρασίες 30 – 35 °C έχουν αναφερθεί σε χώρες της Αφρικής και Μέσης Ανατολής
- Το ιδανικό εύρος θερμοκρασίας για να επιτευχθούν οι διεργασίες των βακτηρίων είναι 25 – 35 °C
- Η αναερόβια χώνευση και η νιτροποίηση σταματούν όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 50 °C ενώ όταν πέσει κάτω από 15 °C τότε τα βακτήρια σταματούν να παράγουν μεθάνιο

- Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι ένας ρυθμιστικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα τους
- Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει:
  - Ανάπτυξη των μικροοργανισμών που ευνοούνται από υψηλές θερμοκρασίες
  - Επιτάχυνση των βιολογικών διεργασιών
  - Μείωση της διαλυτότητας των αερίων στη μάζα των αποβλήτων, κυρίως του οξυγόνου
  - Επιτάχυνση χημικών αντιδράσεων
- Η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου (μείωση διαλυτότητας οξυγόνου και αύξηση ρυθμού κατανάλωσης από βιολογικές διεργασίες)

- Το χρώμα είναι ενδεικτικό της ηλικίας και της προέλευσης των αποβλήτων
- Γκρίζο χρώμα = απόβλητα που δεν έχουν υποστεί σήψη
- Μαύρο χρώμα = απόβλητα που έχουν υποστεί σήψη
- Η αλλαγή του χρώματος οφείλεται στην κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς
- Το γκρι, σκούρο γκρι και μαύρο χρώμα οφείλεται στη δημιουργία σουλφιδίων μετάλλων (παραγόμενες ενώσεις θείου, συνήθως υδρόθειο, αντιδρούν με τα μέταλλα των υγρών αποβλήτων)

- Η οσμή των αποβλήτων είναι ενδεικτικό στοιχείο της κατάστασής τους
- Απόβλητα που δεν έχουν υποστεί σήψη έχουν ελαφρά δυσάρεστη οσμή
- Απόβλητα που έχουν υποστεί σήψη έχουν πολύ ενοχλητική οσμή (έκλυση υδρόθειου)
- Οσμή = διάσπαση οργανικών ενώσεων και απελευθέρωση αερίων
- Αέρια που προκαλούν δυσοσμία:
  - Υδρόθειο
  - Αμμωνία
  - Μεθάνιο
  - Αμίνες

- Απαιτούνται τέσσερις ανεξάρτητοι παράγοντες για τον πλήρη χαρακτηρισμό μιας οσμής:
  - Ένταση
  - Χαρακτήρας
  - Αίσθημα ευχαρίστησης
  - Ανιχνευσιμότητα
- Υπάρχουν όργανα που μπορούν να ανιχνεύσουν και να μετρήσουν π.χ. υδρόθειο έως 1 ppb
- Η οριακή τιμή μιας οσμής (Threshold Odor Number – TON) στο νερό υπολογίζεται με βάση την αραίωση του δείγματος σε άοσμο νερό

- Η οριακή τιμή της οσμής (Threshold Odor Number – TON) αντιστοιχεί στη μέγιστη αραίωση του δείγματος μέχρι την οποία η οσμή γίνεται αισθητή
- Το συνηθισμένο μέγεθος του δείγματος είναι 200 mL
- Η αριθμητική τιμή της οριακής τιμής οσμής υπολογίζεται ως:  $TON = \frac{A+B}{A}$

A = mL δείγματος και B = mL άοσμου νερού

**Πίνακας 6.1** Οριακές τιμές για δύσοσμα συστατικά που σχετίζονται με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα.

Δύσοσμο συστατικό Χημικός τύπος Χαρακτηρισμός οσμής Οριακή τιμή ppm (κατ' όγκο)

Αμμωνία	NH <sub>3</sub>	Αμμωνία, οξεία	46.8
Χλώριο	Cl <sub>2</sub>	Οξεία, ασφυκτική	0.314
Υδρόθειο	H <sub>2</sub> S	Χαλασμένα αυγά	0.00047
Διμεθυλοσουλφίδιο	CH <sub>3</sub> -S-CH <sub>3</sub>	Χαλασμένα λαχανικά	0.0001
Αιθυλομερκαπτάνη	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -SH		0.00019
Μεθυλαμίνη	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	Σήψη, ψάρι	21.0
Σκατόλες	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	Κοπρώδης, εμετική	0.019

## Άσκηση

**Θέμα:** Ένα δείγμα αποβλήτων, που έχει όγκο 20 mL, απαιτεί 180 mL αραιωμένου νερού για να μειωθεί η οσμή σε επίπεδο που είναι μόλις ανιχνεύσιμο. Ποια είναι η οριακή τιμή οσμής (TON);

$$TON = \frac{A+B}{A} = \frac{20 \text{ mL} + 180 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} = 10$$

Η οριακή τιμή οσμής (Threshold Odor Number – TON) για το συγκεκριμένο δείγμα είναι 10.

- Η πυκνότητα του νερού ορίζεται ως η μάζα ανά μονάδα όγκου (kg/L)
- Η πυκνότητα είναι πολύ σημαντική παράμετρος των υγρών αποβλήτων γιατί μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία καθίζησης
- Η πυκνότητα των αστικών λυμάτων τα οποία δεν περιέχουν μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων είναι σχεδόν ίδια με αυτή του νερού στην ίδια θερμοκρασία
- Η πυκνότητα έχει άμεση σχέση με τη συγκέντρωση στερεών
- Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και η σχετική πυκνότητα:

$$S_w = \frac{\rho_w}{\rho_o}$$

όπου  $\rho_w$  = πυκνότητα των υγρών αποβλήτων και

$\rho_o$  = πυκνότητα του νερού

- Η θολότητα είναι μέτρο διαύγειας του νερού και πολλές φορές χρησιμοποιείται ως μέτρο ποιότητας αποβλήτων που καταλήγουν σε φυσικούς αποδέκτες
- Η διαύγεια των νερών σε έναν υδάτινο αποδέκτη εκτιμάται από το κοινό και συμβάλλει στην επισκεψιμότητα του αποδέκτη
- Η μέτρηση της θολότητας βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση όταν περνά διαμέσου ενός δείγματος, με το φως που περνά από ένα πρότυπο αιώρημα κάτω από τις ίδιες συνθήκες



Λίμνη Μπλεντ, Σλοβενία

Ορισμένα από τα πιο σημαντικά αίτια για την εμφάνιση θολότητας στο νερό είναι:

- Η διάβρωση ιζημάτων
- Η παρουσία φυτοπλαγκτόν
- Η επαναραίωση των ιζημάτων σε έναν φυσικό αποδέκτη
- Η απόρριψη αποβλήτων
- Οι αστικές απορροές σε περιόδους βροχών
- Η ανάπτυξη φυκιών



Λίμνη της Καστοριάς

- Τα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι πιο σημαντικά από τα φυσικά τους χαρακτηριστικά καθώς μας δίνουν μια πιο αντιπροσωπευτική εικόνα τους
- Οι κατηγορίες των χημικών χαρακτηριστικών που εξετάζονται είναι:
  - Οργανικά συστατικά
  - Ανόργανα συστατικά
  - Αέρια
- Το 75 % των αποβλήτων αποτελείται από οργανικές ενώσεις



- Οι οργανικές ενώσεις των αποβλήτων είναι σε μορφή αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από φυτά, ζώα και ανθρώπινες δραστηριότητες
- Οι οργανικές ουσίες αποτελούνται κυρίως από C, H, O, N, S, P και Fe
- Το 40-60 % είναι πρωτεΐνες, 25-50 % υδατάνθρακες και 10 % λίπη και έλαια
- Μπορούν επίσης να υπάρχουν και συνθετικές ουσίες όπως:
  - Φυτοφάρμακα
  - Επιφανειοδραστικές ουσίες (απορρυπαντικά)



- 1. Πρωτεΐνες:** βασικά συστατικά των ζωικών οργανισμών, υπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες στους φυτικούς οργανισμούς. Όταν υπάρχουν αυξημένες ποσότητες πρωτεϊνών στα απόβλητα δημιουργούνται δυσάρεστες μυρωδιές.
- 2. Υδατάνθρακες:** περιέχουν άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο με τις πιο συνηθισμένες να είναι το άμυλο, τα σάκχαρα και η κυτταρίνη. Τα σάκχαρα μεταβολίζονται εύκολα από βακτήρια και μύκητες ενώ η διάσπαση της κυτταρίνης είναι πιο δύσκολη.
- 3. Λιπίδια:** περιέχονται στα αστικά απόβλητα αφού αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου. Τα πιο σημαντικά λιπίδια είναι τα έλαια και τα λίπη, που είναι δύσκολο να διασπαστούν και μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στο αποχετευτικό δίκτυο και στις ΜΕΛ εάν βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες.
- 4. Ουρία:** βασικό χαρακτηριστικό των ούρων. Διασπάται γρήγορα και συναντάται σε φρέσκα λύματα.

- 5. Επιφανειακά ενεργές ουσίες:** περιέχονται στα αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα ως συστατικά σαπουνιών, απορρυπαντικών κ.α. Λόγω της δράσης τους στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού-αέρα δημιουργούν αφρούς.
- 6. Φαινόλες:** περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα και δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις.
- 7. Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα:** είναι τοξικές ενώσεις για όλες τις μορφές ζωής και καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα μέσα από την απορροή των γεωργικών περιοχών.



# BOD - COD

- Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand – BOD) ορίζεται ως η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από τους μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες.



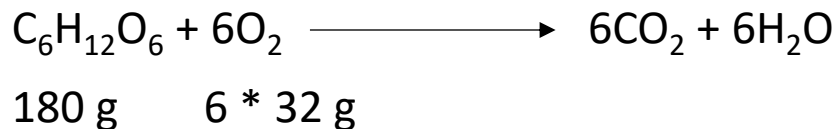
- Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου σε  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  από ισχυρό οξειδωτικό μέσο και σε όξινες συνθήκες.



- Η οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου ολοκληρώνεται συνήθως σε 20 ημέρες
- Το πιο σύνηθες είναι ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες ( $BOD_5$ ) μέσα στις οποίες οξειδώνονται απλές οργανικές ενώσεις που αντιπροσωπεύουν το 60-70 % των συνολικών οργανικών ενώσεων
- Τα αποτελέσματα της μέτρησης του  $BOD_5$  χρησιμοποιούνται:
  - Για τον προσεγγιστικό έλεγχο της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιολογική σταθεροποίηση της οργανικής ύλης
  - Για τη διαστασιολόγηση των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
  - Για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας μερικών διεργασιών
  - Για να προσδιοριστεί η συμμόρφωση με τα νομοθετημένα όρια των εκροών

- Το BOD<sub>5</sub> και το COD μας δίνουν αρκετά ακριβή εικόνα για το οργανικό φορτίο των αποβλήτων
- Το BOD<sub>5</sub> είναι πάντα μικρότερο από το COD
- Ο λόγος BOD<sub>5</sub> προς COD είναι χαρακτηριστικός για το είδος των αποβλήτων
- Κυμαίνεται από 0,3 έως 0,8 για αστικά υγρά απόβλητα (λύματα) και η χαρακτηριστική τιμή αυτού του λόγου είναι 0,5 για ανεπεξέργαστα απόβλητα
- Αν ο λόγος είναι μικρότερος από 0,3 τότε πολύ πιθανό να υπάρχουν τοξικά συστατικά
- Αν ο λόγος έχει τιμή γύρω στο 0,2 τότε μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι τα υγρά απόβλητα δεν είναι αστικής προέλευσης

- Συνολικά απαιτούμενο οξυγόνο (Total Oxygen Demand – TOD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών σε τελικά σταθερά προϊόντα σε θερμοκρασία 900 °C και με παρουσία καταλύτη (Pt)
- Το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο (Theoretical Oxygen Demand – Thod) είναι το οξυγόνο που απαιτείται θεωρητικά για την οξείδωση κάποιας οργανικής ουσίας και υπολογίζεται από τον μοριακό τύπο της ουσίας αυτής, π.χ. για την γλυκόζη



Άνθρακας (C): 12 g/mol \* 6 άτομα = 72 g/mol  
Υδρογόνο (H): 1 g/mol \* 12 άτομα = 12 g/mol  
Οξυγόνο (O): 16 g/mol \* 6 άτομα = 96 g/mol

Ένα mol γλυκόζης (180 g) χρειάζεται 6 \* 32 = 192 g O<sub>2</sub> για να διασπαστεί.

Άρα εάν έχουμε 0,01 γραμμάρια γλυκόζης διαλυμένο σε 1 λίτρο νερό, το Thod είναι:

$$0,01 * 192 = 1,92 \text{ g/L} = 1.920 \text{ mg/L}$$

- Πέραν του οξυγόνου χρησιμοποιείται και ο άνθρακας ως μέτρο των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου
- Ο άνθρακας είναι το κύριο συστατικό των αποβλήτων και η βασική πηγή απαίτησης οξυγόνου
- Ο συνολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon – TOC) βασίζεται στη μέτρηση του CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την πλήρη οξείδωση του άνθρακα των οργανικών ουσιών
- Το TOC κερδίζει έδαφος λόγω του ότι η ολοκλήρωσή του γίνεται σε 5-10 λεπτά



# Ανόργανα συστατικά αποβλήτων

- Το **άζωτο** είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζωντανών οργανισμών και περιέχεται στα υγρά απόβλητα ως Οργανικό N και Αμμωνιακό ( $\text{NH}_3$  ή  $\text{NH}_4^+$ )
- Το προϊόν οξείδωσης αυτών είναι τα νιτρικά και νιτρώδη ( $\text{NO}_3^-$  και  $\text{NO}_2^-$ )

**Πίνακας 6.2** Σύνοψη των όρων που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν διάφορες μορφές αζώτου σε ανεπεξέργαστα ή επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

Μορφή του αζώτου	Σύντμηση	Προσδιορισμός
Αέρια αμμωνία	$\text{NH}_3$	$\text{NH}_3$
Αμμώνιο	$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_4^+$
Ολικό αμμωνιακό άζωτο	TAN	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Νιτρώδη	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_2^-$
Νιτρικά	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$
Ολικό ανόργανο άζωτο	TIN <sup>α</sup>	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$
Ολικό Kjeldal άζωτο	TKN <sup>β</sup>	Οργανικό N + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Οργανικό άζωτο	Οργανικό N	TKN- ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ )
Ολικό άζωτο	TN <sup>γ</sup>	TKN + ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ )

<sup>α</sup> TIN σημαίνει Total Inorganic Nitrogen

<sup>β</sup> TKN σημαίνει Total Kjeldal Nitrogen

<sup>γ</sup> TN σημαίνει Total Nitrogen

Πηγή: Metcalf & Eddy, 2018, ιδία επεξεργασία

- Ο **φώσφορος** είναι κι αυτό ένα από τα βασικά συστατικά των ζωντανών οργανισμών και περιέχεται στα απόβλητα με τις παρακάτω μορφές:
  - Ανόργανος φώσφορος ως ορθοφωσφορικά
  - Λιγότερο ως πολυφωσφορικά και
  - Ως οργανικός φώσφορος
- Το **pH** επηρεάζει όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (χημική, βιολογική, απολύμανση κ.α.) και σχετίζεται με προβλήματα φθοράς (διάβρωσης) σε αγωγούς, εξοπλισμό κ.α.
- Η **αλκαλικότητα** οφείλεται στην παρουσία ιόντων στο πόσιμο νερό και σαν αποτέλεσμα στα αστικά απόβλητα
- Η αλκαλικότητα ρυθμίζει το pH των αποβλήτων

- Τα **χλωριούχα** περιέχονται στα αστικά απόβλητα από το πόσιμο νερό και τα ανθρώπινα απόβλητα (6 g / άτομο, ημέρα)
- Σε παράκτιες περιοχές τα χλωριούχα μπορεί να προέρχονται και από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού
- Το **θείο** είναι βασικό συστατικό των ζωντανών οργανισμών και βρίσκεται στα αστικά απόβλητα κυρίως ως θειικό ιόν ( $\text{SO}_4^{-2}$ )
- Σε αναερόβιες συνθήκες το  $\text{SO}_4^{-2}$  ανάγεται σε  $\text{S}^{-2}$  και στη συνέχεια σε  $\text{H}_2\text{S}$  και  $\text{H}_2\text{SO}_4$  από ειδικά βακτήρια
- Ο σχηματισμός  $\text{H}_2\text{S}$  και  $\text{H}_2\text{SO}_4$  δημιουργεί προβλήματα ρύπανσης στο περιβάλλον

- Στα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα περιέχονται διάφορα ιόντα στοιχείων όπως Pb, Cr, Cu, Zn, Hg κ.α.
- Πάνω από ορισμένη συγκέντρωση είναι τοξικά

**Πίνακας 6.3** Όριο συγκέντρωσης ανασταλτικής επίδρασης σε ετερότροφους μικροοργανισμούς

Μέταλλο	Όριο συγκέντρωσης (mg/L)
Αρσενικό	0.05
Κάδμιο	1.0
Ολικό χρώμιο	10
Εξασθενές χρώμιο	1
Μόλυβδος	0.1
Υδράργυρος	0.1
Νικέλιο	1

1. Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved oxygen - DO): είναι παράμετρος ελέγχου ρύπανσης των υδάτινων φορέων και πρέπει να είναι πάνω από ορισμένα επίπεδα
2. Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ): σχηματίζεται κατά την αναερόβια αποσύνθεση οργανικών ενώσεων των αποβλήτων από ειδικούς μικροοργανισμούς και δεν περιέχεται στα απόβλητα
3. Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOC): είναι οι οργανικές ενώσεις με σημείο βρασμού μικρότερο ή ίσο από  $100\text{ }^\circ\text{C}$  και πίεση μεγαλύτερη από  $1\text{ mm Hg}$  ( $0,0013\text{ atm}$ )

## Where do VOCs come from?



Οι μικροοργανισμοί των αποβλήτων έχουν σημασία γιατί:

1. Χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία αποβλήτων
2. Προκαλούν εξάπλωση ασθενειών μέσω του νερού

Οι μικροοργανισμοί χωρίζονται ανάλογα με την πηγή άνθρακα που χρησιμοποιούν ως τροφή:

1. Αυτοτροφικοί ή Αυτότροφοι μικροοργανισμοί = χρησιμοποιούν  $CO_2$  ως τροφή
2. Ετεροτροφικοί ή Ετερότροφοι μικροοργανισμοί = χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα ως τροφή

Οι μικροοργανισμοί χωρίζονται ανάλογα με την παρουσία ή όχι οξυγόνου στο περιβάλλον που ζουν και αναπτύσσονται:

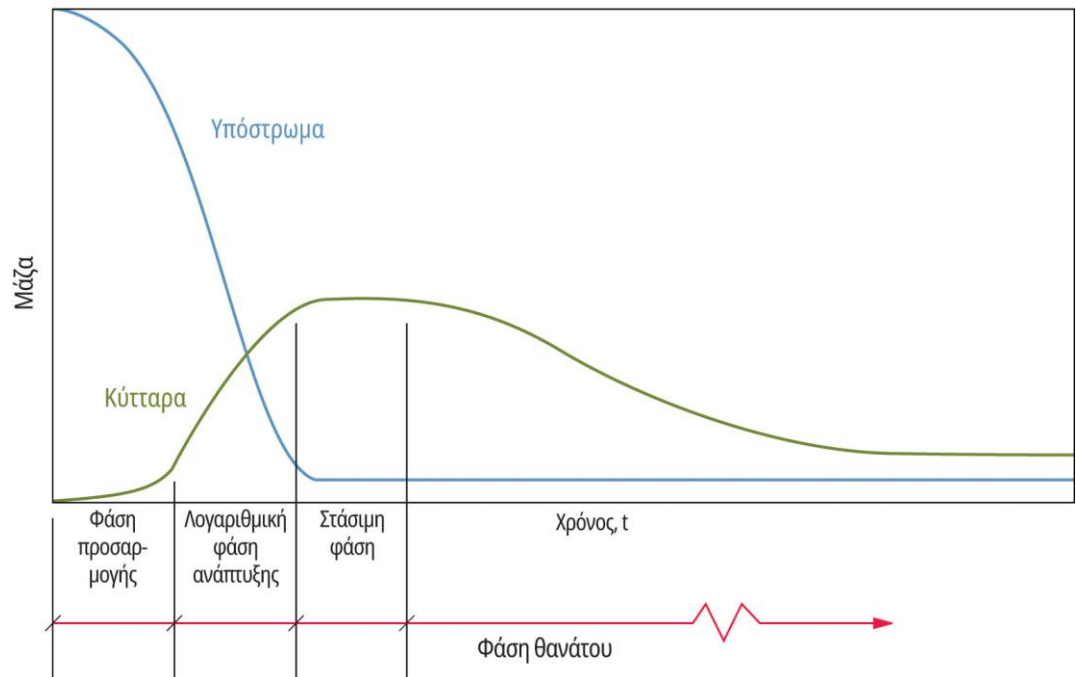
1. Αερόβιοι μικροοργανισμοί
2. Αναερόβιοι μικροοργανισμοί
3. Αερόβιοι – αναερόβιοι μικροοργανισμοί

Τα βασικότερα είδη μικροοργανισμών για την επεξεργασία αποβλήτων είναι:

- **Βακτήρια:** μονοκύτταροι οργανισμοί με πιο σύνηθες στα απόβλητα αυτά του είδους *Escherichia Coli*. Πολύ σημαντικά στην αποικοδόμηση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης.
- **Μύκητες:** ετερότροφοι, αερόβιοι, μη φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, με τους περισσότερους να προσλαμβάνουν την τροφή τους από τη νεκρή οργανική ύλη.
- **Πρωτόζωα:** μονοκύτταροι αερόβιοι οργανισμοί με μερικούς αναερόβιους, με πιο σημαντικά για την επεξεργασία αποβλήτων τα αμοιβαδοειδή, βλεφαριδοφόρα και μαστιγοφόρα.
- **Φύκη:** αυτοτροφικοί, φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί, δημιουργία προβλημάτων (ευτροφισμός).
- **Έλμινθες – Νηματοειδή:** παράσιτα υπεύθυνα για πολλές ασθένειες.
- **Ιοί:** παράσιτα, ανθεκτικά και επιβλαβή για τον άνθρωπο.

- Οι μικροοργανισμοί για να ζουν και να πολλαπλασιάζονται απαιτούν ενέργεια και τροφή
- Η πληθυσμιακή εξέλιξη των μικροοργανισμών σε ένα κλειστό δοχείο χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω φάσεις:

1. Φάση προσαρμογής
2. Λογαριθμική φάση ανάπτυξης
3. Στάσιμη φάση
4. Λογαριθμική φάση θανάτου



- Ο όρος ισοδύναμο πληθυσμού είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στην περιβαλλοντική μηχανική για να αντιστοιχίσουμε το οργανικό φορτίο που παράγεται από μία πηγή ρύπων με τον αριθμό των ατόμων που θα την παρήγαγαν
- Η μέση τιμή του  $BOD_5$  για κάθε άτομο στην Ευρώπη υπολογίζεται σε:  $BOD_5 = 54$  g/άτομο, ημέρα
- Για την Ελλάδα χρησιμοποιείται:  $BOD_5 = 60$  g/άτομο, ημέρα
- Η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο για μια σχετικά άνετη διαβίωση υπολογίζεται σε: 200 L/άτομο, ημέρα
- Στην Ελλάδα σήμερα η ημερήσια κατανάλωση νερού είναι περίπου: 150 L/άτομο, ημέρα

**Θέμα:** Να βρεθεί το πληθυσμιακό ισοδύναμο βιομηχανίας που παράγει απόβλητα  $50 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  με  $\text{BOD}_5$  ίσα προς  $1.200 \text{ mg/L}$ .

**Λύση:**

Το συνολικό  $\text{BOD}_5$  που παράγει η βιομηχανία σε μία μέρα ισούται προς:

$$50 \text{ m}^3 = 50.000 \text{ L}$$

$$1.200 \text{ mg/L} * 50.000 \text{ L} = 60 * 10^6 \text{ mg} = 60.000 \text{ g/ημέρα}$$

$$\text{Βάσει της τιμής του } \text{BOD}_5 \text{ για την Ελλάδα} = 60 \text{ g/άτομο, ημέρα}$$

Το πληθυσμιακό ισοδύναμο της βιομηχανίας είναι  $1.000$  άτομα.

**Θέμα:** Σε μία ελληνική πόλη 20.000 κατοίκων να υπολογιστεί το  $BOD_5$  στην εισροή της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Δεχόμαστε ότι δεν έχει γίνει καθόλου διάσπαση του οργανικού φορτίου στους αγωγούς της αποχέτευσης και ότι στην πόλη αυτή η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού είναι στα 200 L/άτομο, ημέρα.

**Λύση:**

Βάσει της τιμής του  $BOD_5$  για την Ελλάδα = 60 g/άτομο, ημέρα

Το συνολικό  $BOD_5$  που φθάνει στη ΜΕΥΑ σε μία ημέρα ισούται:

60 g/άτομο, ημέρα \* 20.000 άτομα = 1.200 kg/ημέρα =  $1.200 * 10^6$  mg/ημέρα

Η συνολική ημερήσια παροχή είναι:

200 L/άτομο, ημέρα \* 20.000 άτομα = 4.000.000 L/ημέρα =  $4 * 10^6$  L/ημέρα

Διαιρώντας το συνολικό  $BOD_5$  με τη συνολική παροχή έχουμε ότι το αναμενόμενο  $BOD_5$  στην εισροή της ΜΕΥΑ είναι  $300$  mg/L.

# Ισοδύναμο πληθυσμού

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων στην περιοχή Αλογομάνδρα που εξυπηρετεί τη Μύκονο έχει σχεδιαστεί για ισοδύναμο πληθυσμό 32.000 κατοίκων.

Τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός είναι πολύ μεγαλύτερος συνυπολογίζοντας επισκέπτες και τουρίστες.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές η εκροή να μην έχει την απαιτούμενη ποιότητα.



# Είδη αντιδραστήρων για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων

1. Κλειστός αντιδραστήρας ασυνεχούς λειτουργίας με πλήρη ανάμειξη (Batch Reactor – BR). Λέγονται επίσης και αντιδραστήρες διαλείποντος έργου. Σε αυτό το είδος δεν υπάρχει εισροή και εκροή και το περιεχόμενο αναδύεται πλήρως.
2. Αντιδραστήρας εμβολικής ροής (Plug-Flow Reactor – PFR). Σε αυτό το είδος τα στοιχειώδη σωματίδια του υγρού εισέρχονται ομοιόμορφα κατανεμημένα στη διατομή του αντιδραστήρα, διατηρούν σταθερές ταχύτητες κατά τη διέλευσή τους μέσα από αυτόν και εξέρχονται επίσης ομοιόμορφα. Η μεταβολή στη συγκέντρωση λόγω της αντίδρασης γίνεται κατά μήκος του αντιδραστήρα.



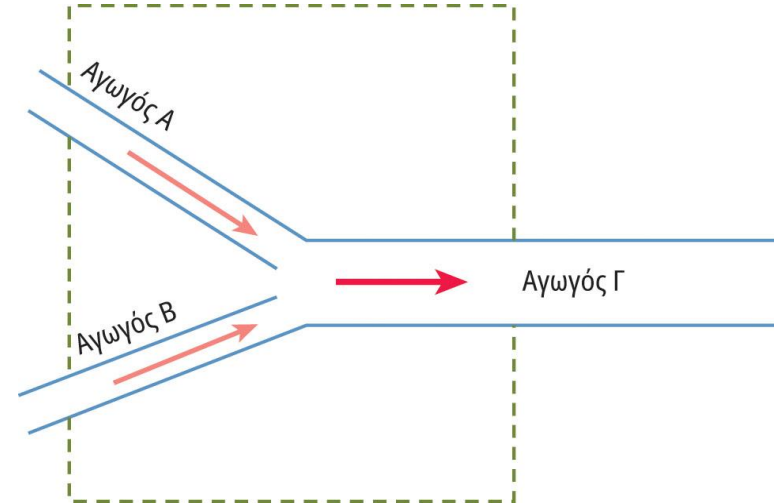
# Είδη αντιδραστήρων για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων

3. Αντιδραστήρας συνεχούς ροής με πλήρη ανάμιξη (Continuous Flow Stirred Tank Reactor – CSTR). Σε αυτό το είδος τα στοιχειώδη σωματίδια του υγρού εισέρχονται στον αντιδραστήρα και διασπείρονται ομοιόμορφα λόγω της ανάμιξης σε όλο τον όγκο του. Η συγκέντρωση στον αντιδραστήρα θεωρείται ίδια με αυτή της εκροής.
4. Βιοαντιδραστήρες πλήρους ανάμιξης (τύπου CSTR) σε σειρά
5. Αντιδραστήρες με πληρωτικό υλικό



# Ισοζύγιο μάζας συντηρητικού ρύπου

**Θέμα:** Σε έναν αγωγό (Γ) πέφτουν οι εκροές δύο άλλων (Α και Β) με κάποια περιεκτικότητα σε NaCl. Θεωρούμε ότι στον αγωγό Α περιέχονται 100 mg/L αλατιού και στον αγωγό Β περιέχονται 20 mg/L, ο ρυθμός ροής του Α είναι 4,5 m<sup>3</sup>/s ενώ του Β 2,0 m<sup>3</sup>/s. Δεν υπάρχει συσσώρευση στο σύστημα. Ποια θα είναι η συγκέντρωση του αλατιού στον αγωγό Γ;



**Λύση:**

Εφόσον δεν έχουμε συσσώρευση δεν ισχύει:

Συσσώρευση = Εισροή – Εκροή αλλά έχουμε ότι:

Εισροή = Εκροή

$$1) C_A Q_A + C_B Q_B = C_\Gamma Q_\Gamma$$

$$2) Q_A + Q_B = Q_\Gamma$$

$$3) C_\Gamma = \frac{C_A Q_A + C_B Q_B}{Q_A + Q_B}$$

$$C_\Gamma = \frac{\left(100 \frac{mg}{L} * 4.500 \frac{L}{s}\right) + \left(\frac{20mg}{L} * 2.000 \frac{L}{s}\right)}{6.500 \frac{L}{s}}$$

$$C_\Gamma = 75,38 \text{ mg/L}$$

# Ποιοτικά και Ποσοτικά χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης και του σχεδιασμού ενός συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες που επηρεάζουν:

1. Το μέγεθος της μονάδας
2. Τη λειτουργία
3. Την απόδοση

Άλλοι παράγοντες είναι:

1. Η ποσότητα
2. Η ποιότητα των αποβλήτων



- Τα απόβλητα από μία αστική περιοχή τα οποία συλλέγονται σε ένα αποχετευτικό σύστημα (λύματα) μπορεί να προέρχονται από κατοικίες, από εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης (ξενοδοχεία, εστιατόρια κ.α.), από ιδρύματα (σχολεία) ακόμη και από εγκαταστάσεις αναψυχής (κατασκηνώσεις).
- Η παροχή των αποβλήτων εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που εξυπηρετούνται.
- Η παροχή των αποβλήτων είναι δυνατόν να παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με την εποχή.

**Πίνακας 6.4** Περιοχή τιμών και τυπικές τιμές παροχής αστικών λυμάτων ανάλογα με την προέλευσή τους (L/κάτοικο/ημέρα).

Προέλευση	Περιοχή τιμών	Τυπική τιμή
Κατοικία	110-230	170
Ξενοδοχείο	150-230	190
Πελάτης Εργαζόμενος	30-50	38
Εστιατόριο	30-38	34
Σχολείο	19-64	42
Κατασκήνωση	130-190	170

- Ο χαρακτηρισμός της ποιοτικής σύστασης των αποβλήτων αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τον σχεδιασμό μιας εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων.
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων αντιστοιχούν στις φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους.

**Πίνακας 6.5** Περιοχή τιμών και τυπικές τιμές ποιοτικών χαρακτηριστικών αποβλήτων που παράγονται από αστικές περιοχές (g/κάτοικο/ημέρα).

Παράμετρος	Περιοχή τιμών	Τυπική τιμή
Οργανικό φορτίο BOD <sub>5</sub> COD	50-120 110-295	80 190
Αιωρούμενα στερεά	60-150	90
Άζωτο Αμμωνιακό Οργανικό	5-12 4-10	7.6 5.4
Ολικός φώσφορος	2.7-4.5	3.2

# Διαδικασία σχεδιασμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων

1. Εκτίμηση χαρακτηριστικών και ποσότητας αποβλήτων για τον επιθυμητό χρόνο ζωής του έργου.
2. Προσδιορισμός των προδιαγραφών που πρέπει να πληρούν τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων για να μπορούν να διοχετευτούν σε έναν συγκεκριμένο αποδέκτη.
3. Εξέταση τοπικών παραγόντων όπως κλίμα, εδαφολογικές συνθήκες, το είδος και η θέση του αποχετευτικού συστήματος. Η επιλογή των μεθόδων επεξεργασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και από τον βαθμό απομάκρυνσης των ρυπαντικών ουσιών.
4. Τεχνικοοικονομική ανάλυση
  1. Καθορισμός κριτηρίων σχεδιασμού των μονάδων επεξεργασίας
  2. Διαστασιολόγηση των διαφόρων μονάδων
  3. Ανάλυση του κόστους εναλλακτικών λύσεων και υπολογισμός κόστους λειτουργίας – συντήρησης

# Επεξεργασία αποβλήτων

Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης: απομάκρυνση κυρίως στερεών (TSS) αλλά και μέρος του οργανικού φορτίου (BOD<sub>5</sub>).

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Κατερίνης



Σήμερα στην Ελλάδα λειτουργούν Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) στη συντριπτική πλειοψηφία των οικισμών με πληθυσμό μεγαλύτερο από 2.000 κατοίκους.

Οι περισσότερες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) στην Ελλάδα εφαρμόζουν δευτεροβάθμια επεξεργασία, ενώ σε ευαίσθητες περιοχές εφαρμόζεται και τριτοβάθμια επεξεργασία για απομάκρυνση θρεπτικών (άζωτο και φώσφορος), σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ευρωπαϊκής νομοθεσίας.



**Πίνακας 6.6** Βασικές διεργασίες που εφαρμόζονται για την απομάκρυνση των ρυπαντών από τα υγρά απόβλητα (Crites and Tchobanoglous, 1998).

Ρυπαντική ουσία	Διεργασία
Αιωρούμενα στερεά	Καθίζηση, επίπλευση, φυσικές διεργασίες, φίλτρα σταθερής κλίνης
Βιοαποδομήσιμα οργανικά	Ενεργός ιλύς, φυσικές διεργασίες, λίμνες, φίλτρα σταθερής κλίνης
Πτητικά οργανικά	Φυσικά συστήματα
Παθογενή	Χλωρίωση, UV ακτινοβολία, φυσικές διεργασίες
Άζωτο	Νιτροποίηση/απονιτροποίηση, φυσικές διεργασίες
Φώσφορος	Βιολογική απομάκρυνση, φυσικές διεργασίες
Δύσκολα αποδομήσιμα οργανικά	Φυσικές διεργασίες
Βαρέα μέταλλα	Χημική καθίζηση, φυσικές διεργασίες
Διαλυμένα στερεά	Ιοντοεναλλαγή, αντίστροφη ώσμωση

**Πίνακας 6.7** Παράγοντες για την αξιολόγηση και την επιλογή βασικών συστημάτων επεξεργασίας (Πηγή: Crites and Tchobanoglous, 1998, ιδία επεξεργασία).

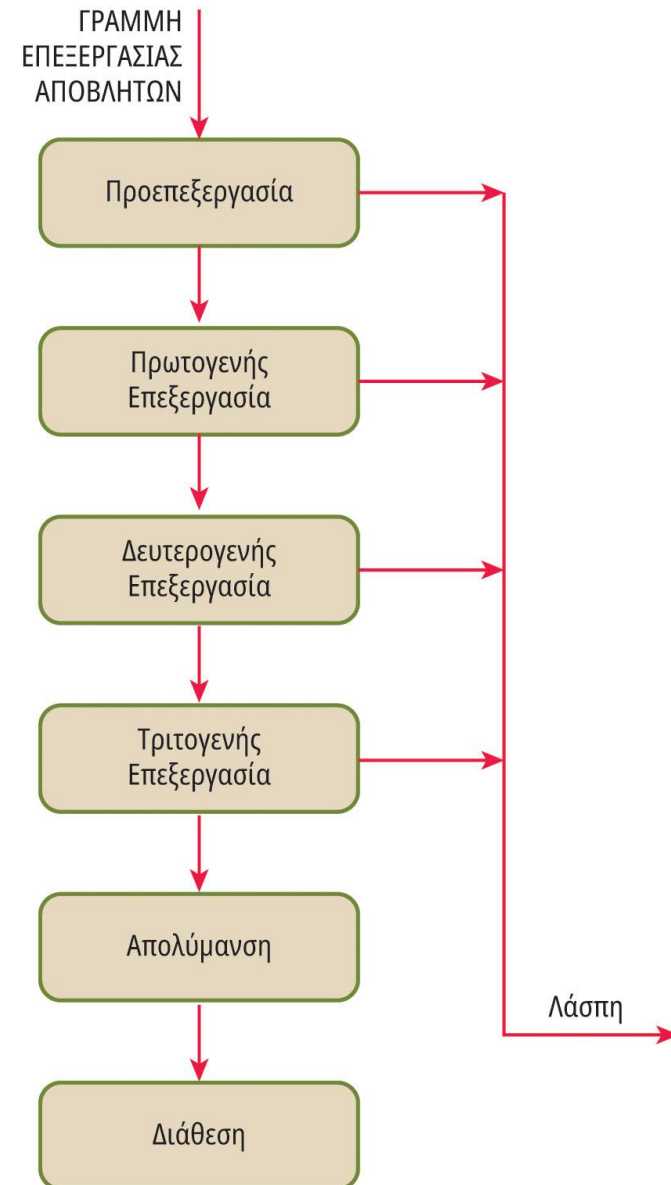
α/α	Παράμετρος	Παρατηρήσεις
1	Δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου	Βασίζεται σε προηγούμενη εμπειρία, δεδομένα από υπάρχουσες μονάδες, βιβλιογραφία.
2	Παροχή αποβλήτων	Η διεργασία πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να εξυπηρετεί την παροχή, π.χ. οι λίμνες σταθεροποίησης δεν εφαρμόζονται σε μεγάλες ροές.
3	Διακυμάνσεις παροχής	Πιθανότητα για εξισορρόπηση ροής.
4	Χαρακτηριστικά αποβλήτων	Επίδραση στην απόδοση της μονάδας.
5	Ουσίες με αρνητική δράση	Ουσίες που μειώνουν την απόδοση και ουσίες που δεν επηρεάζονται από την επεξεργασία.
6	Κλίμα	Η θερμοκρασία επηρεάζει τις χημικές και βιολογικές δράσεις.
7	Κινητική της αντίδρασης	Ο σχεδιασμός των δεξαμενών γίνεται με βάση την κινητική των αντιδράσεων.
8	Λειτουργία	Η απόδοση σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά των εκροών που πρέπει να είναι μικρότερα από αυτά που ορίζονται στη νομοθεσία.
9	Υπολειμματικές ουσίες	Απαιτήση για επιπλέον στάδια επεξεργασίας.
10	Επεξεργασία ιλύος	Τα υγρά από την επεξεργασία της ιλύος ανακυκλώνονται στην εγκατάσταση και πρέπει να συνυπολογίζονται. Τρόποι για τελική διάθεση της ιλύος.
11	Περιβαλλοντικοί περιορισμοί	Επικράτηση ισχυρών ανέμων, γειτνίαση με κατοικημένες περιοχές, δυνατότητα πρόσβασης, κατάσταση αποδέκτη κ.λπ. μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή μιας μεθόδου.
12	Απαιτήσεις σε χημικά	Επίδραση από προσθήκη χημικών στην απόδοση. Διαθεσιμότητα χημικών
13	Απαιτήσεις σε ενέργεια	Επηρεάζουν την οικονομικότητα της μονάδας.
14	Προσωπικό	Διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού.
15	Λειτουργία-συντήρηση	Κόστος υλικών για λειτουργία και συντήρηση.
16	Πολυπλοκότητα	Βαθμός εκπαίδευσης χειριστών. Λειτουργία σε σταθερές και έκτακτες συνθήκες.
17	Διαθεσιμότητα γης	Διαθεσιμότητα γης για την υπάρχουσα εγκατάσταση και τυχόν μελλοντικές επεκτάσεις. Επιπλέον έκταση για να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις από θόρυβο και οι οσμές.

# Κεφάλαιο 7

## Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων

# Στάδια επεξεργασίας λυμάτων

- Λύματα: υγρά απόβλητα από κατοικίες, γραφεία, ξενοδοχεία, εστιατόρια κ.α.
- Υγρά απόβλητα: περιλαμβάνει και τα βιομηχανικά απόβλητα.
- Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (ΜΕΥΑ) ή Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων (ΜΕΛ) ή Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ): δεν περιλαμβάνουν βιομηχανικά υγρά απόβλητα.
- Οι ΜΕΥΑ μπορούν να περιέχουν τα παραδίπλα στάδια:



Υπάρχουν δύο γραμμές επεξεργασίας στις Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων (ΜΕΥΑ):

1. Αφορά την επεξεργασία των αποβλήτων δηλαδή την απομάκρυνση επιβλαβών ουσιών για τον τελικό αποδέκτη.
  2. Αφορά την επεξεργασία της λάσπης δηλαδή την επεξεργασία των επιβλαβών ουσιών που απομακρύνθηκαν στην πρώτη γραμμή.
- Σε όλα τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων παράγονται στερεά τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν από τη μονάδα.
  - Στην είσοδο της ΜΕΥΑ είναι σημαντικό να γίνεται προσδιορισμός της παροχής των υγρών αποβλήτων.

Πολλές φορές για απλοποίηση η παροχή των υγρών αποβλήτων υπολογίζεται με βάση τη μέση ημερήσια κατανάλωση του νερού ύδρευσης της πόλης.

- Η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού ύδρευσης στην Ελλάδα κυμαίνεται μεταξύ 120 και 250 L/κάτοικο.
- Μέση ημερήσια παροχή  $Q_{\text{day}}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ): συνολικός όγκος υγρών αποβλήτων σε ένα έτος / 365.
- Μέγιστη ημερήσια παροχή  $Q_{\text{max}}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ): μέγιστη τιμή των ημερήσιων παροχών σε ένα έτος.
- Ελάχιστη ημερήσια παροχή  $Q_{\text{min}}$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ): ελάχιστη τιμή των ημερήσιων παροχών σε ένα έτος.
- Μέγιστη ωριαία παροχή ή παροχή αιχμής  $Q_{\text{hmax}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ): παρατηρείται κατά το 24ωρο της  $Q_{\text{max}}$ .
- Ελάχιστη ωριαία παροχή  $Q_{\text{hmin}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ): παρατηρείται κατά το 24ωρο της  $Q_{\text{min}}$ .

# Προκαταρκτική επεξεργασία

- Είναι το πρώτο στάδιο της μονάδας στο οποίο αφαιρούνται υλικά που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν προβλήματα στη λειτουργία των επόμενων σταδίων.

Η προκαταρκτική επεξεργασία συνήθως περιλαμβάνει:

- Εσχάρωση: απομάκρυνση υλικών μεγάλου μεγέθους.
- Άλεση ή πολτοποίηση: συμπληρωματικά με την εσχάρωση για την απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων.
- Αμμοσυλλογή: απομάκρυνση βαριών αδρανών υλικών όπως χαλίκια, άμμος, σπόροι.
- Λιποσυλλογή – ξάφρισμα: απομάκρυνση επιπλεόντων υλικών όπως λίπη και λάδια.



1. Ανυψώνουν μεγάλες παροχές με χαμηλό ενεργειακό κόστος.
2. Μπορούν να ανυψώσουν μη εσχαρισμένα λύματα χωρίς επιπλοκές.
3. Μπορούν να ανυψώσουν έως 20-22 μέτρα.
4. Δουλεύουν σε χαμηλή ταχύτητα και με χαμηλή στάθμη θορύβου.
5. Μπορούν να αντιμετωπίσουν συνεχή και μεταβαλλόμενη παροχή.
6. Μπορούν να χειριστούν μεγάλο εύρος παροχών από 100 m<sup>3</sup>/h έως 10.000 m<sup>3</sup>/h.



# Εσχάρωση

Σκοπός της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (κουρέλια, κομμάτια ξύλου, χαρτιά, κλαδιά κ.α.) τα οποία μπορεί να αποφράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό.

Χοντρές σχάρες: 40 – 150 mm

Μέσες σχάρες: 20 – 40 mm

Λεπτές σχάρες: 5 – 20 mm



# Σχάρα και εσχαρίσματα



Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι διάθεσης των εσχαρισμάτων είναι οι εξής:

1. Επιστροφή τους στη ροή έπειτα από τους τεμαχιστές και θραυστήρες (κίνδυνος καταστροφής του θρυμματιστή και δημιουργία προβλημάτων στα επόμενα στάδια).
2. Ταφή (απαγόρευση από την Ευρωπαϊκή Ένωση η ταφή τους σε ΧΥΤΑ, 2025).
3. Αποτέφρωση η οποία μπορεί να γίνει μαζί με σκουπίδια ή μαζί με τη λάσπη αφού πρώτα προηγηθεί αφυδάτωσή της.



- Με την εξάμμωση γίνεται η απομάκρυνση κόκκων άμμου, σωματιδίων αργίλου ή άλλων βαριών σωματιδίων γεωλογικής ή άλλης υφής
- Τα σωματίδια δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης αρκετά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών
- Τα δύο είδη εξαμμωτών είναι: Εξαμμωτές με σταθερή ταχύτητα και Αεριζόμενοι Εξαμμωτές



# Λιποσυλλογή



Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης (αριστερά)  
με λιποσυλλογή (δεξιά)



Φρεάτιο λιποσυλλογής



Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης (αριστερά)  
με λιποσυλλογή (δεξιά)

- Σκοπός της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι η απομάκρυνση των στερεών από τα απόβλητα.
- Περιλαμβάνει την καθίζηση ή επίπλευση και χημική επεξεργασία (κροκίδωση) με καθίζηση.
- Απομακρύνεται το 50-70 % από τα αιωρούμενα στερεά των αποβλήτων και περίπου το 25-40 % του οργανικού φορτίου ( $BOD_5$ ).
- Αιωρούμενα στερεά (οργανικά ή ανόργανα) μεγέθους 0,1 – 0,001 mm.
- Η απομάκρυνση σκοπεύει στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου που προορίζεται για τις επόμενες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας ή τον τελικό αποδέκτη.

# Πρωτοβάθμια καθίζηση

Σε μία τυπική μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων η καθίζηση χρησιμοποιείται σε τρία βήματα:

1. Στους αμμοσυλλέκτες όπου η ανόργανη ύλη (π.χ. άμμος) απομακρύνεται από τα απόβλητα.
2. Στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης που προηγείται του αντιδραστήρα, τα στερεά διαχωρίζονται.
3. Στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης που βρίσκεται μετά τον αντιδραστήρα, διαχωρισμός λάσπης από το επεξεργασμένο υγρό εκροής.



# Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης

Οι παράμετροι σχεδιασμού των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι:

1. Επιφανειακή φόρτιση και χρόνος παραμονής
2. Ταχύτητα ροής στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης
3. Απομάκρυνση SS και BOD
4. Χαρακτηριστικά και ποσότητες πρωτοβάθμιας λάσπης
5. Διαστάσεις ΔΠΚ



**Πίνακας 7.1** Τυπικές διαστάσεις για ορθογώνιες ή κυκλικές ΔΠΚ.

Παράμετροι	Μονάδες	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
<b>Ορθογώνιες δεξαμενές</b>			
Βάθος	M	3- 4.9	4.3
Μήκος	M	15- 90	24- 40
Πλάτος	M	3-24	4.9- 9.8
Ταχύτητα ξέστρων	m/min	0.6- 1.2	0.9
<b>Κυκλικές δεξαμενές</b>			
Βάθος	M	3- 4.9	4.3
Διάμετρος	M	3- 60	12- 45
Κλίση πυθμένα	mm/mm	1/16 – 1/6	1/12
Ταχύτητα ξέστρων	r/min	0.02- 0.05	0.03

Πηγή: Metcalf & Eddy (2018), ίδια επεξεργασία

# Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (εκτός λειτουργίας)



# Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (εκτός λειτουργίας)



# Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (σε λειτουργία)



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ



# Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (σε λειτουργία)



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ



- Σκοπός της χημικής επεξεργασίας (χημική κροκίδωση) είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και κolloειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση.
- Η χημική επεξεργασία γίνεται με την προσθήκη χημικών ουσιών στα απόβλητα που προκαλούν τη συνένωση των αιωρούμενων και κolloειδών στερεών σε μεγαλύτερα.
- Οι θρομβωτικές χημικές ενώσεις πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος, εύκολη χρήση και χημική σταθερότητα.
- Συνήθως χρησιμοποιούνται άλατα πολυσθενών μετάλλων όπως του αργιλίου και του σιδήρου.
- Η διαδικασία σκοπεύει επίσης στη βελτίωση της απόδοσης της πρωτοβάθμιας καθίζησης και στην απομάκρυνση του φωσφόρου.

Η χημική κατακρήμνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

1. Ως ένα μέσο για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των μονάδων πρωτοβάθμιας καθίζησης.
2. Ως ένα στάδιο για την ανεξάρτητη φυσικοχημική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.
3. Για την απομάκρυνση του φωσφόρου.
4. Για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων, κυρίως σε υγρά βιομηχανικά απόβλητα.

**Πίνακας 7.2** Διαφορές ανάμεσα στην κροκίδωση και τη συσσωμάτωση

Παράμετρος	Κροκίδωση	Συσσωμάτωση
Φύση σωματιδίων	Αρκετά μικρά σωματίδια	Διάσπαρτα ιζήματα σε μορφή γέλης
Είδος προστιθέμενου χημικού	Χαμηλού μοριακού βάρους	Υψηλού μοριακού βάρους
Απαίτηση ενέργειας	Ταχεία ανάμιξη	Αργή ανάδευση
Χρόνος διεργασίας	Έως 5 min	10-30 min
Περιφερειακή ταχύτητα αναδευτήρα	~ 5 m/sec	0.5- 1.5 m/sec
Ισχύς ανάδευσης	50- 200 W/m <sup>3</sup>	15- 30 W/m <sup>3</sup>

- Σκοπός της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιολογικές διεργασίες με την χρήση μικροοργανισμών.
- Οι μικροοργανισμοί αναπαράγονται καταναλώνοντας τις οργανικές ουσίες και στη συνέχεια απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή άλλη διαδικασία.
- Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες στην βιολογική επεξεργασία:
  1. Συστήματα αιωρούμενης βιομάζας: αντιδραστήρες ενεργούς ιλύος και οι λίμνες.
  2. Συστήματα προσκολλημένης βιομάζας: χαλικοδιυλλιστήρια (βιολογικά φίλτρα).
- Σε μεγάλους οικισμούς (πάνω από 5.000 κατοίκους) χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες ενεργούς ιλύος.

# Συστήματα ενεργού ιλύος

- Ονομάζεται έτσι λόγω της παραγωγής δραστικής λάσπης από μικροοργανισμούς.
- Στα συστήματα της ενεργού ιλύος περιλαμβάνονται:
  1. Δεξαμενή αερισμού όπου οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες.
  2. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου οι παραγόμενοι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και απομακρύνονται με τη μορφή λάσπης.



# Δεξαμενή αερισμού ΜΕΛ Θεσσαλονίκης



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ



Δεξαμενή αερισμού στη ΜΕΛ Θεσσαλονίκης με διαχυτήρες που εισάγουν φυσαλίδες

# Δεξαμενή αερισμού ΜΕΛ Θεσσαλονίκης



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

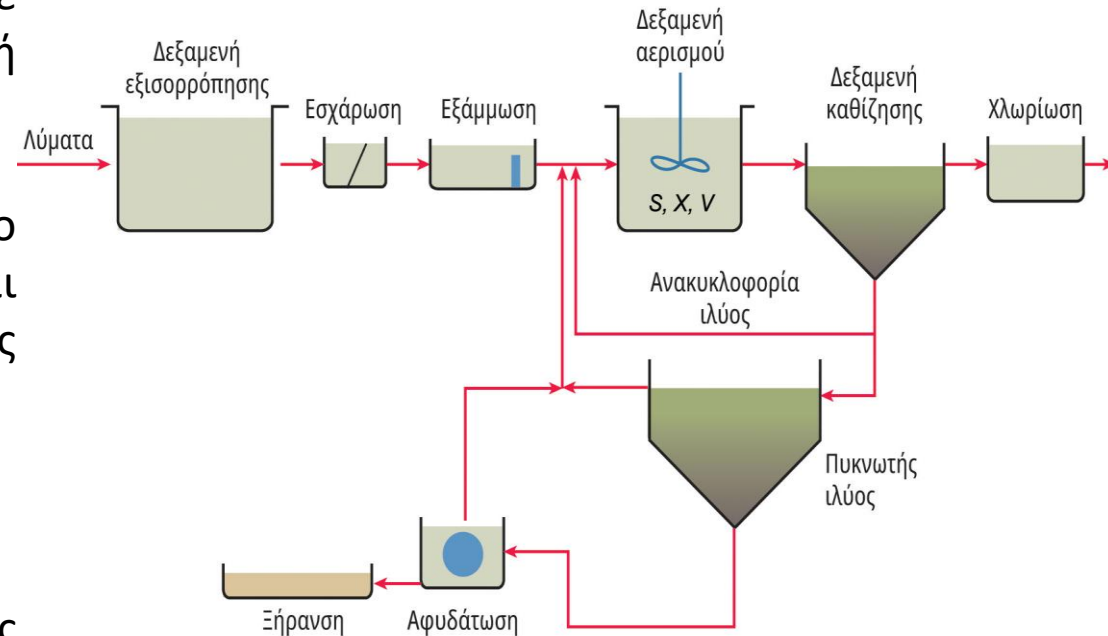


# Δεξαμενή αερισμού ΜΕΛ Κατερίνης

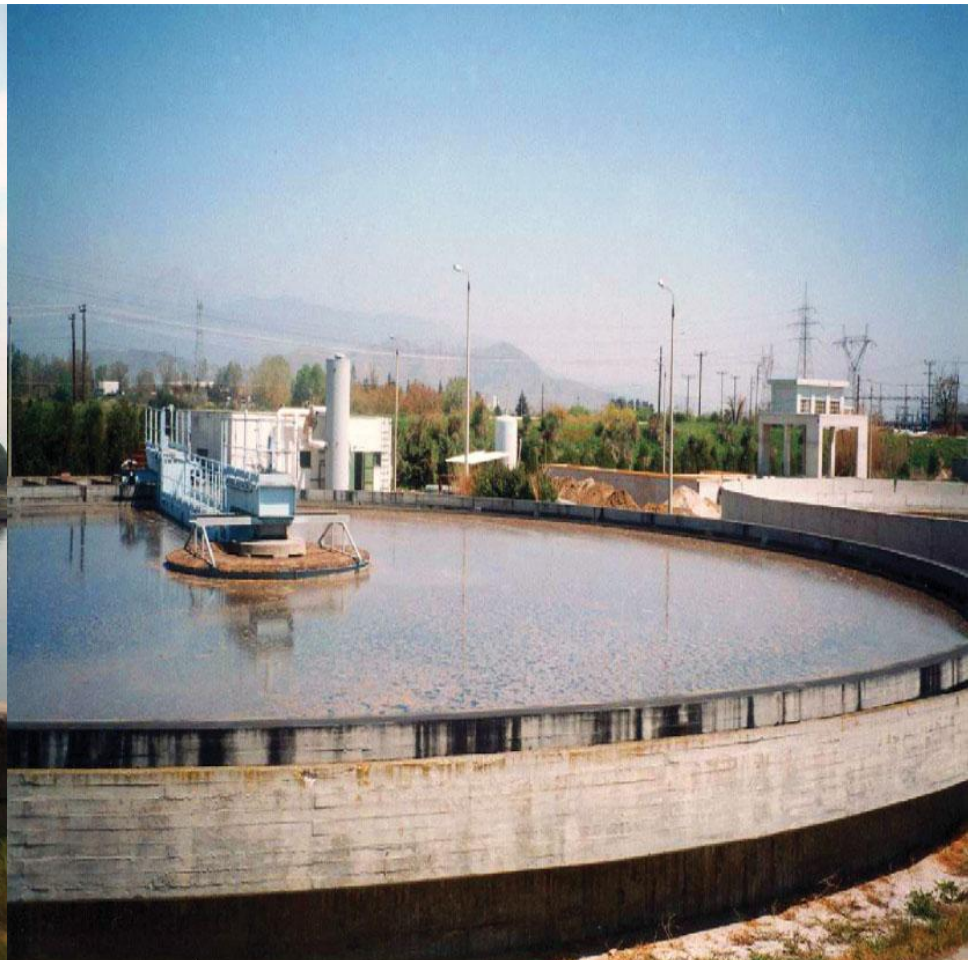


# Διάγραμμα ροής ΜΕΥΑ ενεργού ιλύος

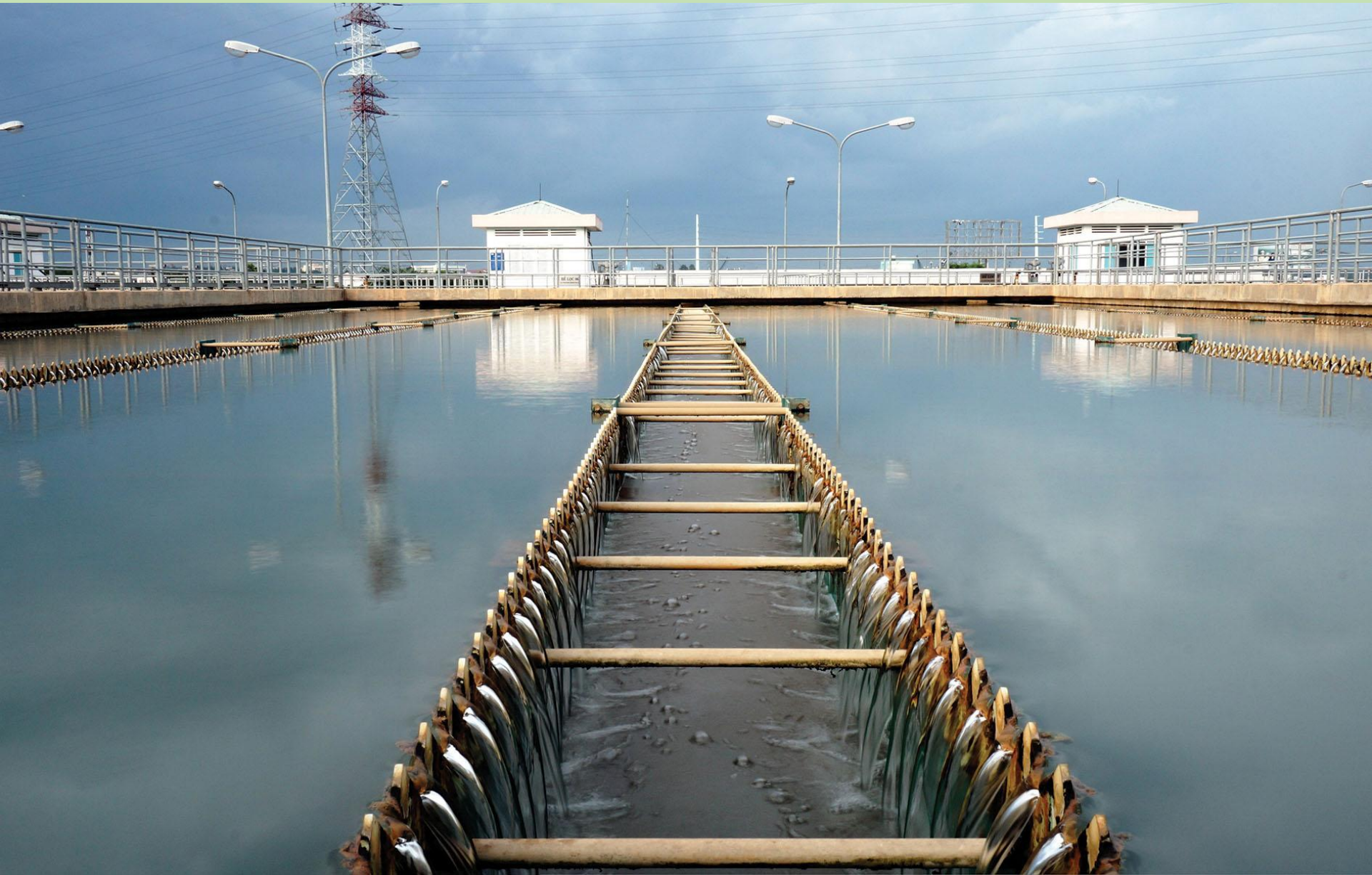
1. Κατά τη μέθοδο της ενεργού ιλύος τα λύματα εισάγονται σε έναν αντιδραστήρα όπου αερόβιοι μικροοργανισμοί διατηρούνται σε αιώρηση.
2. Οι αερόβιες συνθήκες στον αντιδραστήρα επιτυγχάνονται με χρήση μηχανικών αεριστήρων ή διαχυτήρων.
3. Μετά από ορισμένο χρόνο παραμονής το υγρό μεταφέρεται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.
4. Γίνεται διαχωρισμός των στερεών.
5. Το μεγαλύτερο μέρος της λάσπης ανακυκλώνεται στη δεξαμενή αερισμού για να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση των μικροοργανισμών.



# Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης



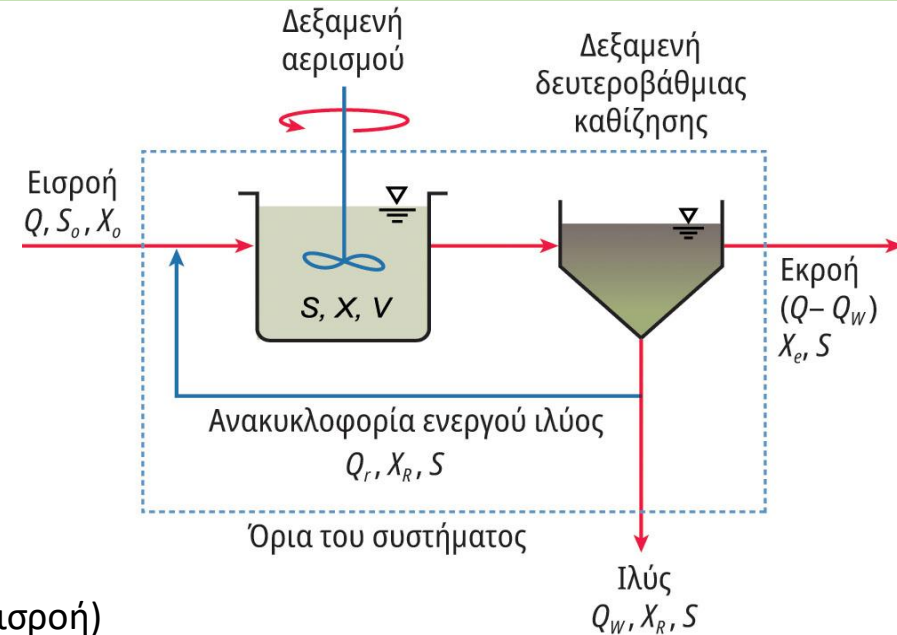
# Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης



# Διάγραμμα ροής ενεργού ιλύος

Στο δίπλα διάγραμμα έχουμε:

1. Διεργασία ενεργού ιλύος με ανακύκλωσή της.
2. Απόρριψη ιλύος έπειτα από χρήση της.
3. Δεξαμενή αερισμού.
4. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.
5. Εκροή καθαρού νερού και ελάχιστης ποσότητας στερεών και υποστρώματος.



$Q$  (Εισροή)

$S_0$ : Η υψηλή συγκέντρωση ρύπων στα εισερχόμενα λύματα

$X_0$ : Η συγκέντρωση στερεών στην είσοδο

$S$  (Substrate - Υπόστρωμα)

$X$  (Biomass - Βιομάζα)

$V$  (Volume - Όγκος)

$Q_r$  (Recycle): Η παροχή της ανακυκλοφορίας της ιλύος

$X_r$ : Η συγκέντρωση της συμπυκνωμένης ιλύος που επιστρέφει ή απομακρύνεται

$Q - Q_w$  (Εκροή): Η παροχή του καθαρού νερού που φεύγει από το σύστημα

$X_e$  (Effluent): Η ελάχιστη ποσότητα στερεών που διαφεύγει με το καθαρό νερό στην έξοδο

# Ρυθμός επεξεργασίας και υπολογισμός διαστάσεων

Χαρακτηριστική παράμετρος για τον ρυθμό επεξεργασίας και τον υπολογισμό των διαστάσεων εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού είναι:

- Ο λόγος των οργανικών ουσιών ( $BOD_5$ ) των λυμάτων που μπαίνουν κάθε μέρα στην εγκατάσταση ( $F =$  τροφή) προς τα αιωρούμενα πτητικά στερεά ( $MLVSS =$  Mixed Liquor Volatile Suspended Solids) που αντιπροσωπεύουν ενδεικτικά τα μικρόβια.
- Συμβολίζεται ως  $F/M$ .
- Οι μονάδες ενεργούς ιλύος λειτουργούν αποδοτικά μόνο σε ορισμένα όρια τιμών του λόγου  $F/M$ .
- Ο λόγος αυτός ρυθμίζεται με την παροχή του  $BOD$ .

# Ρυθμός επεξεργασίας και υπολογισμός διαστάσεων

Μία άλλη παράμετρος που είναι σημαντική για τη μονάδα είναι:

- Ο λόγος των πτητικών (MLVSS) προς τα ολικά (MLSS) αιωρούμενα στερεά.
- Ο λόγος συμβολίζεται ως:  $\lambda = \text{MLVSS} / \text{MLSS}$ .
- Για τα αστικά υγρά απόβλητα κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 0,8.
- Οι μονάδες μέτρησης των MLVSS και MLSS είναι mg / L.
- Συνήθως δίνεται ο λόγος F / M ή/και MLVSS ή/και MLSS.

**Θέμα:** Σε μια μικρή βιομηχανική πόλη με πληθυσμό 5.000 κατοίκους, σχεδιάζεται μια εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η εγκατάσταση πρόκειται επίσης να δεχτεί τα απόβλητα από τη βιομηχανική περιοχή με παροχή 50 m<sup>3</sup>/ημέρα και φορτίο BOD<sub>5</sub> = 1.080 mg/L. Να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής αερισμού για την επεξεργασία του συνόλου των αποβλήτων. Δίνονται ο λόγος F/M = 0,015 kg BOD<sub>5</sub> / kg MLVSS ημέρα, MLSS = 4.500 mg/L και MLVSS = 0,7 MLSS.

## Παραδοχές:

Παροχή αστικών λυμάτων = 200 L/κάτοικο/ημέρα

BOD<sub>5</sub> λυμάτων = 300 mg/L

Το οργανικό φορτίο των αστικών υγρών αποβλήτων που θα δέχεται η μονάδα είναι:

$$Q_{\alpha} = 5.000 \text{ κάτοικοι} * 200 \text{ L/ημέρα} * 300 \text{ mg/L} = 300 \text{ kg BOD}_5 / \text{ημέρα}$$

Το οργανικό φορτίο των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων που θα δέχεται η μονάδα είναι:

$$Q_{\beta} = 1.080 \text{ g/m}^3 * 50 \text{ m}^3/\text{ημέρα} = 54 \text{ kg BOD}_5 / \text{ημέρα}$$

Από τον λόγο:  $F/M = 0,015 \text{ kg BOD}_5 / \text{kg MLVSS ημέρα} \Leftrightarrow$

$$0,015 = (Q_{\alpha} + Q_{\beta}) / \text{kg MLVSS ημέρα} \Leftrightarrow$$

$$0,015 = (300 + 54) / \text{kg MLVSS ημέρα} \Leftrightarrow \text{MLVSS} = 23.600 \text{ kg}$$

$$\text{MLVSS} = 0,7 \text{ MLSS mg/L} \Leftrightarrow \text{MLVSS} = 0,7 * 4.500 \text{ mg/L} \Leftrightarrow \text{MLVSS} = 3,15 \text{ kg/m}^3$$

Η σχέση  $MLVSS = 23.600 \text{ kg}$  εκφράζει τη συνολική μάζα (m) των αιωρούμενων στερεών ενώ η σχέση  $MLVSS = 3,15 \text{ kg/m}^3$  εκφράζει την πυκνότητα (d) αυτών.

Ο όγκος της δεξαμενής αερισμού V μπορεί να υπολογιστεί από τον λόγο της μάζας προς την πυκνότητα.

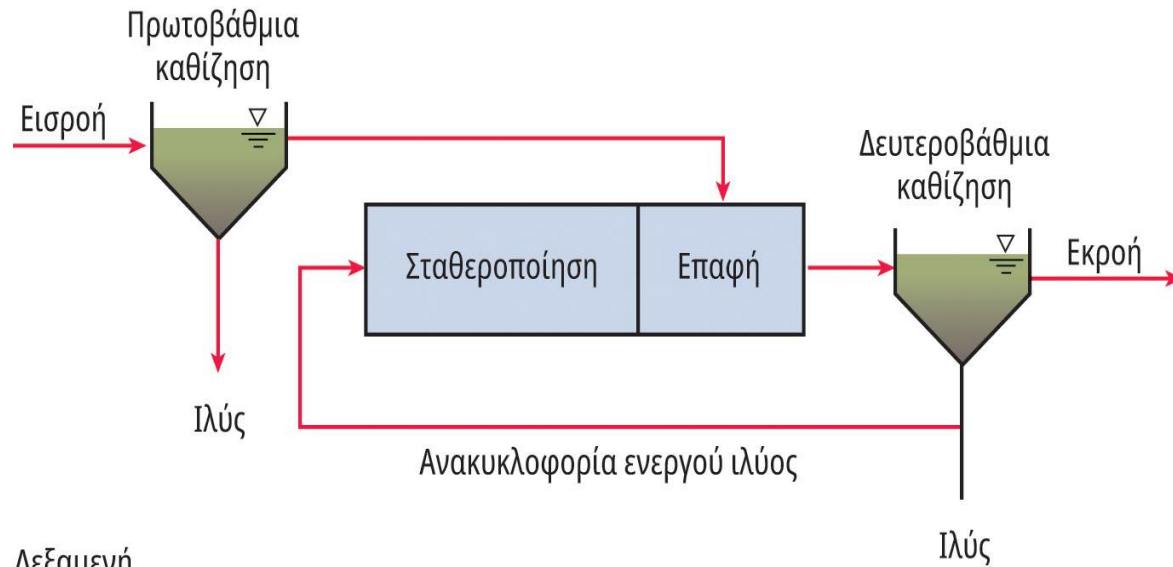
Άρα:

$$V = (MLVSS \text{ kg}) / (MLVSS \text{ kg/m}^3) \Leftrightarrow$$

$$V = 23.600 \text{ kg} / 3,15 \text{ kg/m}^3 \Leftrightarrow$$

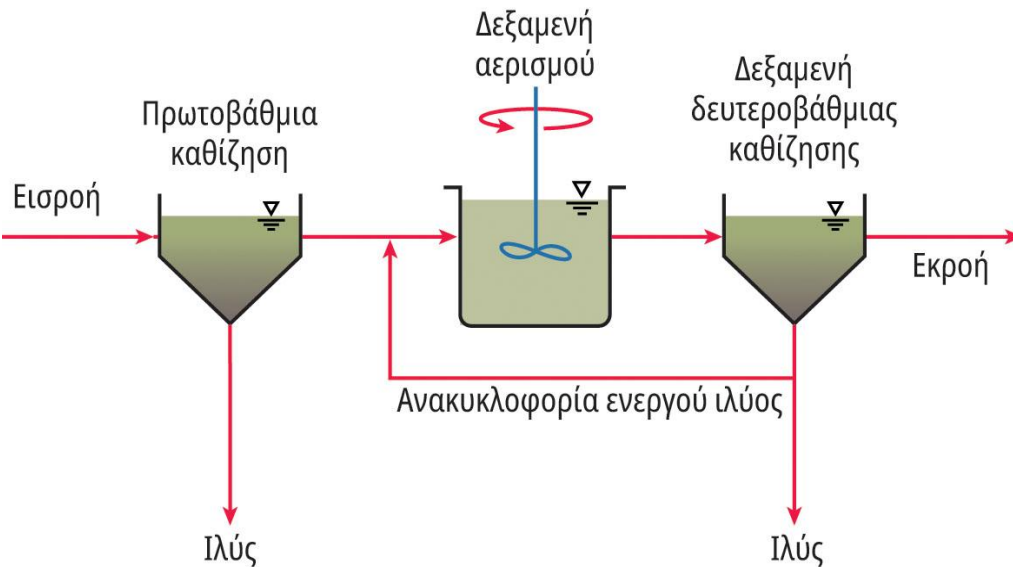
$$V = 7.492 \text{ m}^3$$

# Διαγράμματα ροής



## Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου επαφής σταθεροποίησης

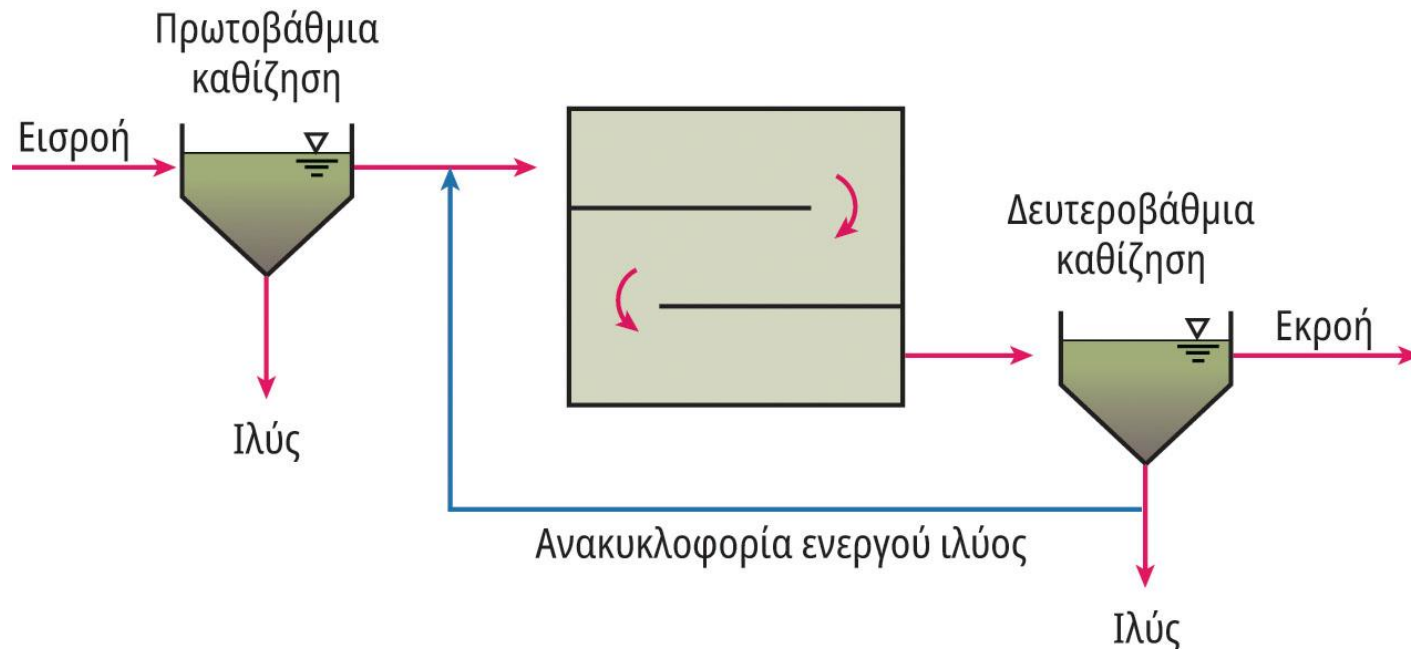
- Επαναερισμός της ενεργού ιλύος (1-2 ώρες) για σταθεροποίηση
- Έπειτα επαφή με τα λύματα της Πρωτοβάθμιας καθίζησης



## Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου καθολικής ανάμιξης

# Μέθοδος εμβολικής ροής

1. Τα υγρά απόβλητα από την Πρωτοβάθμια καθίζηση και η ανακυκλοφορία της ιλύος εισέρχονται από την αρχή της επιμήκουσ δεξαμενής.
2. Αναμιγνύονται ομοιόμορφα καθ' όλο το μήκος της δεξαμενής με τον διαχεόμενο αέρα.
3. Συνήθως χρησιμοποιούνται 3 έως 5 κανάλια.



Διαχωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους και τους μηχανισμούς επεξεργασίας των λυμάτων:

1. Δεξαμενές σταθεροποίησης ή οξείδωσης (αερόβιες, επαμφοτερίζουσες και αναερόβιες)
2. Αεριζόμενες δεξαμενές που περιλαμβάνουν αερόβιες, αερόβιες – αναερόβιες (μικτές) και δεξαμενές παρατεταμένου αερισμού

Σε πιλοτική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο της αναερόβιας δεξαμενής σταθεροποίησης μελετήθηκε η επίδραση των φυσικοχημικών παραμέτρων στον βαθμό απόδοσης της μονάδας. Σε υψηλές θερμοκρασίες η απόδοση της μονάδας ευνοούνταν ενώ η μέση απομάκρυνση του  $BOD_5$  και του COD ήταν 40 % και 50 %, αντίστοιχα.



# Δεξαμενές σταθεροποίησης

**Πίνακας 7.3** Είδη και εφαρμογές δεξαμενών σταθεροποίησης.

Τύπος δεξαμενής	Ονομασία	Χαρακτηριστικά	Εφαρμογή
Αερόβια	Χαμηλής φόρτισης	Διατήρηση αερόβιων συνθηκών σε όλη την υγρή μάζα	Επεξεργασία λυμάτων και εκροών από δευτεροβάθμιο καθαρισμό
	Υψηλής φόρτισης	Μεγιστοποίηση παραγωγής αλγών	Απομάκρυνση θρεπτικών, επεξεργασία διαλυμένων οργανικών λυμάτων
	Τριτοβάθμια	Παρόμοια με τη δεξαμενή χαμηλής φόρτισης αλλά για πολύ χαμηλά φορτία	Περαιτέρω επεξεργασία δευτεροβάθμιων εκροών
Αερόβια αναερόβια (πηγή οξυγόνου: βοηθητικός αερισμός)	Επαμφοτερίζουσα με αερισμό	Βαθύτερη από τη δεξαμενή υψηλής φόρτισης. Ο αερισμός και η φωτοσύνθεση παρέχουν το οξυγόνο για την αερόβια σταθεροποίηση στα ανώτερα στρώματα. Στα χαμηλότερα στρώματα είναι επαμφοτερίζουσα. Στα κατώτερα στρώματα του πυθμένα τα στερεά υφίστανται αναερόβια χώνευση	Επεξεργασία πρωτογενών ή σχαρισμένων ή μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων
Αερόβια αναερόβια (πηγή οξυγόνου: φύκη)	Επαμφοτερίζουσα	Όπως παραπάνω, αλλά χωρίς βοηθητικό αερισμό. Τα ανώτερα στρώματα εμπλουτίζονται με οξυγόνο από τη φωτοσύνθεση και την ατμόσφαιρα	Επεξεργασία λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων
Αναερόβια	Αναερόβια δεξαμενή, αναερόβια προεπεξεργασίας	Επικράτηση αναερόβιων συνθηκών, συχνά ακολουθείται από αεριζόμενη ή επαμφοτερίζουσα δεξαμενή	Πλήρης επεξεργασία λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων, με υψηλή απομάκρυνση μικροβίων
Αναερόβια ακολουθούμενη από αερόβια – αναερόβια	Σύστημα δεξαμενών	Συνδυασμός των παραπάνω τύπων δεξαμενών. Αερόβια – αναερόβια δεξαμενή, μπορεί να ακολουθηθεί από αερόβια. Συχνά χρησιμοποιείται ανακύκλωση από αναερόβια σε αναερόβια δεξαμενή	Πλήρης επεξεργασία λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλή ικανότητα απομάκρυνσης βακτηρίων

Το βιολογικό φίλτρο περιλαμβάνει:

1. Κλίνη με διηθητικό μέσο (π.χ. χαλίκια) πάνω στο οποίο είναι προσκολλημένοι οι μικροοργανισμοί και καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες των αποβλήτων
2. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών

**Πίνακας 7.4** Χαρακτηριστικά διαφορετικών τύπων βιολογικών φίλτρων

Χαρακτηριστικά	Χαμηλής φόρτισης	Μέσης φόρτισης	Υψηλής φόρτισης	Υψηλής φόρτισης
Υλικό πλήρωσης	Χαλίκια	Χαλίκια	Χαλίκια	Πλαστικό
Υδραυλικό φορτίο, $m^3/m^2 \cdot d$	1-4	4-10	10-40	10-75
Οργανικό φορτίο, $kg BOD_5 / m^3 \cdot d$	0.07- 0.22	0.24- 0.48	0.4- 2.4	0.6- 3.2
Βάθος, m	1.8- 2.4	1.8- 2.4	1.8- 2.4	3- 12.2
Ικανότητα απομάκρυνσης $BOD_5$ , %	80- 90	50- 80	50- 90	60- 90
Νιτροποίηση	Καλά νιτροποιημένα	Μερική νιτροποίηση	Καθόλου νιτροποίηση	Καθόλου νιτροποίηση

# Αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Πολλές φορές στην Ελλάδα οι μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα αυτές που εξυπηρετούσαν περιοχές με μικρό πληθυσμό (κάτω από 10.000 κατοίκους) και ήταν απομακρυσμένες, δεν λειτουργούσαν ικανοποιητικά και είχαν παρατηρηθεί τα εξής προβλήματα:

- Έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού για την σωστή λειτουργία των πολύπλοκων εγκαταστάσεων.
- Ετήσιο κόστος, αδυναμία συντήρησης και αποδοτικής λειτουργίας των μονάδων.
- Δυσκολίες χωροθέτησης και καθυστερήσεις λόγω αυξημένων απαιτήσεων χώρου για την εγκατάσταση των μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων.
- Λόγω των εκτεταμένων αποχετευτικών δικτύων η συλλογή και μεταφορά του συνόλου των λυμάτων είχε σημαντικό κόστος, παρουσίαζε δυσκολίες στην κατασκευή και απαιτούνταν σημαντικός χρόνος για την ολοκλήρωσή τους.

# Απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών με βιολογικές διεργασίες

- Η αφαίρεση των θρεπτικών συστατικών όπως το άζωτο και ο φώσφορος από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα είναι πολύ σημαντική.
- Κίνδυνος ευτροφισμού στον αποδέκτη.
- Αφαίρεση του αζώτου λόγω του ότι το αμμωνιακό άζωτο έχει τοξικές επιπτώσεις στα ψάρια.
- Σήμερα σχεδιάζονται διεργασίες στις ΜΕΥΑ για την ταυτόχρονη απομάκρυνση οργανικού φορτίου και θρεπτικών συστατικών.



Λίμνη της Καστοριάς

**Θέμα:** Σε μια επαρχιακή πόλη θα κατασκευασθεί μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που θα δέχεται τα αστικά λύματα 25.000 κατοίκων της πόλης και επιπλέον λύματα από 5 βιομηχανίες τροφίμων με συνολική ροή υγρών αποβλήτων 750 m<sup>3</sup>/ημέρα. Να υπολογισθεί ο απαιτούμενος όγκος του βιοαντιδραστήρα για μέσο χρόνο παραμονής των λυμάτων σε αυτόν ίσο προς 12 ώρες.

**Λύση:**

Θεωρούμε ότι η μέση κατανάλωση νερού ανά άτομο είναι 200 L/ημέρα. Οπότε ο βιοαντιδραστήρας θα δέχεται συνολικά:

$$0,2 * 25.000 + 750 = 5.750 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$$

Τότε:

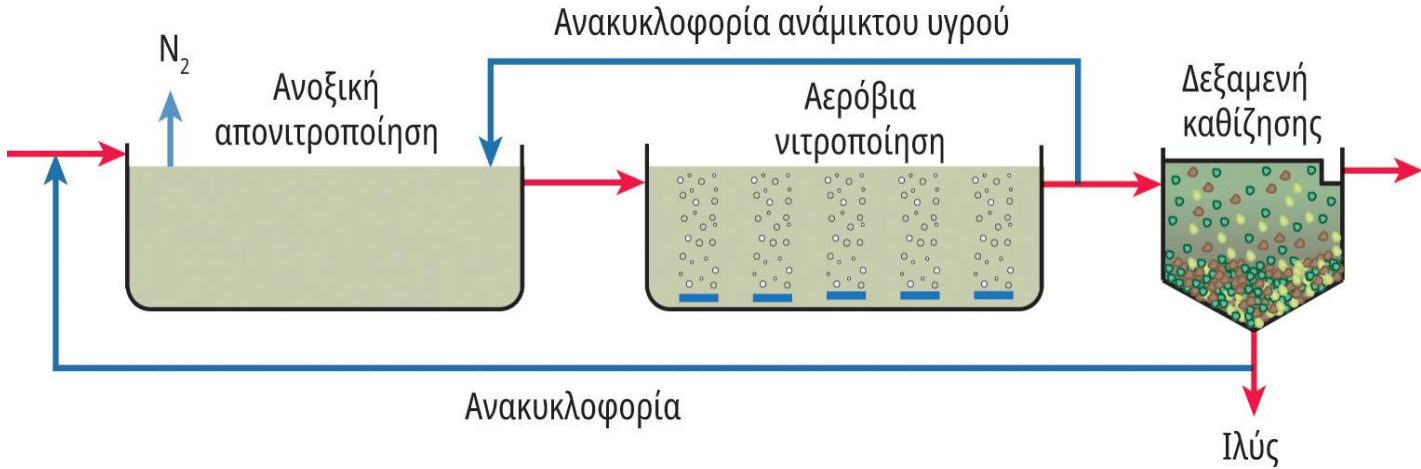
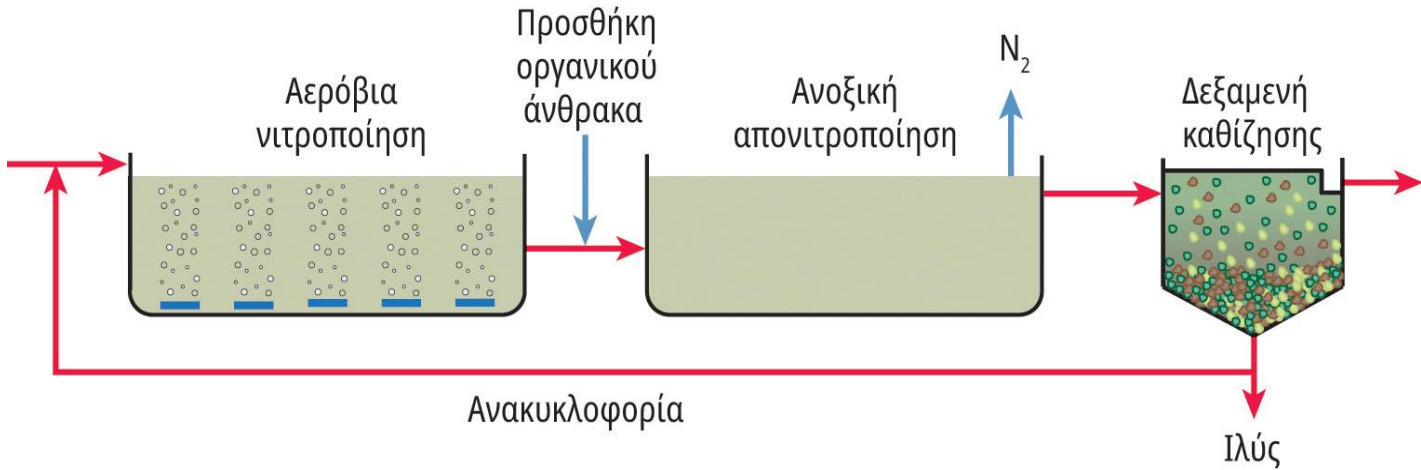
$$V = Q * t = 5.750 * 0,5 = 2.875 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$$

Το άζωτο βρίσκεται στα απόβλητα σε τέσσερις μορφές: 1) οργανικό άζωτο, 2) αμμωνιακό άζωτο, 3) νιτρώδη και 4) νιτρικά.

- Η Νιτροποίηση είναι η διεργασία κατά την οποία το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται πρώτα σε νιτρώδη και έπειτα σε νιτρικά.
- Η Νιτροποίηση γίνεται σε αερόβιες συνθήκες.
- Τα νιτρικά πρέπει να αφαιρεθούν από την τελική εκροή γιατί προκαλούν ευτροφισμό και γιατί εάν περάσουν στο πόσιμο νερό και είναι σε σημαντικές συγκεντρώσεις είναι ανεπιθύμητα.
- Η Απονιτροποίηση είναι μια βιολογική διεργασία κατά την οποία τα νιτρικά και τα νιτρώδη ανάγονται σε στοιχειακό άζωτο.
- Γίνεται αναγωγή σε στοιχειακό άζωτο μέσα από μια σειρά αντιδράσεων και με τη βοήθεια συγκεκριμένων μικροοργανισμών.

# Νιτροποίηση – Απονιτροποίηση

- Όλες οι διεργασίες απομάκρυνσης αζώτου πρέπει να περιλαμβάνουν μια αερόβια ζώνη (νιτροποίηση) και μια ανοξική ζώνη (απονιτροποίηση)



- Ο πιο συνηθισμένος τρόπος απομάκρυνσης του φωσφόρου ήταν η χημική κατακρήμνιση με προσθήκη ιόντων (δισθενούς αργιλίου ή τρισθενούς σιδήρου).
- Η χημική κατακρήμνιση λαμβάνει χώρα στην πρωτοβάθμια επεξεργασία.
- Οι βιολογικές μέθοδοι απομάκρυνσης φωσφόρου βασίζονται στην εναλλάξ έκθεση των μικροοργανισμών σε αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες.
- Με την βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου αποφεύγεται και η προσθήκη χημικών τα οποία χρησιμοποιούνται στη χημική κατακρήμνιση.
- Με τις βιολογικές μεθόδους επιτυγχάνεται απομάκρυνση φωσφόρου από 70 % έως και 90 %.

# Απομάκρυνση φωσφόρου και Απονιτροποίηση



Δεξαμενή βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου



Δεξαμενή απονιτροποίησης

# Βιολογική επεξεργασία με διαχωρισμό μεμβρανών

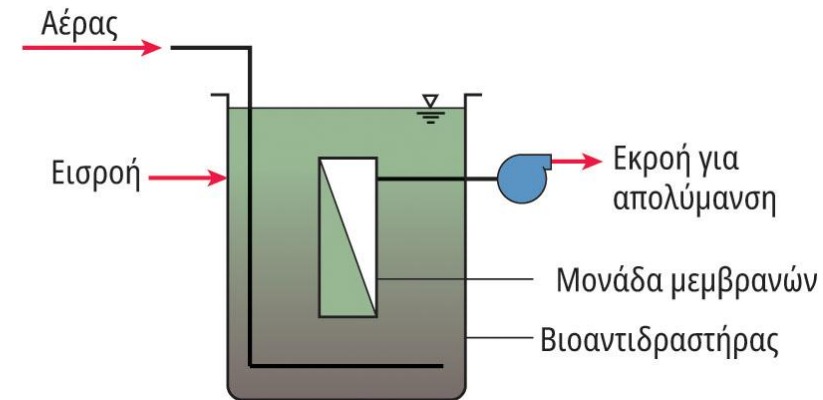
- Οι αντιδραστήρες βιολογικών μεμβρανών αποτελούνται από έναν βιολογικό αντιδραστήρα με αιωρούμενη βιομάζα και μεμβράνες μικροφίλτρων με πόρους από 0,1  $\mu\text{m}$  έως 0,4  $\mu\text{m}$ .
- Τα συγκεκριμένα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αερόβιους και αναερόβιους αντιδραστήρες.
- Χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία λυμάτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων.
- Δεν χρειάζονται δευτεροβάθμια καθίζηση.
- Έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε χώρους.
- Έχουν όμως υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης, δυνητικά υψηλό κόστος για την αντικατάσταση των μεμβρανών και υψηλό ενεργειακό κόστος.

# Βιολογική επεξεργασία με διαχωρισμό μεμβρανών

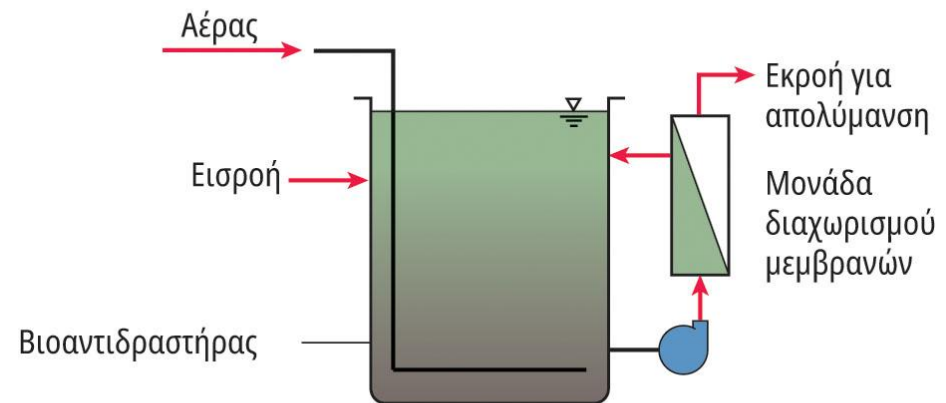
Οι διεργασίες με μεμβράνες μπορούν να περιλαμβάνουν μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, νανοδιήθηση, αντίστροφη ώσμωση, διάλυση και ηλεκτροδιάλυση.

α) Διάγραμμα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών με ένα σύστημα μεμβρανών βυθισμένο στον βιοαντιδραστήρα.

β) Διάγραμμα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών με εξωτερική μονάδα διαχωρισμού μεμβρανών.



(α)



(β)

- Σκοπός της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών που δεν απομακρύνονται στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας.
- Δεν είναι απαραίτητη στις περισσότερες μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων γιατί με την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία επιτυγχάνεται καθαρισμός του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών της τάξης του 85-90 %.
- Εάν τα απόβλητα πρέπει να διατεθούν σε έναν ευαίσθητο αποδέκτη τότε η τριτοβάθμια επεξεργασία είναι απαραίτητη.
- Κάποιες από τις διεργασίες της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι οι ακόλουθες:
  - Απομάκρυνση αερίων και VOCs
  - Απομάκρυνση οργανικών ουσιών με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
  - Απομάκρυνση διαλυτών στερεών με ηλεκτροδιάλυση ή αντίστροφη ώσμωση
  - Απομάκρυνση φωσφόρου με κροκίδωση και καθίζηση
  - Νιτροποίηση και Απονιτροποίηση (η χωριστή επεξεργασία έχει καλύτερη απόδοση)

Με την απολύμανση γίνεται η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών που υπάρχουν στα απόβλητα, ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών.

- Είναι το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας και το μοναδικό με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Με την απολύμανση δεν καταστρέφονται όλοι οι οργανισμοί κατά τη διάρκεια της διεργασίας.
- Στην αποστείρωση γίνεται η θανάτωση όλων των οργανισμών.
- Η απολύμανση γίνεται με τη χρήση χημικών (χλώριο, όζον, βρώμιο κ.α.) ή με φυσικά μέσα (θερμότητα, UV ακτινοβολία).
- Η πιο συνηθισμένη μέθοδος απολύμανσης είναι με τη χρήση χλωρίου.

# Απολύμανση με χλωρίωση

- Η χλωρίωση γίνεται με υποχλωριώδες νάτριο.
- Το βασικό μειονέκτημα της χλωρίωσης είναι η δυσμενής επίδραση του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον.
- Οι οργανοχλωριωμένες ενώσεις θεωρούνται καρκινογόνες.
- Γίνεται χρήση μετρητή υπολειμματικού χλωρίου.



# Χλωρίωση επεξεργασμένων αποβλήτων



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ



# Απολύμανση με όζον

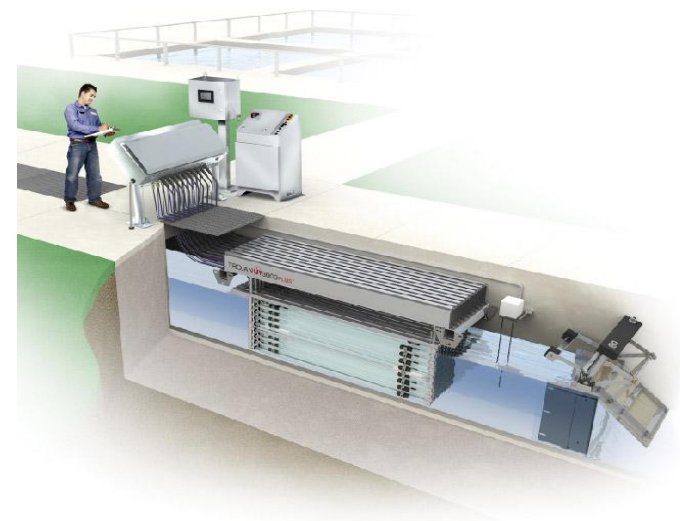
- Το όζον έχει πολύ πιο ισχυρή και ταχύτερη απολυμαντική δράση από το χλώριο.
- Επιτυγχάνει αποτελεσματικότερη καταστροφή των ιών.
- Είναι ασταθές και έχει μικρή διάρκεια απολυμαντικής δράσης.
- Πρέπει να υπάρχει εγκατάσταση παραγωγής του κοντά στη μονάδα.
- Δεν αφήνει υπολειμματικό όζον.



Συσκευή οζονισμού, ΜΕΛ Θεσσαλονίκης

# Απολύμανση με ακτινοβολία UV

- Η υπεριώδης ακτινοβολία διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και απορροφάται από τα κυτταρικά συστατικά τους, εξοντώνοντάς τους.
- Η ακτινοβολία UV αποτελεί φυσικό τρόπο απολύμανσης χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Για να είναι αποδοτική θα πρέπει να έχουν αφαιρεθεί σε υψηλά ποσοστά τα αιωρούμενα στερεά από τα απόβλητα.
- Εάν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση στερεών στα απόβλητα, αυτά δρουν σαν ασπίδα για τους μικροοργανισμούς.



# Απολύμανση με διοξείδιο του χλωρίου

- Το διοξείδιο του χλωρίου είναι πιο δραστικό από το χλώριο στη θανάτωση των ιών και πιο ισχυρό βακτηριοκτόνο.

- Είναι ασταθές και πρέπει να παρασκευάζεται στον χώρο που θα χρησιμοποιηθεί.



- Το διοξείδιο του χλωρίου δεν δημιουργεί κατά τη χρήση του ανεπιθύμητες χλωροοργανικές καρκινογόνες ενώσεις.
- Όταν γίνεται απολύμανση με χλώριο πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας την τοξικότητά του στους οργανισμούς του αποδέκτη.

Βασικοί παράγοντες επιλογής της μεθόδου απολύμανσης είναι οι εξής:

## 1. Αποτελεσματικότητα της μεθόδου:

- Ικανότητα της μεθόδου να επιτύχει το όριο του μικροβιακού φορτίου
- Ικανότητα ευρείας απολύμανσης
- Αξιοπιστία μεθόδου

## 2. Κόστος λειτουργίας / εγκατάστασης

- Κόστος εγκατάστασης
- Κόστος λειτουργίας
- Κόστος για ειδική προεπεξεργασία των λυμάτων πριν την απολύμανση

Βασικοί παράγοντες επιλογής της μεθόδου απολύμανσης είναι οι εξής:

### 3. Πρακτικότητα της μεθόδου

- Ευκολία ή μη μεταφοράς, αποθήκευσης και χρήσης
- Ευκολία παραγωγής στην εγκατάσταση
- Ευκολία στη ρύθμιση και έλεγχο της απολύμανσης
- Ευελιξία
- Πολυπλοκότητα
- Ασφάλεια χρήσης

### 4. Πιθανά αντίθετα αποτελέσματα που έχουν σχέση με τον αποδέκτη των απολυμασμένων λυμάτων:

- Τοξικότητα στην υδρόβια ζωή
- Σχηματισμός τοξικών παραπροϊόντων
- Σχηματισμός καρκινογόνων παραπροϊόντων

# Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μεθόδων απολύμανσης

**Πίνακας 7.5** Βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων απολύμανσης

	Cl <sub>2</sub>	Όζον	UV	ClO <sub>2</sub>
Θανάτωση βακτηρίων	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Θανάτωση ιών	Μέτρια	Ναι	Ναι	Ναι
Τοξικότητα	Ναι	Όχι	Μη τοξικό	Ναι
Χρόνος επαφής	Μεγάλος	Μέτριος	Ελάχιστος	Μέτριος
Υπολειμματική δράση	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι
Αποχρωματισμός	Μέτριος	Πολύ καλός	Όχι	Μέτριος
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό	Υψηλό	Υψηλό
Εξάρτηση δράσης από το pH	Ναι	Ναι μόνο σε υψηλό pH	Όχι	Όχι
Αξιοπιστία εξοπλισμού	Πολύ καλή	Καλή	Καλή	Καλή
Πολυπλοκότητα εξοπλισμού	Απλή	Πολύπλοκη	Σχετικά απλή	Σχετικά απλή
Αυτόματη ρύθμιση διαδικασίας	Απλή	Σχετικά απλή	Σχετικά απλή	Σχετικά απλή
Ασφάλεια μεταφοράς χρήσης	Απαιτούνται αυστηροί κανόνες ασφαλείας	Παράγεται επί τόπου. Το όζον είναι αέριο τοξικό	Ασφαλές- χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα	Παράγεται επί τόπου
Διαβρωτικό	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Μέγεθος εγκατάστασης	Οποιοδήποτε μέγεθος	Οποιοδήποτε μέγεθος	Δύσκολα εφαρμόσιμο σε μεγάλες εγκαταστάσεις	Οποιοδήποτε μέγεθος

- Τύποι αποχετευτικών συστημάτων
- Αιωρούμενα στερεά
- Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά αποβλήτων
- Οργανικά και ανόργανα συστατικά αποβλήτων
- Τοξικά και βαρέα μέταλλα
- Αέρια στα απόβλητα
- Είδη αντιδραστών για την επεξεργασία αποβλήτων
- Στάδια επεξεργασίας λυμάτων
- Είδη παροχών
- Προκαταρκτική – Πρωτοβάθμια – Δευτεροβάθμια επεξεργασία
- Συστήματα και Διαγράμματα ροής ΜΕΥΑ ενεργού ιλύος
- Νιτροποίηση – Απονιτροποίηση
- Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου
- Βιολογική επεξεργασία με διαχωρισμό μεμβρανών (MBR)
- Τριτοβάθμια επεξεργασία
- Απολύμανση και Επιλογή μεθόδου απολύμανσης

# Ερωτήσεις - Συζήτηση



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

