



Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων και Επαναχρησιμοποίηση

Καθηγητής Θρασύβουλος Μανιός

Τμήμα Γεωπονίας

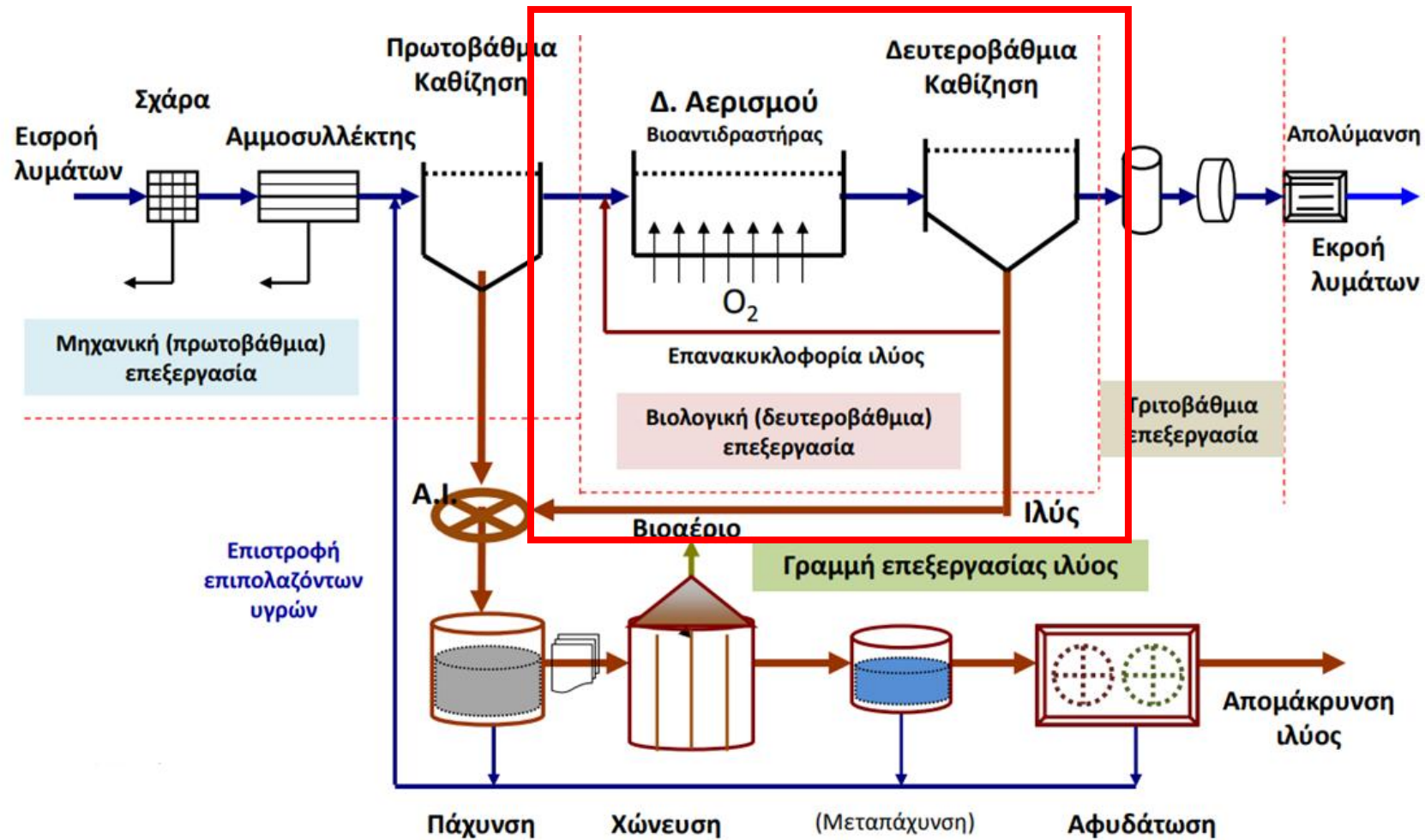
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Στάδια Επεξεργασίας #2

Διάλεξη 5^η

Τα βήματα της επεξεργασίας



Βιοαντιδραστήρες

- Βιοαντιδραστήρας είναι ο αντιδραστήρας που διατηρεί και υποστηρίζει τη ζωή των κυττάρων και των καλλιεργειών τους.
- Βιοαντιδραστήρες (ζυμωτήρες) ονομάζονται τα δοχεία στα οποία λαμβάνουν χώρα βιολογικές αντιδράσεις, όπως είναι η μικροβιακή ανάπτυξη. Αποσκοπούν
 - (α) στην παραγωγή βιομάζας (κυτταρικής μάζας),
 - (β) στην παραγωγή συγκεκριμένων μεταβολικών προϊόντων,
 - (γ) στην απομάκρυνση ή μετατροπή ορισμένων θρεπτικών συστατικών,
 - (δ) στην καταλυτική βιομετατροπή κάποιων χημικών ενώσεων, ή
 - (ε) σε κάποιο συνδυασμό των (α)-(δ).

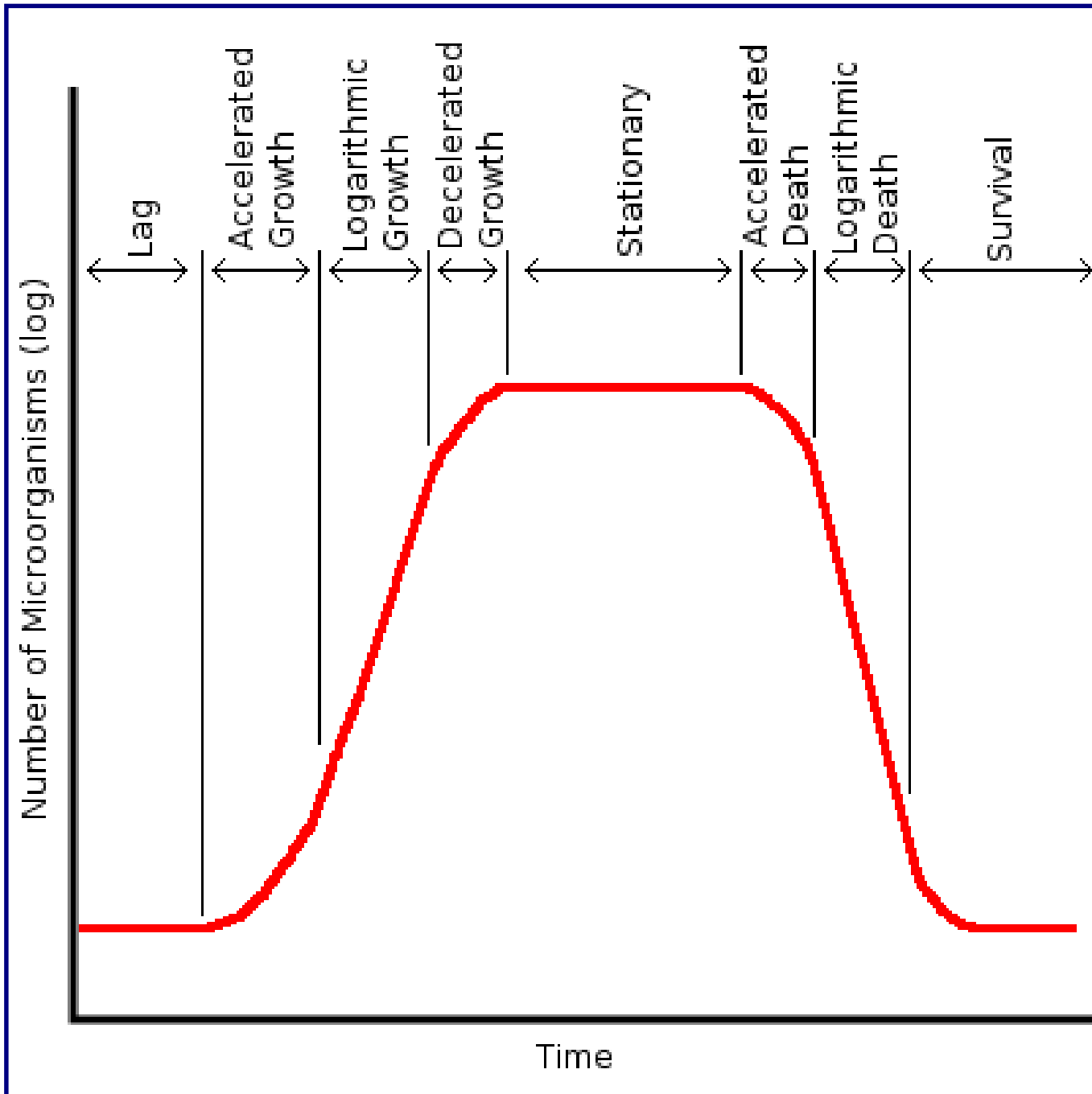
Βιοαντιδραστήρες

- Είδη Βιοαντιδραστήρων

- διαλείποντος έργου (batch), όταν παραμένει κλειστός όσον αφορά τη μεταφορά μάζας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του,
- ημιδιαλείποντος (ημισυνεχούς) έργου (semi-batch ή fed-batch), όταν τα αντιδρώντα (θρεπτικό μέσο) προστίθενται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του,
- ονομάζεται συνεχούς έργου (Continuous Stirred Tank Reactor, CSTR), όταν χαρακτηρίζεται από συνεχή τροφοδότηση και απορροή.

Βιοαντιδραστήρες

- Όσον αφορά την πληθυσμιακή εξέλιξη των μ / o , μπορεί να γίνει παραστατικά κατανοητή εάν θεωρηθεί ένας κλειστός αντιδραστήρας (διαλείποντος έργου), όπου διοχετεύεται μία ποσότητα μ / o κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος και την ύπαρξη ορισμένης ποσότητας τροφής. Οι μ / o αναπτύσσονται στις παρακάτω φάσεις:
 - (α) Φάση προσαρμογής: Οι μ / o προσαρμόζονται στο περιβάλλον που βρίσκονται και αρχίζουν την παραγωγή ενζύμων
 - (β) Λογαριθμική φάση ανάπτυξης: Οι μ / o πολλαπλασιάζονται καταναλώνοντας την άφθονη τροφή που υπάρχει
 - (γ) Στάσιμη φάση: Η τροφή έχει περιορισθεί, ο ρυθμός πολλαπλασιασμού μειώνεται και ο αριθμός των νέων μ / o εξισορροπείται από τον αριθμό των μ / o που πεθαίνουν
 - (δ) Λογαριθμική φάση θανάτου-ενδογενής φάση: Η τροφή πλέον είναι ελάχιστη, εάν όχι ανύπαρκτη. Έτσι οι μ / o καταναλώνουν άλλους μ / o ή το ίδιο τους το πρωτόπλασμα (ενδογενής μεταβολισμός) με αποτέλεσμα ο ρυθμός θανάτου να είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό πολλαπλασιασμού



Βιοαντιδραστήρες

Ανάπτυξη μ/ο σε
διαλείποντος έργου

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

- Το κατεξοχήν τμήμα επεξεργασίας όπου χρησιμοποιείται η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών για την μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων
- Η επεξεργασία βασίζεται στην μικροβιακή μεταβολική δραστηριότητα σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες ανάλογα με την σύσταση των αποβλήτων
- Η δευτεροβάθμια επεξεργασία αποτελείται είτε από βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στην συνέχεια δευτεροβάθμια καθίζηση των σχηματιζόμενων σωματιδίων
- Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία του βιολογικού καθαρισμού είναι η απουσία υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων τοξικών στην βιομάζα που αναπτύσσεται στα συστήματα βιολογικού καθαρισμού

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

- Ανάλογα με το πώς αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων έχουμε:
 - Βιοαντιδραστήρες βιο-κροκύδων (Suspended growth bioreactors) οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοσυσσωματωμάτων ή κροκύδων floculates) και με την μορφή αυτή έρχονται σε άμεση επαφή με το οργανικό φορτίο των αποβλήτων
 - Βιοαντιδραστήρες βιο-στρωμάτων (Attached growth bioreactors) όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοστρωμάτων (σε αδρανείς επιφάνειες που παρέχονται εντός των δεξαμενών καθαρισμού

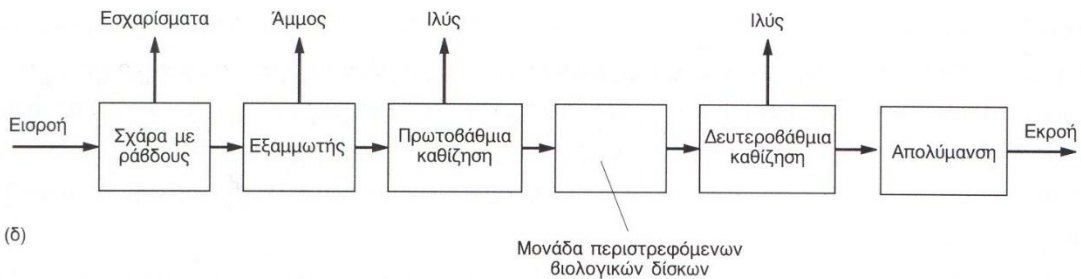
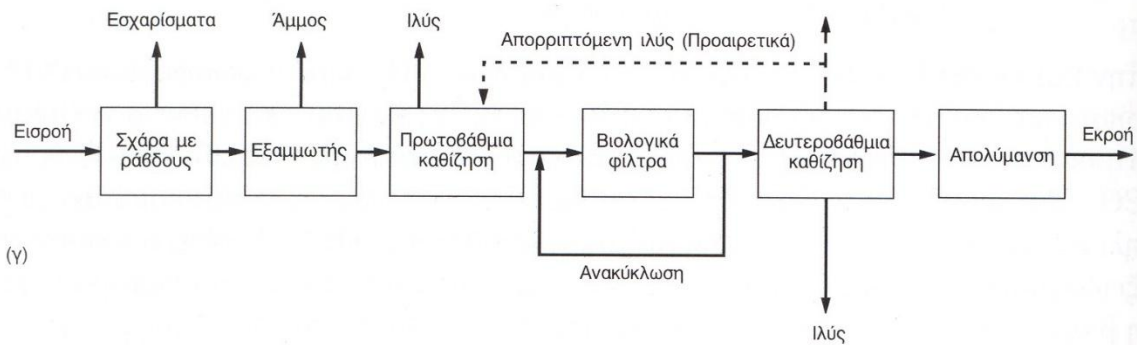
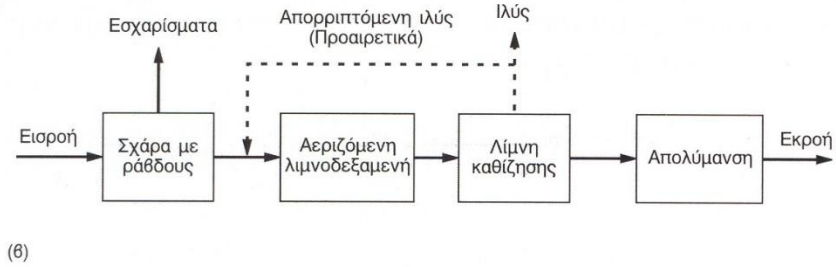
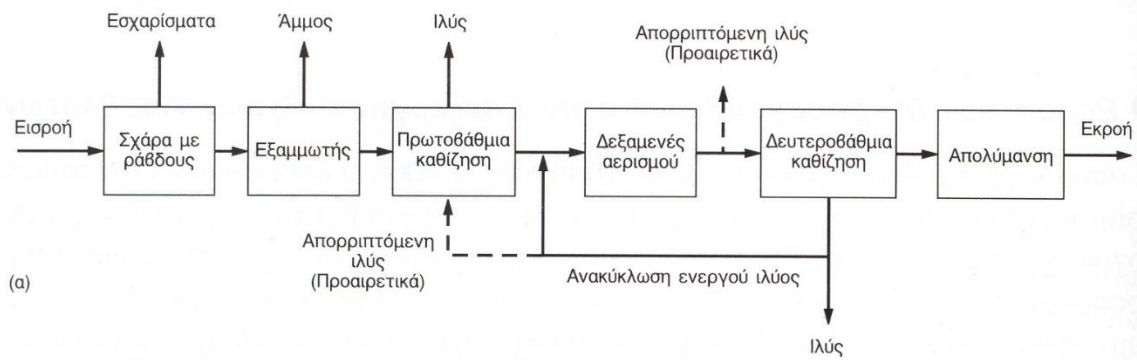
Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

- **Βιο-αντιδραστήρες βιο-κροκύδων**

- Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης (Activated sludge systems)
- Συστήματα Απομάκρυνσης Ανοργάνων (Biological nutrient removal systems)
- Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης (Anaerobic digestion systems)
- Λίμνες (Lagoons)

- **Βιο-αντιδραστήρες βιο-στρωμάτων**

- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating biological contractors)
- Χαλικοδιυλιστήρια (Trickling filters)
- Συστήματα Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων – Κλίνες Πλήρωσης (Packed bed)



Διαγράμματα ροής για βιολογικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων:

(α) Ενεργού ιλύος,
 (β) αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές,
 (γ) βιολογικά φίλτρα και
 (δ) περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

- **Βιο-αντιδραστήρες βιο-κροκύδων**

- Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης (Activated sludge systems)
- Συστήματα Απομάκρυνσης Ανοργάνων (Biological nutrient removal systems)
- Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης (Anaerobic digestion systems)
- Λίμνες (Lagoons)

- **Βιο-αντιδραστήρες βιο-στρωμάτων**

- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating biological contractors)
- Χαλικοδιυλιστήρια (Trickling filters)
- Συστήματα Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων – Κλίνες Πλήρωσης (Packed bed)

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης – Σύστημα Ενεργού Ιλύος

- Η παροχή αερισμού εξασφαλίζει και την ανάμιξη του υγρού
- Η βιολογική οξείδωση οδηγεί στην ανάπτυξη μικροοργανισμών
- Τα κυριότερα είδη μικροοργανισμών σε μια διεργασία ενεργού ιλύος είναι βακτήρια
- Οι μικροοργανισμοί παράγουν λιποπολυσακχαρίτες και άλλες ουσίες που προκαλούν συσσωμάτωση τους σε κροκίδες (flocs) που αποτελούν την ενεργό ιλύς
- Η ιλύς απορροφά τα διαλυμένα και αιωρούμενα οργανικά στερεά και τα οξειδώνει βιολογικά

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης – Σύστημα Ενεργού Ιλύος

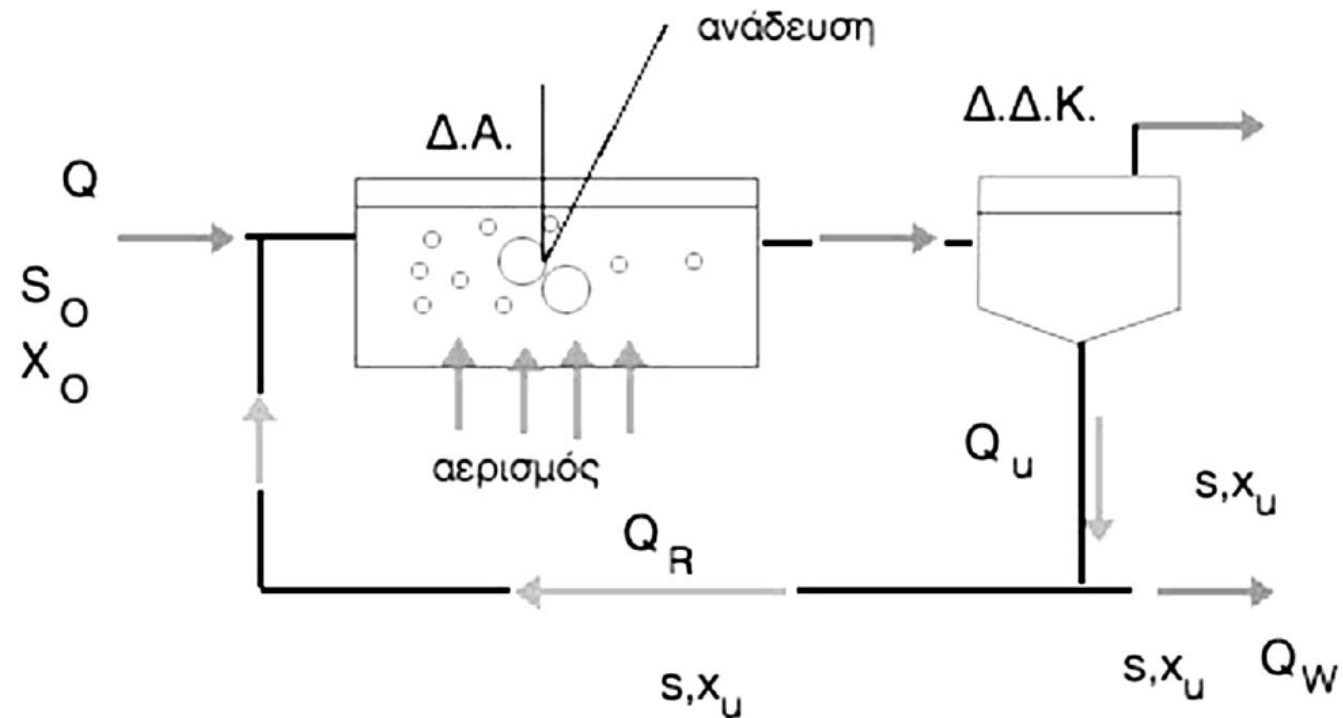
- Για να έχει η ιλύς καλά χαρακτηριστικά καθίζησης πρέπει να παραμένει στο σύστημα για τουλάχιστον 4 ημέρες
- Οι βιολογικές κροκίδες που περιέχουν τους παραχθέντες μικροοργανισμούς καθιζάνουν σε δεξαμενές δευτεροβάθμια καθίζησης και εν μέρει ανακυκλώνονται ενώ το υπόλοιπο της ιλύος απομακρύνεται (περίσσεια ιλύος), για να αποφευχθεί συσσώρευση μικροοργανισμών
- Η ανακυκλοφορία επιτρέπει τη διατήρηση μεγάλου χρόνου παραμονής των στερεών (solid retention time, SRT) σε σχέση με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (hydraulic retention time, HRT), μειώνοντας έτσι το συνολικά απαιτούμενο όγκο δεξαμενών για την επιθυμητή απομάκρυνση οργανικών

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

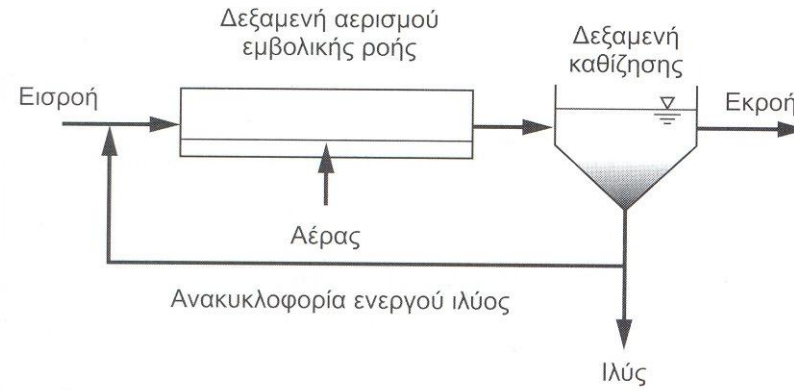
- Κύριες συνιστώσες συστήματος ΕΙ
 - Βιολογικός αντιδραστήρας (ΒΑ), που είναι κυρίως η δεξαμενή αερισμού (ΔΑ), όπου οι μ / ο καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας οξυγόνο που προστίθεται στα απόβλητα από ειδικές διατάξεις αερισμού
 - Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (ΔΔΚ), όπου οι μ / ο καθιζάνουν και απομακρύνονται (δευτεροβάθμια λάσπη). Μέρος της λάσπης αυτής επανακυκλοφορείται στη ΔΑ, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας της λάσπης
 - Ένα σύστημα ΕΙ μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ανοξικές δεξαμενές (ΑΟΔ) για απονιτροποίηση, αναερόβιες δεξαμενές (ΑΝΔ) για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου και δεξαμενές επιλογής βακτηριδίων (ΔΕΒ) για τον περιορισμό της ανάπτυξης συγκεκριμένων κατηγοριών βακτηριδίων

Δευτεροβάθμια (Βιολογική) Επεξεργασία

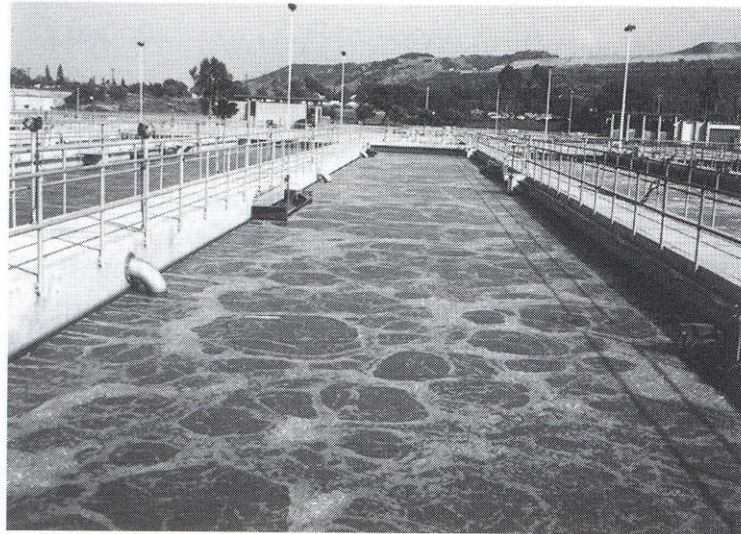
Διεργασία ενεργού ιλύος (activated sludge)



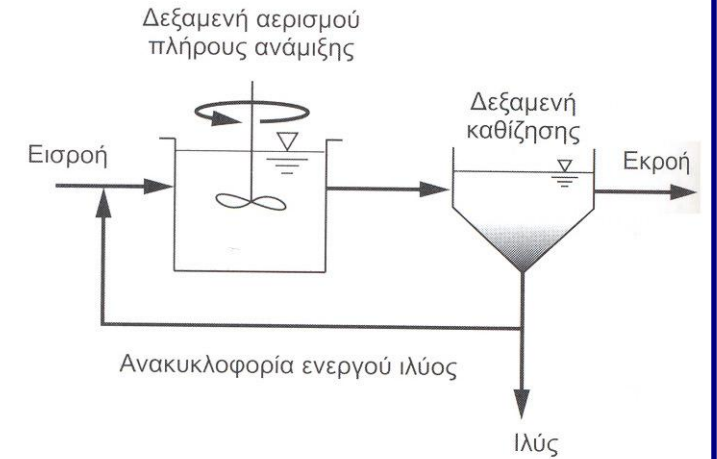
Διεργασίες
βιολογικής
επεξεργασίας
αιωρούμενης
βιομάζας,
(α-1), (α-2) ΕΙ σε
αντιδραστήρα
εμβολικής ροής και
(β-1), (β-2) ΕΙ
πλήρους ανάμιξης.



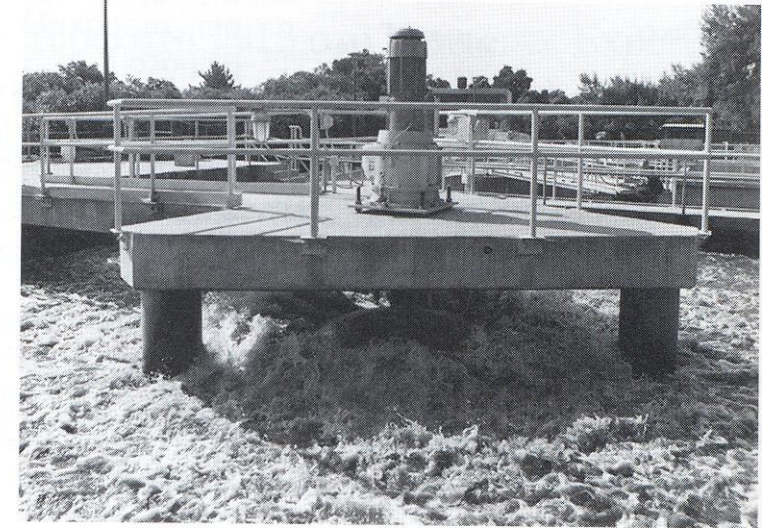
(α-1)



(α-2)



(β-1)



(β-2)

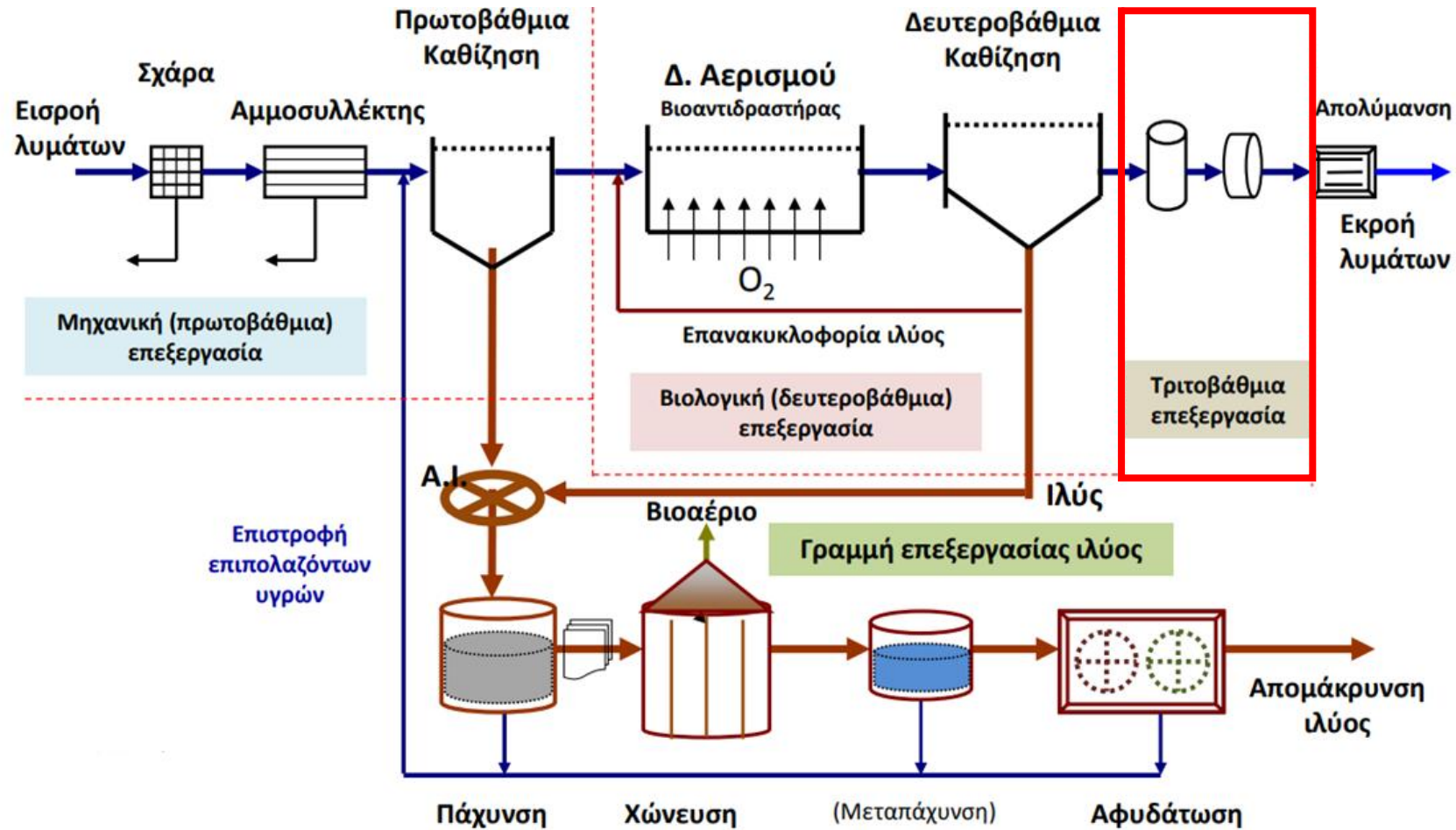
Δευτεροβάθμια Καθίζηση

- Προβλήματα καθίζησης βιομάζας:
 - Παρουσία κροκίδων βιομάζας μικρού μεγέθους, οι οποίες δεν καθιζάνουν εύκολα προκαλώντας τη θολότητα των επιφανειακών υγρών λόγω μικρής παραγωγής ορισμένων ενώσεων από τα βακτηρίδια
 - Στην πλήρη απουσία νηματοειδών βακτηριδίων που σε μικρές συγκεντρώσεις υποβοηθούν την καθίζηση αποτελώντας τη «σπονδυλική στήλη» των κροκίδων, πάνω στην οποία προσκολλούνται οι κροκίδες μικρότερου μεγέθους
 - Στη διάσπαση των κροκίδων εξαιτίας των διατμητικών τάσεων που εξασκούνται σε αυτές από ακατάλληλες διατάξεις αερισμού ή ακατάλληλες αντλίες μεταφοράς της λάσπης

Δευτεροβάθμια Καθίζηση

- Προβλήματα καθίζησης βιομάζας:
 - Η παρουσία των μυκήτων επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της καθίζησης της ιλύος στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης δυσμενώς
 - Ανύψωση της λάσπης που έχει καθιζήσει (rising sludge) επειδή οι κροκίδες της λάσπης έχουν μικρότερη πυκνότητα από τα απόβλητα στη ΔΔΚ καθώς πχ περιέχουν λάδια ή λίπη ή εκλύουν άερια
 - Διόγκωση της λάσπης (sludge bulking), όπου η λάσπη έχει μεγάλες τιμές SVI (δείκτης όγκου λάσπης) και καταλαμβάνει έτσι μεγάλο όγκο στις ΔΑ χωρίς να μπορεί να καθιζήσει σε εύλογο χρονικό διάστημα
 - Αφρισμός της λάσπης (sludge foaming), όπου εμφανίζονται αφροί στην επιφάνεια των ΔΑ και ΔΔΚ και οφείλονται στην παρουσία απορρυπαντικών στη ΔΑ που δεν αποσυντίθενται βιολογικά.

Τα βήματα της επεξεργασίας



Τριτοβάθμια επεξεργασία

Η εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, συνήθως εξακολουθεί να έχει περίπου:

- 30 mg/L αιωρούμενα στερεά
- 300 mg/L ολικά στερεά
- 20-30 mg/L **BOD₅**
- παθογόνους μικροοργανισμούς

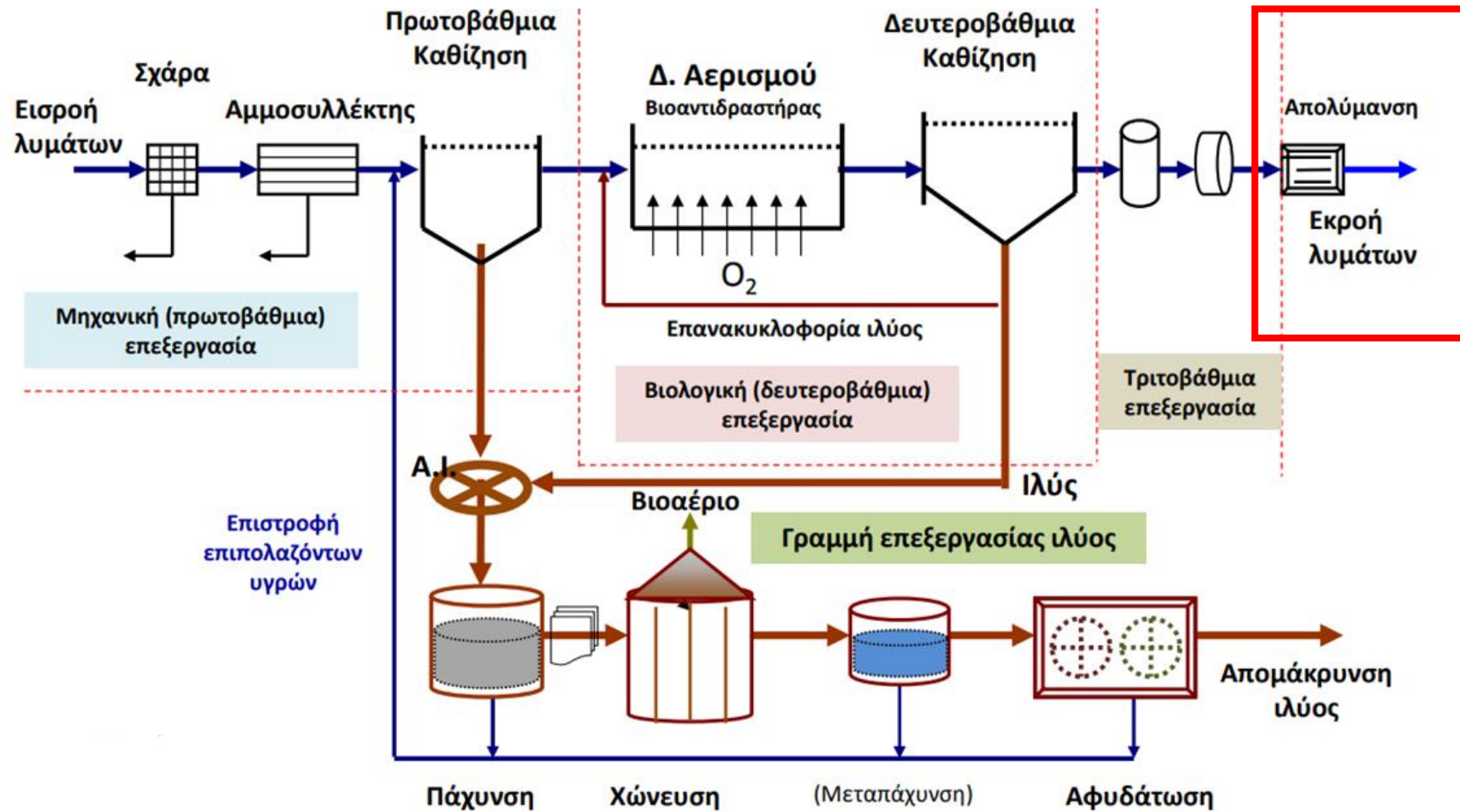
αλλά το κυριότερο πρόβλημα είναι η σημαντική παρουσία:

- φωσφόρου (~ 7 mg/L)
- αζώτου (~ 20 mg/L)

Τριτοβάθμια επεξεργασία

- Στοχεύει στη μείωση παραμέτρων που απαιτούνται ανάλογα τον τελικό αποδέκτη:
 - Απομάκρυνση αζώτου (κυρίως βιολογικά)
 - Απομάκρυνση φωσφόρου (κυρίως χημικά)
 - Απομάκρυνση οργανικού φορτίου και μικροοργανισμών (βλέπε μεμβράνες)

Τα βήματα της επεξεργασίας



Απολύμανση

- Αποστείρωση ή απολύμανση?? Ποια η διαφορά ???
 - Η αποστείρωση είναι οποιαδήποτε διαδικασία αφαιρεί, σκοτώνει ή απενεργοποιεί όλες τις μορφές ζωής (ιδιαίτερα μικροοργανισμούς όπως μύκητες, βακτήρια, σπόρια και μονοκύτταρους ευκαρυωτικούς οργανισμούς) και άλλους βιολογικούς παράγοντες όπως τα πράσινα που υπάρχουν μέσα ή πάνω σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αντικείμενο ή υγρό.
 - Απολύμανση είναι η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών αλλά όχι των ανθεκτικών τους μορφών (π.χ. σπόροι, κύστες) με χημικές ουσίες (π.χ. αλκοόλη) ή φυσικές μεθόδους (π.χ. υψηλή θερμοκρασία) σε αντικείμενα, εργαλεία και επιφάνειες.

Απολύμανση

- Καταστροφή των παθογόνων μ / ο ώστε η διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στους αποδέκτες να μη δημιουργεί κινδύνους στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον
- Σε περίπτωση διάθεσης των υγρών αποβλήτων σε ανοικτή θάλασσα, η απολύμανση των υγρών αποβλήτων είναι ορισμένες φορές περιττή καθώς εξαιτίας της αραίωσης και της φυσικής φθοράς των μ / ο, οι συγκεντρώσεις τους είναι αρκετά χαμηλές, ώστε να μη δημιουργούν κινδύνους μετάδοσης ασθενειών
- Η απολύμανση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων καθίσταται όμως απαραίτητη όταν η διάθεση των υγρών αποβλήτων γίνεται σε κλειστά υδατικά συστήματα, καθώς και στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησής τους

Απολύμανση

- Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού μέσου είναι: (α) υψηλός ρυθμός εξουδετέρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών, (β) χαμηλή δραστικότητα με ουσίες που περιέχονται στο νερό και χαμηλή παραγωγή επικίνδυνων παραπροϊόντων, (γ) χαμηλό κόστος λειτουργίας και μικρές απαιτήσεις συντήρησης, (δ) μηδενικός κίνδυνος κατά τη χρήση του (ε) εύκολη ανιχνευσιμότητα στο νερό και (στ) χαμηλή τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς
- Επιτυγχάνεται με:
 - Φυσικές μέθοδοι όπως: θερμότητα, ακτινοβολία UV
 - Χημικές μέθοδοι: προσθήκη ουσιών που καταστρέφουν τα κύτταρα:
 - χλώριο,
 - βρώμιο,
 - ιώδιο,
 - όζον,
 - φαινόλες,
 - αλκοόλες,
 - απορρυπαντικά,
 - υπεροξείδιο του υδρογόνου,
 - βάσεις και οξέα

Απολύμανση – Χλωρίωση

- Η απολυμαντική δράση του χλωρίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι εκ' των οποίων είναι:
 - (α) η μικροβιοκτόνος δράση του υπολειμματικού χλωρίου,
 - (β) οι μορφές του υπολειμματικού χλωρίου,
 - (γ) η αρχική ανάμιξη του χλωρίου με τα υγρά απόβλητα,
 - (δ) ο χρόνος επαφής,
 - (ε) τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων (όπως για παράδειγμα η συγκέντρωση στερεών και η παρουσία οξειδώσιμων ουσιών)
 - (ζ) η γεωμετρία της δεξαμενής χλωρίωσης

Απολύμανση – Χλωρίωση



Απολύμανση – Χλωρίωση

- Το πιο συνηθισμένο απολυμαντικό μέσο είναι το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl). Διατίθεται στο εμπόριο σε υγρή μορφή με κ.β. περιεκτικότητα χλωρίου μικρότερη από 15%.
- Ο τρόπος με τον οποίο το χλώριο που περιέχεται στο NaOCl καταστρέφει τους μ / ο δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένος.
- Για τα βακτηρίδια η πιθανότερη εξήγηση είναι ότι το χλώριο διαπερνά την κυτταρική τους μεμβράνη και αδρανοποιεί ορισμένα ένζυμα που είναι απαραίτητα για τη ζωή τους.
- Για τους ιούς και ορισμένους άλλους μ / ο η πιο πιθανή εξήγηση είναι ότι το χλώριο επιδρά απευθείας στο DNA και RNA του πυρήνα τους.

Απολύμανση – Χλωρίωση

- Βασικό μειονέκτημα: δυσμενούς επίδρασης του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον όπου διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα
- Η δυσμενής αυτή επίδραση εκδηλώνεται είτε άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής, όπως στα ψάρια, λόγω της τοξικότητας του χλωρίου, ή έμμεσα με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων από την αντίδραση του χλωρίου με οργανικές ενώσεις που περιέχονται στα απόβλητα, που θεωρείται ότι είναι καρκινογόνες
- Προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης της χλωρίωσης, ώστε να αποφεύγεται η αλόγιστη χρήση και σπατάλη του χλωρίου (χρησιμοποίηση μετρητή υπολειμματικού χλωρίου, αποχλωρίωση, παράλειψη της χλωρίωσης εάν βέβαια αυτό είναι εφικτό