



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

Διάλεξη 8η: Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Νικόλαος Γ. Σαββάκης

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
ΕΛΜΕΠΑ
Ακαδημαϊκό Έτος 2022-2023

Σχεδιασμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων

Κύρια συστατικά για απομάκρυνση

- Αιωρούμενα στερεά, BOD, άζωτο, φωσφόρος και κολοβακτηριοειδή.

Κύρια στάδια επεξεργασίας

- Πρωτοβάθμια: μείωση στερεών **50-60%**, BOD **30-50%**.
 - Σχάρες, πολτοποιητής, εξαμμωτής (δοχείο καθίζησης)
- Δευτεροβάθμια: στερεά **85-95%**, BOD **80-95%**, κολοβακτηρίδια **90-95%**.
 - Ενεργού ιλύος, λίμνες επεξεργασίας, βιολογικά φίλτρα
- Προχωρημένη: στερεά **~100%**, BOD **~99%**, κολ. **~99%**.
 - Φυσικά συστήματα, προσρόφηση, ηλεκτροδιάλυση κτλ.

Προϊόντα επεξεργασίας

- Εκροή: ψεκασμός σε αγρούς, επεξεργασία για πόσιμο
- Ιλύς (Επεξεργασμένα βιοστερεά)
 - Παλαιά μέθοδος: καύση, ΧΥΤΑ, απόρριψη στη θάλασσα (απαγορεύεται)
 - Νέες μέθοδοι: λίπασμα, αφύγρανση και επεξεργασία, χώνευση σε θερμαινόμενες δεξαμενές κ.α.



Διαδικασία σχεδιασμού εγκαταστάσεων

1. Εκτιμώνται τα χαρακτηριστικά και οι ποσότητες των αποβλήτων για τον επιθυμητό χρόνο ζωής του έργου.
2. Προσδιορίζονται οι **προδιαγραφές των αποβλήτων προκειμένου να διοχετευτούν σε ένα συγκεκριμένο αποδέκτη ή να επανακτηθούν**. Αυτές ορίζονται από τη νομοθεσία (κανονισμοί, υγειονομικές διατάξεις, διατάξεις της Ε.Ε. κτλ.)
3. Εξετάζονται όλες οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους τοπικούς παράγοντες (κλίμα, εδαφολογικές συνθήκες, είδος και θέση του αποχετευτικού συστήματος κτλ). Επιλέγονται οι πλέον εφικτές λύσεις.
4. Εξετάζονται **τεχνικοοικονομικά οι λύσεις που επιλέχτηκαν αρχικά**.
5. Καθορισμός των **κριτηρίων σχεδιασμού** των διαφόρων μονάδων επεξεργασίας.
6. **Διαστασιολόγηση των διαφόρων μονάδων** έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόδοση με το χαμηλότερο κόστος.
7. **Ανάλυση του κόστους των εναλλακτικών λύσεων**, που περιλαμβάνει τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής και του κόστους λειτουργίας - συντήρησης. Με βάση την ανάλυση αυτή επιλέγεται η οικονομικότερη λύση για κατασκευή.

Επιλογή μεθόδων

- Η απομάκρυνση των ρύπων γίνεται με συνδυασμό **φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών** σε διάφορα στάδια
- Τα **στάδια αντιστοιχούν σε διαφορετικό βαθμό** απομάκρυνσης των ρύπων.

Περιλαμβάνουν:

- **προ-επεξεργασία** και την **πρωτοβάθμια επεξεργασία** (για την απομάκρυνση κυρίως των στερεών και μέρους του οργανικού φορτίου),
- **τη δευτεροβάθμια επεξεργασία** (για την απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους των οργανικών ουσιών, των αιωρ. στερεών και των θρεπτικών συστατικών),
- **την τριτοβάθμια επεξεργασία** (για την απομάκρυνση των υπολειπόμενων ουσιών) και
- **την προχωρημένη επεξεργασία** (για επανάχρησιμοποίηση νερού).

Επιλογή μεθόδων

Βασικές διεργασίες που εφαρμόζονται για την απομάκρυνση των ρυπαντών από τα υγρά απόβλητα:

Ρυπαντική ουσία	Διεργασία
Αιωρούμενα στερεά	Καθίζηση, επίπλευση, φυσικές διεργασίες, φίλτρα σταθερής κλίτης
Βιοαποδομήσιμα οργανικά	Ενεργός ιλύς, φυσικές διεργασίες, λίμνες, φίλτρα σταθερής κλίτης
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	Ιονταεναλλαγή, αντίστροφη όσμωση

Επιλογή μεθόδων

a/a	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, πχ 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	Απαιτηση για επιπλέον στάδια επεξεργασίας

10	Επεξεργασία υλίου	Τα υγρά από την επεξεργασία της υλίου ανακυκλώνονται στην εγκατάσταση και πρέπει να συνυπολογίζονται. Τρόποι για τελική διάθεση της υλίου
11	Περιβαλλοντικοί περιορισμοί	Επικράτηση ισχυρών ανέμων, γειτνίαση με κατοικημένες περιοχές, δυνατότητα πρόσβασης, κατάσταση αποδέκτη κλπ 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, οσμές

Απαιτήσεις για καθαρισμό: Ορισμοί - Απαιτήσεις

- **Οικισμοί:** οι περιοχές με επαρκώς συγκεντρωμένο πληθυσμό, όπου τα αστικά λύματα συλλέγονται και διοχετεύονται σε σταθμό επεξεργασίας αστικών λυμάτων ή σε τελικό σημείο απόρριψης.
- **Δευτεροβάθμια επεξεργασία:** η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με μέθοδο που περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία με δευτεροβάθμια καθίζηση ή άλλες τεχνικές.
- Οι απαιτήσεις απομάκρυνσης ρύπων και οι συγκεντρώσεις τους σε οικισμούς με πληθυσμό από 2000 ως 10000 ισοδύναμους κατοίκους που βρίσκονται σε υψόμετρο μικρότερο των 1500 m είναι:

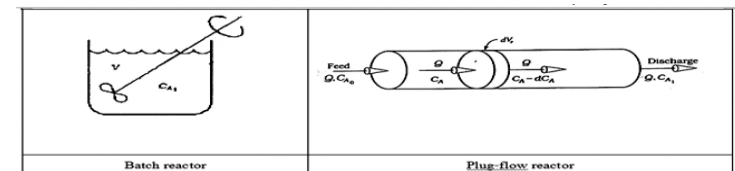


Παράμετρος	Συγκέντρωση	Ελάχιστη μείωση
BOD ₅	25 mg/L	70-90 %
COD	125 mg/L	75 %
TSS	35 mg/L (*)	90 % (*)

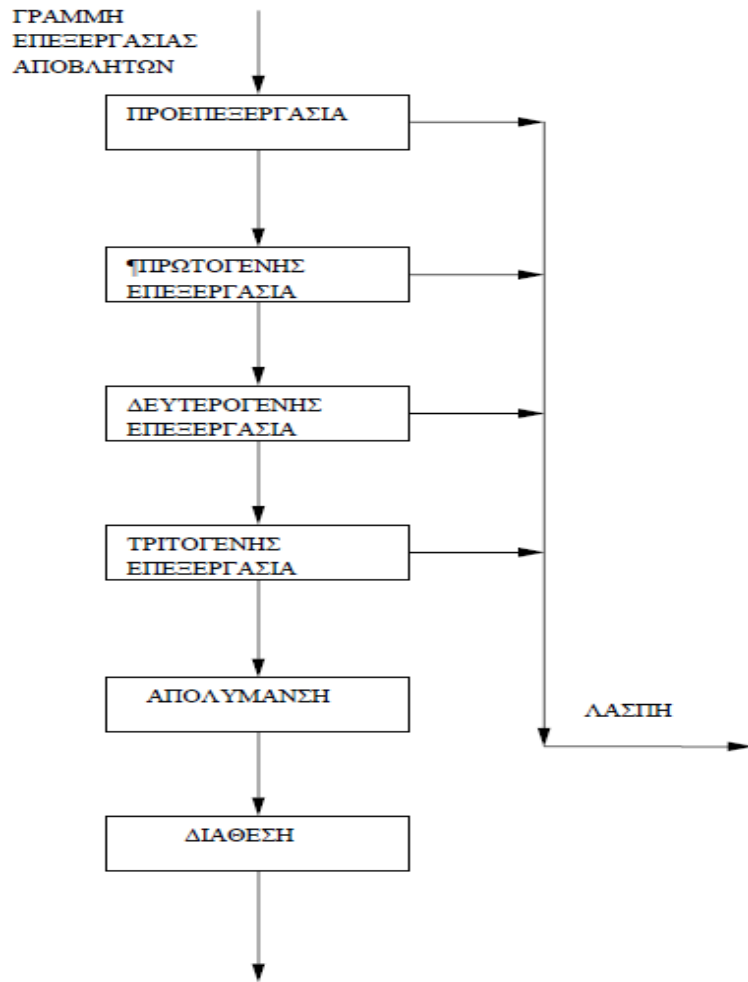
(*) Η απαίτηση αυτή είναι προαιρετική

Αντιδραστήρες στην επεξεργασία αποβλήτων

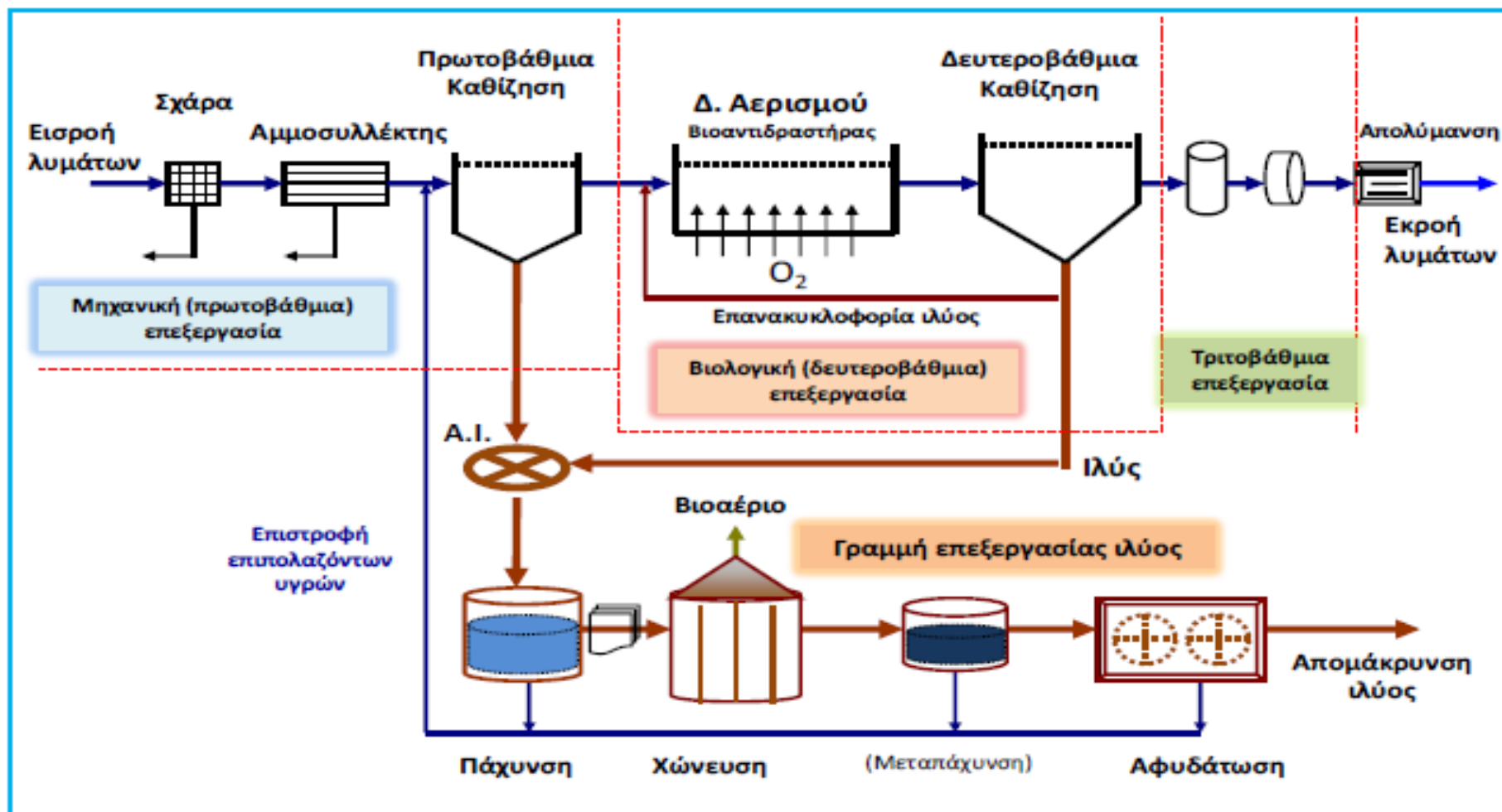
- **Κλειστός αντιδραστήρας με πλήρη ανάμιξη (Batch Reactor):** δεν υπάρχει εισροή και εκροή και το περιεχόμενο του αναδεύεται πλήρως.
- **Αντιδραστήρας εμβολικής ροής (Plug-Flow Reactor):** τα στοιχειώδη σωματίδια του υγρού εισέρχονται και εξέρχονται ομοιόμορφα κατανεμημένα στη διατομή του αντιδραστήρα. Η μεταβολή στη συγκέντρωση λόγω της αντίδρασης γίνεται κατά μήκος του αντιδραστήρα.
- **Αντιδραστήρας συνεχούς ροής με πλήρη ανάμιξη (Continuous Flow Stirred Tank Reactor):** τα στοιχειώδη σωματίδια του υγρού εισέρχονται στον αντιδραστήρα και διασπείρονται ομοιόμορφα. Η συγκέντρωση στον αντιδραστήρα θεωρείται ίδια με αυτή της εκροής.



Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων



Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων (ενεργός ιλύς)

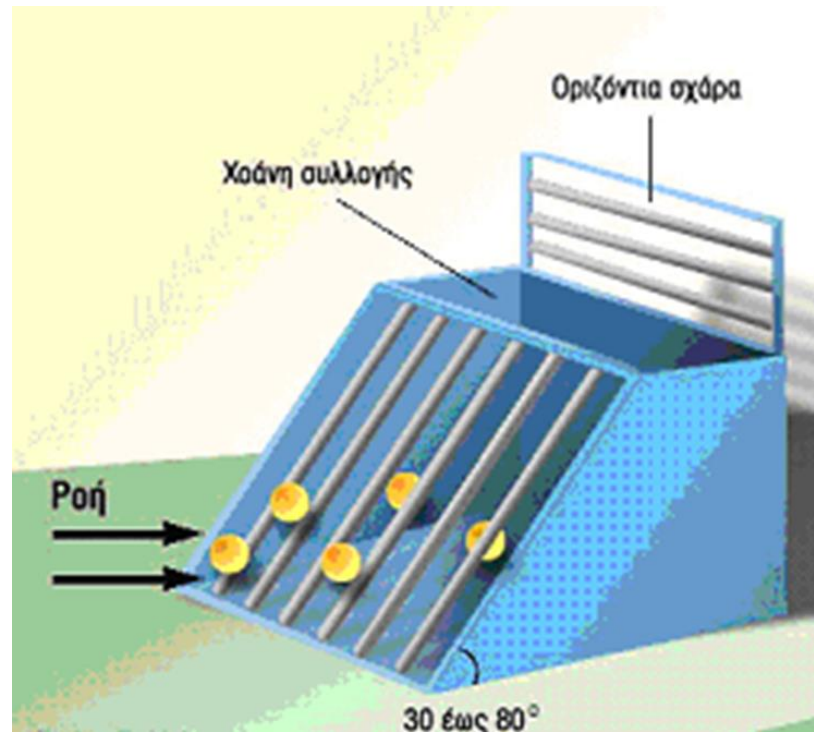


Προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων

- **ΣΤΟΧΟΣ**: Η **προστασία των** κύριων **διεργασιών** της μονάδας **από** ορισμένα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που ενδέχεται να δημιουργήσουν **πρόβλημα στη λειτουργία τους**.
- Οι διεργασίες αυτές είναι:
 - **Σχάρισμα**
 - **Αλεση/ Πολτοποίηση**
 - **Αμμοσυλλογή**
 - **Λιποσυλλογή**
 - **Εξισορρόπηση Παροχής**

Εσχάρωση

- Οι εσχάρες (bar racks) στοχεύουν στην απομάκρυνση των χονδρών στερεών.
- **Βασική παράμετρος σχεδιασμού:** το μέγεθος των διάκενων της σχάρας
- Διακρίνονται σε **χονδρές** και **λεπτές εσχάρες**



Χονδρές εσχάρες

Σχάρες χειροκίνητου καθαρισμού

- Χρησιμοποιούνται σε μικρές μονάδες (<1000 m³/d).
- Το κανάλι της σχάρας είναι **ορθογώνιο** και **οριζόντιο** ή με **μικρή κλίση**.
- Οι ράβδοι της σχάρας τοποθετούνται **με κλίση 30-80°** σε σχέση με τη διεύθυνση της ροής
- **Εμπειρικά**, για κάθε 1000 κατοίκους αναλογούν **0,15 – 0,20 m²** βυθισμένης επιφάνειας σχάρας.
- **Μειονεκτήματα:** η ανάγκη για συχνό καθαρισμό και το γεγονός ότι φράζουν εύκολα σε περιόδους μεγάλων παροχών → ανύψωση της στάθμης ροής στο μπροστινό τμήμα της σχάρας → αναστροφή της ροής και τη λειτουργία του αγωγού της εισόδου κάτω από πίεση.

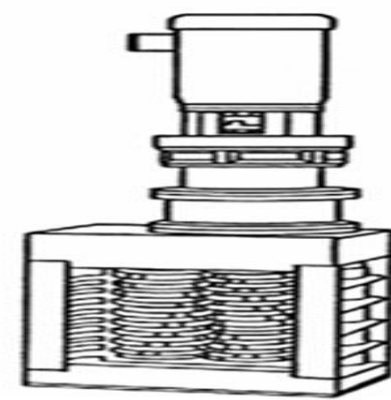
Σχάρες μηχανοκίνητου καθαρισμού

- Χρησιμοποιούνται για **μεγάλες παροχές**.
- Η **απομάκρυνση** των συγκρατούμενων στερεών γίνεται με **ειδική μηχανική διάταξη**:
 - **Λειτουργεί αυτόματα** όταν η διαφορά της στάθμης στις δύο πλευρές της σχάρας φτάσει σε ένα ορισμένο όριο (τυπικά 75-100 mm)
 - μπορεί να λειτουργεί σε τακτικά χρονικά διαστήματα

Λεπτές εσχάρεις

- Χρησιμοποιούνται συνήθως στην επεξεργασία αστικών αποβλήτων που περιέχουν και βιομηχανικά απόβλητα.
- Σταθερές ή περιστρεφόμενες.
- Σχάρα τύπου ποτηριού: Τα απόβλητα εισέρχονται από τη βάση, που είναι τοποθετημένος κατά τον άξονά του κατά τη διεύθυνση της ροής και βγαίνουν από την κυλινδρική επιφάνεια αφήνοντας στο εσωτερικό της τα συγκρατούμενα στερεά.
- Σχάρα τύπου τυμπάνου (rotary drum screen): Ένας κύλινδρος διαμέτρου 1,2-4 m περιστρέφεται αργά (4 rpm) μισοβυθισμένο στα λύματα. Τα απόβλητα εισέρχονται από την εσωτερική κυλινδρική πλευρά και εξέρχονται από τη βάση του κατά τη διεύθυνση του άξονά του, αφήνοντας τα στερεά στο εξωτερικό της κυλινδρικής επιφάνειας. Τα εσχαρίσματα προσκολλώνται στην εξωτερική επιφάνεια του πλέγματος κατά την περιστροφή και συλλέγονται σε ειδική υποδοχή.
- Σχάρεις περιστρεφόμενου δίσκου: Πρόκειται για ένα μεγάλο μεταλλικό περιστρεφόμενο δίσκο (με κλίση 30° ως προς την κατακόρυφο) και ημιβυθισμένο στα λύματα. Τα σωματίδια προσκολλώνται στην επιφάνεια του δίσκου και μετά την περιστροφή φτάνουν στο υψηλότερο σημείο από όπου απομακρύνονται με σύστημα περιστρεφόμενων βουρτσών. Μειονέκτημα το μεγάλο κόστος.

Μικροσχάρες - Πολτοποιητής



Μικροσχάρες

- Χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των υπολοίπων αιωρούμενων στερεών ύστερα από δευτεροβάθμια επεξεργασία και όταν αναμένονται αυξημένες συγκεντρώσεις στερεών.
- Τρόπος Λειτουργίας:
 - Όμοιος με τη λεπτή σχάρα τύπου ποτηριού, με τη διαφορά ότι στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου τοποθετείται ύφασμα διήθησης ανοίγματος 25-30 μ.
- Ο βαθμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών είναι 50 - 90% ανάλογα με τα ανοίγματα και το είδος των αποβλήτων.

Πολτοποιητής (Grinder)

- Χρησιμοποιείται σε μικρές μονάδες.
- Παρεμβάλλεται στο κανάλι εισαγωγής των λυμάτων και πολτοποιεί τα χοντρά στερεά υλικά.
- Τρόπος Λειτουργίας:
 - Εξοπλίζεται με διάταξη δοντιών, τα οποία, καθώς περιστρέφονται, εμπλέκονται με σταθερά τοποθετημένη χτένα. Τα σωματίδια παγιδεύονται μεταξύ των δοντιών και της χτένας και τεμαχίζονται.
 - Τοποθετείται σε ένα φρεάτιο κατάλληλης διαμόρφωσης, ώστε να δημιουργείται ελικοειδής ροή μέσα στο τύμπανο

Διάθεση στερεών από τις σχάρες

- Οι ποσότητες των συγκρατούμενων στερεών **ποικίλλουν ανάλογα** με τον **τύπο της σχάρας**, το **είδος αποχετευτικού συστήματος** και την **παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων**.
- Τα συλλεγόμενα στερεά έχουν **δυσάρεστη οσμή** και **εμφάνιση** → πρέπει να απομακρύνονται όσο το δυνατόν γρηγορότερα.
- Η μεταφορά των στερεών προς το χώρο διάθεσης γίνεται με **μεταφορικούς ιμάντες**, με **δοχεία** ή με **κατάλληλους σάκους**.
- Οι συνηθέστεροι τρόποι διάθεσης είναι :
 - α) **Επιστροφή στη ροή ύστερα από θρυμματισμό**
 - β) **Ταφή**
 - γ) **Αποτέφρωση** (μαζί με τα απορρίμματα, ύστερα από αφύγρανση)

Εξάμμωση (grit removal)

- Εξάμμωση ή αμμοσυλλογή: αποσκοπεί στην κατακράτηση υλικών **μεγάλου ειδικού βάρους και μεγέθους $> 2 \text{ mm}$** , π.χ. άμμος, χαλίκια κτλ.



- Προστατεύονται οι εγκαταστάσεις των επόμενων σταδίων καθαρισμού από μηχανικές φθορές (αντλίες) ή αποθέσεις (σωληνώσεις).



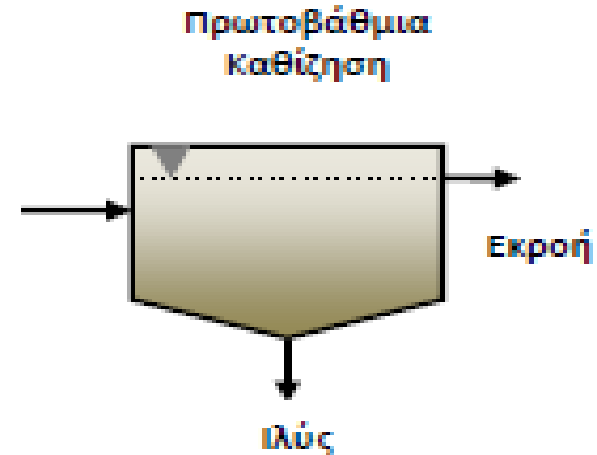
- Η **οριζόντια ταχύτητα** των λυμάτων **διαμέσου του καναλιού** είναι συνήθως **$0,3 \text{ m/s}$** .
- Η αφαίρεση των στερεών που καθιζάνουν μπορεί να γίνει **με μηχανικά μέσα** ή και **χειρωνακτικά**

Λιποσυλλογή (grease and fat removal)

- Τα Ελεύθερα και επιπλέοντα λιπαρά υλικά **διαχωρίζονται** από τα απόβλητα με **διαύγαση βαρύτητας**. (: τα λιπαρά συστατικά επιπλέουν στην επιφάνεια του διαχωριστή και εξαφρίζονται → περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση).
- Όταν τα λιπαρά συστατικά βρίσκονται με τη μορφή κολλοειδών, χρειάζεται ειδική επεξεργασία: **χημική κροκίδωση ή επίπλευση με αέρα**.
- **Λιποσυλλέκτης**: κατάλληλα διαμορφωμένη δεξαμενή ώστε η επιπλέουσα ύλη να παραμένει στην **επιφάνεια των αποβλήτων** μέχρι να απομακρυνθεί, ενώ το υγρό ρέει συνεχώς διαμέσου βαθιών στομίων εκροής.
- Η διεργασία της λιποσυλλογής **μπορεί να γίνει σε ξεχωριστή δεξαμενή ή σε συνδυασμό με πρωτογενή καθίζηση**, ανάλογα με τη φύση των αποβλήτων.
- **Δεξαμενές λιποσυλλογής**: συνήθως **ορθογώνιες ή κυκλικές** για χρόνο παραμονής από **1 - 15 min**

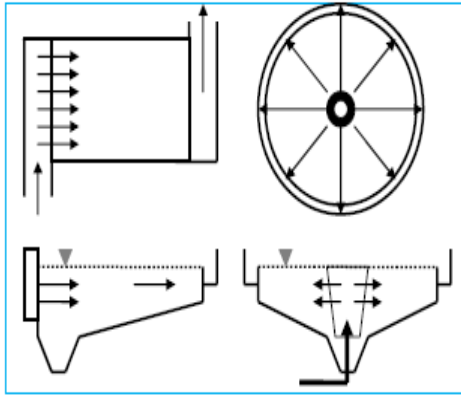
Πρωτοβάθμια καθίζηση

- Σκοπός της μεθόδου: η **απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών**, οργανικών και ανόργανων, μεγέθους **0,1 - 0,001 mm**.
- Η απομάκρυνση αυτή σκοπεύει στη **μείωση του ρυπαντικού φορτίου (SS και BOD)**.
- Απομάκρυνση λόγω καθίζησης **βασίζεται στην διαφορά πυκνότητας μεταξύ των σωματιδίων και του υγρού**.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις η **καθίζηση είναι η μοναδική κατεργασία** στην οποία υποβάλλονται **τα απόβλητα!!**



Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης

Προβλήματα που παρουσιάζουν οι ΔΠΚ



- Ορθογώνιας ή κυκλικής διατομής.
- Ορθογώνιες δεξαμενές χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται πολλές δεξαμενές και δεν επαρκεί ο χώρος.

1. Δημιουργία βραχυκυκλώσεων και αδρανών χώρων:

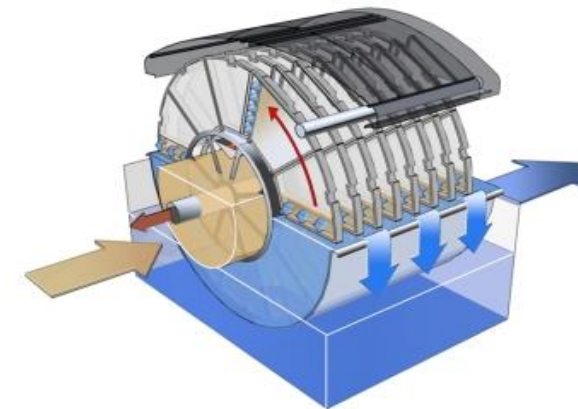
- οφείλεται κυρίως σε κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (π.χ. διάταξη εισροής- εκροής), στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ΔΠΚ, αλλά και σε άλλους παράγοντες (π.χ. ρεύματα που δημιουργούνται στη ΔΠΚ και οι άνεμοι).
- Τα ρεύματα δημιουργούνται από διαφορές πυκνότητας μεταξύ της εισερχόμενης μάζας των αποβλήτων και του περιεχομένου της ΔΠΚ, που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές.
- Το πρόβλημα από το άνεμο αντιμετωπίζεται με τοποθέτηση προστατευτικών πετασμάτων γύρω από τη ΔΠΚ ή με κόφτρες μέσα στη ΔΠΚ

2. Διαταραχές στη ζώνη καθίζησης από τις ταχύτητες ροής

- Η επαναιώρηση των στερεών που έχουν κατακαθίσει και παρασύρονται από τις σχετικά μεγάλες ταχύτητες ροής, η δημιουργία τύρβης που διαταράσσει την ηρεμία που απαιτείται για την καθίζηση και η επίδραση των κλίσεων ταχύτητας στη συσσωμάτωση των σωματιδίων.
- Στις Η.Π.Α. σχεδιάζονται σχετικά βαθιές δεξαμενές (συνήθως ταχύτητα ροής 0,3 m/s), ενώ στην Ευρώπη σχεδιάζονται σχετικά ρηχές δεξαμενές με σχετικά μεγάλες ταχύτητες ροής (0,75 m/s).

Δευτεροβάθμια επεξεργασία

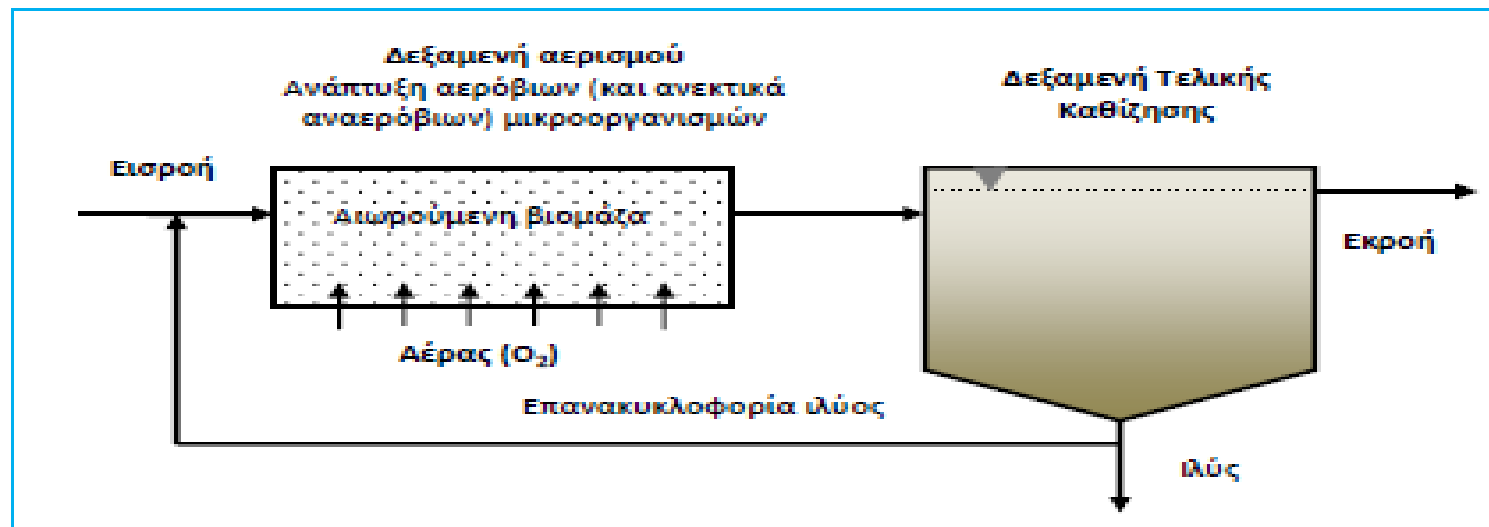
- Σκοπός της δευτεροβάθμιας (ή βιολογικής) επεξεργασίας:
Η **απομάκρυνση των οργανικών ουσιών** των αποβλήτων με βιολογικές διεργασίες στις οποίες **χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί** που αναπαράγονται καταναλώνοντας τις οργανικές ουσίες.
- Έπειτα, οι **παραγόμενοι μικροοργανισμοί απομακρύνονται** από τα απόβλητα με **καθίζηση** ή κάποια **άλλη διαδικασία**.
- Η βιολογική επεξεργασία μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους που χωρίζονται σε **δύο γενικές κατηγορίες ανάλογα με το αν οι μικροοργανισμοί** βρίσκονται σε **αιώρηση** μέσα στα απόβλητα (**ενεργός ιλύς, λίμνες**) ή **προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια** (**βιολογικά φίλτρα, βιολογικοί δίσκοι**).



Συστήματα ενεργού ιλύος

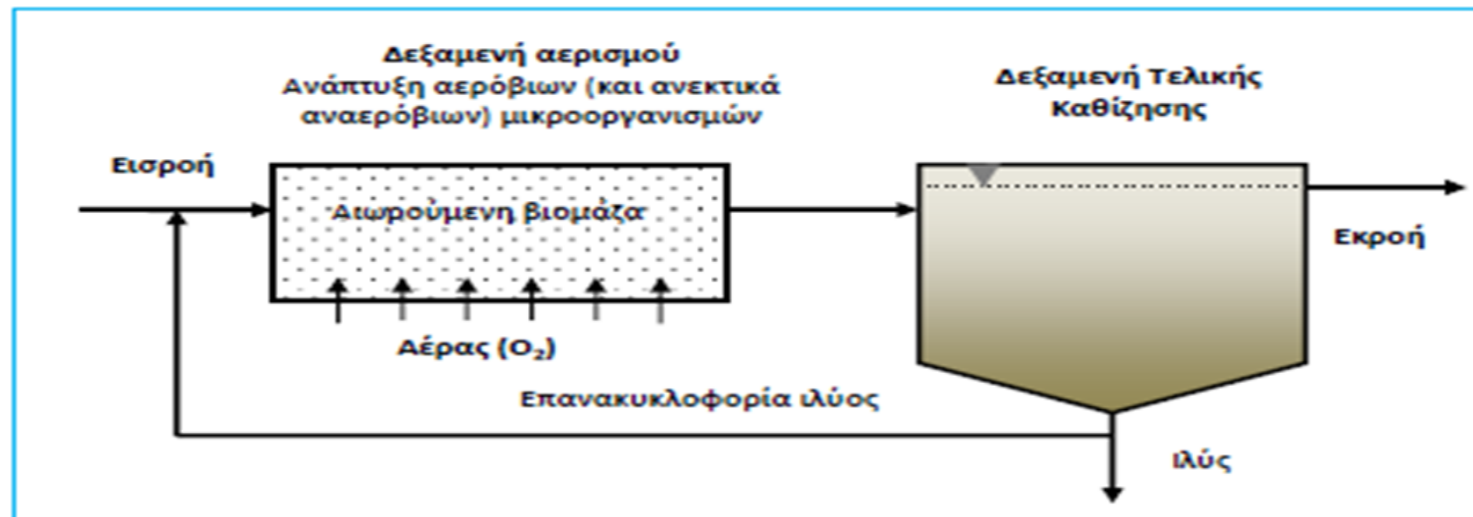
Περιλαμβάνουν:

1. Δεξαμενή αερισμού, όπου οι μ.ο. **καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες** (προς CO_2) χρησιμοποιώντας O_2 που προστίθεται στα απόβλητα από ειδικές διατάξεις αερισμού και
 2. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου οι μ.ο. **καθιζάνουν** και **απομακρύνονται** (δευτεροβάθμια λάσπη).
- Μέρος της λάσπης αυτής επανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται στη γραμμή επεξεργασίας λάσπης.
 - Η μέθοδος της ενεργού ιλύος αναπτύχθηκε στην Αγγλία το 1914.
 - Έχει **υψηλή απόδοση** και απαιτεί **μικρή έκταση** αλλά έχει ανάγκη **συστηματικής παρακολούθησης** από εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό.



Συστήματα ενεργού ιλύος

- Τα λύματα εισάγονται σε έναν αντιδραστήρα – δεξαμενή όπου αερόβιοι μ.ο. διατηρούνται σε αιώρηση.
- Οι αερόβιες συνθήκες στον αντιδραστήρα **επιτυγχάνονται** με χρήση **διαχυτήρων** ή **μηχανικών αεριστήρων** που δίνουν και την απαραίτητη ενέργεια για **ανάδευση**.
- **Ύστερα από ορισμένο χρόνο παραμονής** τόσο των μ.ο. όσο και του υγρού, **το μικτό υγρό οδηγείται** στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.
- **Σκοπός της καθίζησης:** ο διαχωρισμός των στερεών.
- Το μεγαλύτερο μέρος της **λάσπης ανακυκλώνεται** στην δεξαμενή αερισμού, ενώ ένα τμήμα της οδηγείται προς κατεργασία.



Συστήματα ενεργού ιλύος

- Η επιλογή του συστήματος αερισμού απαιτεί τον υπολογισμό της ικανότητας μεταφοράς του O_2 στις εποχικές διακυμάνσεις των θερμοκρασιών: διαχυτήρες, μηχανικός τρόπος.
- Βασική παράμετρος για το ρυθμό επεξεργασίας και τον υπολογισμό των διαστάσεων εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού είναι ο λόγος των οργανικών ουσιών (BOD_5) προς τους σαπροφυτικούς οργανισμούς (F/M).
- Τροφή/μικρόβια = F/M

Συστήματα ενεργού ιλύος

- Για το σχεδιασμό μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων υπολογίζεται το οργανικό φορτίο (BOD_5) που εισέρχεται.
- Στη μονάδα καθημερινά, γίνεται η παραδοχή για την τιμή του λόγου F/M οπότε προκύπτει η συνολική ποσότητα των $\mu.o.$ που πρέπει να υπάρχει στο σύστημα ώστε να λειτουργεί ικανοποιητικά.
- Κατόπιν, από μια τυπική τιμή της συγκέντρωσης των $\mu.o.$ στον αντιδραστήρα υπολογίζεται ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής αερισμού.

Αεριζόμενες λίμνες – Λίμνες σταθεροποίησης

- Τα συστήματα αυτά:
 - αποτελούνται συνήθως από σχετικά **μικρού βάθους** λεκάνες με **επίπεδο πυθμένα**
 - κατασκευάζονται με **χωμάτινο ανάχωμα** σε μορφή **κυκλική, τετραγωνική ή συνήθως ορθογώνια**.
- Είναι **μονάδες βιολογικής επεξεργασίας**, που λειτουργούν κάτω από **φυσικές ή τεχνητές συνθήκες αερισμού ή αναερόβια**.
- Ο **φυσικός αερισμός** στηρίζεται στη **διάλυση και διάχυση** του **ατμοσφαιρικού O_2** από την **ανεπτυγμένη επιφάνεια** και **στην παραγωγή O_2 με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από τα άλγη**, μέχρι το βάθος που φθάνει το ηλιακό φως.



Αεριζόμενες λίμνες – Λίμνες σταθεροποίησης



- Ο τεχνητός αερισμός γίνεται με συστήματα διαχύσεως αέρα και συνηθέστερα με επιφανειακούς αεριστήρες.
- Βασική προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή του συστήματος είναι η διάθεση σχετικά φθηνής γης και η εξασφάλιση των υπόγειων νερών από κινδύνους ρυπάνσεως και μόλυνσεως.
- Οι δεξαμενές σταθεροποίησης των λυμάτων κατατάσσονται σε:
 - Δεξαμενές σταθεροποίησης ή οξείδωσης που περιλαμβάνουν τις αερόβιες, επαμφοτερίζουσες (αερόβιες-αναερόβιες) και αναερόβιες δεξαμενές.
 - Αεριζόμενες δεξαμενές που περιλαμβάνουν τις αερόβιες, αερόβιες-αναερόβιες (μικτές) και δεξαμενές παρατεταμένου αερισμού.

Δεξαμενές σταθεροποίησης

1. Αερόβιες δεξαμενές σταθεροποίησης (aerobic ponds)

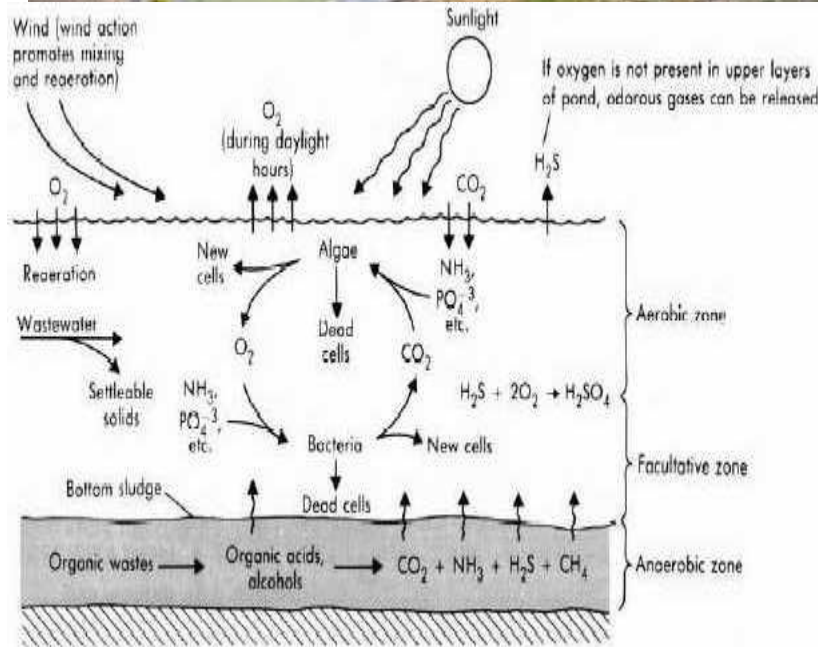
- Αποτελούνται από **μεγάλες και ρηχές** λεκάνες όπου η επεξεργασία των **λυμάτων** γίνεται με φυσικό τρόπο **από βακτήρια και άλγη**.
- Επικρατούν **αερόβιες συνθήκες** σε ολόκληρο το **βάθος** τους και **αναπτύσσονται** βακτήρια και άλγη (μικροφύκη) σε αιώρηση.

→ Τα βακτήρια **αποδομούν τις οργανικές ουσίες καταναλώνοντας O_2** , ενώ τα **άλγη** μετέχουν στη διαδικασία της **φωτοσύνθεσης παράγοντας O_2** .

- Κυριότεροι τύποι ΑΔΣ:
 - βάθος: 0,15 με 0,45 m, μεγιστοποίηση της παραγωγής αλγών
 - βάθος 1,5 m, μεγιστοποίηση της παραγωγής O_2 .
- Η απόδοση σε ελάττωση του BOD_5 φθάνει μέχρι 95 %.
- Πρέπει να απομακρυνθούν τα περιεχόμενα φύκη και μ/ο από την απορροή



Δεξαμενές σταθεροποίησης



2. Επαμφοτερίζουσες (αερόβιες - αναερόβιες) δεξαμενές σταθεροποίησης (facultative ponds)

Διαμορφώνονται **3 ζώνες βιολογικής δράσης**:

- Η επιφανειακή αερόβια ζώνη, με αερόβια βακτήρια και φύκη σε συμβίωση,
- Η αναερόβια ζώνη του πυθμένα, στην οποία συγκεντρώνονται τα ιζήματα και αποδομούνται από αναερόβια βακτήρια και
- Η ενδιάμεση ζώνη, που είναι αερόβια και αναερόβια.

Η ύπαρξη της αερόβιας επιφανειακής ζώνης **ελαττώνει σημαντικά το πρόβλημα των δυσοσμιών** που οφείλονται στην αναερόβια αποδόμηση του πυθμένα.

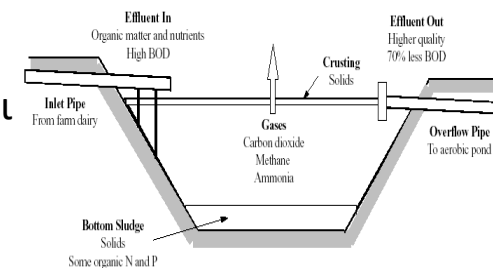
Η δεξαμενή μπορεί να **μετατραπεί σε αεριζόμενη** με την χρησιμοποίηση **επιφανειακών αεριστήρων**, σε περίπτωση ανάγκης αύξησης του οργανικού φορτίου.

Για να διατηρηθεί όμως το όφελος της αναερόβιας αποδόμησης, πρέπει η χρήση των αεριστήρων να μην προκαλούν πλήρη ανάδευση.

Δεξαμενές σταθεροποίησης

3. Αναερόβιες Δεξαμενές Σταθεροποίησης

- Χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία λυμάτων με **υψηλό οργανικό φορτίο** και υψηλή **συγκέντρωση στερεών**
- Αποτελούνται μία **βαθιά φυσική λεκάνη** (με βάθος έως 9.1 m) με κατάλληλες σωληνώσεις στην είσοδο και την έξοδο
- Τα λύματα κατά την είσοδό τους στη δεξαμενή **κατακάθονται στον πυθμένα** της ενώ τα μερικώς επεξεργασμένα λύματα **προωθούνται** σε μία άλλη μονάδα για περαιτέρω επεξεργασία.
- Η απόδοση των δεξαμενών είναι συνήθως **70 %-85% ελάττωση του BOD₅**.
- Συνήθως **συνδυάζονται με αερόβιες ή μικτές δεξαμενές** ως προκαταρκτικό στάδιο για την **ελάττωση** του υψηλού οργανικού φορτίου.
- **Βασικό πλεονέκτημα:** το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και η ικανότητα να αποσβένουν απότομα ή περιοδικά υψηλά φορτία.
- **Μειονεκτήματα:**
 - η δυσοσμία (συνίσταται η εφαρμογή τους μακριά από κατοικημένες και ευαίσθητες περιοχές)
 - η απόδοσή τους επηρεάζεται πολύ από τη θερμοκρασία των λυμάτων.



Αεριζόμενες δεξαμενές

4. Αεριζόμενες δεξαμενές (aerated lagoons)

- Προκύπτουν από τις επαμφοτερίζουσες δεξαμενές, **όταν εφαρμοστεί αερισμός** με σύστημα διαχύσεως αέρα ή με επιφανειακούς αναμικτήρες.
- Διακρίνονται ανάλογα με το ρυθμό ανάμιξης σε **καθολικά αερόβιες, αερόβιες - αναερόβιες ή μικτές** (επαμφοτερίζουσες και σε **παρατεταμένου αερισμού**).



Καθολικά αερόβιες δεξαμενές

- Χαρακτηρίζονται οι **δεξαμενές με ισχυρό σύστημα αερισμού**, ώστε να διατηρούνται τα **στερεά σε αιώρηση**.
- Οι **συνθήκες** που επικρατούν είναι **καθολικής ανάμιξης**, αλλά η **απόδοση** σε μείωση του οργανικού φορτίου δεν είναι **υψηλή**, γιατί η απορροή παρασύρει και τα στερεά που εισέρχονται ή δημιουργούνται από τη βιολογική δράση
- Ανάλογα με το χρόνο συγκρατήσεως (αερισμού), η απορροή περιέχει το 1/3 μέχρι το 1/2 του εισερχόμενου BOD με μορφή κυτταρικού ιστού (οργανικό φορτίο).

Αεριζόμενες δεξαμενές

Αερόβιες-αναερόβιες δεξαμενές (μικτές)

- **Μοιάζουν** λειτουργικά με τις **επαμφοτερίζουσες**, με τη διαφορά ότι το O_2 παρέχεται κυρίως **μηχανικά**.
- Ωστόσο, η **ισχύς της ανάμιξης δεν επαρκεί** για να κρατήσει σε **αιώρηση όλα τα στερεά**, τα οποία αποδομούνται αναερόβια στις νεκρές γωνιές του πυθμένα.

Δεξαμενές τύπου παρατεταμένου αερισμού:

- Οι δεξαμενές αυτές λειτουργούν σε **συνθήκες καθολικής ανάμιξης και πλήρους αιώρησης των στερεών**.
- Τα **στερεά συγκρατούνται** στο σύστημα, είτε με **χωριστή δεξαμενή καθίζησης και επανακυκλοφορίας της λάσπης**, είτε με **ενσωμάτωση στην έξοδο της δεξαμενής, κατάλληλου θαλάμου συγκράτησης των στερεών**.
- Η **ελάττωση του οργανικού φορτίου** στις δεξαμενές αυτές είναι **πολύ υψηλή (95-98%)**, με πρόσθετη δυνατότητα νιτροποίησης

Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

- Αποτελούν την εναλλακτική λύση για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε μικρές πόλεις και οικισμούς

Πλεονεκτήματα:

- Οι χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια.
- Η μη χρησιμοποίηση χημικών προσθέτων.
- Η εύκολη και χαμηλού κόστους συντήρηση που δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.

Μειονεκτήματα :

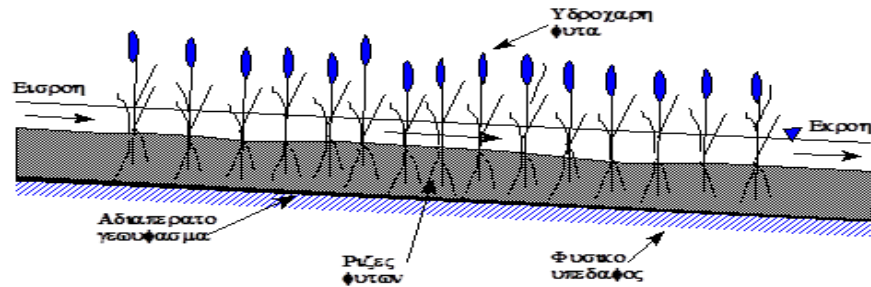
- Η ανάγκη για μεγαλύτερες εκτάσεις.
- Το ποσοστό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου δεν είναι τόσο μεγάλο όσο σε μία μονάδα ενεργού ιλύος.

- Στα φυσικά συστήματα η επεξεργασία **διαρκεί αρκετές ημέρες (> 30)** και γίνεται με τη βοήθεια της **ηλιακής ακτινοβολίας** και τη **δράση μ.ο.** που **διασπών το οργανικό φορτίο σε ανόργανες ενώσεις.**

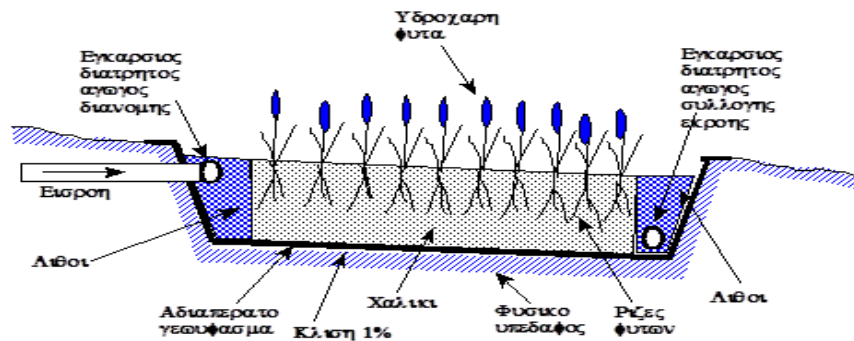
- Στους τεχνητούς υγρότοπους μεταφυτεύονται υδροχαρή φυτά τα οποία βοηθούν στη μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων.



Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων



(α) Τεχνητος Υγροβιοτοπος Επιφανειακης Ροης



(β) Τεχνητος Υγροβιοτοπος Υποεπιφανειακης Ροης



Τριτοβάθμια επεξεργασία

- **Σκοπός:** Η απομάκρυνση ορισμένων ρύπων που δεν απομακρύνονται στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας.
- Διασφαλίζει την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος ή καθιστά δυνατή την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων.

Περιλαμβάνονται διεργασίες :

- Φυσικές:

- Απομάκρυνση της αμμωνίας με εκρρόφηση,
- Απομάκρυνση των ολικών στερεών με διήθηση,
- Απομάκρυνση και των διαλυτών στερεών με ηλεκτροδιάλυση ή αντίστροφη όσμωση

- Χημικές:

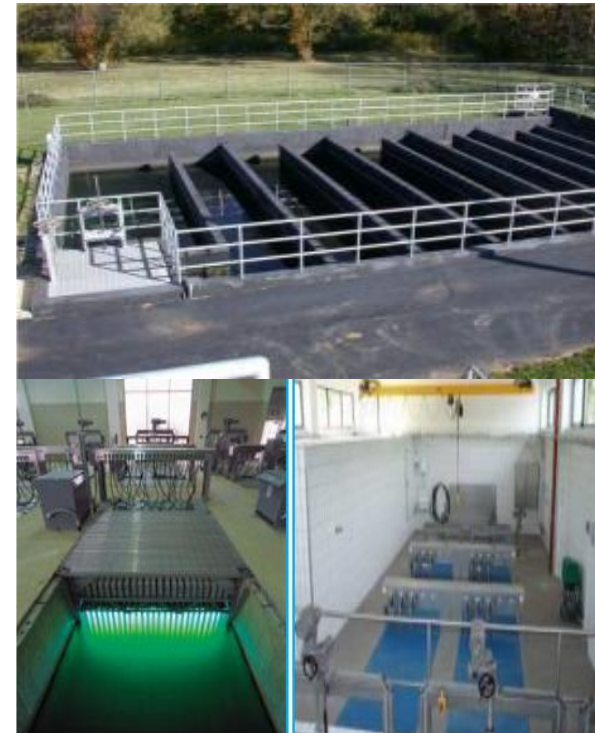
- Απομάκρυνση νιτρικών και της αμμωνίας με ιονανταλλαγή,
- Απομάκρυνση του φωσφόρου με χημική επεξεργασία- καθίζηση
- Απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ουσιών,
- Απομάκρυνση χλωρίου και βαρέων μετάλλων με ενεργό άνθρακα

- Βιολογικές:

- νιτροποίηση-απονιτροποίηση για την απομάκρυνση των ενώσεων του αζώτου

Απολύμανση

- Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μ.ο. των αποβλήτων ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών μέσω του νερού του αποδέκτη.
- Αποτελεί το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας
- Μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.
- Η απολύμανση γίνεται με την χρήση χημικών ουσιών (χλώριο, όζον, βρώμιο, διοξείδιο του χλωρίου κλπ.) ή με φυσικά μέσα (θερμότητα, ακτινοβολία).
- Το πιο συνηθισμένο μέσο απολύμανσης είναι το χλώριο, αλλά η ακτινοβολία UV και το όζον κερδίζουν έδαφος



Επεξεργασία ιλύος



- **Πάχυνση.** Σκοπός της είναι η μείωση του όγκου με απομάκρυνση μέρους του νερού. Η πιο φθηνή και συνηθισμένη μέθοδος είναι η πάχυνση με βαρύτητα, που γίνεται σε δεξαμενές παρόμοιες με τις δεξαμενές καθίζησης.



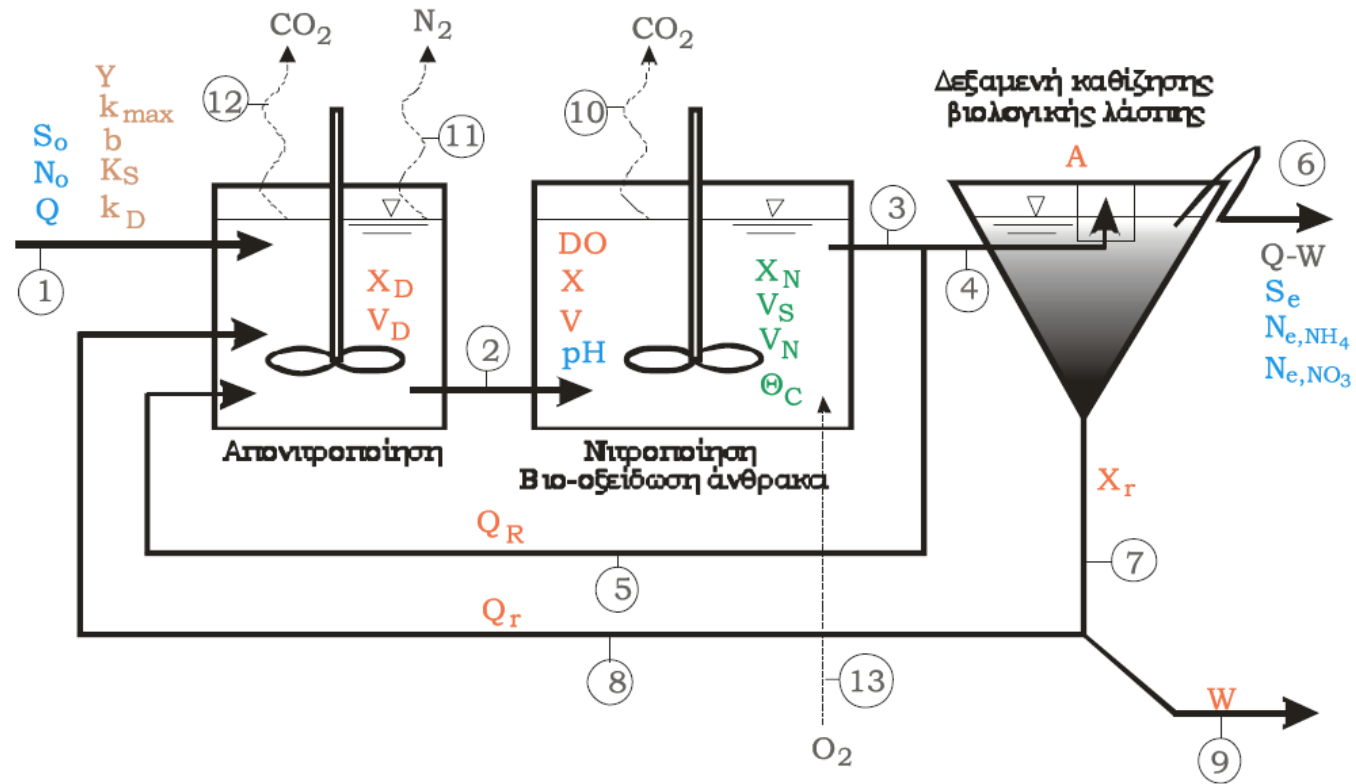
- **Χώνευση.** Σκοπός της χώνευσης είναι η μείωση των παθογόνων μ.ο., η μείωση των οσμών και του όγκου της λάσπης. Υπάρχει αναερόβια και αερόβια χώνευση.



- **Αφυδάτωση.** Είναι μία φυσική διεργασία που χρησιμοποιείται για μείωση της περιεχομένης υγρασίας. Η αφυδάτωση μπορεί να γίνει με φυγοκέντρηση ή με διήθηση

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και αζώτου

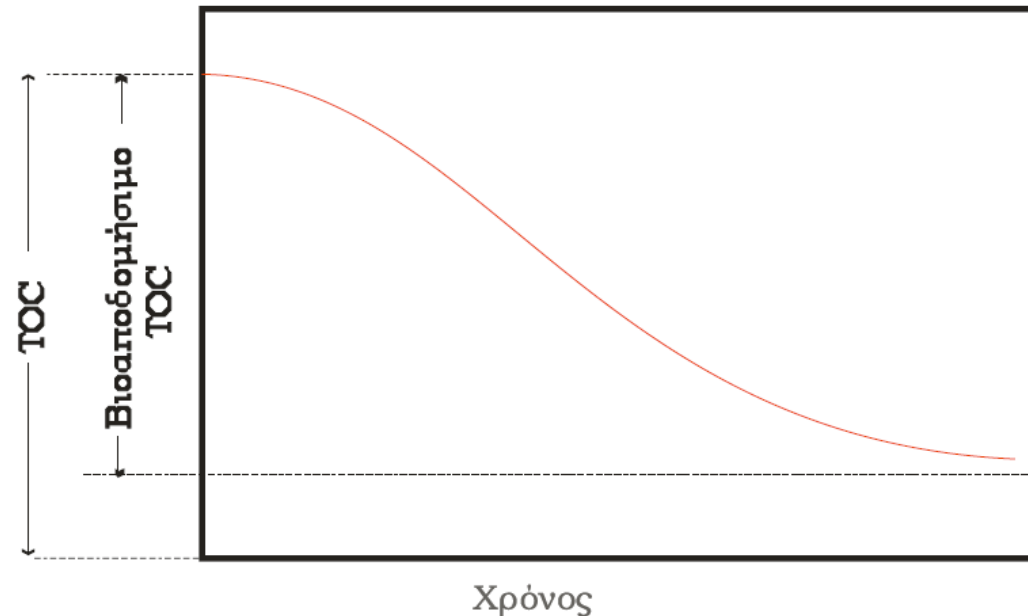


- Δεδομένα σχεδιασμού
- Παράμετροι σχεδιασμού
- Ενδιάμεσοι παράμετροι σχεδιασμού
- Κινητικά δεδομένα σχεδιασμού

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- **ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ –ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ**
- Όλος ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τον βιοαποικοδομήσιμο οργανικό άνθρακα (BOC, Biodegradable Organic Carbon)

1 mg BOC = 1 mg BOD περίπου



ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Η θεωρητική ανάπτυξη και οξείδωση του οργανικού άνθρακα αποτελεί σημαντικό μέρος της διαδικασίας του βιολογικού καθαρισμού.
- Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, ο βιο-αποδομήσιμος άνθρακας μετατρέπεται σε CO₂ ή δομικό άνθρακα των κυττάρων.
- Από την άλλη πλευρά, ο μη βιο-αποδομήσιμος άνθρακας διέρχεται από τον βιολογικό καθαρισμό χωρίς να υποστεί καμία μεταβολή.
- Επομένως, ο σχεδιασμός ενός βιολογικού καθαρισμού στοχεύει αποκλειστικά και μόνο στην ελαχιστοποίηση του βιο-αποδομήσιμου οργανικού άνθρακα.

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Η αποδόμηση του οργανικού άνθρακα πραγματοποιείται από ετερότροφους βακτηρίων, οι οποίοι αποδομούν τον οργανικό άνθρακα για να παράγουν ενέργεια και κυτταρική μάζα.
- Ο βιοαποδομήσιμος οργανικός άνθρακας που δεν είναι σε διαλυτοποιημένη μορφή δεν μπορεί να αποδομηθεί από τα βακτήρια.
- Στον βιολογικό καθαρισμό, όλα τα αιωρούμενα στερεά που υπάρχουν αφορούν συσσωματώματα που έχουν σχηματιστεί από ζωντανούς και νεκρούς μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στο βιολογικό καθαρισμό, γνωστό ως βιολογική λάσπη.
- Συνεπώς, ο σχεδιασμός ενός βιολογικού καθαρισμού αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του βιοαποδομήσιμου οργανικού άνθρακα.

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Τα νιτροβακτήρια είναι αυτότροφοι μικροοργανισμοί που εκτελούν την οξείδωση του οργανικού αζώτου (TKN) σε νιτρικά για την παραγωγή ενέργειας.
- Ωστόσο, για τη δόμηση της κυτταρικής τους μάζας, χρειάζονται άλλο υπόστρωμα, συγκεκριμένα το CO₂, το οποίο παράγεται από την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάσπαση του οργανικού υλικού από ετερότροφα βακτήρια.
- Επομένως, η ανάπτυξη των νιτροβακτηρίων εξαρτάται άμεσα από την ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων που αποδομούν τον οργανικό άνθρακα.
- Η ποσοστιαία ανάπτυξη των νιτροβακτηρίων είναι συνήθως χαμηλή σε σχέση με την ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων, κυμαίνεται στο ποσοστό του 20% κατά μέγιστο.

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Για να πετύχουμε μια ικανοποιητική προσέγγιση της νιτροποίησης από τους αυτότροφους μικροοργανισμούς, απαιτείται υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου.
- Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση του οξυγόνου επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό της νιτροποίησης.
- Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου αυξάνεται, ο ρυθμός της νιτροποίησης αυξάνεται αντίστοιχα.
- Ο ρυθμός οξείδωσης του TKN επηρεάζεται έντονα από το pH του αποβλήτου στη δεξαμενή αερισμού.
- Επειδή για την έξοδο των βιολογικών καθαρισμών απαιτούνται χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών, ενώ η παραγωγή CO₂ από τα ετερότροφα βακτήρια είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα πρωτόζωα → η νιτροποίηση απαιτεί αργόρυθμα συστήματα βιολογικού καθαρισμού, δηλαδή αυξημένη ηλικία λάσπης (Θ_c).
- Για αυξημένες αποδόσεις νιτροποίησης, πρέπει να σχεδιάσουμε συστήματα με μεγάλη ηλικία λάσπης, αυξημένη αλκαλικότητα και υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου.

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

- Η απονιτροποίηση δηλαδή η βιομετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο συντελείται από ετερότροφους μικροοργανισμούς.
- Οι ετερότροφοι μικροοργανισμοί αναγκάζονται να βρεθούν σε ανοξικές συνθήκες, δηλαδή σε συνθήκες όπου η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι μικρότερη από 0.5 mg/l, για να εξασφαλίσουν την απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου για την συντήρηση της ζωής τους.
- Σε αυτές τις συνθήκες, πραγματοποιούν τη βιομετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο για να αξιοποιήσουν το περιεχόμενο τους σε οξυγόνο.

Βιβλιογραφία

1. METCALF & EDDY, Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Εκδόσεις Τζιόλα,
ISBN SET 960-418-108-4