

Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

Διάλεξη 7

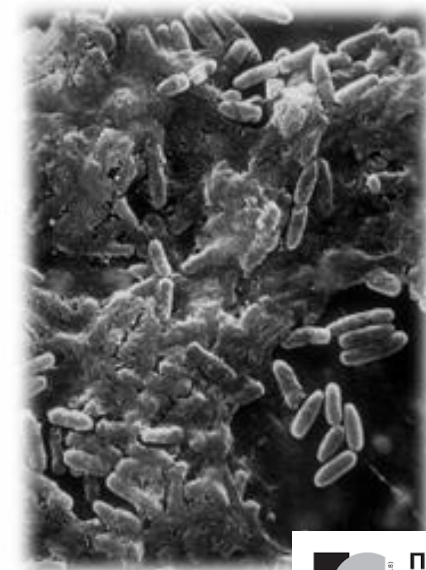
Βιολογική Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων
Συστήματα Βιοστρωμάτων –
Συστήματα Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων,
Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι, Χαλικοδιυλιστήρια

➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

- ❑ Στις διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας, οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή της οργανικής ύλης ή των θρεπτικών, είναι προσκολλημένοι σε ένα αδρανές υλικό (υλικό πλήρωσης)
- ❑ Η οργανική ύλη και τα θρεπτικά απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα καθώς ρέουν πάνω από την προσκολλημένη βιομάζα – **βιολογική στοιβάδα**
- ❑ Τα μικρού μοριακού βάρους οργανικά μόρια διαχέονται στα κύτταρα των μικροοργανισμών της βιολογικής στοιβάδας, ενώ τα μεγάλα μοριακού βάρους οργανικά μόρια παγιδεύονται στο βιοφίλμ μέσω των εξωκυτταρικών βιοπολυμερών που εκκρίνονται από τα μικροβιακά κύτταρα και τα οποία και συγκρατούν τους μικροοργανισμούς στο αδρανές υλικό

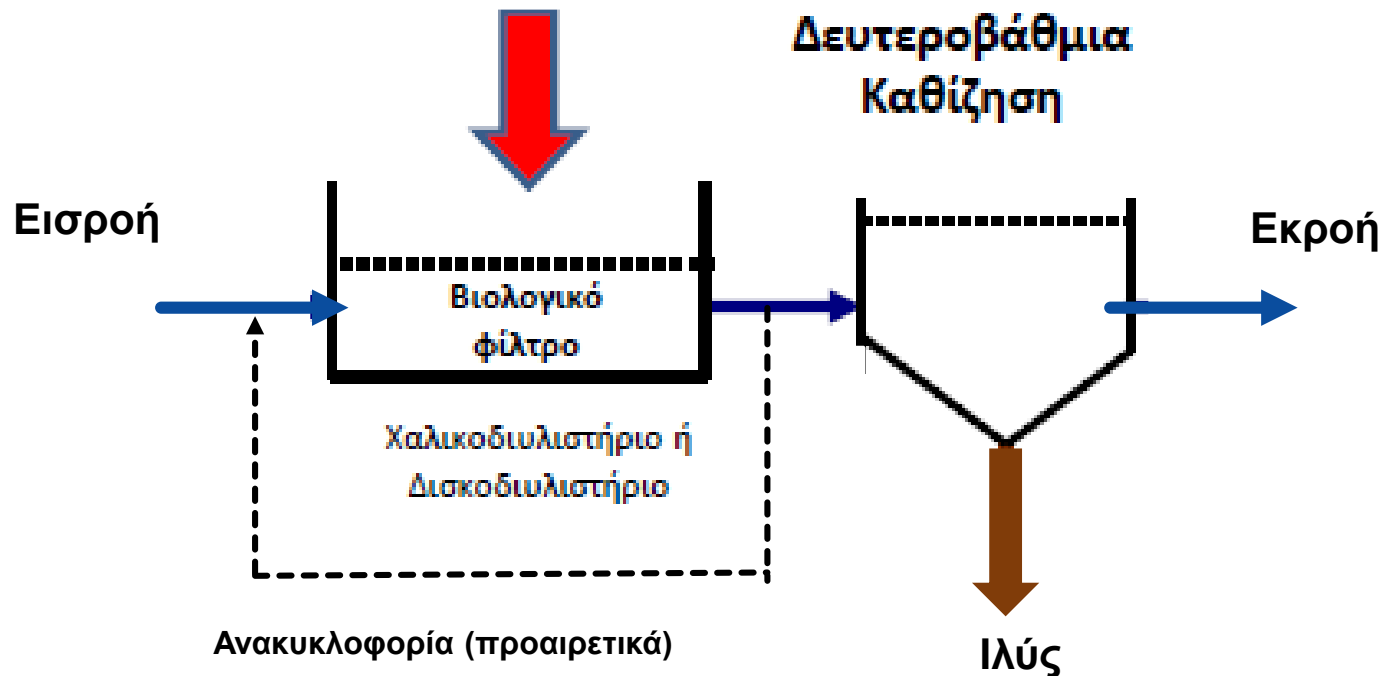
➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

- ❑ Η βιολογική στοιβάδα έχει πάχος περίπου 100μm-10mm
- ❑ Με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, το πάχος της βιολογικής στοιβάδας μεγαλώνει, και από ένα ορισμένο πάχος και πάνω αποκολλάται περιοδικά από την επιφάνεια



➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

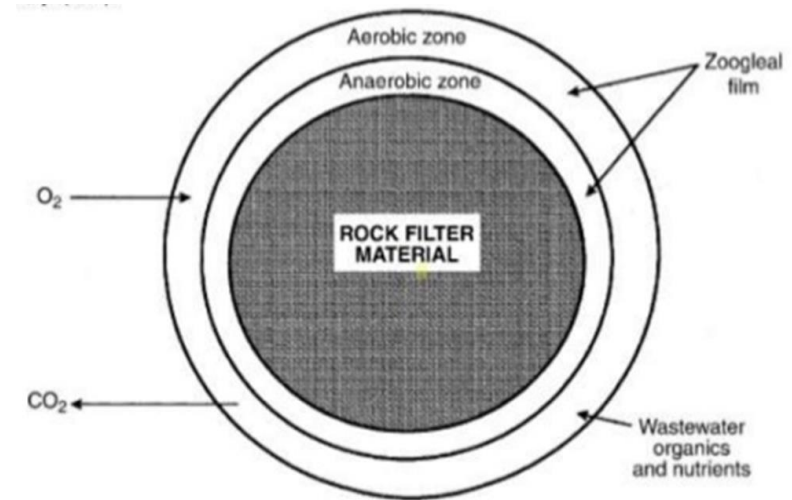
- Στην συνέχεια παρασύρεται από τα υγρά απόβλητα και οδηγείται στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου και διαχωρίζεται από το νερό



➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

❑ Οι διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας μπορούν να λειτουργήσουν ως **αερόβιες ή αναερόβιες διεργασίες**

❑ Με κατάλληλο αερισμό επικρατούν αερόβιες συνθήκες στην εξωτερική επιφάνεια της βιολογικής στοιβάδας (0.1 έως 0.2 mm), αλλά αυτές μετατρέπονται σε αναερόβιες κοντά στο πληρωτικό υλικό



❑ Ο συνδυασμός αερόβιων και αναερόβιων συνθηκών μπορεί να αφαιρέσει το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων αλλά και το άζωτο

➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

- ❑ Τα υλικά πλήρωσης που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις διεργασίες περιλαμβάνουν κροκάλες, χαλίκια, σκωρίες, άμμο, ξύλα και μια μεγάλη ποικιλία πλαστικών και άλλων συνθετικών υλικών
- ❑ Το υλικό πλήρωσης μπορεί να είναι τελείως εμβαπτισμένο στο υγρό ή να μην είναι εμβαπτισμένο, με κενό χώρο αέρα ή αερίου πάνω από το υγρό στρώμα της βιολογικής στοιβάδας



➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

□ Οι διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 γενικές κατηγορίες:

- I. Διεργασίες μη εμβαπτιζόμενης προσκολλημένης βιομάζας (βιολογικά φίλτρα)
- II. Διεργασίες αιωρούμενης βιομάζας με υλικό πλήρωσης σταθερής στοιβάδας
- III. Αερόβιες διεργασίες εμβαπτιζόμενης προσκολλημένης βιομάζας

➤ Διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας

- ❑ Η πιο συνηθισμένη αερόβια διεργασία προσκολλημένης βιομάζας είναι το βιολογικό φίλτρο
- ❑ Το βιολογικό φίλτρο είναι ένας μη εμβαπτιζόμενος βιολογικός αντιδραστήρας σταθερής στοιβάδας που χρησιμοποιεί χαλίκια ή πλαστικό υλικό πλήρωσης πάνω στο οποίο διοχετεύονται συνεχώς υγρά απόβλητα
- ❑ Η επεξεργασία συντελείται ενώ το υγρό κυλά πάνω στην προσκολλημένη βιολογική στοιβάδα των μικροοργανισμών

➤ Βιολογική κοινότητα βιοφίλτρων

□ Βακτήρια

- Αερόβια, αναερόβια και επαμφοτερίζοντα, ετερότροφα και αυτότροφα
- *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Zooglea*
- Στο εσωτερικό του υμένα, όπου επικρατούν αντίξοες συνθήκες για την ανάπτυξη, θα βρεθούν ινώδεις μορφές *Sphaerotilus natans* και *Beggiatoa*
- Στα χαμηλότερα τμήματα του φίλτρου θα είναι παρόντα τα νιτροποιητικά βακτήρια (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*)
- Μεθανιογόνα και θειοαναγωγικά βακτήρια

➤ Βιολογική κοινότητα βιοφίλτρων

□ Μύκητες

- Κατά καιρούς η ανάπτυξη μυκήτων μπορεί να είναι τόσο γρήγορη που τα στόμια και ο εξαερισμός των φίλτρων να είναι περιορισμένα.
- Ο ρόλος τους είναι σημαντικός μόνο κάτω από συνθήκες χαμηλού pH (επικράτηση).
- *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Geotrichum*, *Sporotrichum* και ποικίλοι ζυμομύκητες.

➤ Βιολογική κοινότητα βιοφίλτρων

□ Άλγη

- Μπορούν να αναπτυχθούν μόνο στα ανώτερα τμήματα του φίλτρου όπου το ηλιακό φως είναι διαθέσιμο
- Δεν παίρνουν άμεσα μέρος στην αποδόμηση των υγρών αποβλήτων, αλλά στη διάρκεια της ημέρας προσθέτουν οξυγόνο στην κλίση των βακτηρίων
- Από λειτουργικής πλευράς μπορεί να προκαλέσουν στόμωση της επιφάνειας των φίλτρων η οποία ενδέχεται να προκαλέσει δυσάρεστες οσμές
- *Phormidium*, *Chorella* και *Ulothrix*

➤ Βιολογική κοινότητα βιοφίλτρων

□ Πρωτόζωα

- Κυρίως βλεφαριδοφόρα *Verticella*, *Opercularia* και *Epistylis*
- Τρέφονται από τις βιολογικές στοιβάδες των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα τη μείωση της θολότητας των υγρών αποβλήτων και τη διατήρηση της βιολογικής στοιβάδας σε μια ανώτερη κατάσταση ανάπτυξης

➤ Βιολογική κοινότητα βιοφίλτρων

□ Ανώτερα ζώα

- Σκώληκες, σαλιγκάρια και έντομα τρέφονται από τη βιολογική στοιβάδα των μικροοργανισμών
- Τα σαλιγκάρια είναι ιδιαίτερα επιβλαβή στα βιολογικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται για νιτροποίηση επεδή καταναλώνουν αρκετά από τα νιτροποιητικά βακτήρια μειώνοντας ουσιαστικά την αποδοτικότητα της επεξεργασίας

➤ Βιοαντιδραστήρων Βιοστρωμάτων

➤ Χαλικοδιυλιστήρια (Trickling Filters)

Μη βυθισμένος σταθερός βιολογικός αντιδραστήρας (βιολογικό φίλτρο) με χαλίκια ως υλικό πλήρωσης πάνω στον οποίο ρέουν συνεχώς τα υγρά απόβλητα

➤ Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι (Rotating Biological Contactors)

➤ Βιοαντιδραστήρες Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων

➤ Χαλικοδιυλιστήρια

- ❑ Από τα παραδοσιακά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που με διάφορες παραλλαγές και βελτιώσεις χρησιμοποιούνται από το 1890
- ❑ Η αντικατάσταση των χαλικιών από νέα πληρωτικά υλικά που μπορούν να υποστηρίξουν μεγαλύτερη βιομάζα βοήθησε στην εκτεταμένη χρήση τους τα τελευταία έτη σε διάφορες εφαρμογές για την βιολογική οξείδωση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων αλλά και για νιτροποίηση σε περίπτωση υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας στα υγρά απόβλητα

➤ Παραδοσιακό Σύστημα Χαλικοδιυλιστηρίου



- Οι βιολογικοί υμένες αναπτύσσονται πάνω στις στερεές επιφάνειες του υλικού πλήρωσης πάνω στο οποίο διοχετεύονται συνεχώς τα υγρά απόβλητα
- Τα λύματα ραντίζονται στην επιφάνεια του διυλιστηρίου και ρέουν προς τα κάτω δια μέσου των κενών χώρων. Έτσι περιβρέχεται η βιομάζα που έχει αναπτυχθεί στις επιφάνειες των χαλικιών με τα λύματα

➤ Χαλικοδιυλιστήρια



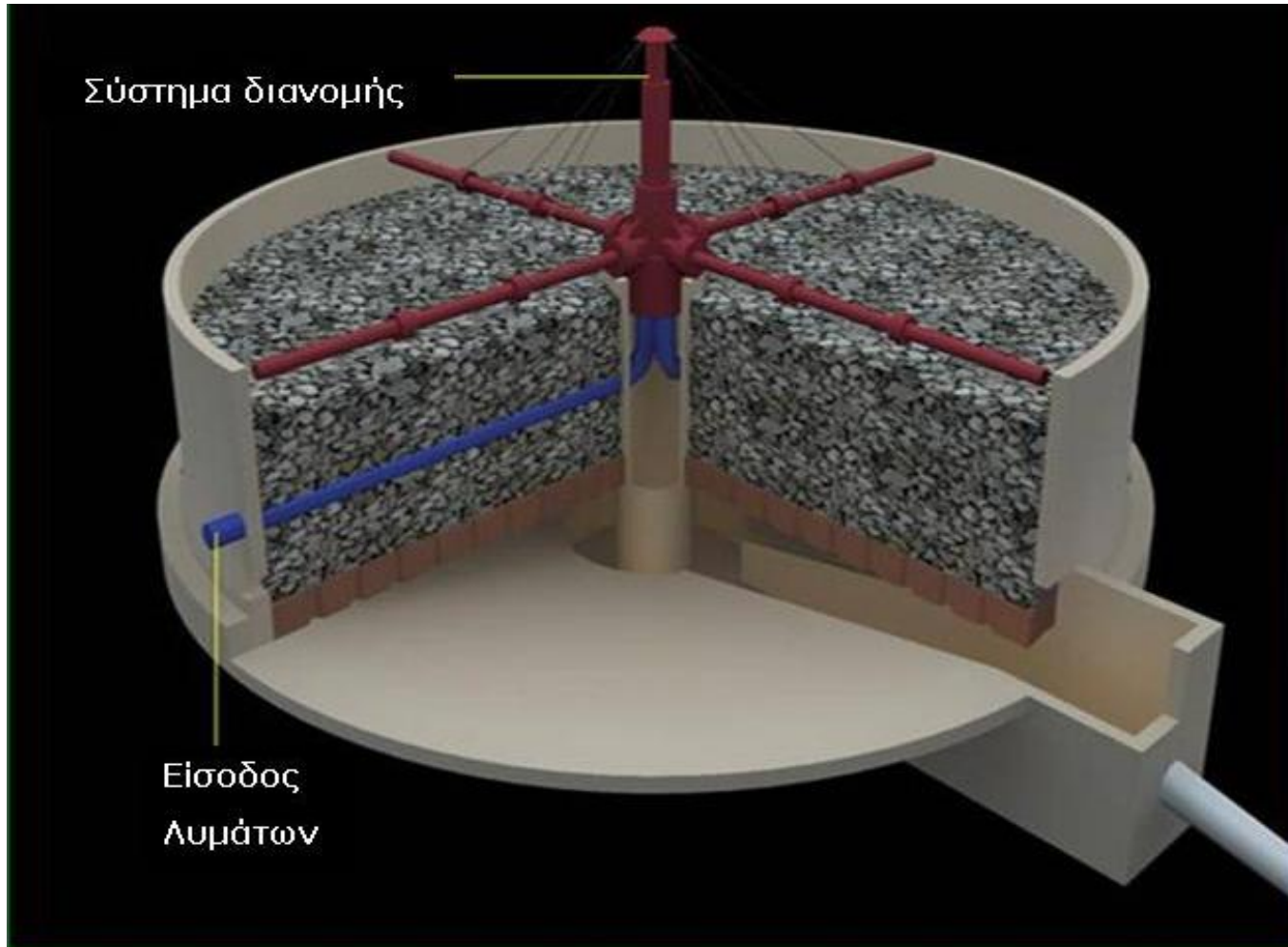
- Κατασκευάζονται είτε μονά είτε διπλά σε σειρά με ενδεχόμενη παρεμβολή δεξαμενής καθίζησης για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών που αποκολλούνται από την επιφάνεια του διηθητικού μέσου και παρασύρονται από τα απόβλητα

➤ Βασικά Χαρακτηριστικά Χαλικοδιυλιστηρίων

❑ **Το σύστημα αποτελείται από πέντε βασικά τμήματα:**

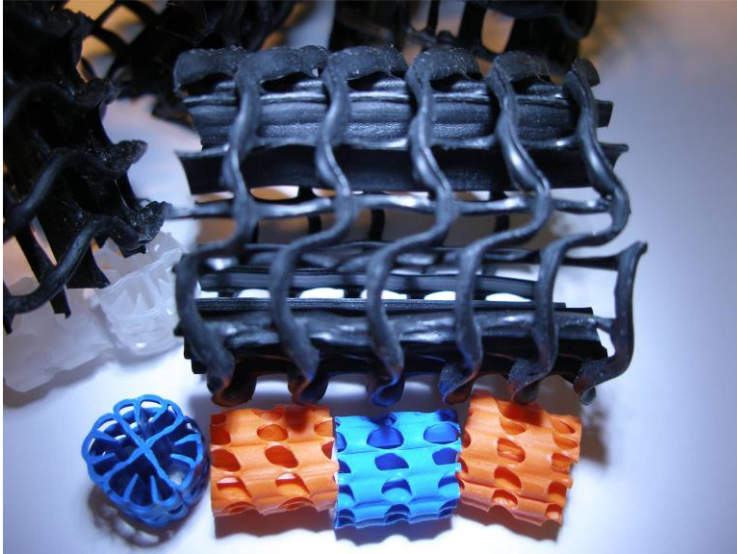
- I. **Κλίνη με πληρωτικό υλικό:** τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι χαλίκια, ξύλο και συνθετικά πλαστικά επάνω στα οποία αναπτύσσονται τα βιοστρώματα
- II. **Εξωτερικό σκελετό:** Συνήθως τσιμέντο και είναι απαραίτητο στις περιπτώσεις που το πληρωτικό υλικό χρειάζεται στήριξη
- III. **Το σύστημα παροχής/διανομής των αποβλήτων:** απαραίτητη η χρήση συστημάτων που εξασφαλίζουν ομοιόμορφη εφαρμογή σε όλη την επιφάνεια του χαλικοδιυλιστηρίου
- IV. **Υπόγειο σύστημα συλλογής επεξεργασμένων αποβλήτων**
- V. **Σύστημα αερισμού:** προαιρετικά μπορεί να ενσωματωθεί μηχανικό σύστημα παροχής αέρα ή το σύστημα παρέχει παθητικό αερισμό

➤ Βασικά Χαρακτηριστικά Χαλικοδιυλιστηρίων

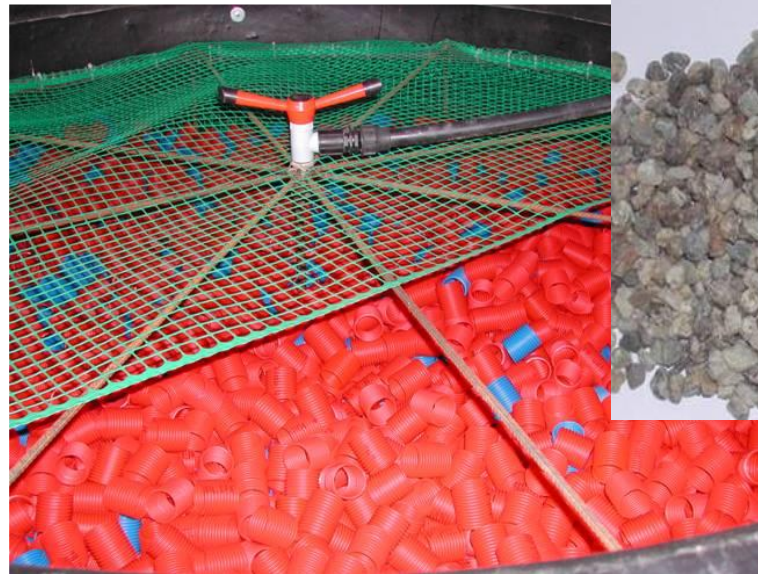


- Οι κλίνες των χαλικοδιυλιστηρίων είναι συνήθως κυκλικές και τα υγρά απόβλητα διοχετεύονται πάνω από το ανώτερο μέρος της κλίνης από έναν περιστροφικό διανομέα

➤ Πληρωτικά Υλικά στα Χαλικοδιυλιστήρια



Γενικά το είδος του πληρωτικού υλικού καθορίζει κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των χαλικοδιυλιστηρίων και το είδος των υγρών αποβλήτων που μπορούν να επεξεργαστούν



➤ Πληρωτικά Υλικά στα Χαλικοδιυλιστήρια

□ Στρογγυλεμένα χαλίκια (διαμ. 2.5-7.5 mm):

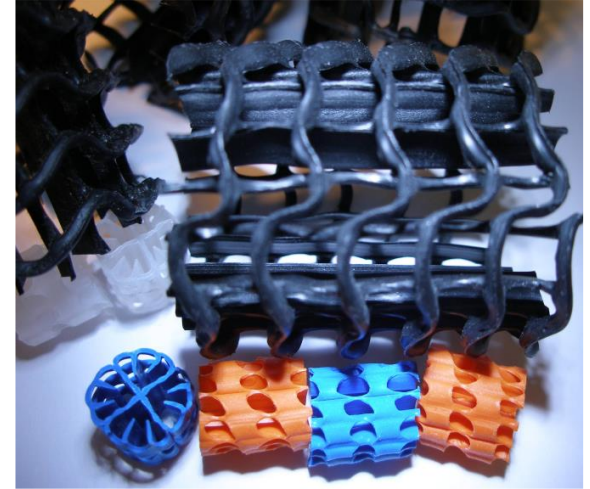
- Λόγω αυξημένου βάρους τους θα πρέπει το βάθος των χαλικοδιυλιστηρίων να είναι max 2 m
- Παρέχουν χαμηλότερη ειδική επιφάνεια ανά μονάδα όγκου και συνεπώς υποστηρίζουν χαμηλές ποσότητες βιομάζας που περιορίζει τη χρήση τους στην **επεξεργασία υγρών αποβλήτων με χαμηλό οργανικό φορτίο**
- Παρέχουν μικρό πορώδες μεταξύ των χαλικιών με αποτέλεσμα να υπάρχει συχνά κίνδυνος απόφραξης των διόδων για αερισμό



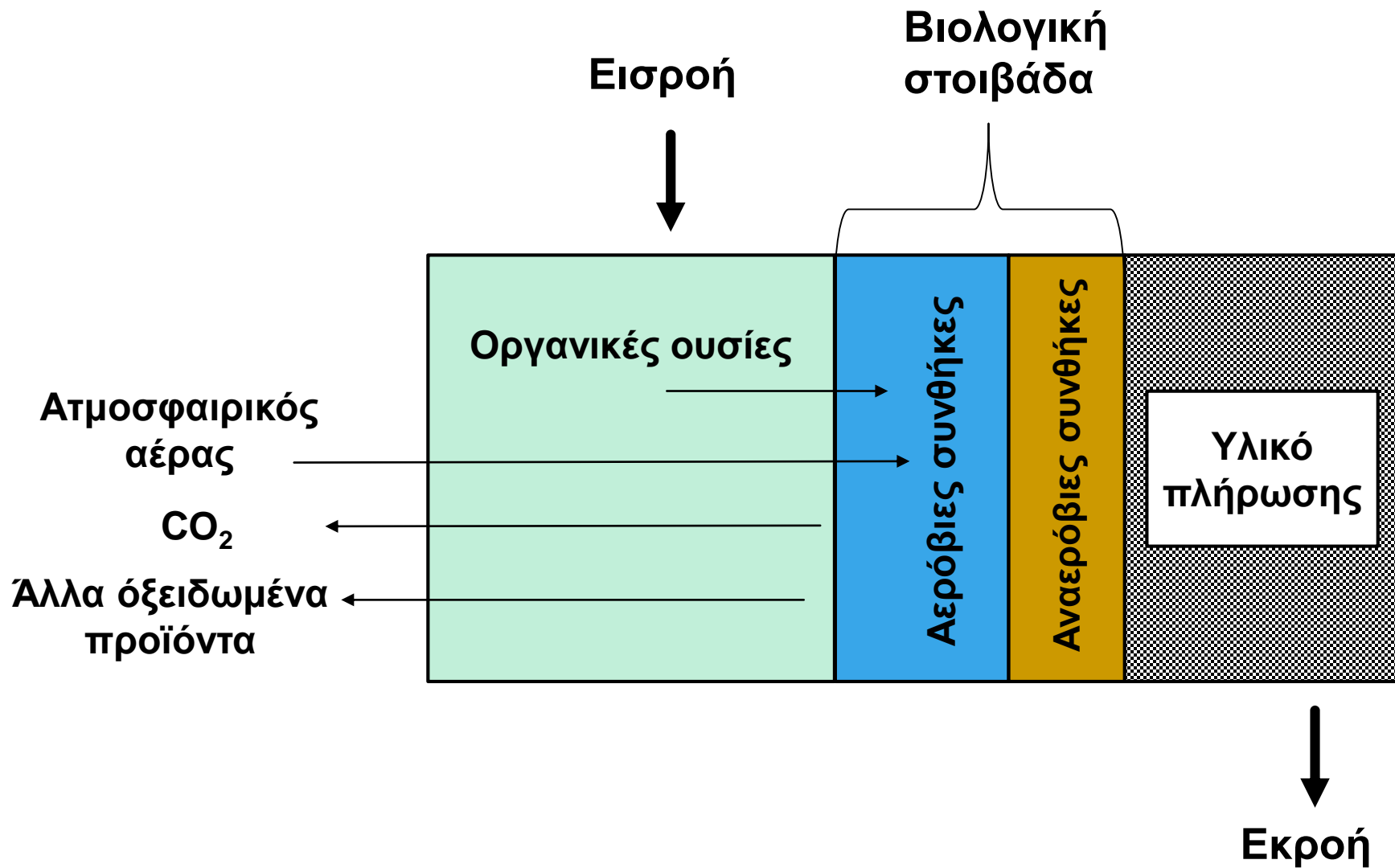
➤ Πληρωτικά Υλικά στα Χαλικοδιυλιστήρια

❑ Πλαστικά πληρωτικά υλικά:

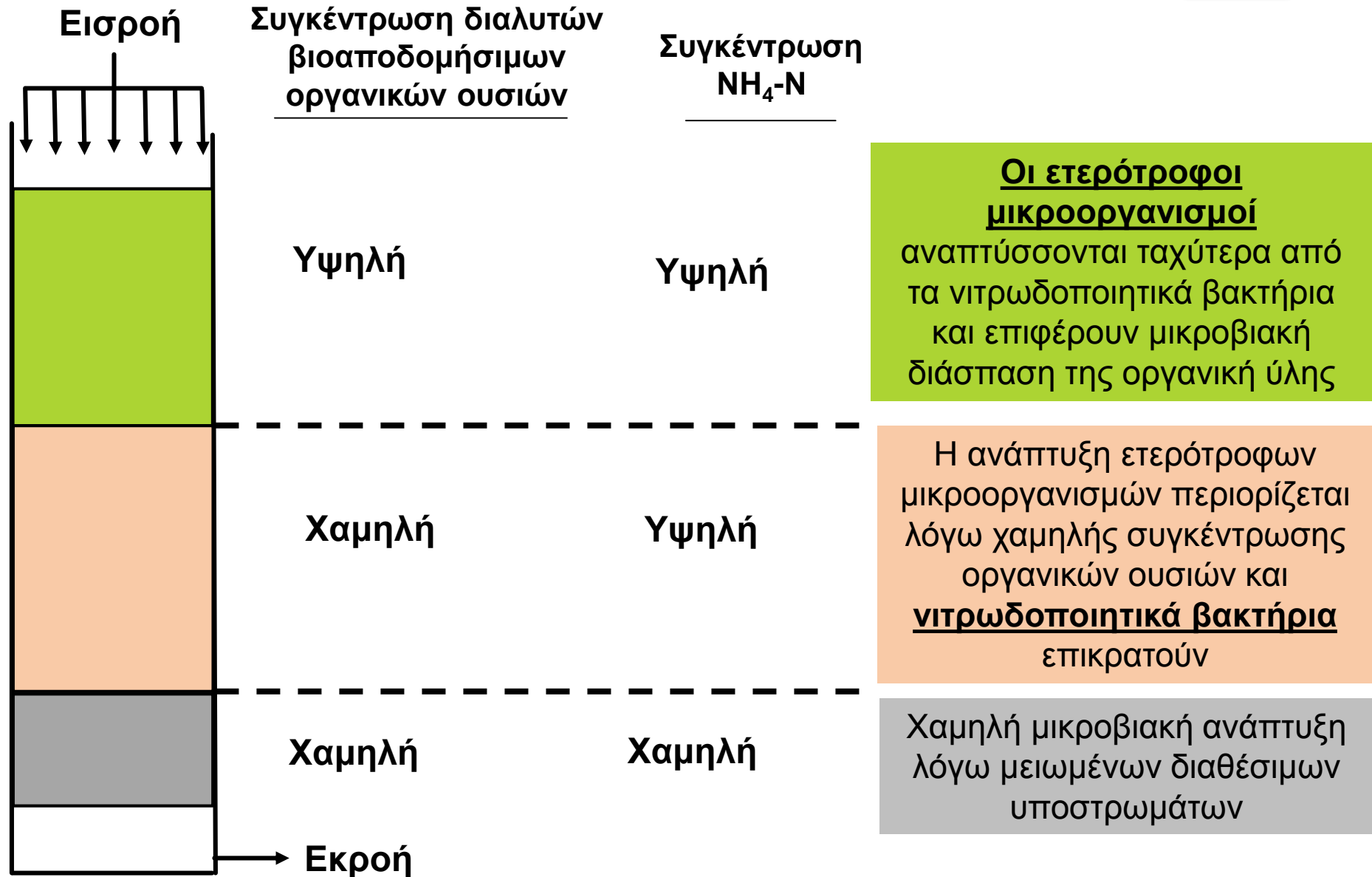
- Χαμηλό βάρος ανά μονάδα όγκου που σημαίνει βάθος χαλικοδιυλιστηρίου ως και 7 m και συνεπώς αυξημένη αποτελεσματικότητα
- Υψηλότερη ειδική επιφάνεια ανά μονάδα όγκου με συνέπεια αυξημένη βιομάζα που δίνει την δυνατότητα χρήσης τους για την **επεξεργασία αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο**
- Αυξημένο πορώδες με αποτέλεσμα καλύτερο αερισμό και περιορισμένο κίνδυνο απόφραξης του συστήματος



➤ Σχηματική απεικόνιση της προσκολλημένης βιομάζας στα χαλικοδουλίστηρια



➤ Χαρακτηριστικά Μικροβιακής Κοινότητας Χαλικοδιυλιστηρίου



➤ Χρήσεις Χαλικοδιυλιστηρίων

- ❑ Τα χαλικοδιυλιστήρια τα τελευταία χρόνια έχουν βρει εφαρμογή:
 - Για τη νιτροποίηση υγρών αποβλήτων
 - Για την επεξεργασία υγρών βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο ως προκαταρκτική μεταχείριση (roughing)
- ❑ Η σχετικά χαμηλή ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων από τα χαλικοδιυλιστήρια οδήγησε στην χρήση των συνδυασμένων συστημάτων Χαλικοδιυλιστηρίων – ΣΕΛ που έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία για βιολογική οξείδωση της οργανικής ύλης των αποβλήτων αλλά και νιτροποίηση

➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα

- Μέθοδος εφαρμογής των αποβλήτων
- Ανακύκλωση των επεξεργασμένων αποβλήτων
- Βάθος του πληρωτικού υλικού**
- Θερμοκρασία**
- Αερισμός**
- Είδος πληρωτικού υλικού
- Σύστημα διανομής των αποβλήτων**
- Προέλευση των υγρών αποβλήτων

➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα

☐ Θερμοκρασία

- Επηρεάζει τη λειτουργικότητα του συστήματος κατά τη χειμερινή περίοδο καθώς χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη
- Η διατήρηση της θερμοκρασίας σε βέλτιστα επίπεδα εξασφαλίζεται με την κάλυψη της επιφάνειας του συστήματος ή την κατασκευή περιφερειακών τοίχων ύψους 1.5-2 m επάνω από το σύστημα διανομής

➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα



☐ Αερισμός

- Μπορεί να πραγματοποιείται μηχανικά με εξωτερικό μηχανισμό όπως τουρμπίνα, έλικα ή φυσικά διαμέσου της διαφοράς περιεκτικότητας σε αέρα μεταξύ των κενών μεταξύ του πληρωτικού υλικού και της ατμόσφαιρας
- Ο φυσικός αερισμός είναι αποτελεσματικός μόνο όταν οι διαφορές σε θερμοκρασία και υγρασία του αέρα στο εσωτερικό και εξωτερικό του συστήματος είναι σημαντική

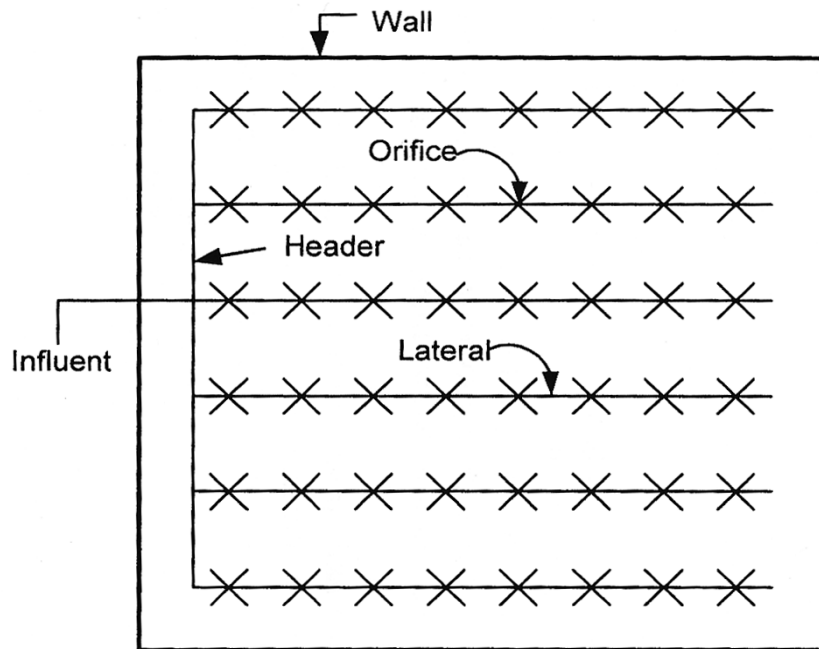
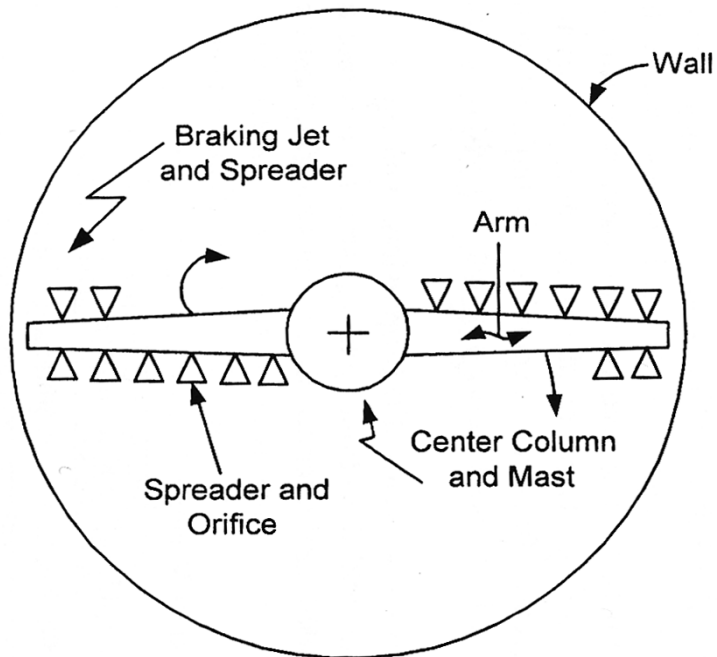
➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα



□ Βάθος πληρωτικού υλικού

- Το βάθος του πληρωτικού υλικού κυμαίνεται από 1.5 m (πληρωτικό υλικό χαλίκι) ως και 7 m (πλαστικά πληρωτικά)
- Γενικά αύξηση του βάθους του συστήματος ως και 4 m αυξάνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος ενώ παραπέρα αύξηση εξυπηρετεί μόνο λειτουργικές ανάγκες

➤ Συστήματα Διανομής Αποβλήτων στα Χαλικοδιυλιστήρια



Περιστρεφόμενος διανομέας

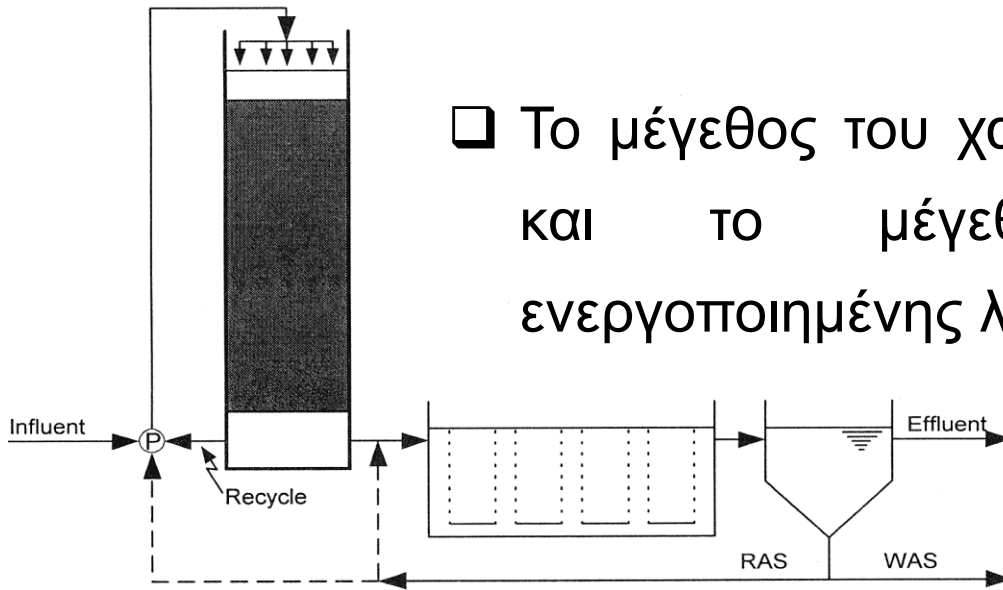
Διανομέας Σταθερών Ψεκαστήρων

- ❑ Ο **περιστρεφόμενος διανομέας** είναι πιο αποτελεσματικός διότι εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή των αποβλήτων σε όλη την επιφάνεια του συστήματος και δεν παρουσιάζει προβλήματα απόφραξης από στερεά σωματίδια

➤ Συγκέντρωση διαλυτών στερεών στα υγρά απόβλητα

- ❑ Η μειωμένη ικανότητα των χαλικοδιυλιστηρίων να περιορίζουν την συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών στα υγρά απόβλητα έχει περιορίσει σημαντικά την εφαρμογή τους και για τον λόγο αυτό έχουν υιοθετηθεί συνδυασμένα συστήματα Χαλικοδιυλιστηρίων – Ενεργοποιημένης Λάσπης

➤ Συνδυασμός Χαλικοδιυλιστηρίου – ΣΕΛ



❑ Το μέγεθος του χαλικοδιυλιστηρίου καθορίζει και το μέγεθος του συστήματος ενεργοποιημένης λάσπης

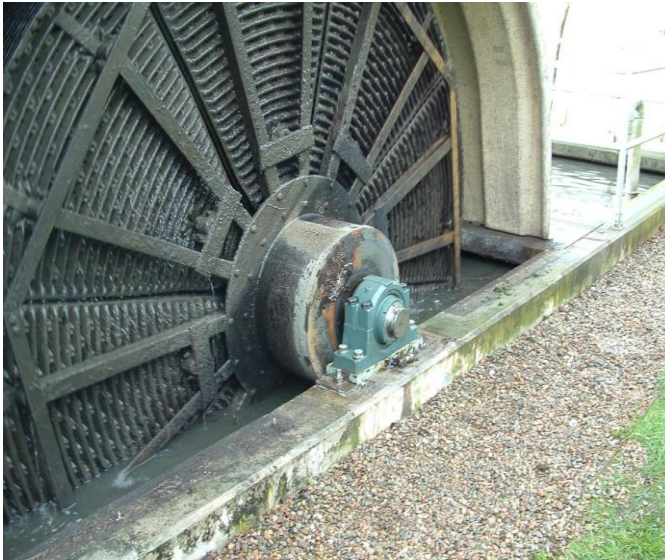
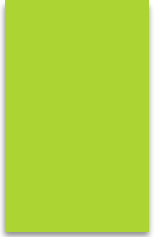
- ❑ Τα απόβλητα αρχικά προστίθενται σε χαλικοδιυλιστήριο και τα εξερχόμενα απόβλητα μαζί με βιομάζα διοχετεύονται σε σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης όπου το 60-90% της βιομάζας στην κυρίως δεξαμενή προέρχεται από το χαλικοδιυλιστήριο
- ❑ Η ενεργοποιημένη λάσπη επαναπροστίθεται είτε στην δεξαμενή του συστήματος ενεργοποιημένης λάσπης είτε στο χαλικοδιυλιστήριο



➤ Τύποι Βιοαντιδραστήρων Βιοστρωμάτων

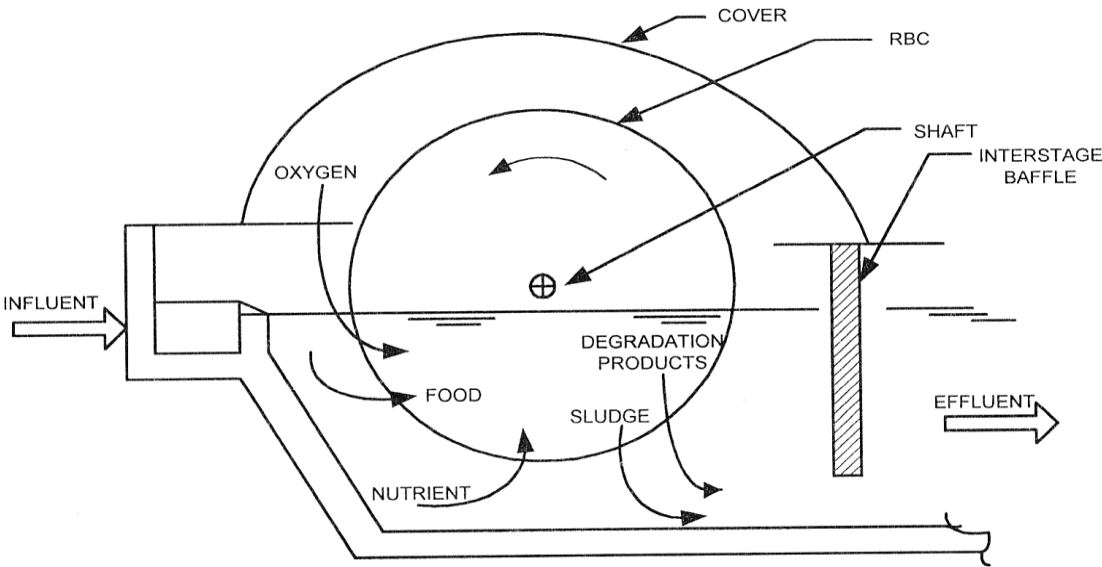
- ❑ Χαλικοδιυλιστήρια (Tricling Filters)
- ❑ **Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι (Rotating Biological Contactors)**
- ❑ Βιοαντιδραστήρες Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων

➤ Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι



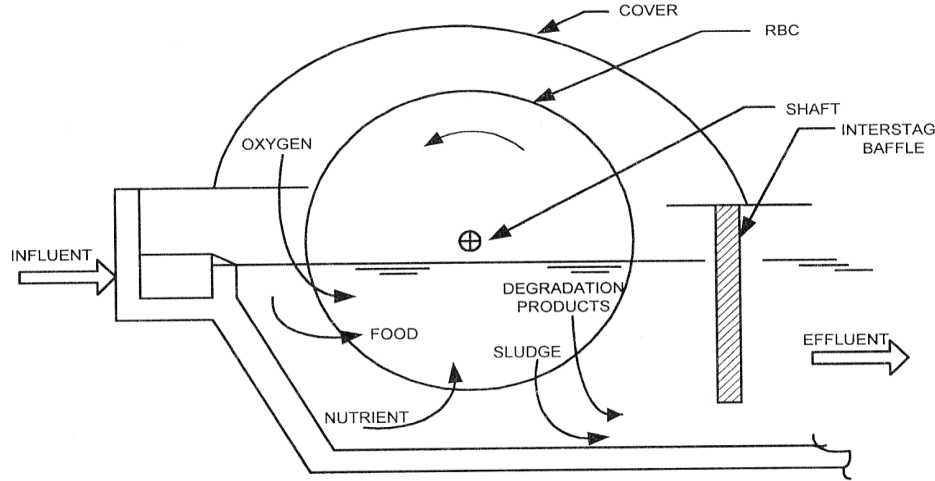
- Μια διάταξη κυκλικών δίσκων από πολυστυρένιο ή πολυβινιλοχλωρίδιο, τοποθετημένων πολύ κοντά μεταξύ τους, που βυθίζονται στο απόβλητο και περιστρέφονται μέσα σε αυτό
- Κατά τη λειτουργία τους οι μικροοργανισμοί προσκολλούνται στην επιφάνεια των δίσκων και σχηματίζουν βιοφίλμ

➤ Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι



- ❑ Είναι αερόβια συστήματα που αποτελούνται από πλαστικούς δίσκους με επιφανειακές ρίγες οι οποίοι είναι εμβαπτισμένοι κατά 40% στα υγρά απόβλητα και περιστρέφονται αργά (2 στροφές/min) ώστε η βιομάζα που αναπτύσσεται επί των δίσκων να εκτίθεται εναλλακτικά στην ατμόσφαιρα και στα υγρά απόβλητα => **περιοδική επαφή με οργανική ουσία και ατμοσφαιρικό αέρα**

➤ Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά



- ❑ Φέρουν ειδικό καπάκι από υαλονήμα (fiber glass) για φυσική προστασία και επιτάχυνση της διεργασίας => ευνοϊκές συνθήκες διαβίωσης για τους μικροοργανισμούς και προστασία συστήματος από ακραία καιρικά φαινόμενα
- ❑ Οι δίσκοι συνήθως κατασκευάζονται από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο και επιφανειακά παρουσιάζουν ρίγες όπως και τα μέσα που χρησιμοποιούνται στα χαλικοδιυλιστήρια. Οι ρίγες αυξάνουν την επιφάνεια για ανάπτυξη βιομάζας

➤ Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά

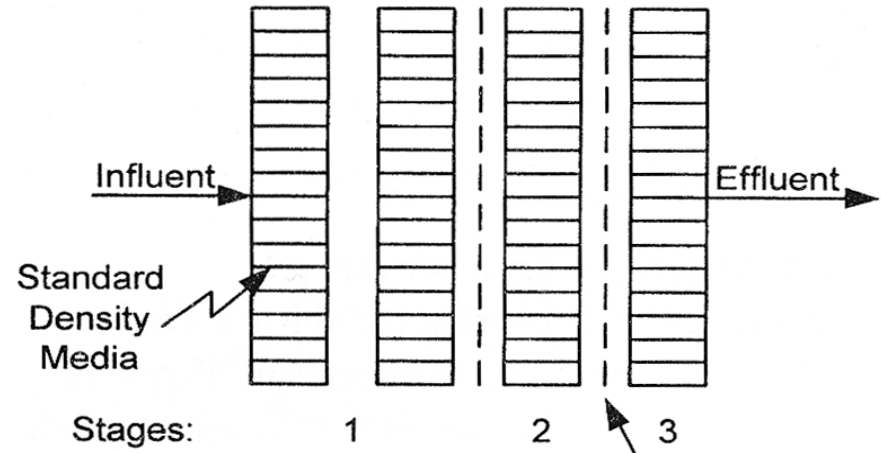
- ❑ Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των δίσκων διαχωρίζονται σε κανονικής πυκνότητας υλικά που παρέχουν μεγάλη επιφάνεια για ανάπτυξη βιομάζας και σε υψηλής πυκνότητας υλικά που παρέχουν πολύ μεγάλη επιφάνεια για την ανάπτυξη της βιομάζας
- ❑ Τα κανονικής πυκνότητας υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δίσκων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία σχετικά αραιών αποβλήτων με **χαμηλό οργανικό φορτίο**
- ❑ Αντίθετα τα υψηλής πυκνότητας υλικά χρησιμοποιούνται για δίσκους που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αποβλήτων **υψηλού οργανικού φορτίου**

➤ Χρήσεις

- ❑ Για βιολογική οξείδωση οργανικής ουσίας
- ❑ Για συνδυασμό βιολογικής οξείδωσης οργανικής ουσίας και νιτροποίησης
- ❑ Σαν αυτόνομα συστήματα νιτροποίησης
- ❑ Η χρήση τους κυρίως έγκειται σε δευτερογενή μεταχείριση αποβλήτων που έχουν υποστεί κάποια πρωτογενή επεξεργασία και έχει αποδειχθεί ότι μπορούν αποτελεσματικά να ελαττώσουν σημαντικά το BOD₅ τέτοιων αποβλήτων σε επίπεδα < 30 mg/L

➤ Βιολογική οξείδωση οργανικής ουσίας

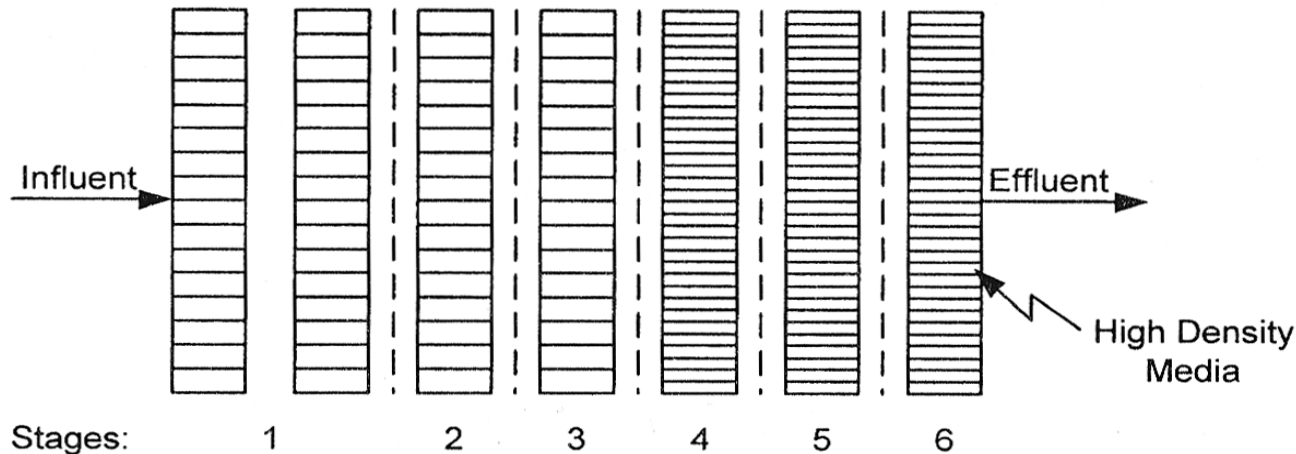
□ Για τέτοιες χρήσεις χρησιμοποιείται σειρά βιολογικών δίσκων που διαχωρίζονται μεταξύ τους σε στάδια (3 έως 6 συνήθως) με την βοήθεια κατάλληλων διαχωριστικών



- Το πρώτο στάδιο αποτελείται από δύο μονάδες δίσκων από υλικό κανονικής πυκνότητας ενώ τα υπόλοιπα δύο στάδια αποτελούνται από ένα δίσκο και διαχωρίζονται μεταξύ τους με διαχωριστικά
- Χρησιμοποιούνται για την οξείδωση της οργανικής ουσίας υγρών αποβλήτων μέτριου οργανικού φορτίου

➤ Συνδυασμός Βιολογικής Οξειδωσης - Νιτροποίησης

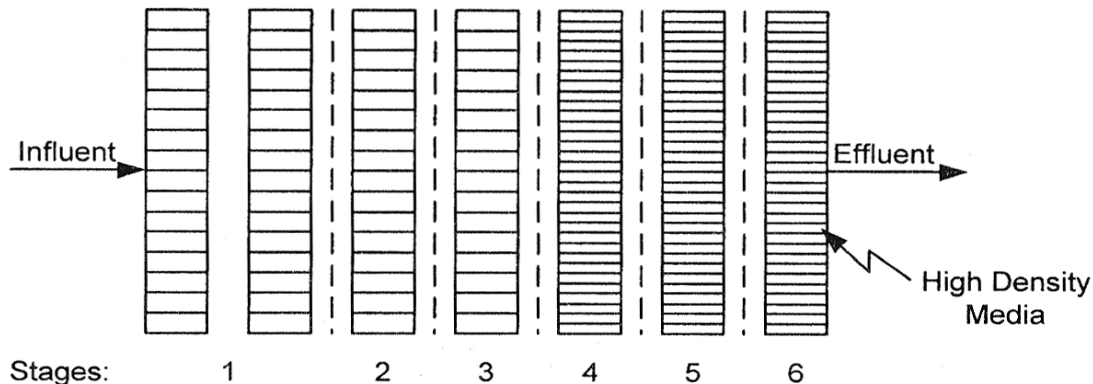
- ❑ Στα πρώτα στάδια του συστήματος λαμβάνει χώρα η βιολογική οξείδωση της οργανικής ύλης από ετερότροφα βακτήρια τα οποία αναπτύσσονται ταχύτατα επί των δίσκων λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου των αποβλήτων που εισέρχονται στο σύστημα επεξεργασίας



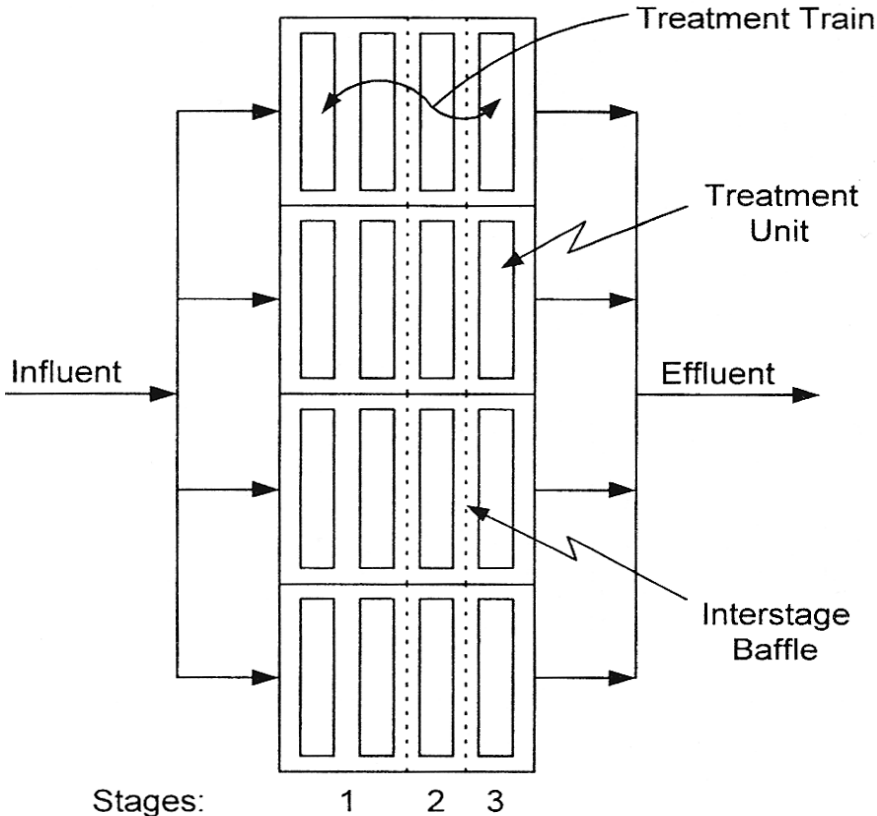
➤ Συνδυασμός Βιολογικής Οξείδωσης - Νιτροποίησης



- ❑ Στα τελικά στάδια του συστήματος πραγματοποιείται νιτροποίηση από νιτροδοποιητικούς μικροοργανισμούς που οποία ευνοούνται λόγω του χαμηλού πλέον οργανικού φορτίου των αποβλήτων στα τελευταία στάδια του συστήματος και δημιουργούν λεπτά βιοστρώματα
- ❑ Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να ακολουθεί και ένα τελευταίο στάδιο απονιτροποίησης. Στο στάδιο αυτό οι ΠΒΔ βρίσκονται πλήρως βυθισμένοι στην υγρή μάζα (ανοξικές συνθήκες) και είναι απαραίτητη η ύπαρξη πηγής άνθρακα (δότης e⁻)



➤ Τυπικό σύστημα Περιστρεφόμενων Βιολογικών Δίσκων



- Μια τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με ΠΒΔ απαρτίζεται από διάφορες σε σειρά τοποθετημένες μονάδες ΠΔ που η κάθε μια αποτελεί ένα διακριτό στάδιο επεξεργασίας
- Η υγρή μάζα των αποβλήτων καθώς περνά διαδοχικά από κάθε στάδιο υφίσταται έναν προοδευτικά αυξανόμενο καθαρισμό λόγω των μικροοργανισμών του κάθε σταδίου



- Στα πρώτα στάδια λόγω του υψηλότερου οργανικού φορτίου η βιομάζα των δίσκων αποτελείται από ποικιλία ετερότροφων βακτηρίων. Στα μεταγενέστερα στάδια εμφανίζονται επίσης πρωτόζωα και νιτροποιητικά βακτήρια

➤ Χρήση ΠΒΔ για Νιτροποίηση

❑ Οι ΠΒΔ βρίσκουν εφαρμογή και ως αυτόνομες μονάδες για τη νιτροποίηση υγρών αποβλήτων που περιέχουν χαμηλό οργανικό φορτίο και υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας



❑ Οι ΠΒΔ έχουν δοκιμαστεί και για την απονιτροποίηση νιτροποιημένων αποβλήτων αλλά δεν έχουν βρει εφαρμογή. Στην περίπτωση αυτή οι δίσκοι είναι πλήρως εμβαπτισμένοι στα υγρά απόβλητα και το σύστημα καλύπτεται επιφανειακά ώστε να περιοριστεί η διάχυση αέρα και να διαμορφωθούν ανοξικές συνθήκες

➤ Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των ΠΒΔ

- **Οργανικό φορτίο**
- Υδραυλικό φορτίο
- **Διαχωρισμός σταδίων**
- Θερμοκρασία
- Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων
- **Χαρακτηριστικά των βιοστρωμάτων**



➤ Οργανικό Φορτίο



- ❑ Το οργανικό φορτίο των αποβλήτων επηρεάζει το είδος των μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν σε βιοστρώματα
- ❑ Σε υψηλά οργανικά φορτία παρατηρείται δυσλειτουργία του συστήματος λόγω αυξημένης βιομάζας που επιβαρύνει την περιστροφή των δίσκων ή αυξημένη αποκόλληση της βιομάζας ή σταδιακή επικράτηση αναερόβιων συνθηκών

➤ Διαχωρισμός Σταδίων

- ❑ Ο διαχωρισμός των συστημάτων ΠΒΔ σε στάδια αυξάνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος καθώς διαχωρίζει τις διάφορες διεργασίες ιδιαίτερα σε συστήματα βιολογικής οξείδωσης και νιτροποίησης
- ❑ Με το διαχωρισμό στα πρώτα στάδια έχουμε τη μείωση του οργανικού φορτίου από τα ετερότροφα βακτήρια ($\text{COD} < 15 \text{ mg/L}$) και στα επόμενα στάδια λόγω του χαμηλού οργανικού φορτίου επικρατούν οι νιτροδοποιητικοί μικροοργανισμοί που μετατρέπουν την αμμωνία σε νιτρικά

➤ Χαρακτηριστικά Μικροβιακής Κοινότητας στους ΠΒΔ

- ❑ Όταν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων είναι υψηλό επικρατούν ετερότροφα βακτήρια που δημιουργούν ένα γκρι-καφέ βιοστρώμα
- ❑ Όταν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων είναι χαμηλό επικρατούν τα νιτροποιητικά βακτήρια που δημιουργούν ένα κόκκινο-καφέ βιοστρώμα



➤ Μικροβιολογία συστημάτων ΠΒΔ

□ Προβλήματα στην λειτουργία του συστήματος:

- Επικράτηση βακτηρίων *Beggiatoa* sp. (ινώδη βακτήρια) που δημιουργούν λευκό βιοστρώμα στους δίσκους το οποίο είναι συμπαγές, δεν αποκολλάται, και συνεχίζει να αυξάνεται επιβαρύνοντας την περιστροφή των δίσκων
- Τα *Beggiatoa* αποκομίζουν ενέργεια από την οξείδωση H_2S το οποίο εάν περιέχεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα απόβλητα ή παράγεται ενδογενώς (αναερόβιες συνθήκες) τους επιτρέπει να επικρατήσουν των ετερότροφων βακτηρίων



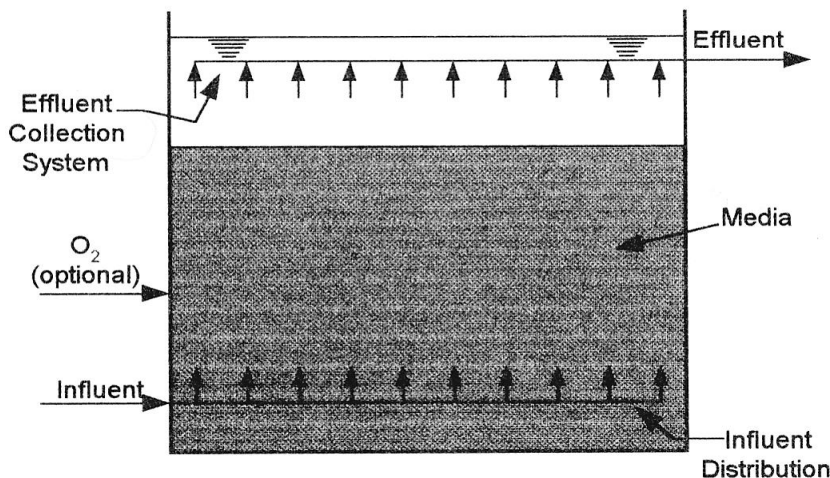
➤ Τύποι Βιοαντιδραστήρων Βιοστρωμάτων

- ❑ Χαλικοδιυλιστήρια (Tricling Filters)
- ❑ Περιστρεφόμενοι Βιολογικοί Δίσκοι (Rotating Biological Contactors)
- ❑ ***Βιοαντιδραστήρες Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων***

➤ Βιοαντιδραστήρες Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων

□ Τα βασικά τμήματα είναι:

- Δεξαμενή βιο-αντιδραστήρα
- Πληρωτικό υλικό για ανάπτυξη της βιομάζας
- Σύστημα εισαγωγής υγρών αποβλήτων
- Σύστημα συλλογής υγρών αποβλήτων
- Σύστημα παροχής οξυγόνου (προαιρετικό)



➤ Βιοαντιδραστήρες εμβαπτισμένων βιοστρωμάτων

- ❑ Η ροή των υγρών αποβλήτων μπορεί να είναι ανοδική ή καθοδική
- ❑ Η οργανική ουσία που περιέχεται στα υγρά απόβλητα έρχεται σε επαφή με την βιομάζα που αναπτύσσεται επάνω στο πληρωτικό υλικό του βιοαντιδραστήρα
- ❑ Το πληρωτικό υλικό μπορεί να είναι **πακεταρισμένο** (άργιλος, κλίνες από πολυστυρένιο) ή **ρευστοποιημένο** (άμμος, κοκκώδες ενεργός άνθρακας)

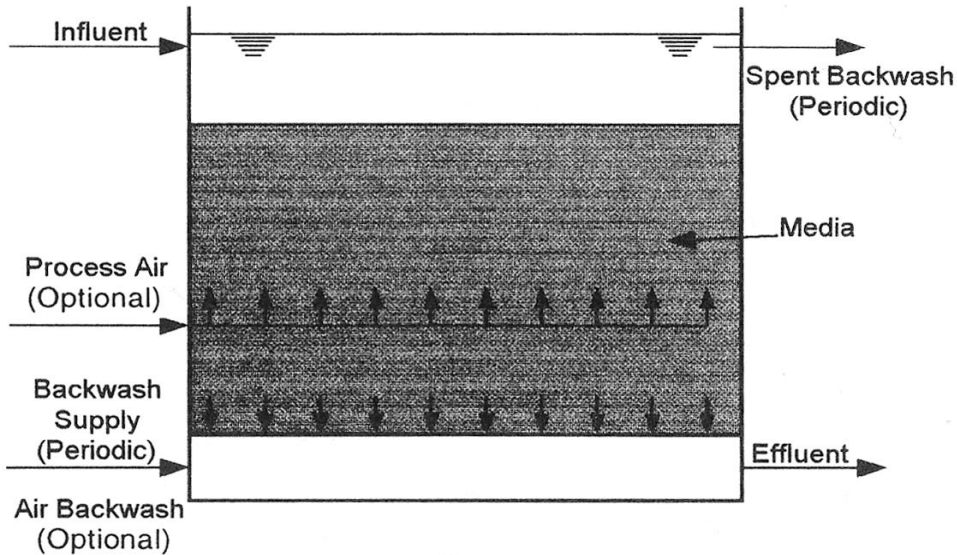
➤ Βιοαντιδραστήρες εμβαπτισμένων βιοστρωμάτων

- ❑ Βασικό πλεονέκτημα: τα πληρωτικά υλικά που παρέχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια ανά μονάδα όγκου (m^2/m^3) για την ανάπτυξη της βιομάζας που είναι διπλάσια της αντίστοιχης επιφάνειας που παρέχουν άλλα συστήματα βιοστρωμάτων
- ❑ Τα συστήματα αυτά υποστηρίζουν συνήθως υψηλές ποσότητες βιομάζας με συνέπεια η επιθυμητή μείωση του οργανικού φορτίου να επιτυγχάνεται σε λιγότερο χρονικό διάστημα, **αρά μικρότερο χρόνο κατακράτησης των αποβλήτων**

➤ Βιοαντιδραστήρες εμφατισμένων βιοστρωμάτων

- Καθοδικής Ροής Πακεταρισμένες Κλίνες (Downflow Packed Bed Bioreactors)
- Ανοδικής Ροής Πακεταρισμένες Κλίνες (Upflow Packed Bed Bioreactors)
- Ρευστοποιημένες Βιολογικές Κλίνες (Fluidized Bed Bioreactors)
- Υβριδικά συστήματα

➤ Καθοδικής Ροής Πακεταρισμένες Κλίνες

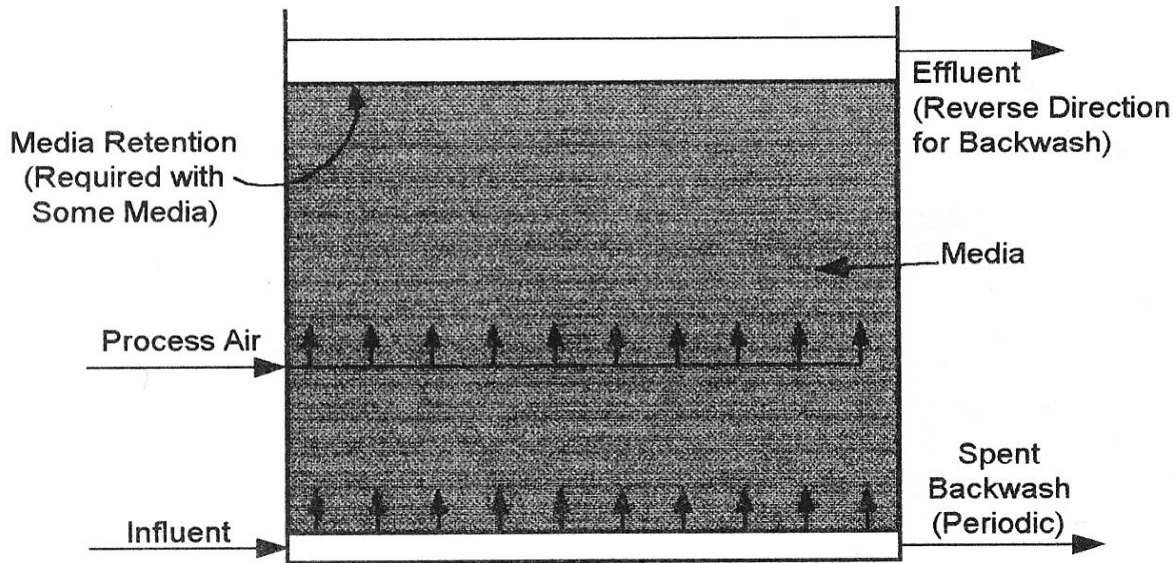


- ❑ Τα απόβλητα εφαρμόζονται από την κορυφή του συστήματος και διαχέονται διαμέσου του πληρωτικού υλικού επάνω στο οποίο έχει αναπτυχθεί η βιομάζα, με χαμηλές ταχύτητες ώστε να μην προκαλείται αποκόλληση της βιομάζας αλλά παράλληλα να κατακρατούνται τα στερεά σωματίδια που περιέχονται στα υγρά απόβλητα (διηθητική δράση)

➤ Καθοδικής Ροής Πακεταρισμένες Κλίνες

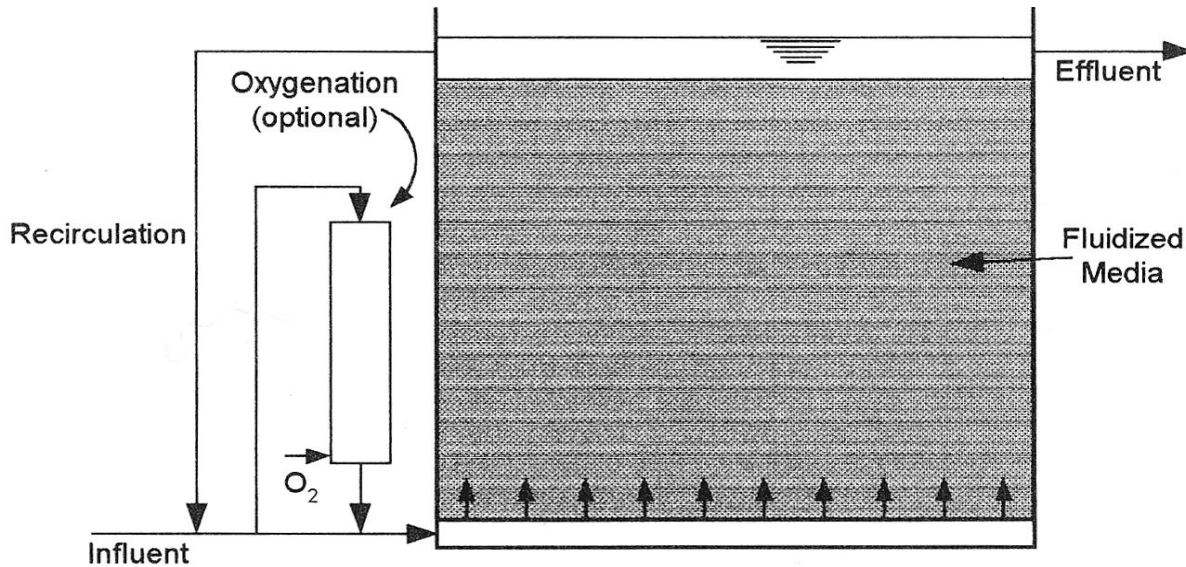
- ❑ Καλή λειτουργία του συστήματος εξασφαλίζεται με το περιοδικό πλύσιμο του εσωτερικού του συστήματος με αντίστροφη ροή νερού στο σύστημα το οποίο συλλέγεται από την κορυφή
- ❑ Στο σύστημα μπορεί να παρέχεται και αερισμός ή όχι ανάλογα με το είδος της διεργασίας που επιθυμούμε

➤ Ανοδικής Ροής Πακεταρισμένες Κλίνες



- ❑ Παρόμοια κατασκευαστικά με το σύστημα καθοδικής ροής με τη διαφορά ότι η ροή εδώ είναι ανοδική
- ❑ Τα συστήματα αερισμού και τα πληρωτικά υλικά των κλινών είναι τα ίδια με τις κλίνες καθοδικής ροής

➤ Ρευστοποιημένες Βιολογικές Κλίνες

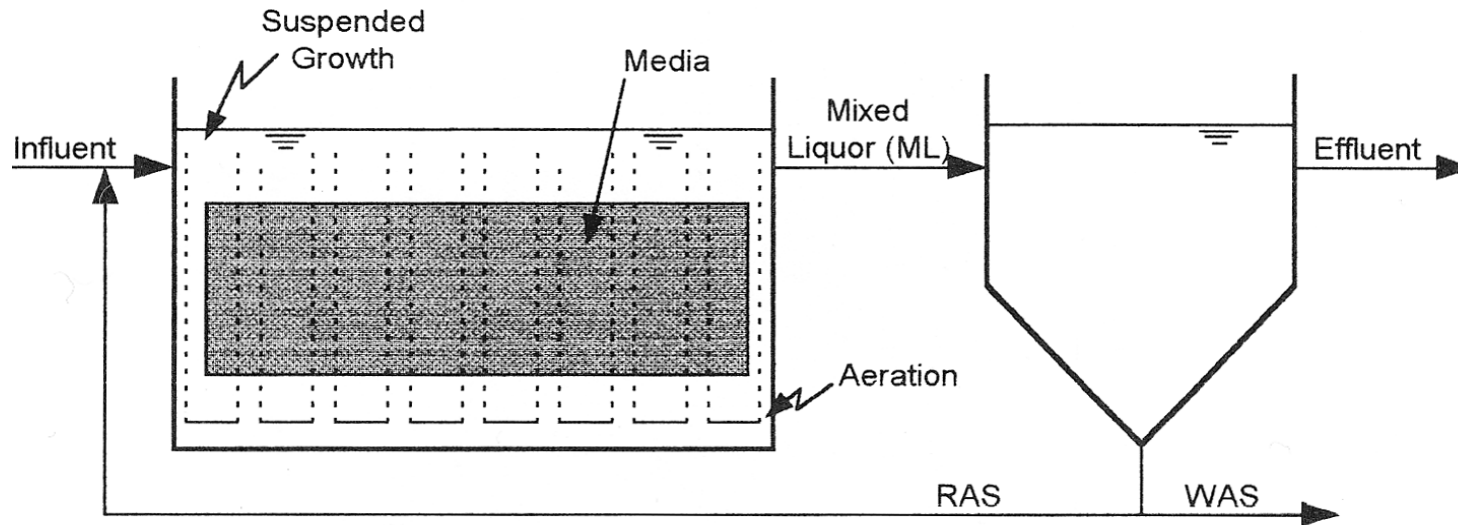


- ❑ Μίγμα μη επεξεργασμένων και επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προστίθενται ομοιόμορφα από τον πυθμένα του συστήματος και με ανοδική ροή ρευστοποιούν το πληρωτικό υλικό της κλίνης (άμμος διαμέτρου 0.3-0.7 mm ή κοκκώδες ενεργός άνθρακας διαμέτρου 0.6-1.4 mm) επάνω στο οποίο αναπτύσσεται η βιομάζα του συστήματος

➤ Ρευστοποιημένες Βιολογικές Κλίνες

- ❑ Το βασικό χαρακτηριστικό των ρευστοποιημένων βιολογικών κλινών είναι ότι τα λεπτόκοκκα σωματίδια επί των οποίων έχει αναπτυχθεί περίσσεια βιομάζας παρασύρονται με την ανοδική πορεία των αποβλήτων στην κορυφή του συστήματος και απομακρύνονται περιοδικά σε κατάλληλες εγκαταστάσεις όπου οι κόκκοι του πληρωτικού υλικού καθαρίζονται από την βιομάζα και επιστρέφονται στην κλίνη

➤ Υβριδικά συστήματα βιοστρωμάτων - βιοκροκύδων



- ❑ Αποτελείται από σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης στο οποίο έχει ενσωματωθεί πληρωτικό υλικό για την ανάπτυξη βιομάζας. Η διαλυτοποιημένη βιομάζα απομακρύνεται στην δεξαμενή διαχωρισμού και ανακυκλώνεται όπως στα ΣΕΛ
- ❑ Η προσθήκη του πληρωτικού υλικού παρέχει στο σύστημα αυξημένη βιομάζα που συνεπάγεται αυξημένη οξείδωση των υγρών αποβλήτων

➤ Υβριδικά συστήματα βιοστρωμάτων - βιοκροκύδων

- ❑ Τα πληρωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται στα χαλικοδιυλιστήρια όπως Ringlace® που είναι σπειροειδής κατασκευή από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και μπορεί να υποστηρίξει υψηλές ποσότητες βιομάζας
- ❑ Εναλλακτικά αντί του Ringlace® μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρά δοχεία από πολυουραιθάνιο τα οποία επιπλέουν εντός του συστήματος και παραμένουν σε αιώρηση με την βοήθεια του συστήματος αερισμού

➤ Υβριδικά συστήματα βιοστρωμάτων - βιοκροκύδων

- ❑ Τυπικό παράδειγμα επεξεργασίας με μεθόδους ενεργοποιημένης λάσπης με αιωρούμενο υλικό πλήρωσης περιλαμβάνει τη διεργασία Captor
- ❑ Χρησιμοποιεί στρώμα αφρού πολυουρεθάνης στη δεξαμενή αερισμού Σ.Ε.Λ. ώστε να παρέχει μια μεγάλη εξωτερική επιφάνεια για τη μικροβιακή ανάπτυξη για τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

➤ Χρήσεις Βιοαντιδραστήρων Εμβαπτισμένων Βιοστρωμάτων

- ❑ Οι ρευστοτοποιημένες κλίνες χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση οργανικής ουσίας από βιομηχανικά απόβλητα
- ❑ Οι πακεταρισμένες κλίνες συνήθως χρησιμοποιούνται για την βιολογική οξείδωση της οργανικής ύλης των υγρών αποβλήτων και πρόσφατα στην βιολογική απομάκρυνση N, P
- ❑ Τα υβριδικά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων όπως η διεργασία Carpor και διάφορες παραλλαγές