

Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

Διάλεξη 5

*Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία
Υγρών Αποβλήτων -
Συστήματα Βιολογικών Κροκύδων -
Σύστημα Ενεργοποιημένης Λάσπης*

➤ Στάδια Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

➤ Πρωτοβάθμια ή Μηχανική Επεξεργασία

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

Το κατεξοχήν στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων όπου χρησιμοποιείται η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών για την μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων

➤ Τριτοβάθμια Επεξεργασία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟ

- Η κατανόηση των βιοχημικών δραστηριοτήτων των μικροοργανισμών είναι βασική για τον σχεδιασμό μιας βιολογικής διεργασίας ή για την επιλογή του είδους της βιολογικής επεξεργασίας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.
- I. Γενικές **διατροφικές απαιτήσεις** των μικροοργανισμών που συναντώνται συχνότερα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.
- II. Η φύση του **μικροβιακού μεταβολισμού** ανάλογα με την ανάγκη για μοριακό οξυγόνο.

➤ Πηγές άνθρακα για μικροβιακή αύξηση

- ❑ Ένας οργανισμός προκειμένου να συνεχίσει να αναπαράγεται και να λειτουργεί κανονικά πρέπει να έχει πηγές ενέργειας, άνθρακα για τη σύνθεση νέου κυτταρικού υλικού και θρεπτικών στοιχείων.
- ❑ Οι μικροοργανισμοί λαμβάνουν τον άνθρακα για την αύξηση των κυττάρων είτε από οργανική υλή είτε από το διοξείδιο του άνθρακα.
- ❑ Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα για τον σχηματισμό νέας βιομάζας καλούνται **ετερότροφοι**.
- ❑ Οι οργανισμοί που παράγουν κυτταρικό άνθρακα από το διοξείδιο του άνθρακα καλούνται **αυτότροφοι**.

➤ Πηγές άνθρακα για μικροβιακή αύξηση

□ Η μετατροπή του CO_2 σε ενώσεις κυτταρικού άνθρακα απαιτεί μια αναγωγική διαδικασία, η οποία με τη σειρά της απαιτεί καθαρή εισροή ενέργειας

=> Οι αυτότροφοι οργανισμοί πρέπει να ξοδεύουν περισσότερη ενέργεια για σύνθεση απ' ότι οι ετερότροφοι με αποτέλεσμα χαμηλότερη γενικά απόδοση σε βιομάζα και σε ρυθμό ανάπτυξης

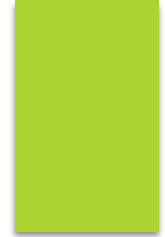
➤ Πηγές Ενέργειας

- Η ενέργεια που απαιτείται για την κυτταρική σύνθεση μπορεί να προέλθει από το **φώς** ή από αντιδράσεις **χημικής οξειδωσης** (οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις)
- Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν το φως ως πηγή ενέργειας καλούνται **φωτότροφοι** και μπορεί να είναι ετερότροφοι (ορισμένα βακτήρια αναγωγής του θείου) ή αυτότροφοι (φύκη και φωτοσυνθετικά βακτήρια)
- Οι οργανισμοί που αντλούν την ενέργεια τους από χημικές αντιδράσεις καλούνται **χημειότροφοι** και μπορεί κι αυτοί να είναι ετερότροφοι (πρωτόζωα, μύκητες και τα περισσότερα βακτήρια) ή αυτότροφοι (νιτροδοποιητικά βακτήρια και αρχαία, νιτροκοποιητικά βακτήρια)

➤ Πηγές Ενέργειας

- ❑ Οι αντιδράσεις με τις οποίες οι χημειότροφοι παράγουν ενέργεια είναι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα **δότη ηλεκτρονίων** σε ένα **δέκτη ηλεκτρονίων**
- ❑ Ο δότης ηλεκτρονίων οξειδώνεται και ο δέκτης ηλεκτρονίων ανάγεται
- ❑ Οι δότες και οι δέκτες ηλεκτρονίων μπορεί να είναι οργανικές ή ανόργανες ενώσεις ανάλογα με το μικροοργανισμό

➤ Πηγές Ενέργειας



- ❑ Ο δέκτης ηλεκτρονίων μπορεί να είναι διαθέσιμος μέσα στο κύτταρο κατά το μεταβολισμό (**ενδογενής**) ή μπορεί να λαμβάνεται από το εξωτερικό περιβάλλον του κυττάρου (δλδ διαλυμένο οξυγόνο) (**εξωγενής**)
- ❑ Οι οργανισμοί που παράγουν ενέργεια με τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω της παρεμβολής ενζύμου σε ένα εξωτερικό δέκτη ηλεκτρονίων θεωρείται ότι έχουν **αναπνευστικό μεταβολισμό**
- ❑ Η χρήση εσωτερικού δέκτη ηλεκτρονίων καλείται **μεταβολισμός ζύμωσης** και είναι μια λιγότερο αποδοτική διεργασία σε ενέργεια από την αναπνοή (χαμηλότερους ρυθμούς αύξησης και κυτταρική παραγωγή)

➤ Δότης ηλεκτρονίων

- ❑ Συνήθης δότης ηλεκτρονίων για τους ετερότροφους μικροοργανισμούς είναι οι **οργανικές ουσίες**
- ❑ Οι αυτότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν ως δότη ηλεκτρονίων την **αμμωνία** ή τα **θειούχα ιόντα (S^{2-})** ή **Fe(II)** (δισθενής σίδηρος)

➤ Δέκτης ηλεκτρονίων

- ❑ Υπό **αερόβιες** συνθήκες ο συνήθης δέκτης ηλεκτρονίων είναι το μοριακό οξυγόνο (O_2)
- ❑ Ελλείψει οξυγόνου, κάποιοι προκαρυωτικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν ως δέκτη ηλεκτρονίων τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-), τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), τα θειϊκά ιόντα (SO_4^{2-}) και το CO_2
- ❑ Οι συνθήκες κατά τις οποίες υπάρχει κάποιο ή κάποια από αυτά τα ιόντα αλλά λείπει το οξυγόνο ονομάζονται **ανοξικές** και ευνοούν την ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών που είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν αυτά τα ιόντα ως δέκτη ηλεκτρονίων
 - Υπό ανοξικές συνθήκες συμβαίνει η αναγωγή νιτρικών ή νιτρωδών ιόντων σε αέριο άζωτο (βιολογική απονιτροποίηση)
- ❑ Τέλος υπό **αναερόβιες** συνθήκες (έλλειψη οξυγόνου και ιόντων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί η οργανική ύλη ως δέκτης ηλεκτρονίων (όπως και ως δότης) (ζύμωση)

➤ Απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και σε παράγοντες αύξησης

- ❑ Τα θρεπτικά συστατικά περισσότερο από τις πηγές άνθρακα ή ενέργειας μπορούν κάποιες φορές να είναι περιοριστικοί παράγοντες για τη μικροβιακή κυτταρική σύνθεση και αύξηση
- ❑ Τα κύρια ανόργανα θρεπτικά που απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς είναι τα N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na και Cl
- ❑ Λιγότερο σημαντικά θρεπτικά είναι τα Zn, Mn, Mo, Se, Cu και Ni

➤ Απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και σε παράγοντες αύξησης

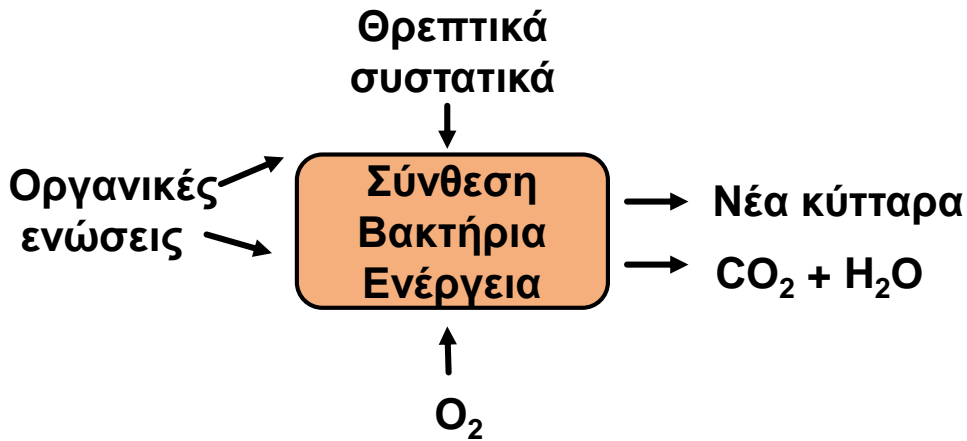
- ❑ Τα απαιτούμενα οργανικά θρεπτικά, γνωστά ως παράγοντες αύξησης, είναι ενώσεις τις οποίες χρειάζεται ένας οργανισμός ως πρόδρομες ενώσεις ή ως συστατικά του κυτταρικού υλικού, οι οποίες δεν μπορούν να συντεθούν από άλλες πηγές άνθρακα
- ❑ Παρόλο που οι απαιτήσεις σε παράγοντες ανάπτυξης διαφέρουν μεταξύ των διαφόρων μικροοργανισμών οι κυριότεροι παράγοντες ανάπτυξης χωρίζονται στις 3 παρακάτω κατηγορίες: **(1) αμινοξέα, (2) βάσεις αζώτου (πουρίνες, πυριμιδίνες) και (3) βιταμίνες**
- ❑ Στην επεξεργασία των αστικών αποβλήτων υπάρχουν γενικά επαρκή θρεπτικά συστατικά, αλλά στην επεξεργασία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων μπορεί να απαιτείται η προσθήκη θρεπτικών στις διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας

➤ Απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και σε παράγοντες αύξησης

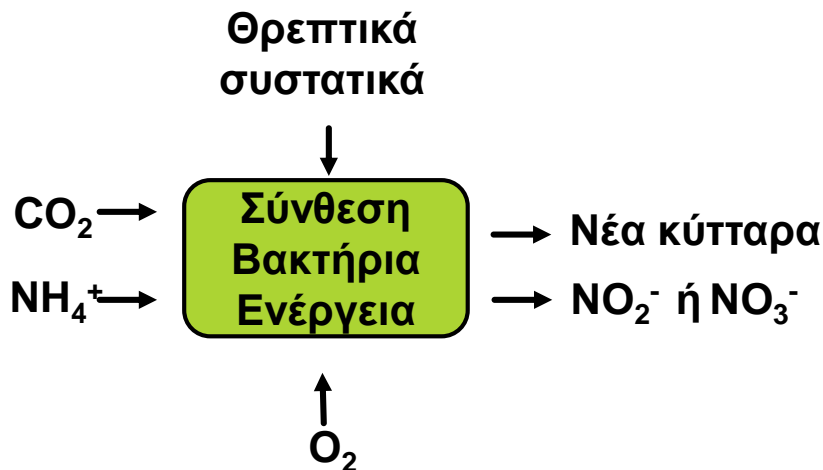
- Η έλλειψη επαρκούς αζώτου και φωσφόρου είναι συνηθισμένη ειδικά στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων που προέρχονται από διεργασίες τροφίμων ή υγρών αποβλήτων με υψηλό οργανικό περιεχόμενο
- Χρειάζονται περίπου 12.2 g αζώτου και 2.3 g φωσφόρου για κάθε 100 g κυτταρικής βιομάζας

➤ Παραδείγματα βακτηριακού μεταβολισμού

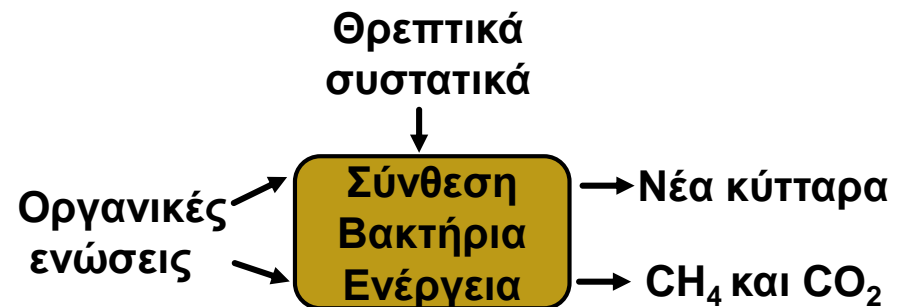
ΑΕΡΟΒΙΟΣ ΕΤΕΡΟΤΡΟΦΟΣ



ΑΕΡΟΒΙΟΣ ΑΥΤΟΤΡΟΦΟΣ



ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΕΤΕΡΟΤΡΟΦΟΣ



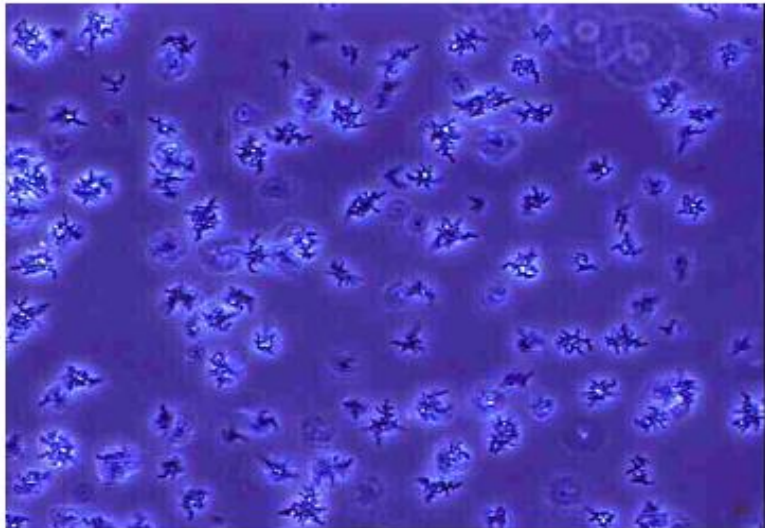
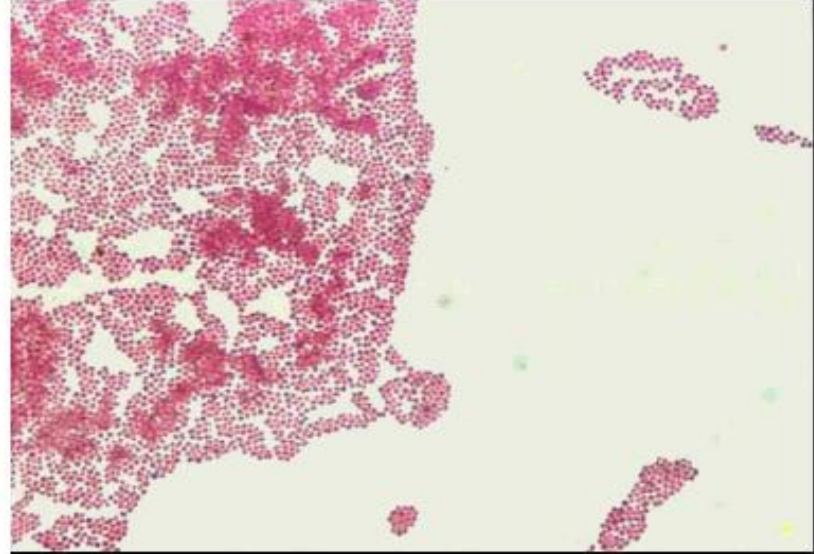
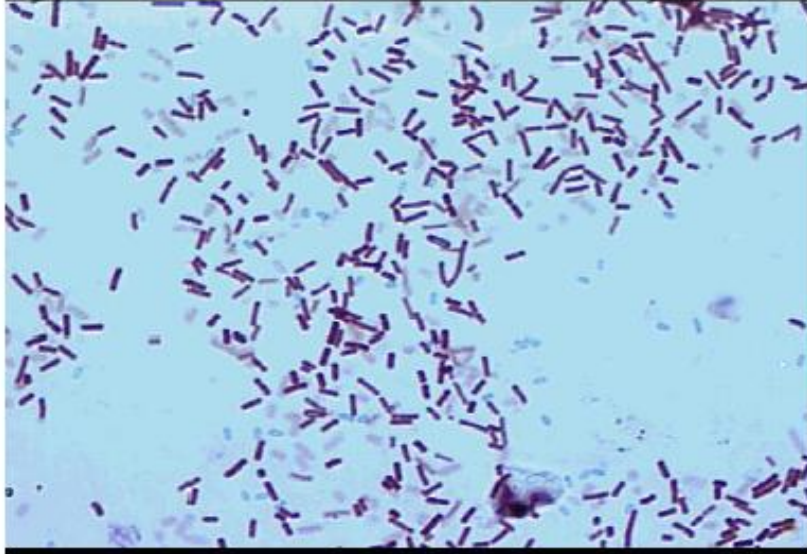
➤ Στάδια Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

- Πρωτοβάθμια ή Μηχανική Επεξεργασία
- **Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία**
- Τριτοβάθμια Επεξεργασία

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

- ❑ Η δευτεροβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει τη βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στην συνέχεια δευτεροβάθμια καθίζηση για διαχωρισμό βιομάζας με το επεξεργασμένο απόβλητο
- ❑ *Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός συνήθως οδηγεί σε μείωση του ρυπαντικού φορτίου κατά 80-90% κατά μέσο όρο*
- ❑ Ο καθαρισμός γίνεται με αερόβιους ή αναερόβιους μικροοργανισμούς ανάλογα με την υφή και σύσταση των αποβλήτων

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία



Μεμονωμένα κύτταρα ή μικρά συσσωματώματα κυττάρων μπορούν να αποδομούν την οργανική ουσία των υγρών αποβλήτων αλλά δεν μπορούν να διαχωριστούν ικανοποιητικά και να ανακυκλωθούν

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

- ❑ Οι μικροοργανισμοί οργανώνονται σε δομές που αποτελούνται από ποικίλα είδη μικροοργανισμών που μπορούν και βιοαποδομούν μεγαλύτερο εύρος υποστρωμάτων συγκριτικά με τις καθарές καλλιέργειες που αποτελούνται από ένα μόνο είδος
- ❑ Οι μικροοργανισμοί σε αυτούς τους σχηματισμούς συγκρατούνται με την **παραγωγή εξωκυτταρικών βιοπολυμερών**

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

- ❑ Τα **εξωκυτταρικά βιοπολυμερή** είναι ουσίες βιολογικής προέλευσης που σχηματίζονται από τη λύση των κυττάρων, εκκρίσεις των μικροοργανισμών, αποβολή υλικού από την επιφάνεια των κυττάρων και απορρόφηση ουσιών από το περιβάλλον
- ❑ Κύρια συστατικά τους είναι **οι πολυσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια** με τη μορφή κολλοειδών που καθορίζουν τη δομή και τις ιδιότητες της βιομάζας

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

- ❑ Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της βιολογικής επεξεργασίας είναι η απουσία υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων που παρουσιάζουν υψηλή τοξικότητα για τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας
- ❑ **Χλωριούχα, κυανιούχα, βαρέα μέταλλα** προκαλούν σε ορισμένες περιπτώσεις αναστολή της ανάπτυξης ορισμένων μικροοργανισμών
- ❑ Τα εξωκυτταρικά βιοπολυμερή παρεμποδίζουν τη διάχυση των τοξικών ουσιών που βρίσκονται σε γεινίαση με τα μικροβιακά κύτταρα

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

- ❑ Η παραγωγή των εξωκυτταρικών βιοπολυμερών διεγείρεται από τις λειτουργικές παραμέτρους των μονάδων επεξεργασίας
- ❑ Χαρακτηριστικά όπως η έλλειψη θρεπτικών συστατικών, τροφοδοσία με χαμηλό λόγο COD/N και υψηλό φορτίο σε άζωτο οδηγούν σε χρήση των οργανικών ουσιών για την παραγωγή εξωκυτταρικών βιοπολυμερών προκειμένου να διατηρηθεί η δομή της βιομάζας και να προστατευτούν τα κύτταρα από τις βλαβερές επιπτώσεις των ελεύθερων αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων
- ❑ Οι μικροοργανισμοί που ενσωματώνονται στο υπόστρωμα των εξωκυτταρικών βιοπολυμερών αλληλεπιδρούν και αλληλοσυμπληρώνουν τις λειτουργίες τους

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

□ *Με βάση ποια κριτήρια διαχωρίζονται σε διάφορους τύπους τα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων;*

➤ **Βιοχημικές Μετατροπές**

➤ **Βιοχημικό Περιβάλλον**

➤ **Μορφές Μικροβιακής Ανάπτυξης**

➤ Βιοχημικές Μετατροπές

- ❑ **Απομάκρυνση διαλυτής οργανικής ύλης:** Βασική διεργασία που λαμβάνει χώρα σε συστήματα βιολογικού καθαρισμού και οδηγεί σε CO_2 , ενώ η παραγόμενη βιομάζα απομακρύνεται με καθίζηση
- ❑ **Μετατροπή διαλυτής ανόργανης ύλης:** η απομάκρυνση υπερβολικών ποσοτήτων N και P από τα υγρά απόβλητα

➤ Βιοχημικό Περιβάλλον

- Η παρουσία O_2 ή άλλων μορίων ως τελικοί αποδέκτες ηλεκτρονίων καθορίζει και το είδος των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων
- **Αερόβιες Συνθήκες:** Παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων O_2 παράγονται υψηλές ποσότητες βιομάζας και διάσπαση της οργανικής ύλης προς CO_2
 - **Ανοξικές Συνθήκες:** Απουσία O_2 και παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων NO_3^- που αποτελεί τον κύριο αποδέκτη ηλεκτρονίων
 - **Αναερόβιες Συνθήκες:** Απουσία O_2 όπου οργανικές ουσίες ή S αποτελούν τους κύριους αποδέκτες ηλεκτρονίων

➤ Μορφές Μικροβιακής Ανάπτυξης



□ Ανάλογα με το πώς αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας διαχωρίζονται σε:

- **Βιοαντιδραστήρες βιολογικών κροκύδων (Suspended growth bioreactors):** όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοκροκύδων (floculates) – **οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα**
- **Βιοαντιδραστήρες βιοστρωμάτων (Attached growth bioreactors):** όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοστρωμάτων (biofilms) – **οι μικροοργανισμοί βρίσκονται προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια**

➤ Βιοαντιδραστήρες βιολογικών κροκύδων (αντιδραστήρες εναιωρήματος)

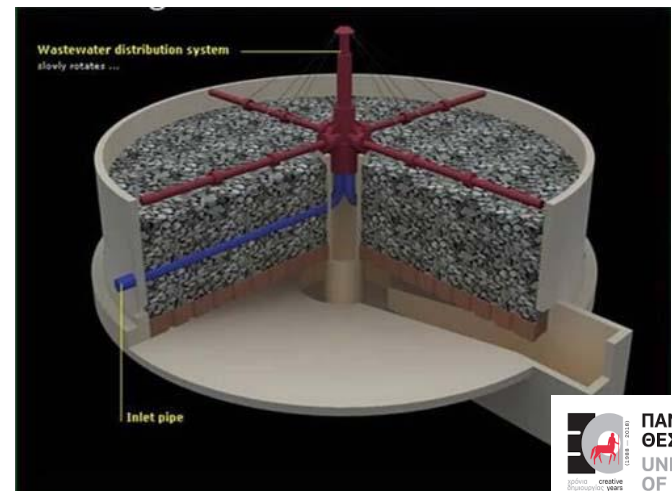
□ Συστήματα αιωρούμενης βιομάζας

- Συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης (Activated sludge systems)
- Συστήματα απομάκρυνσης ανοργάνων
- Λίμνες (Lagoons)
- Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης

➤ Βιοαντιδραστήρες Βιοστρωμάτων (αντιδραστήρες σταθερής κλίνης)

□ Συστήματα προσκολλημένης βιομάζας

- Σύστημα εμβαπτισμένων βιοστρωμάτων (Fluidized Bed Systems)
- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating Biological Contractors)
- Χαλικοδιυλιστήρια (Trickling Filters)



➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

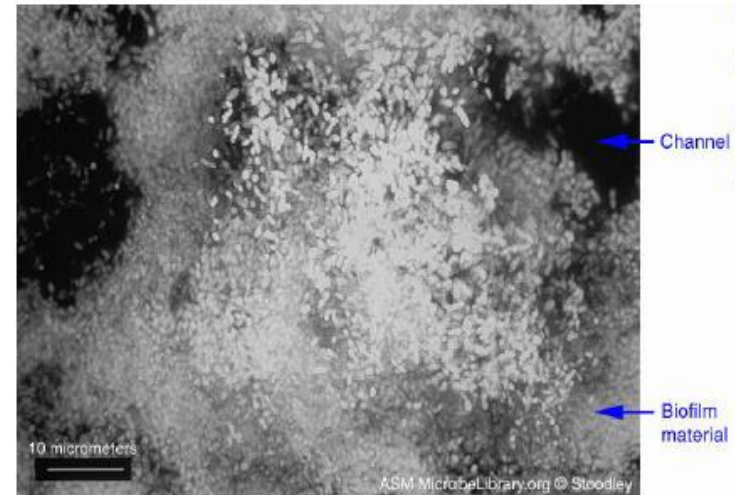
- ❑ Στα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας ο αποικισμός με μικροοργανισμούς διευκολύνεται από τις διάφορες επιφανειακές αποφύσεις των βακτηρίων – συζευτικές ίνες και τριχίδια, τα συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων και την παραγωγή/παρουσία εξωκυτταρικών βιοπολυμερών
- ❑ Τα συστήματα αιωρούμενης και προσκολλημένης βιομάζας διαφέρουν ως προς τη σύσταση των εξωκυτταρικών βιοπολυμερών
- ❑ Τα εξωκυτταρικά βιοπολυμερή στους βιοαντιδραστήρες βιολογικών κροκύδων αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες, ενώ στους αντιδραστήρες σταθερής κλίνης αποτελούνται εξίσου από πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες

➤ Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

❑ Η μεταφορά της μάζας στα βιοστρώματα γίνεται κυρίως με διάχυση και το πάχος του βιοστρώματος καθορίζεται από το βάθος στο οποίο μπορούν να φτάσουν/διαπεράσουν το υπόστρωμα και το οξυγόνο

❑ Τα βιοστρώματα διασχίζονται από κανάλια και πόρους που διευκολύνουν τη μεταφορά γενετικού υλικού μεταξύ των βακτηρίων π.χ. υποβοηθώντας τη διασπορά γονιδίων μέσω οριζόντιας μεταφοράς

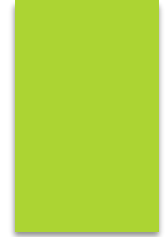
❑ Οι γενετικές αλλαγές στα ακινητοποιημένα μικροβιακά κύτταρα μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης, της μεταβολικής τους δραστηριότητας και της ανθεκτικότητας τους στις τοξικές ουσίες





Συστήματα Ενεργοποιημένης Λάσπης

➤ Σύστημα Ενεργοποιημένης Λάσπης



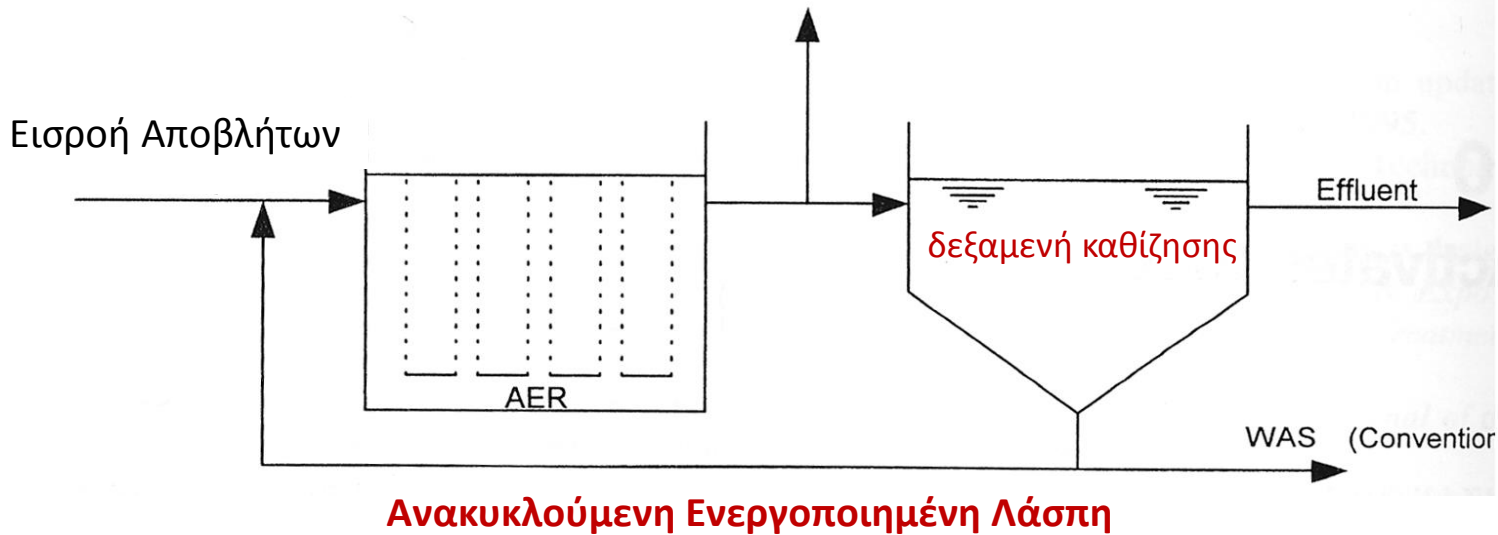
- ❑ Η μέθοδος της ενεργοποιημένης λάσπης αποτελεί τη μεταφορά των φυσικών βιολογικών μεθόδων μετατροπής οργανικών συστατικών (ικανότητα αυτοκαθαρισμού) από τη φύση σε τεχική κλίμακα
- ❑ Σε αντίθεση προς τα φυσικά πρότυπα διαφοροποιείται ως προς:
 - Την υψηλότερη συγκέντρωση μικροοργανισμών
 - Τη δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερης απαίτησης σε οξυγόνο μέσω μεθόδων τεχνητού αερισμού
 - Την παραγωγή επαρκούς ανάμιξης με στόχο τη βελτιστοποίηση της επαφής μεταξύ της βιομάζας, των συστατικών ρύπανσης, των θρεπτικών συστατικών και του οξυγόνου

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

- ❑ Οι μεμονωμένοι μικροοργανισμοί ομαδοποιούνται και συνενώνονται σχηματίζοντας αιωρούμενη βιομάζα σε μορφή νιφάδων – **βιοκροκύδες (flocks)** - γύρω από την αιωρούμενη οργανική ύλη την οποία και χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας για την αύξηση της βιομάζας που καθιζάνει και σχηματίζει μια ενεργή μάζα μικροβίων που ονομάζεται **«ενεργοποιημένη λάσπη»**
- ❑ Οι βιοκροκύδες περιέχουν ζωντανά και νεκρά κύτταρα μικροοργανισμών και τα μεταβολικά τους προϊόντα

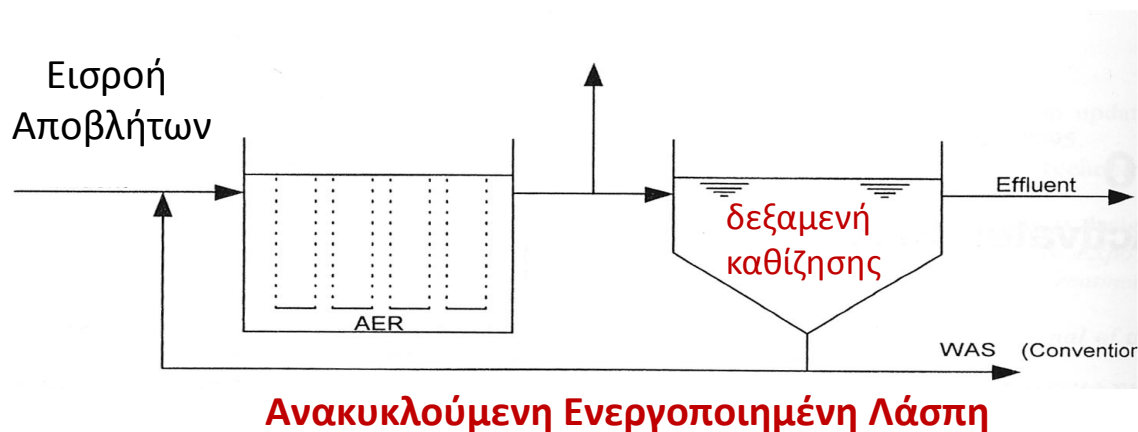
➤ Σύστημα Ενεργοποιημένης Λάσπης

- ❑ Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται χωρίς εμβολιασμό σε **συσσωματώματα/κροκύδες (floculates)** που βρίσκονται σε αιώρηση στα προστιθέμενα υγρά απόβλητα ερχόμενα σε άμεση επαφή με την οργανική ουσία των αποβλήτων

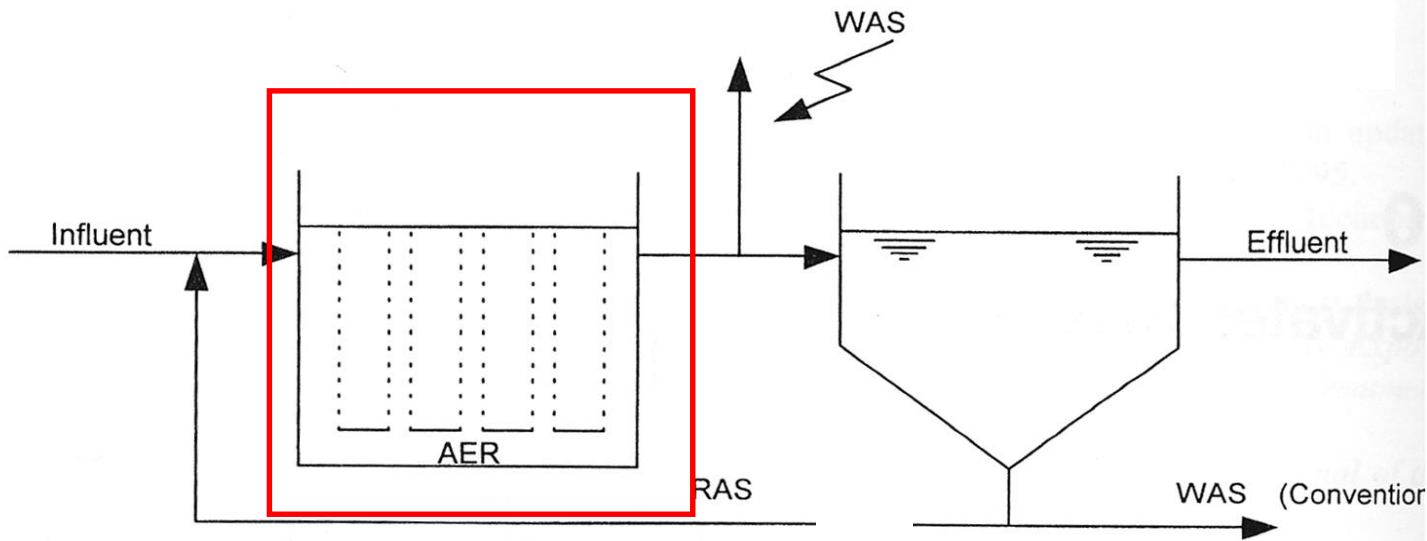


➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

- ❑ Η παρουσία βιολογικών κροκύδων για την διάσπαση της διαλυτής οργανικής ύλης που περιέχεται στα απόβλητα
- ❑ Η παρουσία δεξαμενής καθίζησης των επεξεργασμένων αποβλήτων σε σειρά με συστήματα Ε.Λ.
- ❑ Ποσότητα της βιολογικής λάσπης που σχηματίζεται ανακυκλώνεται στο σύστημα (**ενεργοποιημένη λάσπη**)



➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

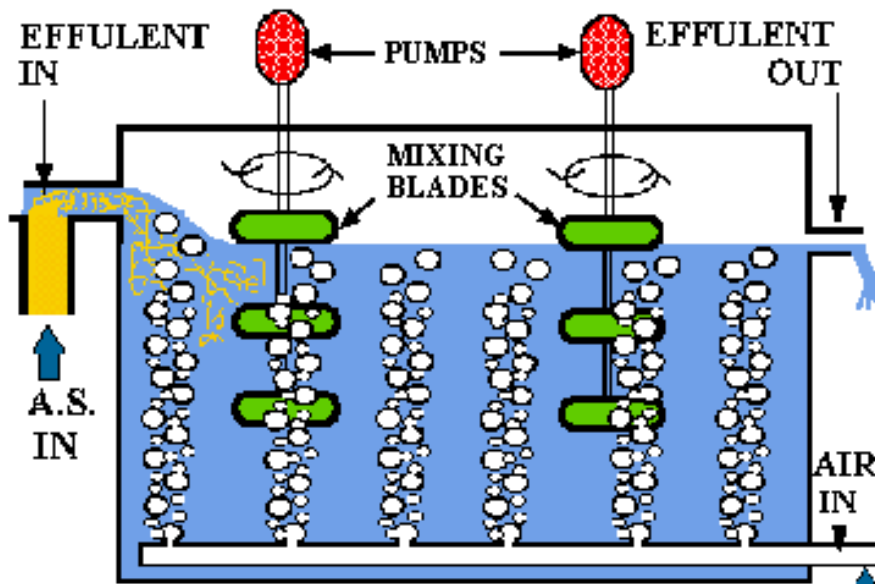


- ❑ Η δεξαμενή αερισμού (AER) είναι βασικό στοιχείο των Σ.Ε.Λ. και σε αυτή αναπτύσσονται υπό αερόβιες συνθήκες οι βιοκροκύδες
- ❑ Αερισμός παρέχεται είτε με διάχυση από τον πυθμένα, είτε με επιφανειακή ανάδευση, είτε με μηχανικό επιφανειακό αερισμό με έλικα. Ο μηχανισμός αερισμού επιτυγχάνει και παροχή αέρα στο σύστημα αλλά και την διατήρηση των κροκύδων βιομάζας σε διασπορά εντός του συστήματος

➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

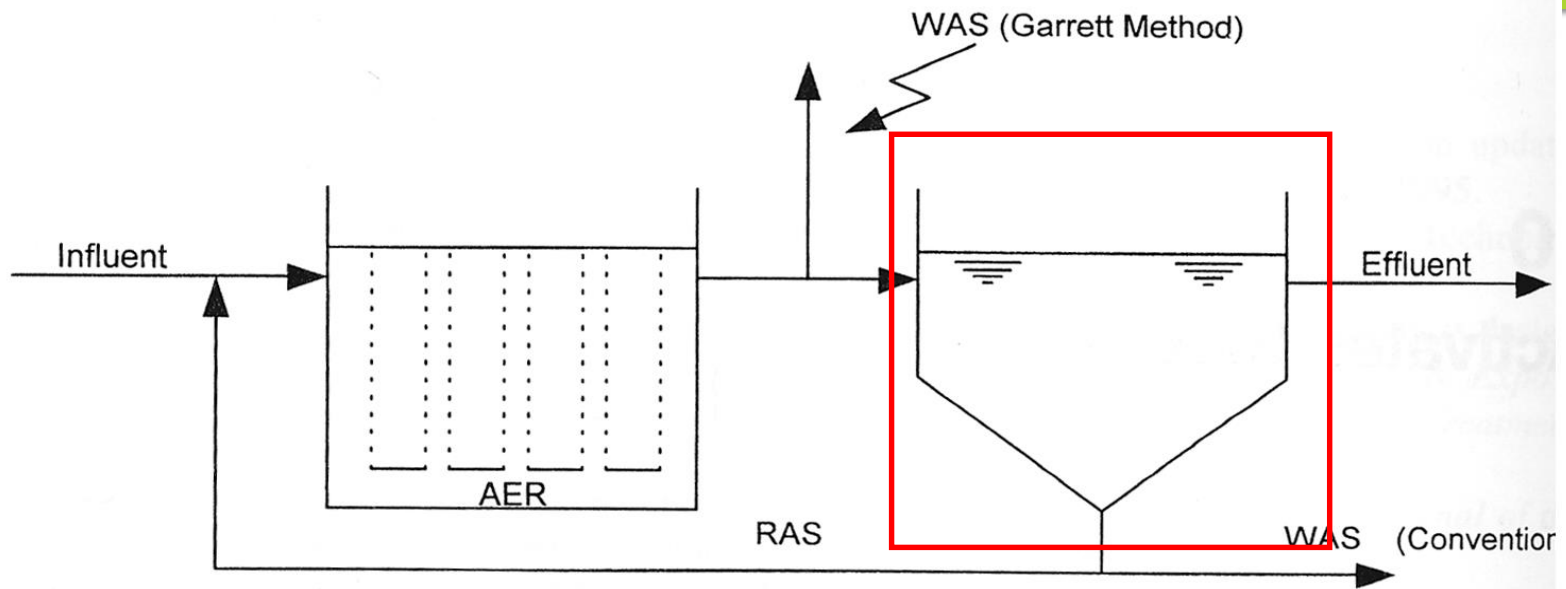


□ Επιφανειακός Αερισμός



□ Αερισμός από τον πυθμένα της δεξαμενής

➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ



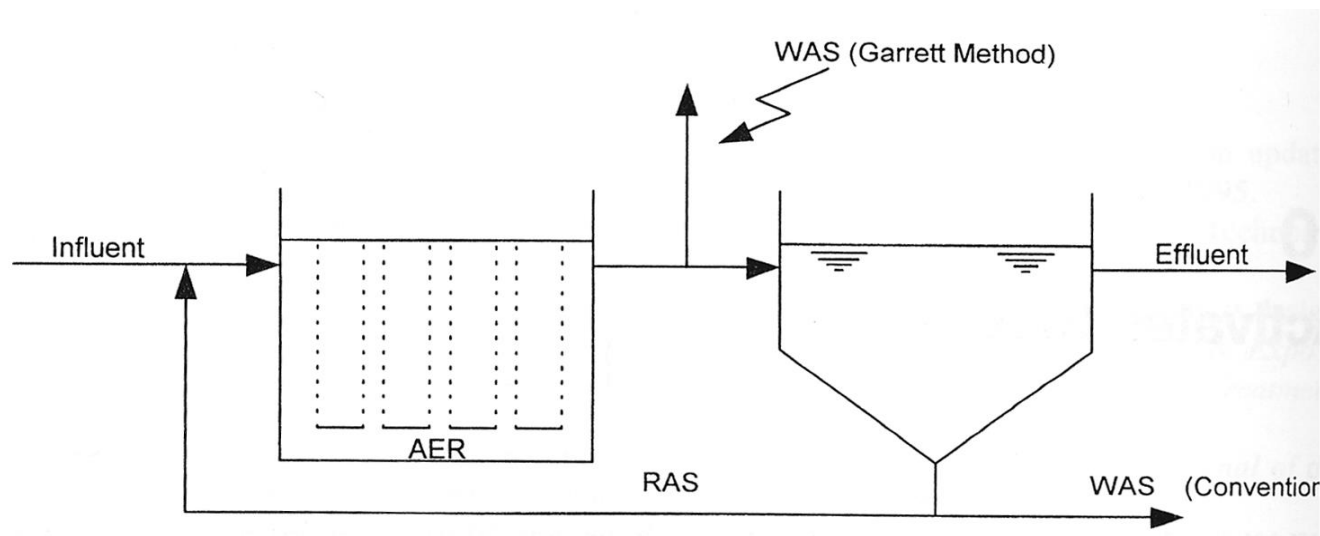
- Την δεξαμενή αερισμού ακολουθεί δεξαμενή καθίζησης-διαχωρισμού που χρησιμοποιείται 1) για απομάκρυνση της περίσσειας βιομάζας που περιέχεται στα απόβλητα μετά την επεξεργασία 2) για συλλογή και ανακύκλωση ή απόρριψη της βιομάζας που καθιζάνει στην δεξαμενή

➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

□ Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών διαχωρισμού δεν είναι απόλυτα και μπορεί να έχουν σχήμα κυκλικό ή ορθογώνιο αλλά πάντα περιέχουν 1) τμήμα συλλογής υγρών αποβλήτων 2) τμήμα συλλογής των στερεών υλικών που καθιζάνουν και 3) μηχανισμό απομάκρυνσης στερεών που επιπλέουν στην επιφάνεια

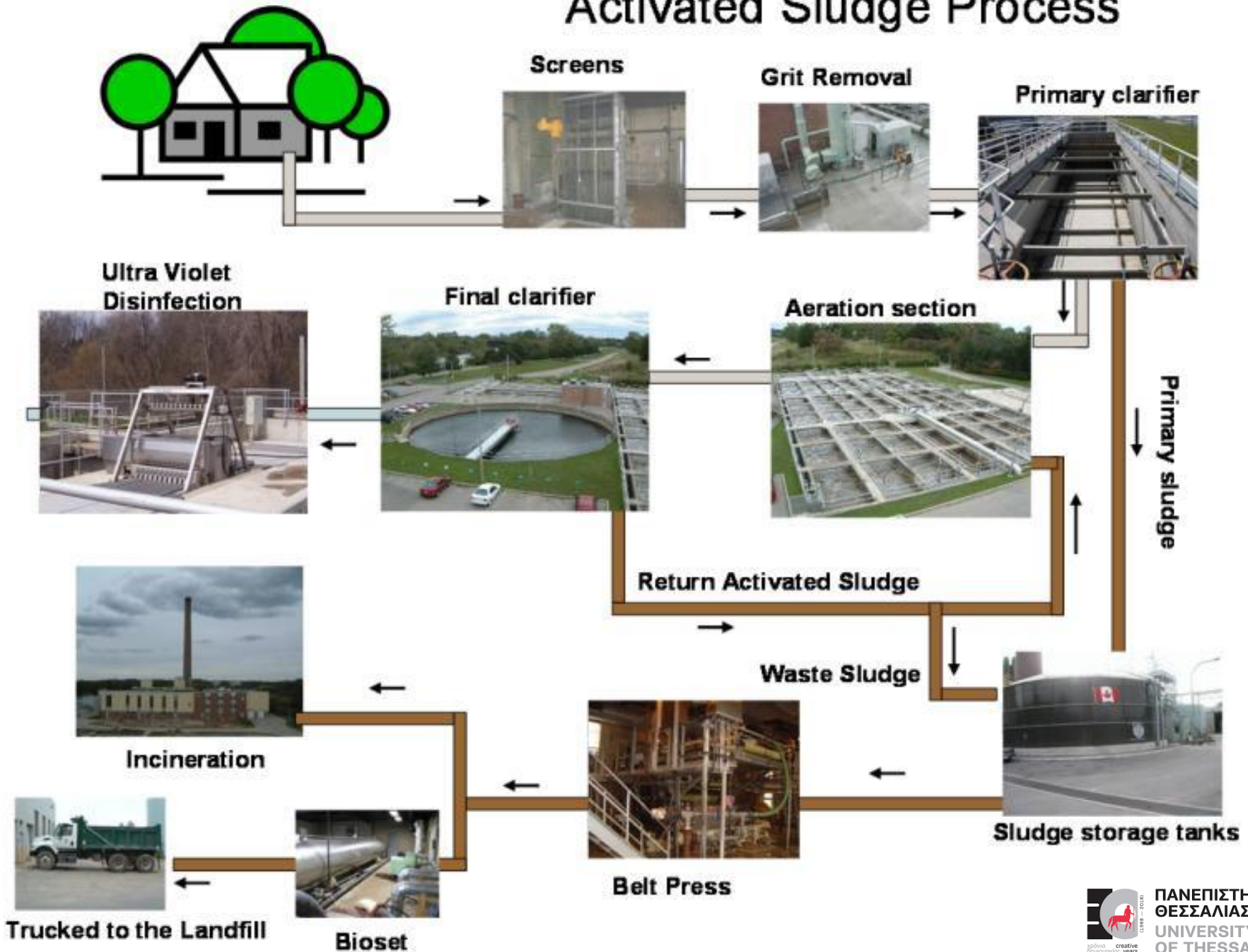


➤ Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ



Ένα μόνο τμήμα της βιολογικής λάσπης που συλλέγεται επαναπροστίθεται στο σύστημα και ονομάζεται ανακυκλούμενη ενεργοποιημένη λάσπη (Return Activated Sludge, RAS)

Activated Sludge Process



➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης



- **Ιδανικά χαρακτηριστικά της βιομάζας ενός συστήματος ΕΛ:**
 - Ισχυρές και συμπυκνωμένες βιολογικές κροκύδες που καθιζάνουν εύκολα και παράγουν πυκνή βιολογική λάσπη για ανακύκλωση στον βιοαντιδραστήρα
 - Καθαρό υπερκείμενο για απορροή ως επεξεργασμένα απόβλητα

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

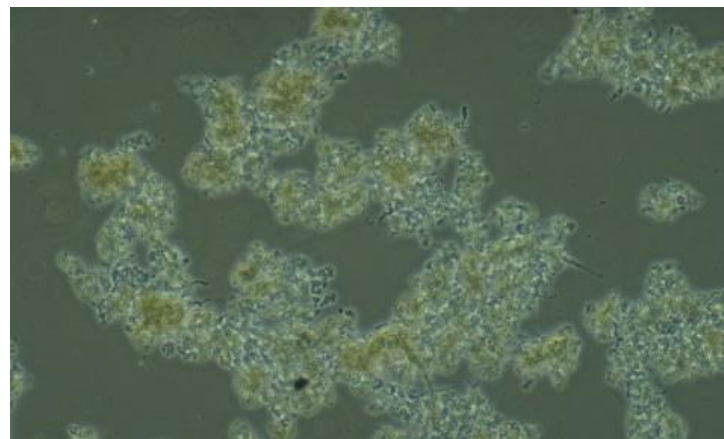
❑ Η σύσταση των βιοκροκύδων στα συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης καθορίζει και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

❑ Οι βιοκροκύδες αποτελούνται από βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα.

❑ Τα βακτήρια αποτελούν το 95% περίπου του συνολικού μικροβιακού πληθυσμού στα Σ.Ε.Λ. και είναι απαραίτητα για την αποδόμηση των οργανικών ουσιών στις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

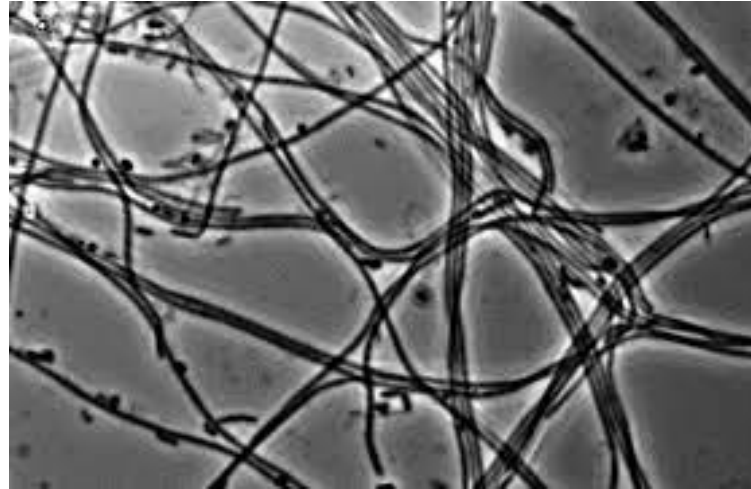
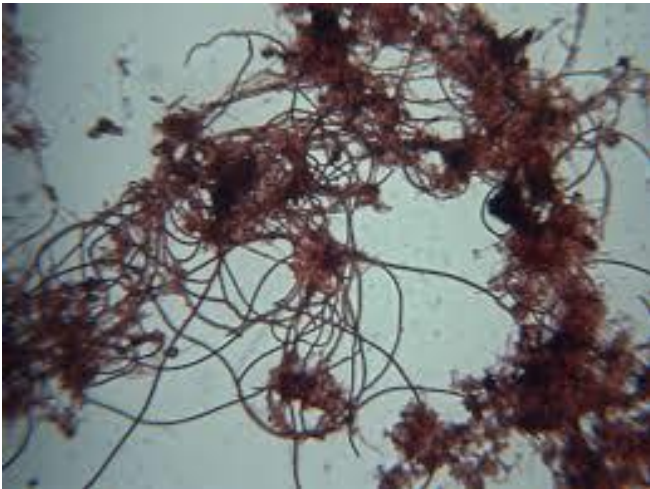
➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

- ❑ Βακτήρια που παράγουν πολυμερή για την δημιουργία των κροκύδων (floc-forming bacteria)
- ❑ Ανήκουν στα γένη *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Zooglea*, *Acinetobacter*, *Citromonas*, *Bacillus*
- ❑ Παρουσιάζουν υψηλότερο ρυθμό αύξησης παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων διαλυτού οργανικού υποστρώματος



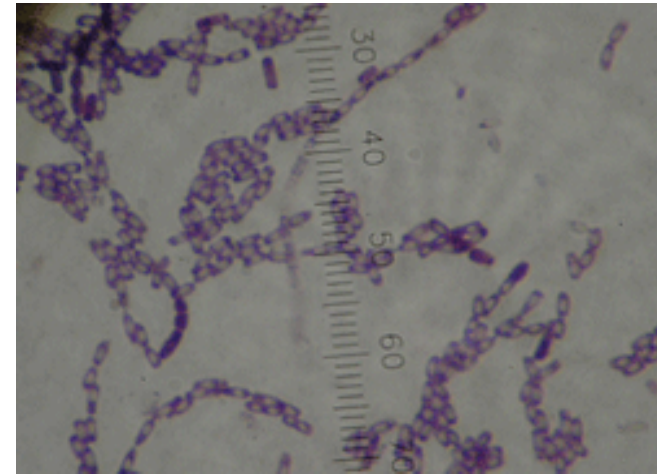
➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

□ Τα **ινώδη βακτήρια** (filamentous bacteria) αποτελούν συνήθη συστατικά της βιομάζας της Ε.Λ. και η παρουσία τους είναι σημαντική για τον σχηματισμό των βιοκροκύδων καθώς χρησιμεύουν ως δομή υποστήριξης για τον σχηματισμό των βιοκροκύδων



➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

❑ Ωστόσο, κατω από συγκεκριμένες συνθήκες (χαμηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος) τα βακτήρια αυτά μπορούν να επικρατούν έναντι των **βακτηριών που παράγουν πολυμερή** για την δημιουργία των κροκύδων και να δημιουργήσουν συνθήκες ανταγωνισμού



❑ Η υπερβολική ανάπτυξη ινωδών βακτηρίων μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σχετικά με την καθίζηση της ενεργοποιημένης λάσπης, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης



- ❑ Η αναλογία βακτηριών που παράγουν πολυμερή για την δημιουργία των κροκύδων (floc-forming bacteria) και **ινωδών βακτηριών** (filamentous bacteria) καθορίζει και την ποιότητα των κροκύδων που θα δημιουργηθούν
- ❑ *Ο χρόνος που απαιτείται για τον σχηματισμό των κροκύδων ονομάζεται χρόνος κατακράτησης στερεών (solids retention time) και θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 ημέρα για αστικά απόβλητα και 3 ημέρες για βιομηχανικά απόβλητα*

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

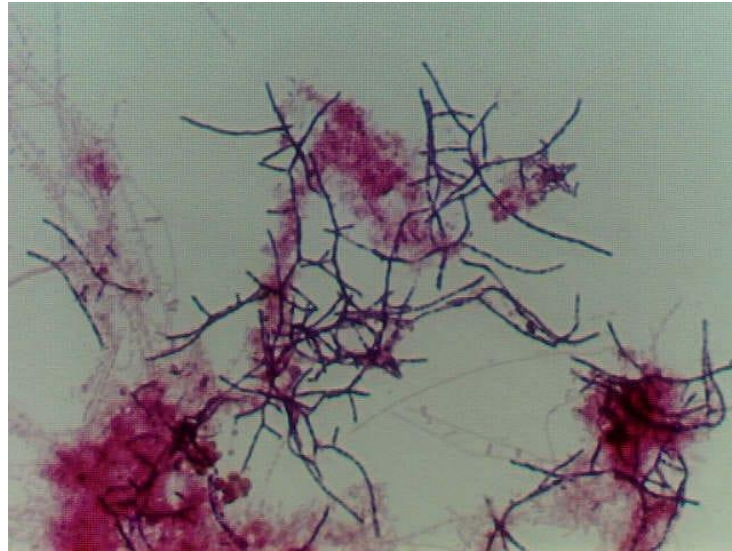
- ❑ Αλλαγές στη σύσταση των βακτηρίων οδηγούν σε αλλαγές στη μορφολογία των βιολογικών κροκύδων διαταράσσοντας τη διαδικασία του καθαρισμού
- Υπερβολική παρουσία νηματοειδών βακτηρίων ή βακτηρίων που μπορούν να αναπτυχθούν σε μια νηματοειδή μορφή κάτω από δυσμενείς συνθήκες οδηγεί σε προβλήματα διόγκωσης ιλύος – **διόγκωση λόγω των ινωδών (filamentous bulking)**
=> αυξημένη επιφάνεια συσσωματώματος ως προς τη μάζα και φτωχή καθίζηση

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης



- ❑ Αλλαγές στη σύσταση των βακτηρίων οδηγούν σε αλλαγές στη μορφολογία των βιολογικών κροκύδων διαταράσσοντας τη διαδικασία του καθαρισμού
- Υπερβολική ποσότητα εξωκυτταρικών πολυμερών που παράγουν λάσπη γλοιώδους υφής με ζελατινοειδή σύσταση – **παχύρρευση διόγκωση (viscous bulking)** => λάσπη χαμηλής πυκνότητας, που συγκρατεί μεγάλες ποσότητες ύδατος (υδρόφιλα βιοπολυμερή) με χαμηλή ταχύτητα καθίζησης και φτωχή συμπύκνωση
- Σε συστήματα με περιορισμένα θρεπτικά ή σε συστήματα με υψηλά φορτία εύκολα βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

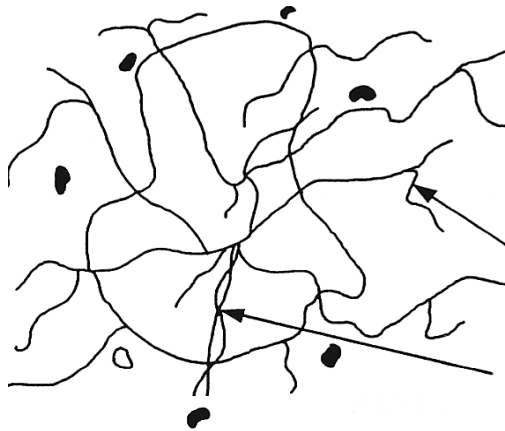


- Βιοκροκύδες στις οποίες κυριαρχούν νηματοειδή βακτήρια *Nocardia sp.* και *Microthrix parvicella* (υδρόφοβα κυτταρικά τοιχώματα), μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα εκτεταμένου αφρισμού στις δεξαμενες αερισμού ή καθίζησης

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης



Απουσία *filamentous bacteria* οπότε δεν δημιουργούνται κροκύδες αλλά διαλυτή μικροβιακή ανάπτυξη, θολερό υπερκείμενο και χαμηλή καθίζηση

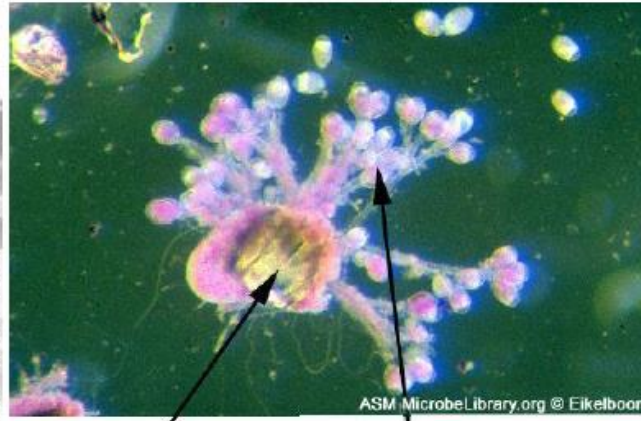
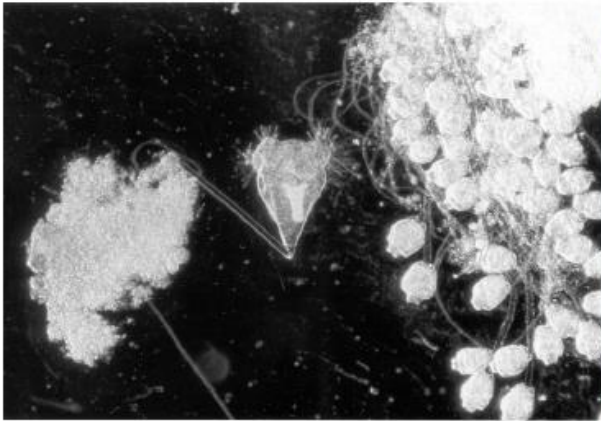


Υπερβολική παρουσία *filamentous bacteria* οδηγεί σε δημιουργία κροκύδων μεγάλης επιφάνειας που καθιζάνουν δύσκολα - υπερκείμενο με υψηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά



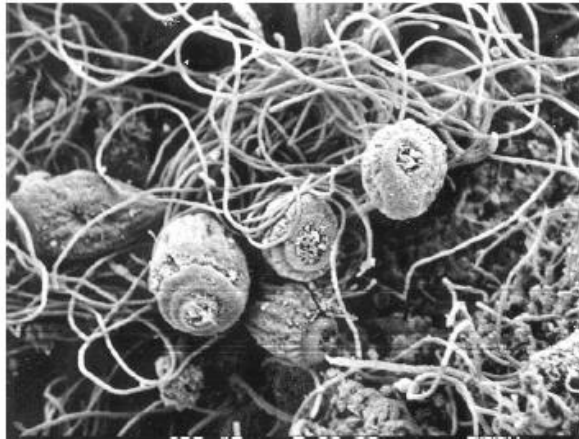
Floc-forming / filamentous bacteria σε ισορροπία δημιουργώντας κροκύδες ισχυρές που καθιζάνουν εύκολα αφήνοντας καθαρό υπερκείμενο

➤ Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης



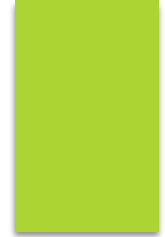
Carrier particle

Protozoan feeding structures

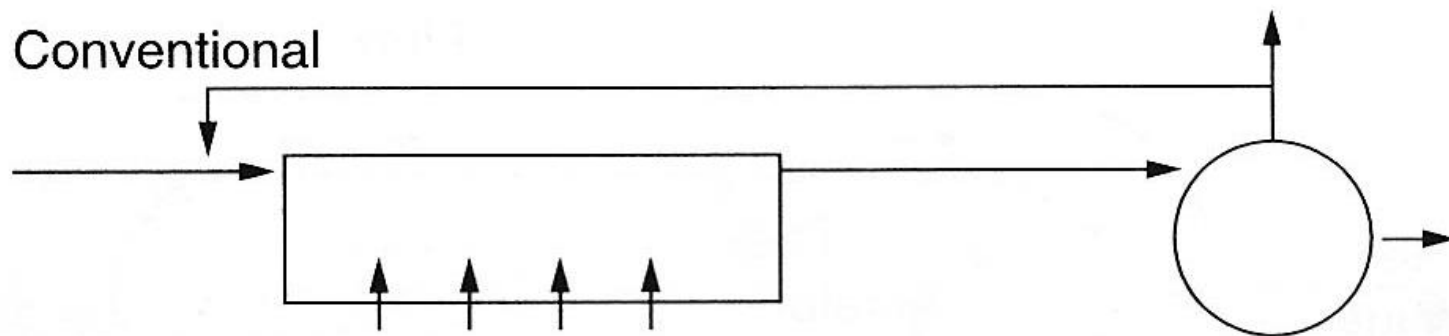


- Τα **πρωτόζωα** βοηθούν στη διαύγαση των εκροών καταναλώνοντας ελεύθερα βακτήρια και κολλοειδή σωματίδια. Η παρουσία τους είναι ενδεικτική της διαθεσιμότητας σε οξυγόνο και της παρουσίας τοξικών ουσιών (προτίμηση σε συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου > από 1mg/L, ευαισθησία σε τοξικές ουσίες)

Η μέθοδος παροχής αέρα σε συνδυασμό με την μέθοδο παροχής των αποβλήτων στη δεξαμενή αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την αποτελεσματικότητα των ΣΕΛ.



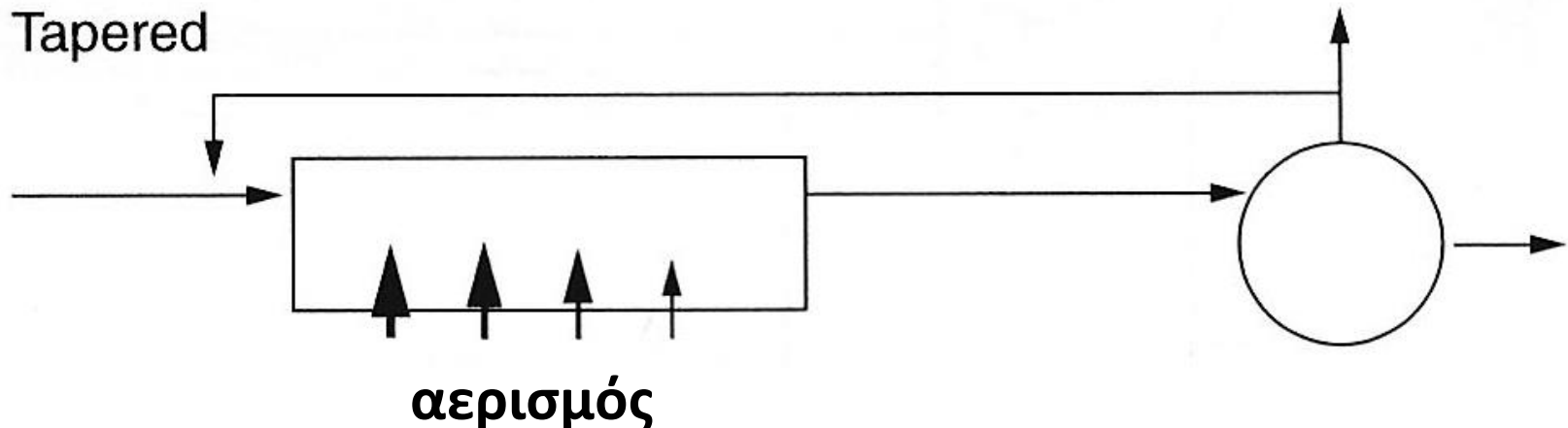
- Στο παραδοσιακό σύστημα Ε.Λ. ο αερισμός παρέχεται με διάχυση από το πυθμένα σε όλο το μήκος της δεξαμενής αερισμού ενώ τα υγρά απόβλητα εισέρχονται από τη μια άκρη της δεξαμενής και εξέρχονται από την άλλη – **σταθερή παροχή οξυγόνου σε όλο το μήκος της δεξαμενής**



- **Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα κυμαίνεται 4-8 ημέρες**

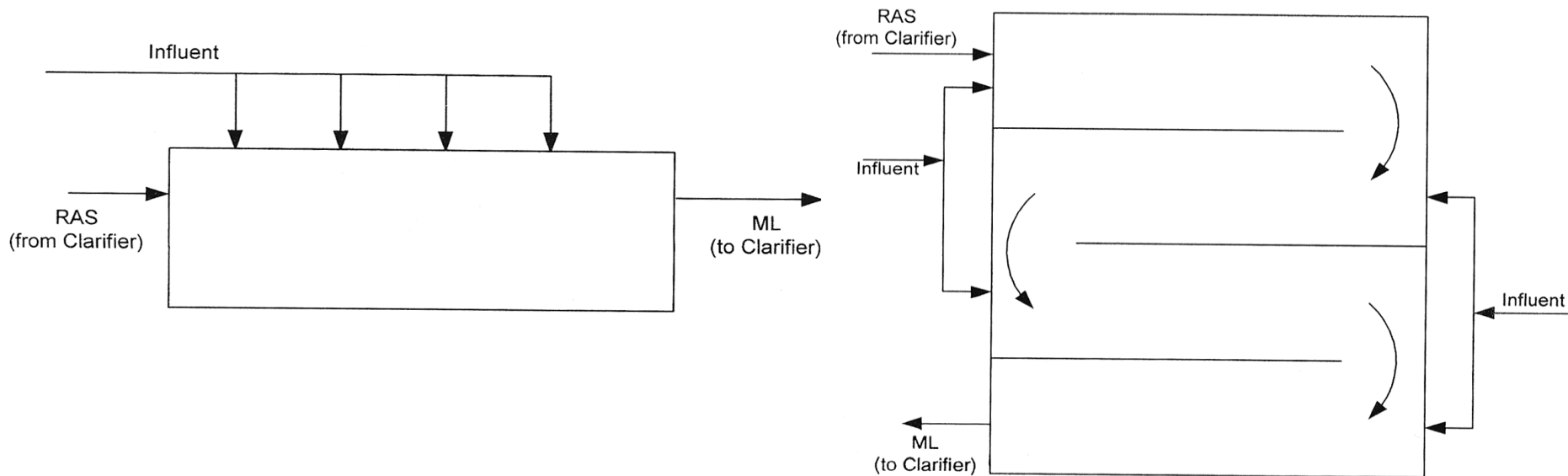
□ Καθώς τα απόβλητα κινούνται προς την έξοδο του ΣΕΛ το συνολικό οργανικό φορτίο ελαττώνεται με συνέπεια να υπάρχει και λιγότερη ανάγκη παροχής O_2 .

□ Για τον λόγο αυτό κατασκευάσθηκαν μονάδες επεξεργασίας όπου ο αερισμός αλλά και η παροχή των αποβλήτων και της ενεργοποιημένης λάσπης να πραγματοποιείται σταδιακά ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των μονάδων **επεξεργασίας-μέθοδος μειούμενου αερισμού (tapered aeration)**

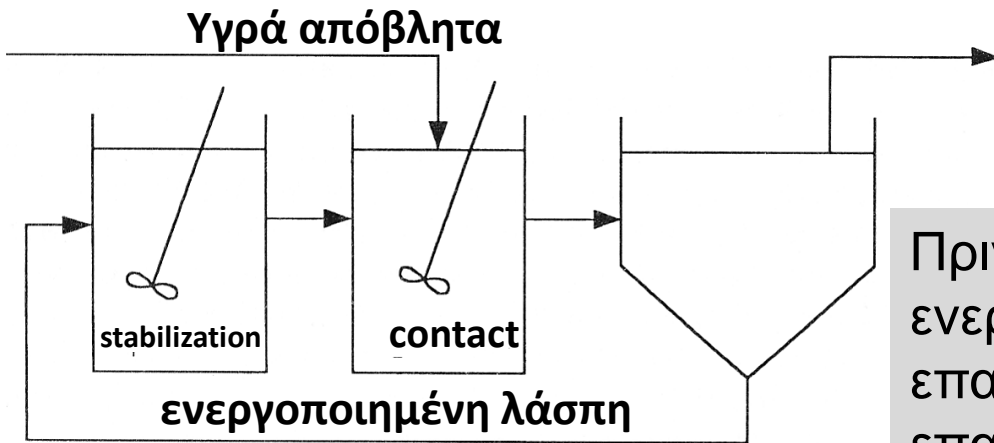


Με τον τρόπο αυτό τα απόβλητα τροφοδοτούνται σε διάφορα σημεία της δεξαμενής αερισμού για την ύπαρξη σταθερής σχέσης τροφής/μικροοργανισμών.

Χαρακτηρίζεται γενικά από μειωμένη απαίτηση σε οξυγόνο.

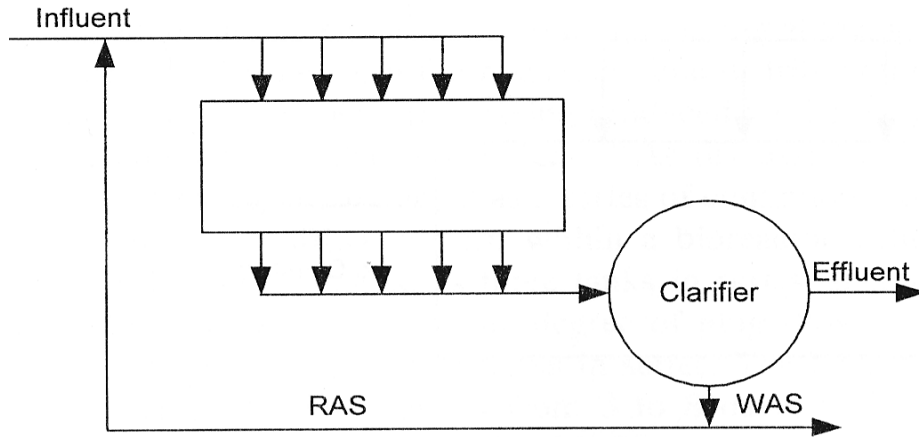


- **Σ.Ε.Λ. σταδιακής εισροής αποβλήτων (Step Feed Activated Sludge):** Τα υγρά απόβλητα (influent) διαχέονται εξίσου κατά μήκος της δεξαμενής αερισμού ενώ η ενεργοποιημένη λάσπη (RAS) εισέρχεται από την μία άκρη της δεξαμενής



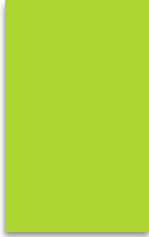
Πριν από την επιστροφή μέρους της ενεργοποιημένης λάσπης στη δεξαμενή επαφής (αερισμού) γίνεται επαναερισμός της σε ειδική δεξαμενή σταθεροποίησης όπου πραγματοποιείται προσρόφηση των αιωρούμενων και κολλοειδών οργανικών ουσιών στους θρόμβους της ιλύος.

- **Σ.Ε.Λ. σταθεροποίησης επαφής (Contact stabilization activated sludge):** Το σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές σε σειρά όπου στην δεύτερη εισρέουν τα υγρά απόβλητα και πραγματοποιείται η βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης ενώ στην πρώτη δεξαμενή διοχετεύεται η ενεργοποιημένη λάσπη όπου και αερίζεται ώστε να σταθεροποιηθεί η οργανική ύλη => **ΑΥΞΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ**



Επιτυγχάνεται περίπου το ίδιο οργανικό φορτίο και η ίδια παροχή του αέρα σε όλο το μήκος της δεξαμενής

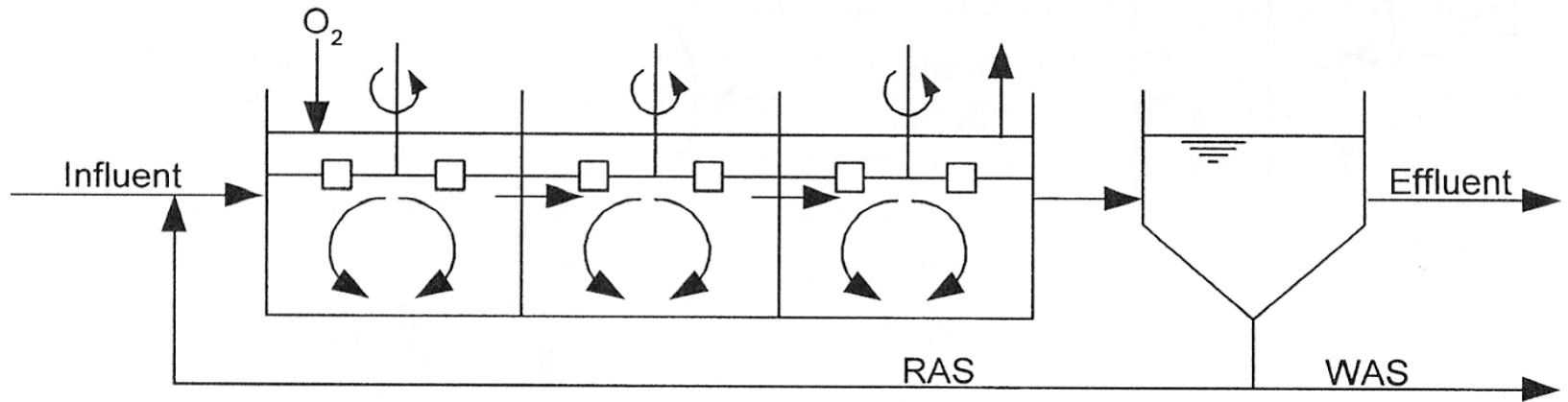
- ❑ **Σ.Ε.Λ. πλήρους ανάμιξης (Completely mixed activated sludge):**
Αναπτύχθηκαν κυρίως για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο των οποίων η διεργασία με το παραδοσιακό σύστημα δεν ήταν δυνατή λόγω τοξικών φαινομένων για την βιομάζα του συστήματος στο σημείο εισροής των αποβλήτων
- ❑ Τα απόβλητα εισέρχονται από διάφορα σημεία κατά μήκος της μίας πλευράς μακρόστενης δεξαμενής και εκρέουν από την απέναντι πλευρά

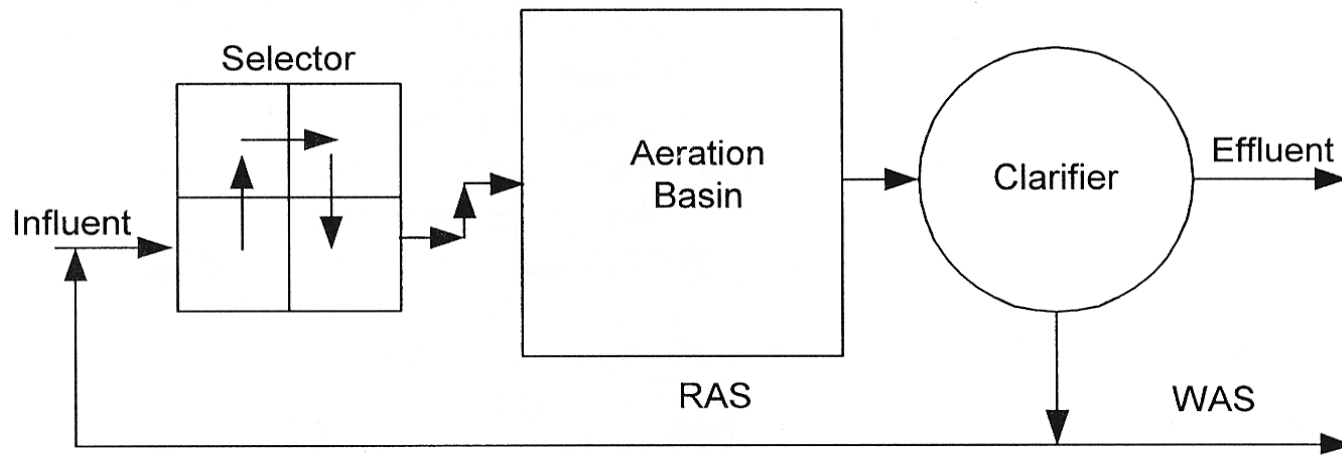


□ Σ.Ε.Λ. παροχής καθαρού οξυγόνου (High purity oxygen activated sludge): Το σύστημα αποτελείται από 3-6 δεξαμενές σε σειρά. **Αέριο πλούσιο σε O_2 , ενεργοποιημένη λάσπη και τα υγρά απόβλητα**

προστίθενται ταυτόχρονα στην πρώτη δεξαμενή. Κάθε δεξαμενή περιέχει κατάλληλο σύστημα ανάμιξης αερισμού που διατηρεί την βιομάζα του συστήματος σε διασπορά αλλά εκμεταλλεύεται πλήρως το παρεχόμενο O_2

Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η απόδοση της εγκατάστασης και μειώνεται ο χρόνος αερισμού





□ ΣΕΛ με επιλογή (Selector activated sludge, SAS):

Περιλαμβάνει προ-δεξαμενή επιλογής (SELECTOR) όπου με κατάλληλες τεχνικές περιορίζεται η ανάπτυξη των ανεπιθύμητων ινωδών μικροοργανισμών και ευνοείται η ανάπτυξη των κροκυδωτικών μικροοργανισμών ώστε να έχουμε την δημιουργία βιομάζας με βέλτιστα χαρακτηριστικά

➤ Χρήσεις Συστημάτων Ενεργοποιημένης Λάσπης

- ❑ Κυρίως για επεξεργασία αποβλήτων με COD 5,000 - 10,000 mg/L. Αραιά υγρά απόβλητα δεν μπορούν να υποστηρίξουν υψηλή παραγωγή βιολογικής λάσπης και το σύστημα καθίσταται μη λειτουργικό
- ❑ Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους για απόβλητα με COD > 20000 mg/L διότι η ποσότητα της βιολογικής λάσπης που παράγεται μπορεί να φτάσει τα 8000 mg/L (ολικά διαλυτά στερεά) με αποτέλεσμα τέτοιες ποσότητες βιολογικής λάσπης να μην είναι δυνατόν να καθιζάνουν σε συλλέκτες και το σύστημα να καθίσταται μη λειτουργικό

➤ Παράγοντες που επηρεάζουν αποτελεσματικότητα των Σ.Ε.Λ.

- ❑ Σχηματισμός βιολογικών κροκύδων
- ❑ Χρόνος κατακράτησης στερεών
- ❑ Διαλυτό Οξυγόνο: 2 mg/L βέλτιστη συγκέντρωση
- ❑ Μεταφορά και ανάμιξη οξυγόνου: καθορίζεται από το μέγεθος του αντιδραστήρα. Συστήματα παροχής οξυγόνου σε μικρούς αντιδραστήρες μπορεί να οδηγήσουν σε σπάσιμο των κροκύδων αντίθετα σε μεγάλους αντιδραστήρες η ενεργειακή ισχύ για να επιτευχθεί ομοιόμορφη παροχή είναι ασύμφορη οικονομικά
- ❑ Θρεπτικά στοιχεία: απαραίτητα για την ισορροπημένη μικροβιακή ανάπτυξη και αποφυγή επικράτησης ανεπιθύμητων μικροοργανισμών
- ❑ Θερμοκρασία: σταθερή σε μεσόφιλο ή θερμόφιλο επίπεδο