



Τεχνική Περιβάλλοντος

Ενότητα 6: Βιολογικές διεργασίες

Ευθύμιος Νταρακάς
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Βιολογικές διεργασίες



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



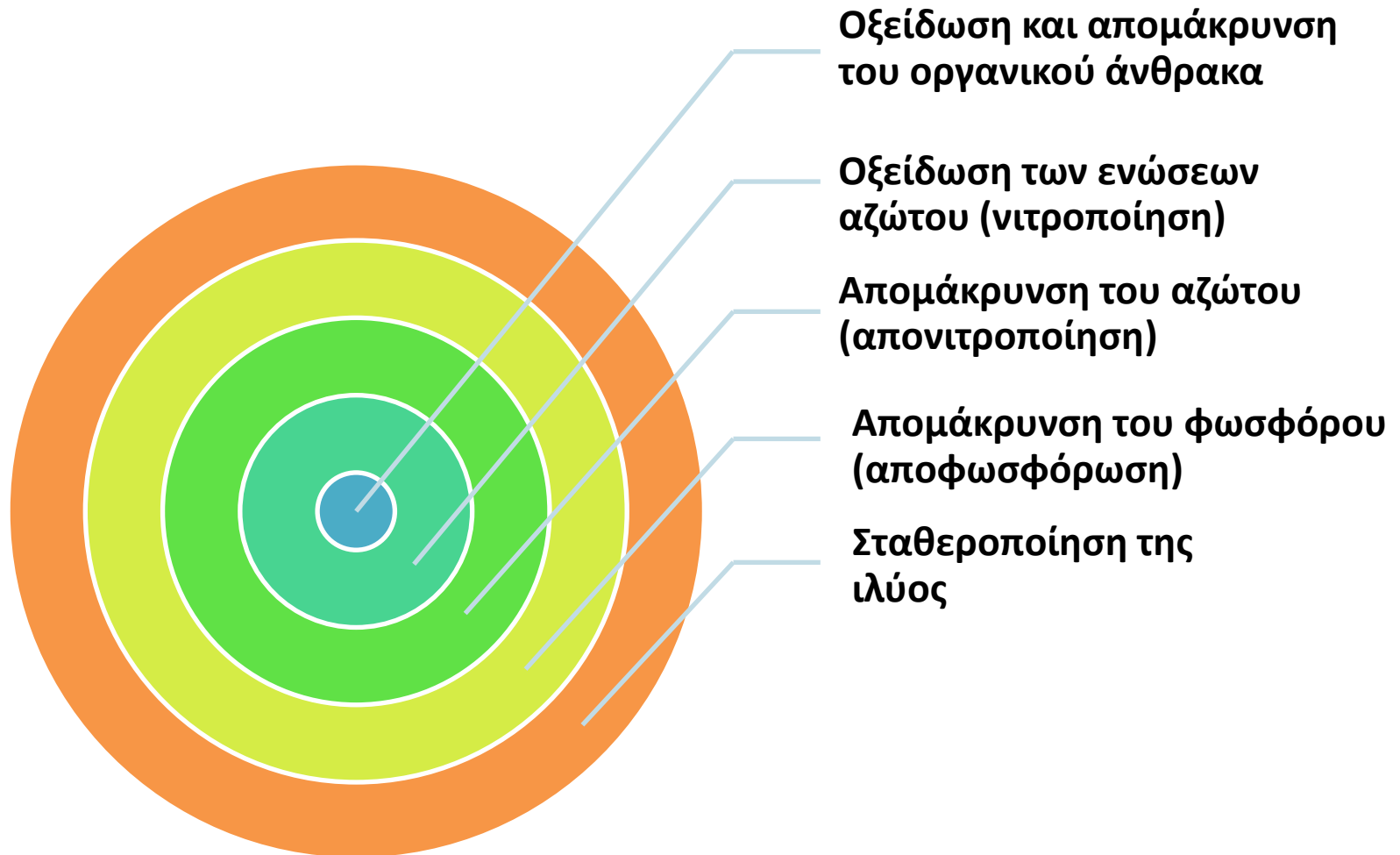
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Στόχοι βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων



Βιολογική επεξεργασία λυμάτων

- Ποιος είναι ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας των λυμάτων;
- Από τι εξαρτάται αυτό;
- Ποιοι ρυπαντές πρέπει να απομακρυνθούν;
- Ποιος είναι ο αποδέκτης της εκροής;
- Συνδέεται ο βαθμός επεξεργασίας (καθαρισμού) με τον τελικό αποδέκτη;



Δεδομένα παραμέτρων σχεδιασμού

Είδος λυμάτων	Αστικά	
Ισοδύναμος πληθυσμός	180.000	
Μέγιστη ημερήσια παροχή	43.200 m ³ /d	1.800 m ³ /h
Μέση ημερήσια παροχή	36.000 m ³ /d	1.500 m ³ /h
Παροχή αιχμής	800 Lt/s	2.880 m ³ /h
Ποιοτικά χαρακτηριστικά Εισόδου		
Βιοδ. Οργανικό φορτίο – BOD ₅	11.700 kg/d	325 mg/Lt
Ολικό Οργανικό φορτίο – COD	14.400 kg/d	400 mg/Lt
Στερεά (S.S.)	14.400 kg/d	400 mg/Lt
Ολικό Άζωτο	2.340 kg/d	65 mg/Lt
Ολικός Φώσφορος	468 kg/d	13 mg/Lt
Ποιοτικά χαρακτηριστικά Εξόδου		
Βιοδ. Οργανικό φορτίο – BOD ₅	900 kg/d	25 mg/Lt
Ολικό Οργανικό φορτίο – COD	4.500 kg/d	125 mg/Lt
Στερεά (S.S.)	1.080 kg/d	30 mg/Lt
Ολικό Άζωτο	540 kg/d	15 mg/Lt
Ολικός Φώσφορος	360 kg/d	10 mg/Lt
Βαθμός καθαρισμού BOD ₅	> 92,3%	

INFLUENT

EFLUENT



Βιολογική επεξεργασία λυμάτων

C Απομάκρυνση διαλυμένου οργανικού φορτίου (BOD)

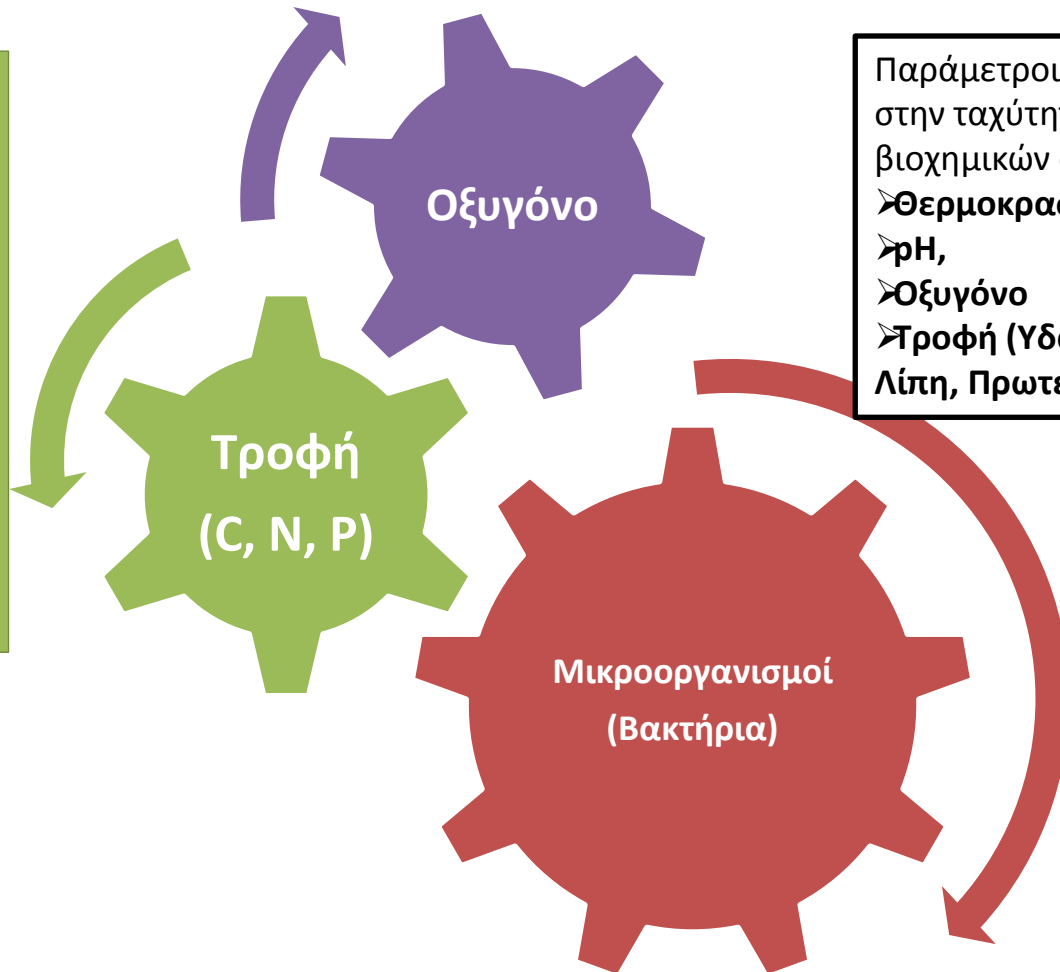
N Απομάκρυνση αζώτου (νιτροποίηση – απονιτροποίηση)

P Απομάκρυνση φωσφόρου



Βασικό τρίπτυχο βιολογικών διεργασιών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Στη βιοτεχνολογία περιβάλλοντος η τροφή των βακτηρίων είναι τα λύματα τα οποία περιέχουν πλήθος οργανικών ουσιών. Τροφή: Οργανικές ουσίες (C), Θρεπτικά άλατα (N, P).



Παράμετροι που επιδρούν στην ταχύτητα των βιοχημικών αντιδράσεων:

- Θερμοκρασία,
- pH,
- Οξυγόνο
- Τροφή (Υδατάνθρακες, Λίπη, Πρωτεΐνες).



Βιοχημικές διεργασίες για βιολογική επεξεργασία λυμάτων

Αφαίρεση διαλυτού οργανικού υλικού	Σταθεροποίηση αιωρούμενου οργανικού υλικού	Μετατροπή του διαλυτού οργανικού υλικού
<p>Επιτυγχάνεται με τους μικροοργανισμούς οι οποίοι χρησιμοποιούν διαλυτό οργανικό υλικό ως τροφή και μετατρέπουν ένα μέρος του σε νέους μικροοργανισμούς και το υπόλοιπο σε CO₂ και H₂O.</p>	<p>Μετά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης και αφού το υλικό εισέλθει στον βιοαντιδραστήρα, ένα ποσοστό αυτού του υλικού εγκλωβίζεται στα συσσωματώματα που σχηματίζονται από τους μικροοργανισμούς και ένα άλλο ποσοστό υδρολύεται. Με την υδρόλυση μέρος του υλικού μετατρέπεται πάλι σε μικροοργανισμούς με τη διαδικασία της μικροβιακής ανάπτυξης, αφού πρώτα χρησιμοποιηθεί από τους μικροοργανισμούς.</p>	<p>Πρόκειται για διεργασίες απομάκρυνσης P και N. Υπό την επίδραση μικροοργανισμών οι φωσφορούχες ενώσεις μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά άλατα τα οποία απομακρύνονται από ειδικά βακτήρια τα οποία έχουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα να αποθηκεύουν σημαντικές ποσότητες P σε σφαιρίδια που βρίσκονται εντός του κυττάρου τους. Για το N λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση.</p>



Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Διακρίνεται ανάλογα με τους μικροοργανισμούς οι οποίοι παίζουν το σπουδαιότερο ρόλο και είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση και τη σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών σε:

Αερόβια	Αναερόβια	Αερόβια - αναερόβια
Διάσπαση και σταθεροποίηση από αερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς	Διάσπαση και σταθεροποίηση από αναερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς	Διάσπαση και σταθεροποίηση και από τα τρία είδη των οργανισμών (αερόβιοι, αναερόβιοι και επαμφοτερίζοντες)



Θρεπτικά συστατικά για ομαλή λειτουργία βιολογικών συστημάτων

Μέθοδος	Λόγος C / N / P
Συμβατική μέθοδος EI	100 / 5 / 1
Παρατεταμένος αερισμός	600 / 5 / 1
(Στη φιάλη προσδιορισμού BOD ₅)	60 / 3 / 1

Έλλειμμα αζώτου (N) συμπληρώνεται με προσθήκη διαλύματος ουρίας (NH_2CONH_2). Στο εμπόριο υπάρχει σε κοκκώδη μορφή σε συγκεκριμένη περιεκτικότητα σε N (π.χ. 46%)

Έλλειμμα φωσφόρου (P) συμπληρώνεται με προσθήκη φωσφορικού (H_3PO_4) οξέος (περιεκτικότητα 85% σε P)



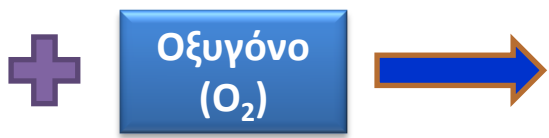
Δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- Κατά τη βιολογική επεξεργασία γίνονται διεργασίες ανάλογες με αυτές της αυτοκάθαρσης των φυσικών νερών με τη βοήθεια των μικροοργανισμών.
- Η αντίδραση αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών γίνεται με την προσθήκη ενέργειας σε πολύ μικρότερο χρόνο και χώρο απ' ότι στη φύση.



Αερόβιες και αναερόβιες βιολογικές διεργασίες

ΛΥΜΑΤΑ:
Οργανικές ουσίες
Θρεπτικά συστατικά (N, P)
Μικροοργανισμοί



Νέα κυτταρική μάζα
CO₂
H₂O

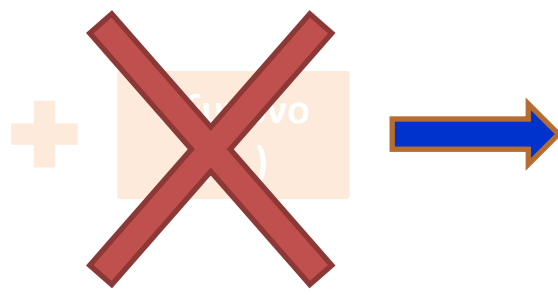
Αερόβιοι



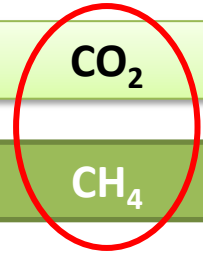
Πηγή:
<http://airductcleaningorlandooflorida.com/>

Αναερόβιοι

ΛΥΜΑΤΑ:
Οργανικές ουσίες
Θρεπτικά συστατικά (N, P)
Μικροοργανισμοί



Νέα κυτταρική μάζα
CO₂
CH₄
H₂O, NH₃, H₂S, H₂



Αερόβια βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων

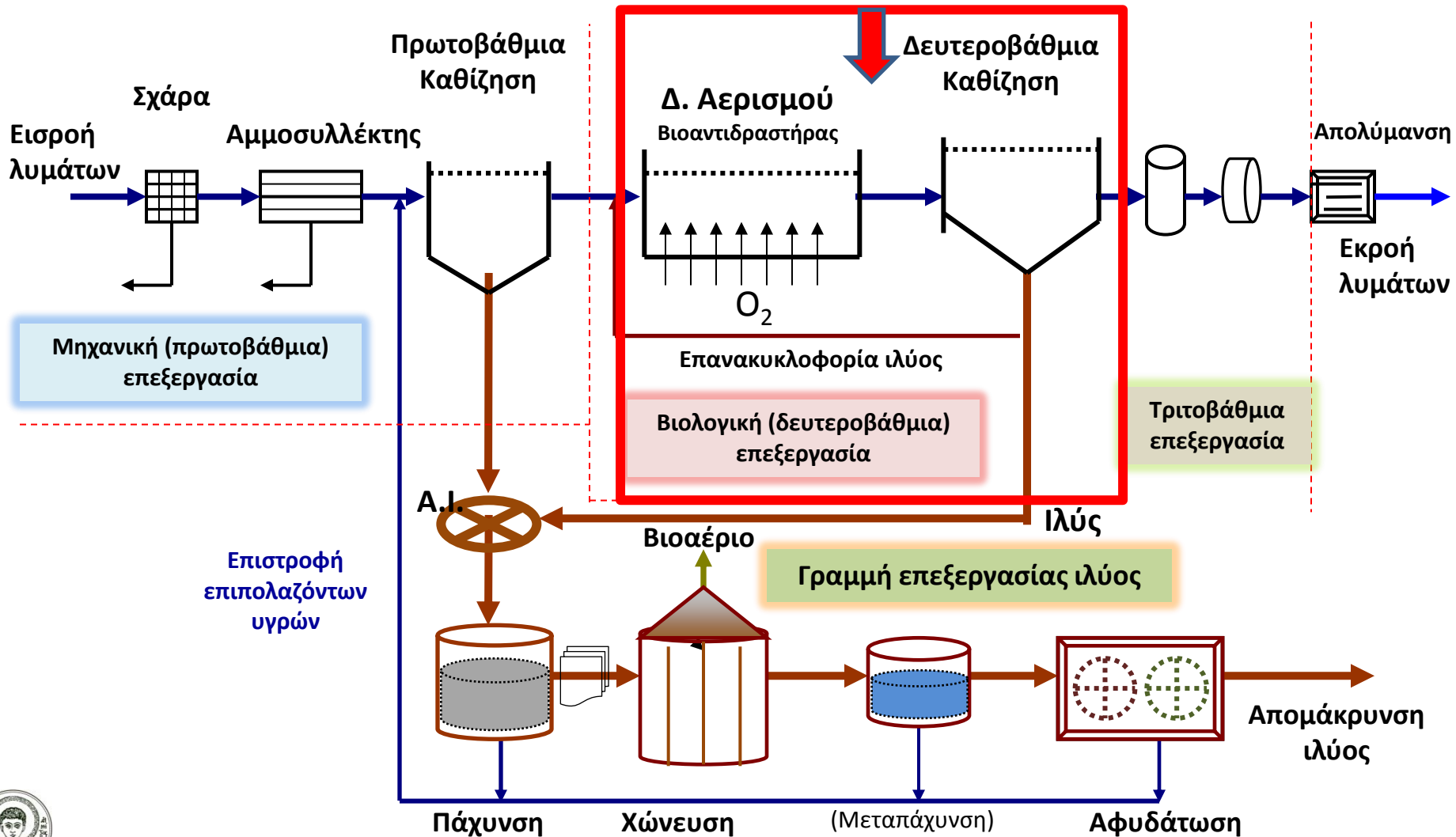
Οργανικές ουσίες λυμάτων
+ Μικροοργανισμοί
+ Θρεπτικά συστατικά (N, P)

+ O₂

Νέα κυτταρική μάζα
+ CO₂ + H₂O

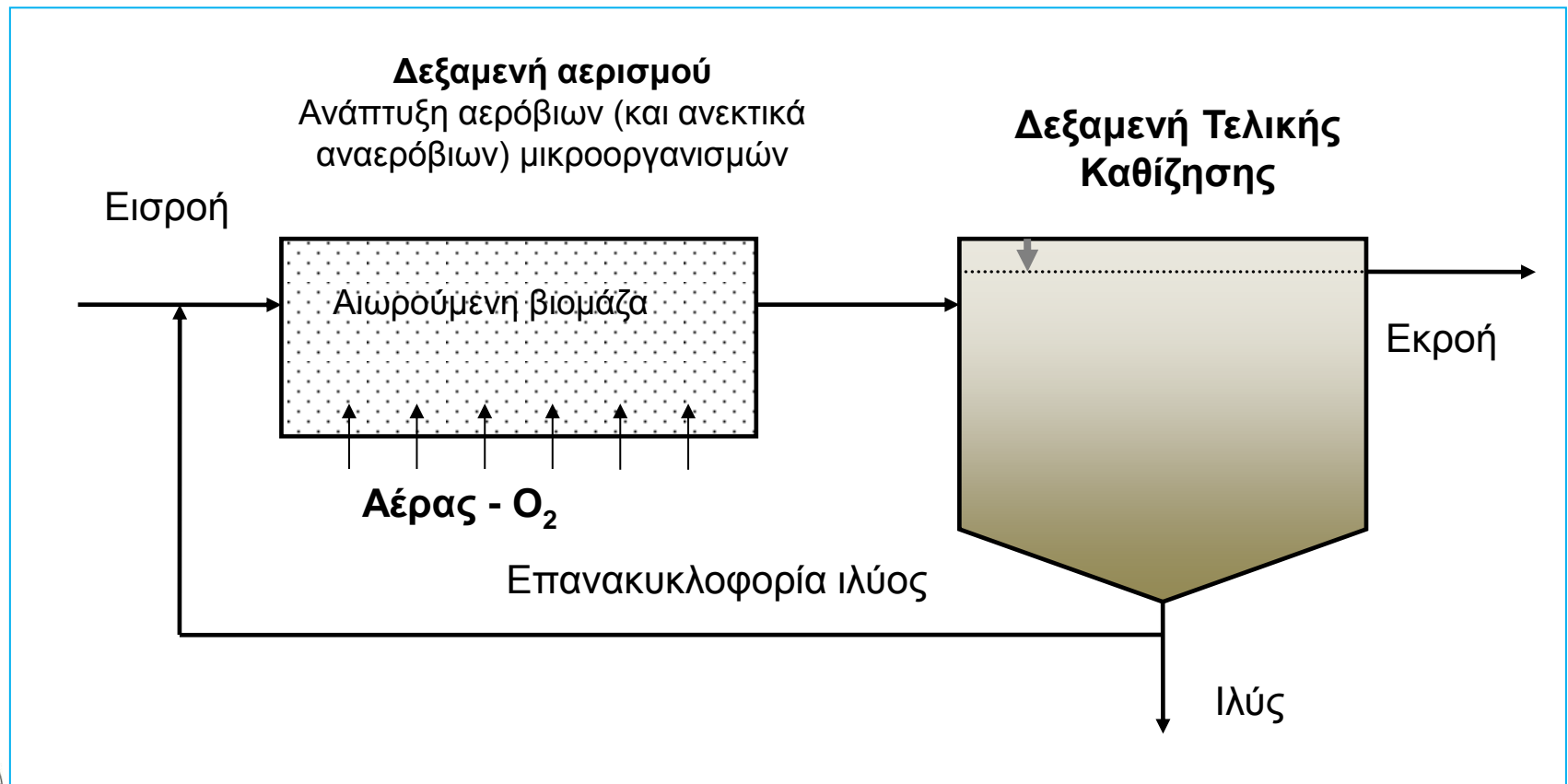


Βιολογική (δευτεροβάθμια) επεξεργασία λυμάτων



Αερόβια βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων

(Εξασφαλίζεται όταν υπάρχει στα λύματα διαλυμένο οξυγόνο σε συγκεντρώσεις $> 0,5 \text{ mg/Lt}$)



Βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- Οι βιοαντιδραστήρες σχεδιάζονται κατάλληλα, ώστε να παρέχουν ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών (θερμοκρασία, pH, συγκέντρωση οξυγόνου, αλκαλικότητα, ανάδευση, κ.α.).
- Διαστασιολογούνται από την ένταση και το είδος των διεργασιών (αερόβιοι, αναερόβιοι).
- Οι δεξαμενές καθίζησης είναι κοινές σε όλες τις περιπτώσεις.



Αερόβια βιολογική επεξεργασία λυμάτων

Αιωρούμενη βιομάζα

- **Ενεργός ιλύς** (Activated sludge).
- Ανάπτυξη αερόβιων (και ανεκτικά αναερόβιων) μικροοργανισμών.
- Οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε **αιώρηση** μέσα στις δεξαμενές αερισμού (ενεργού ιλύος).

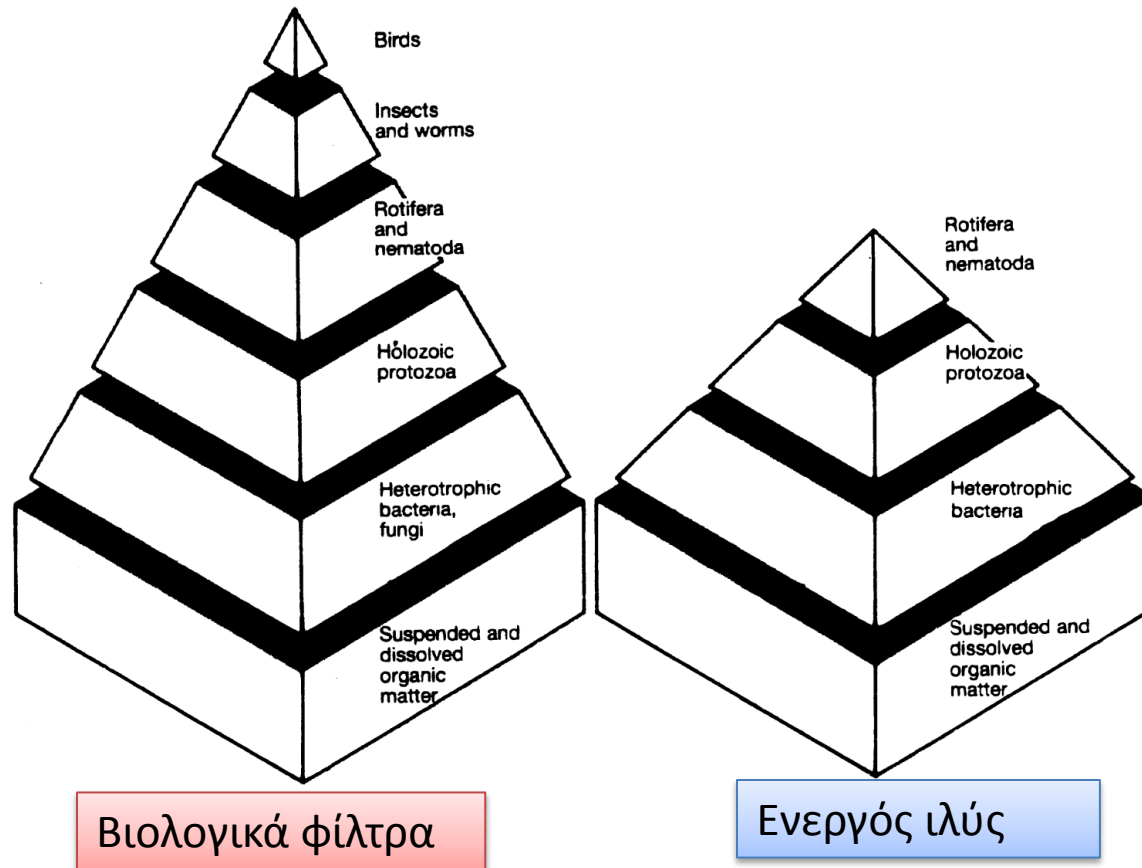
Προσκολλημένη βιομάζα

- **Χαλικοδυλιστήρια** (Trickling Filters).
- **Δισκοδυλιστήρια** (Rotating Contactor Beds).
- Οι μικροοργανισμοί σχηματίζουν **βιολογικούς υμένες** επί στερεών επιφανειών οι οποίες δημιουργούνται μέσα στις δεξαμενές.



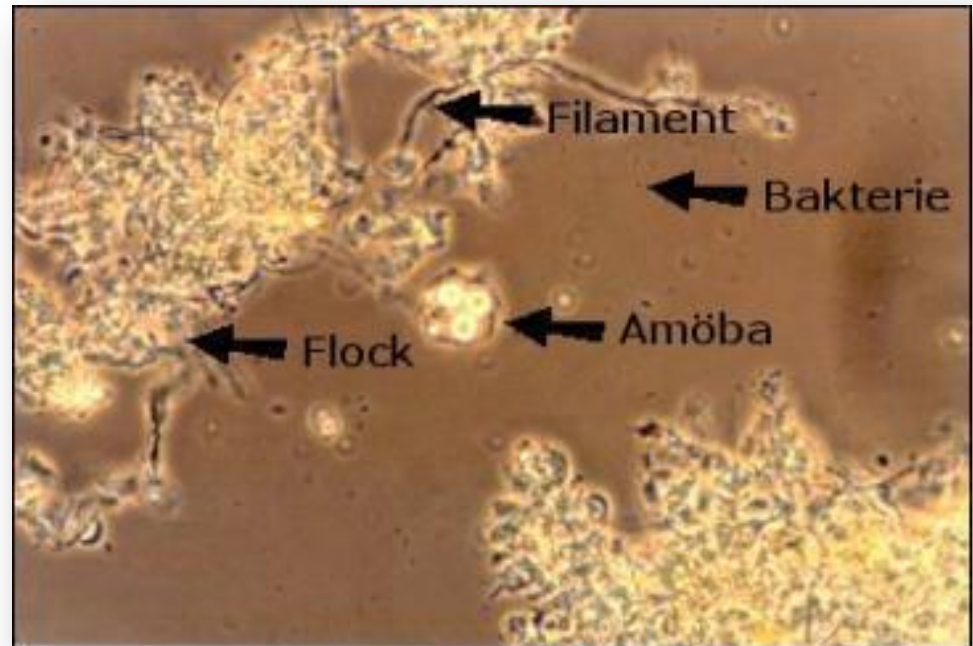
Διυλιστήρια – Ενεργός ιλύς

Σύγκριση μικροβιακού πληθυσμού



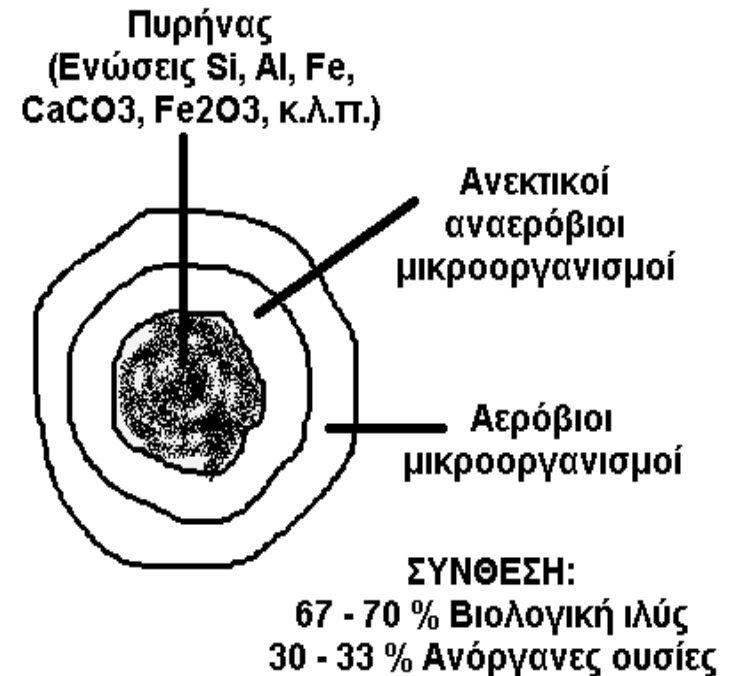
Μικροοργανισμοί ενεργού ιλύος

- **Χημειοτερότροφα βακτήρια**
(Βακτήρια που αποικοδομούν την οργανική ύλη, Απονιτροποιητικά βακτήρια).
- **Αυτότροφα βακτήρια**
(Νιτροποιητικά βακτήρια, Βακτήρια που οξειδώνουν το θείο).
- **Μύκητες** (Αποικοδομούν ακόμα και δύσκολα αποικοδομήσιμες ουσίες).
- **Πρωτόζωα** (Είναι οι πρώτοι αποικοδομητές, Καταναλώνουν νεκρά βακτήρια, Συντελούν στην βελτίωση της ποιότητας των κατεργασμένων λυμάτων).
- **Ανώτεροι πολυκυτταρικοί ζωικοί οργανισμοί.**

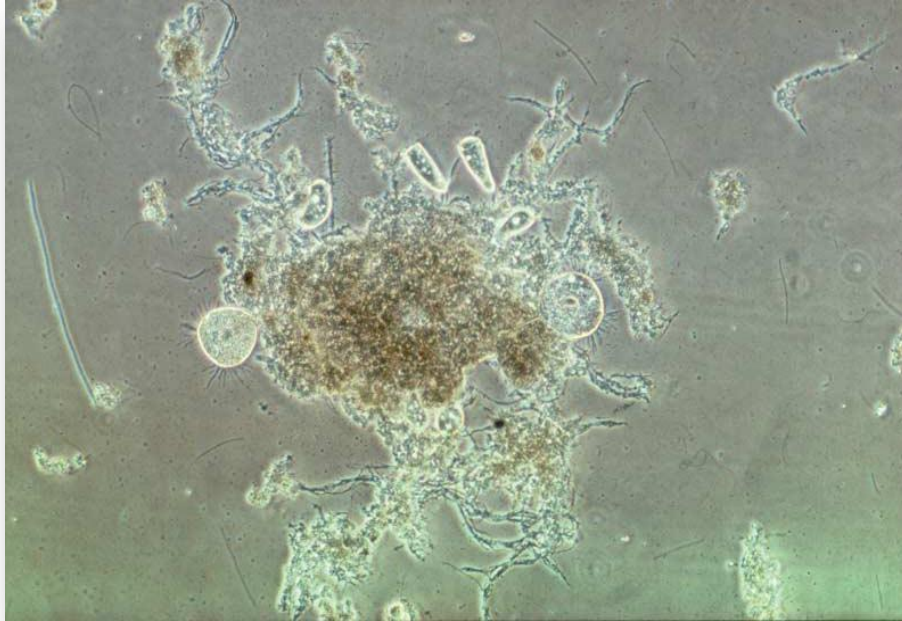


Βιολογικοί θρόμβοι και διαβίωση μικροοργανισμών

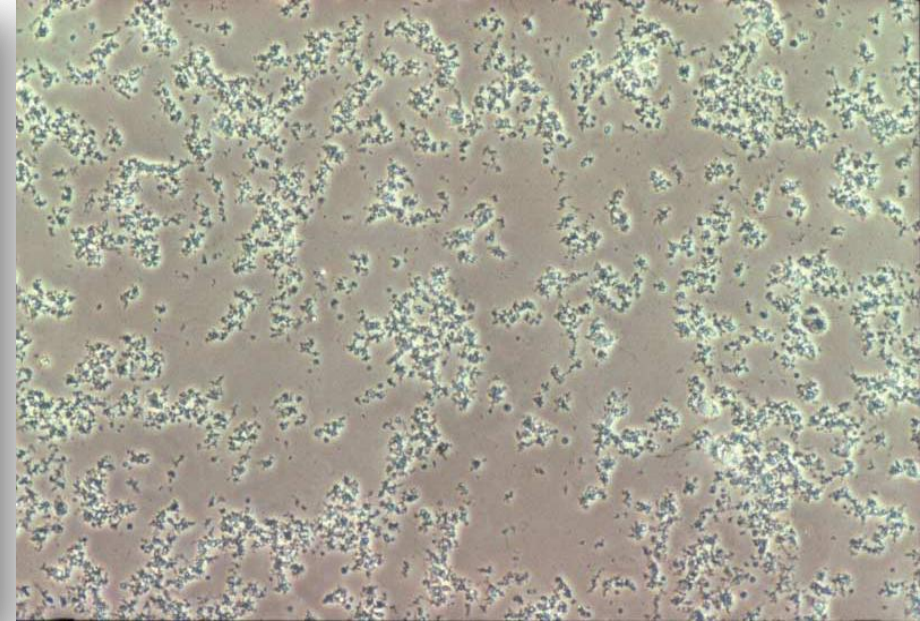
- Πυρήνας ανόργανης σύστασης που περιέχει ενώσεις Si, Al, Fe, CaCO₃, Fe₂O₃ κ.λ.π.
 - (Οι ενώσεις αυτές προέρχονται από τα προϊόντα μεταβολισμού των αερόβιων και ανεκτικά αναερόβιων μικροοργανισμών).
- Ο πυρήνας περιβάλλεται από την βιολογική ιλύ η οποία αποτελείται κυρίως από μικροοργανισμούς οι οποίοι στην μεν περιφέρεια είναι αερόβιοι και ανεκτικοί αναερόβιοι στο δε εσωτερικό μόνο ανεκτικοί αναερόβιοι.
- Όταν το O₂ δεν μπορεί να φθάσει στο εσωτερικό του θρόμβου οι **ανεκτικοί αναερόβιοι** μικροοργανισμοί διαβιούν αναερόβια αποικοδομώντας το βιολογικό θρόμβο.



Εικόνες βιολογικών θρόμβων με καλά και κακά χαρακτηριστικά καθίζησης



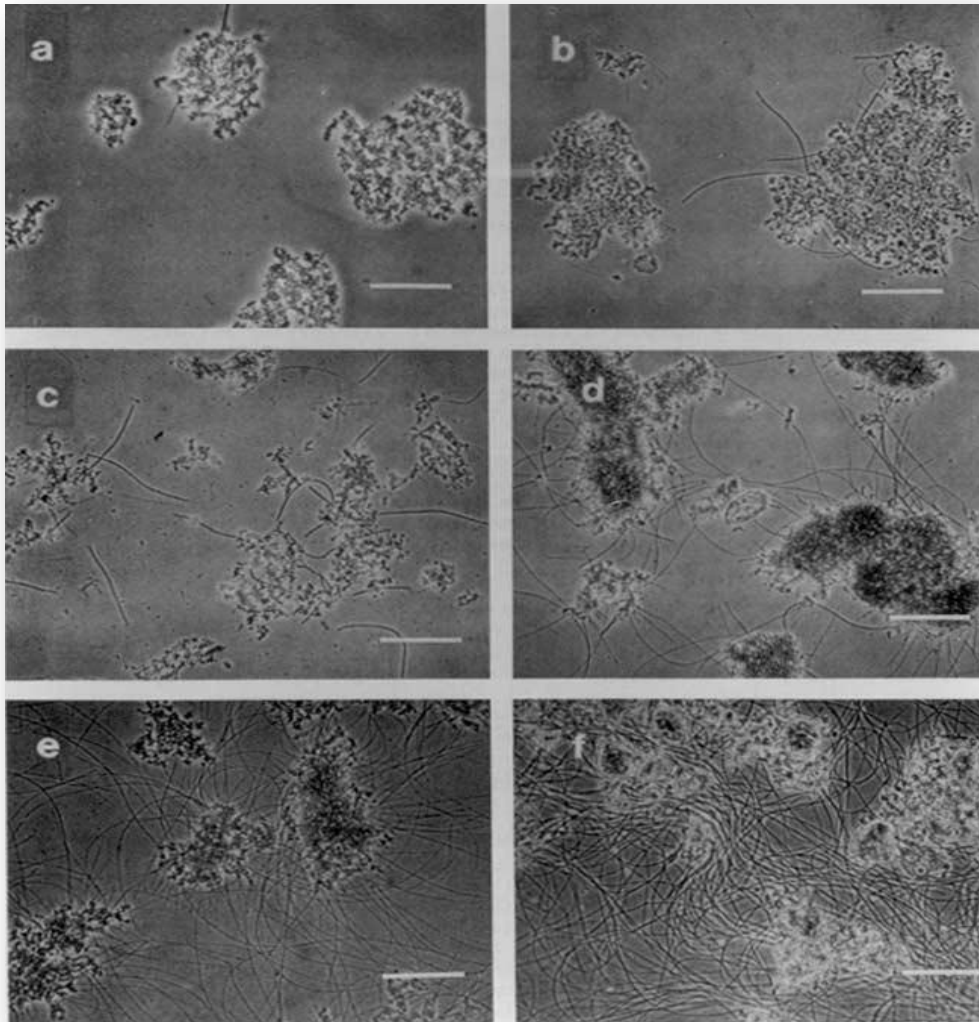
Βιολογικός θρόμβος με δευτερογενή αποικισμό - Μέθοδος ενεργού ιλύος σε **τυπικά αστικά λύματα** με καλά χαρακτηριστικά καθίζησης.



Μικροί διάσπαρτοι βιολογικοί θρόμβοι - Μέθοδος ενεργού ιλύος σε **βιομηχανικά απόβλητα** με κακά χαρακτηριστικά καθίζησης.



Ενεργός ιλύς (Διόγκωση ιλύος - Τα νηματοειδή)



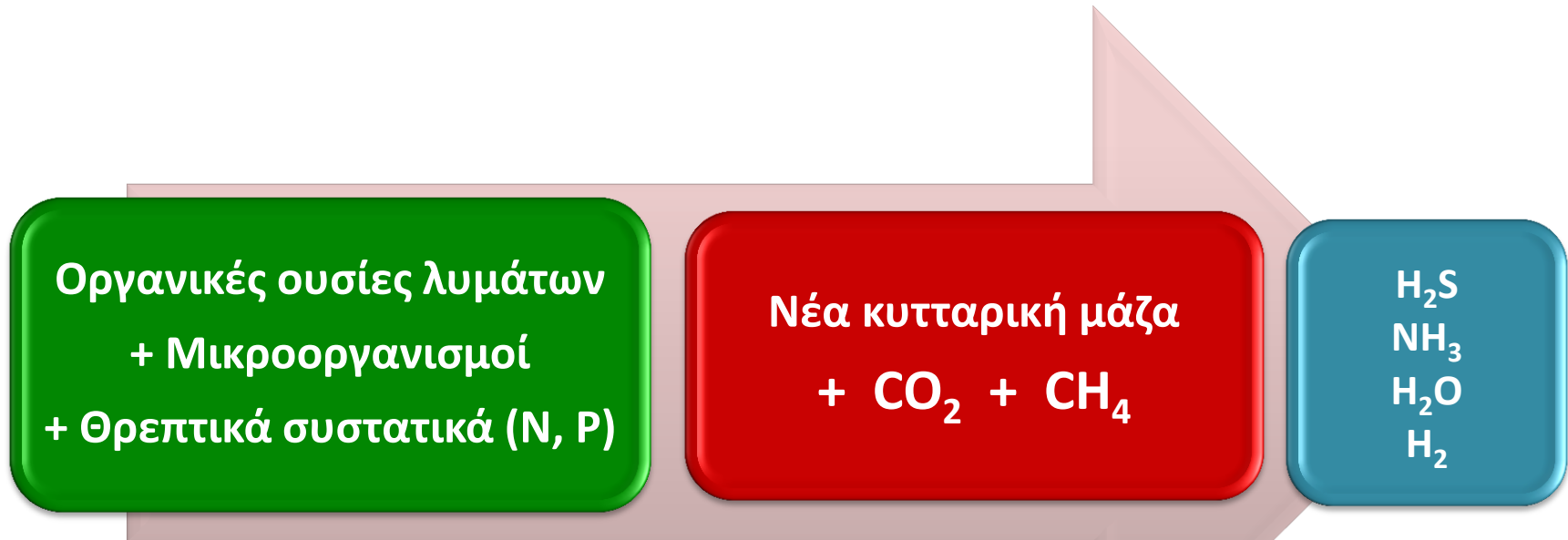
Filament abundance categories using subjective scoring system:

- (a) few;
- (b) some;
- (c) common;
- (d) very common;
- (e) abundant;
- (f) excessive.

The photographs were taken by Jenkins *et al.* (1984) using phase contrast at 100 magnification. The bar indicates 100 μm .



Αναερόβια βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων



Οι μικροοργανισμοί των αναερόβιων βιολογικών διεργασιών (αρχαιοβακτήρια, μεθανοβακτήρια, κ.λ.π.) έχουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης (χρόνος υποδιπλασιασμού 3 – 50 ημέρες).



Τα θετικά και τα αρνητικά της αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας

- CH_4 = Βιοαέριο = Ενέργεια.
 - Επιβίωση μικροοργανισμών χωρίς τροφή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.
 - Δεν απαιτείται αερισμός (Κατανάλωση ελάχιστης ενέργειας).
 - Κανένας περιορισμός στη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου.
 - Αποικοδόμηση δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών (π.χ. κυτταρίνη).
 - Χαμηλή παραγωγή ιλύος.
 - Μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (όπως N και P).
 - Επεξεργασία σε κλειστές δεξαμενές (Απουσία προβλημάτων όχλησης όπως οσμές, έντομα, καταιονισμός σταγονιδίων, θόρυβος κ.λ.π.).
- Αργή και πολύ ευαίσθητη διαδικασία (Υψηλή ευαισθησία των μεθανογόνων μικροοργανισμών σε πλήθος τοξικών ενώσεων).
 - Κατασκευή μεγάλων κλειστών δεξαμενών (Μεγάλοι χρόνοι παραμονής).
 - Απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την εκκίνηση της διεργασίας (Από 8 έως και 12 εβδομάδες).
 - Το αναερόβιο περιβάλλον ευνοεί την επιβίωση των μικροοργανισμών που ανάγουν το θείο (S) και συνεπώς την παραγωγή υδρόθειου (H_2S). Η παραγωγή θειούχων ανιόντων (S^{2-}) έχει μεν ευνοϊκή επίδραση στην καθίζηση των μετάλλων ως θειούχα άλατα τα οποία έχουν πολύ μικρή διαλυτότητα, συγχρόνως όμως μειώνει το pH και επηρεάζει αρνητικά την αύξηση των μικροοργανισμών.
 - Η διεργασία είναι ευαίσθητη στις μεταβολές του pH και παρεμποδίζεται από μια σειρά ουσιών που περιέχονται κυρίως στα βιομηχανικά απόβλητα και την ιλύ (όπως μέταλλα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, ανιοντικά απορρυπαντικά και θειούχα ανιόντα).



Απομάκρυνση ρυπαντών από υγρά απόβλητα με βιολογική επεξεργασία

Ρυπαντής	Κλασικό σύστημα αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας	Βιολογική απονιτροποίηση	Χαλικοδιυλιστήρια (Χαμηλό φορτίο)	Χαλικοδιυλιστήρια (Υψηλό φορτίο)	Αναερόβια επεξεργασία
Suspended Organic Matter	-	-	-	-	-
Dissolved Organic Matter	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ
Ammonia Nitrogen	ΚΑΚΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
Inorganic Nitrogen	ΚΑΚΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
Phosphorus	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ
Sulfides	ΑΡΙΣΤΗ	ΑΡΙΣΤΗ	ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	-
VOC	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΛΗ – ΑΡΙΣΤΗ
SOC	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ
Pesticides	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ	ΚΑΚΗ – ΑΡΙΣΤΗ
Heavy metals	-	-	-	-	-
Pathogens	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ – ΜΕΤΡΙΑ



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ευθύμιος Νταρακάς.
«Τεχνική Περιβάλλοντος». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS460/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ολυμπία Τασκάρη
Θεσσαλονίκη, 1/9/2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

