



Τεχνική Περιβάλλοντος

Ενότητα 2: Στοιχεία βιοτεχνολογίας

Ευθύμιος Νταρακάς
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
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.

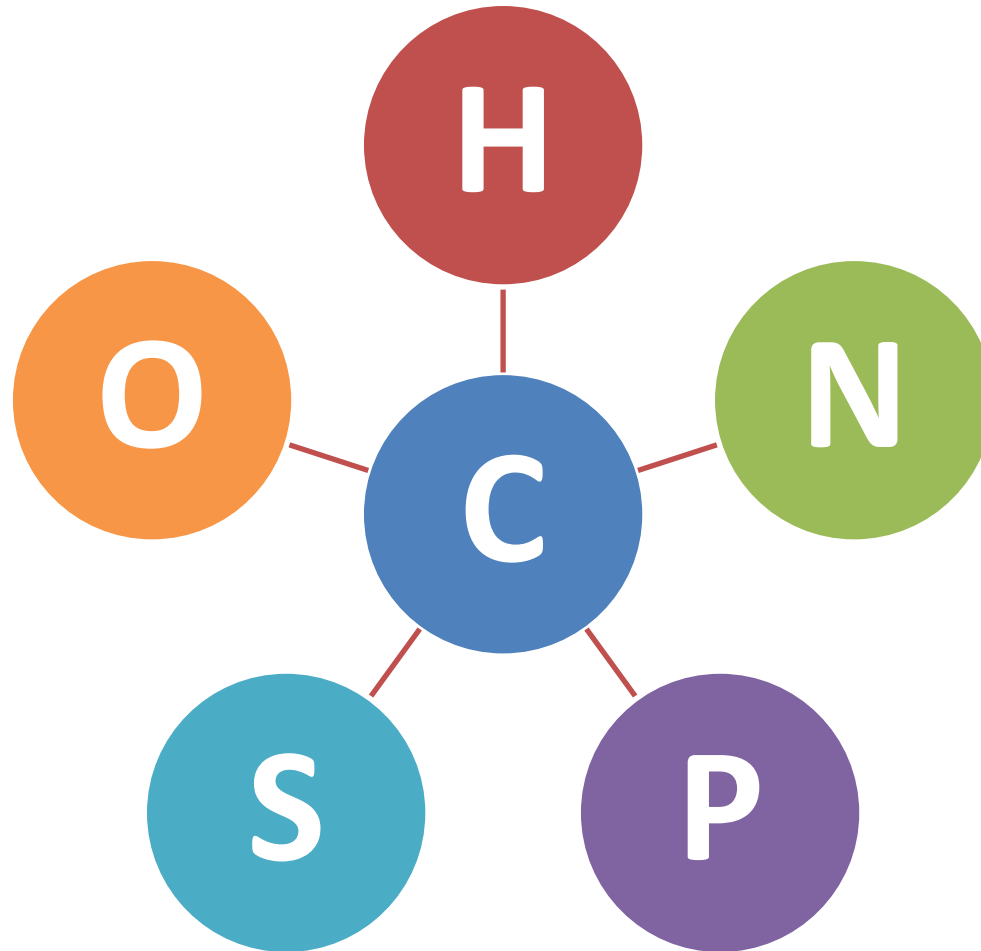


Βασικά στοιχεία βιοτεχνολογίας περιβάλλοντος

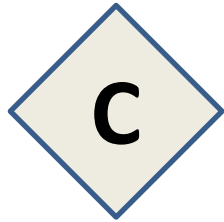
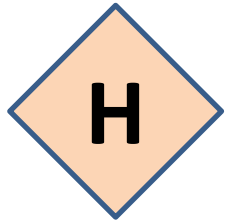
- Τα βασικά χημικά στοιχεία του περιβάλλοντος και οι οργανικές ενώσεις
- Οι μικροοργανισμοί
- Οι βιοχημικοί κύκλοι
- **Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων,**
(άνθρακας, άζωτο, φώσφορος, στερεά)
- Οι παράμετροι μέτρησης του οργανικού φορτίου
(BOD, COD)
- Η κινητική των βιοχημικών αντιδράσεων
- Οι βιοαντιδραστήρες



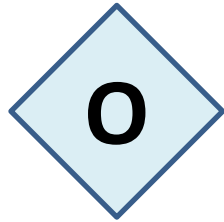
Τα βασικά χημικά στοιχεία



Βασικά χημικά στοιχεία & οργανικές ενώσεις



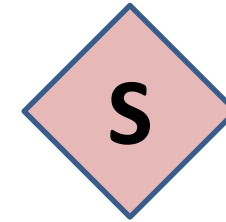
Υδρογονάνθρακες



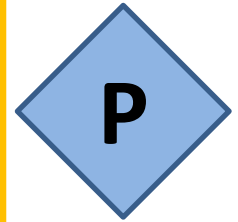
Υδατάνθρακες & λίπη



Αμινοξέα & Πρωτεΐνες



Αμινοξέα & Θειοπρωτεΐνες

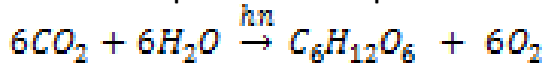
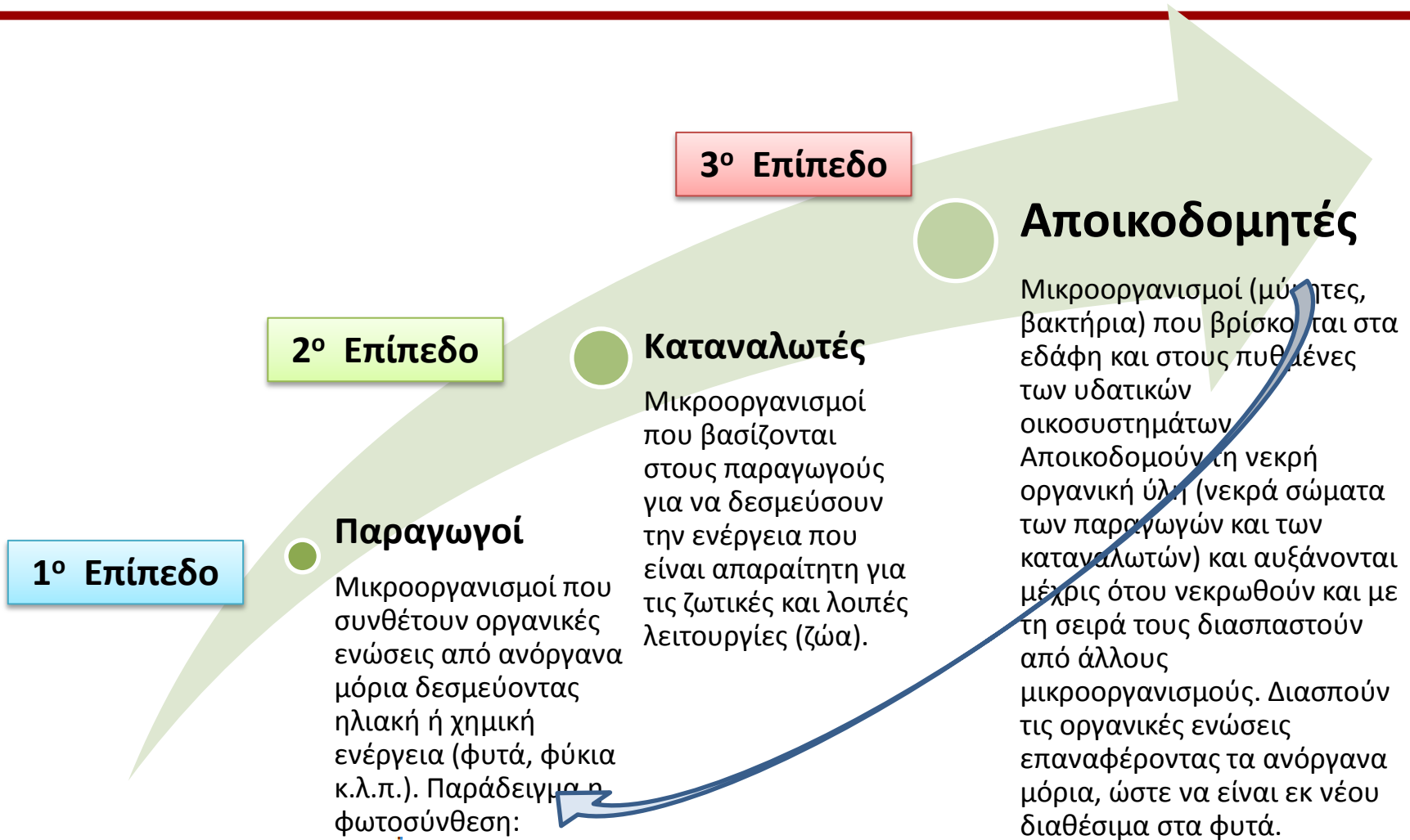


Νουκλεϊκά οξέα, RNA, DNA

Επί πλέον:
Fe, Cu, Ca, Mg, ...



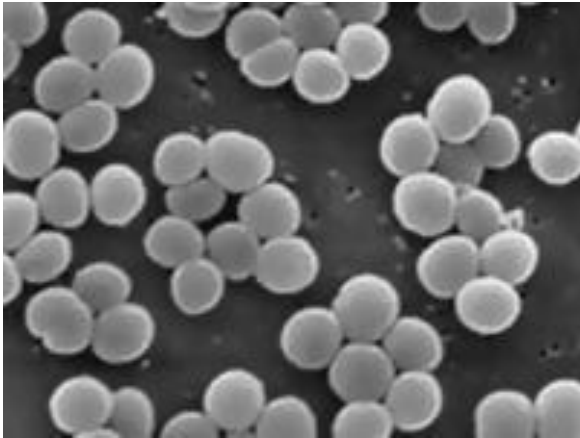
Επίπεδα ροής ενέργειας στα οικοσυστήματα και μικροοργανισμοί



Οι μικροοργανισμοί

Πηγή:

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%84%CE%B1%CF%86%CF%85%CE%BB%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CE%BA%CE%BA%CE%BF%CF%82>



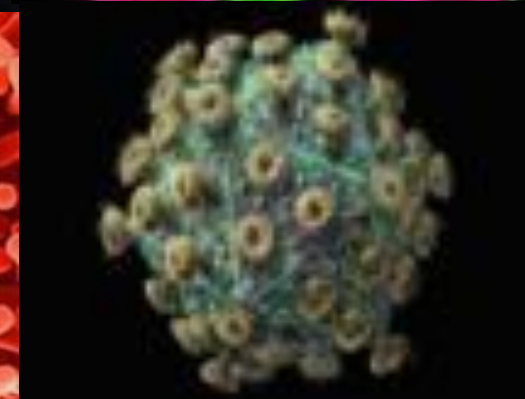
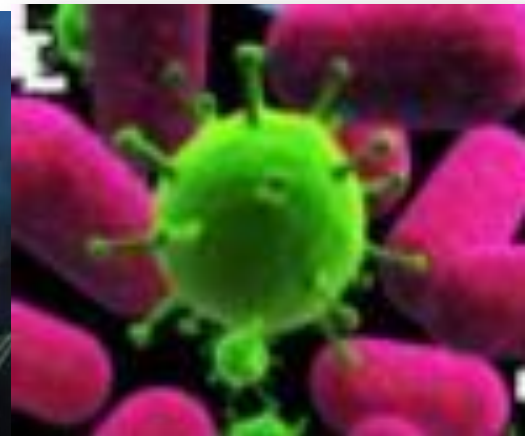
Πηγή

<http://wide-awakeness.blogspot.gr/2010/04/el-origen-de-la-vida.html>



Πηγή:

<http://www.oxfordbiosystems.com/Products/InfectiousDiseases.aspx>



Πηγή:

<http://airductcleaningorlandoflorida.com/>

Πηγή:

<http://halunikyangpernahkutemui.blogspot.gr/2012/04/bakteri-bantu-semuhkan-diare.html>

Πηγή:

<http://www.leelofland.com/wordpress/dr-denene-lofland-microscopic-murder/>



Μικροοργανισμοί σε μία σταγόνα νερού

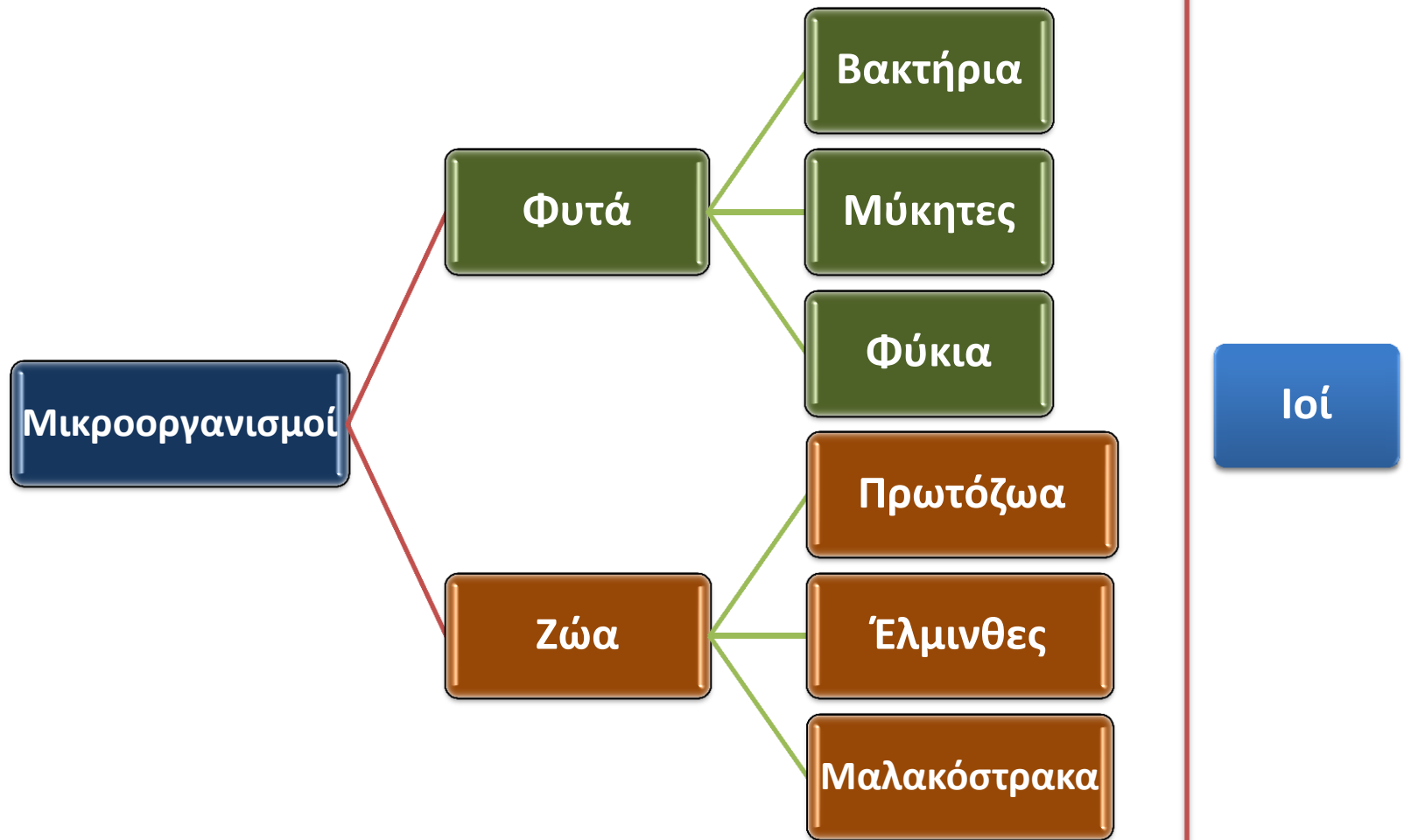


Πηγή:

<http://www.dailymail.co.uk/travel/article-2621231/National-Geographic-photo-magnified-25-times-reveals-stomach-churning-contents-SINGLE-DROP-seawater.html>



Οι μικροοργανισμοί

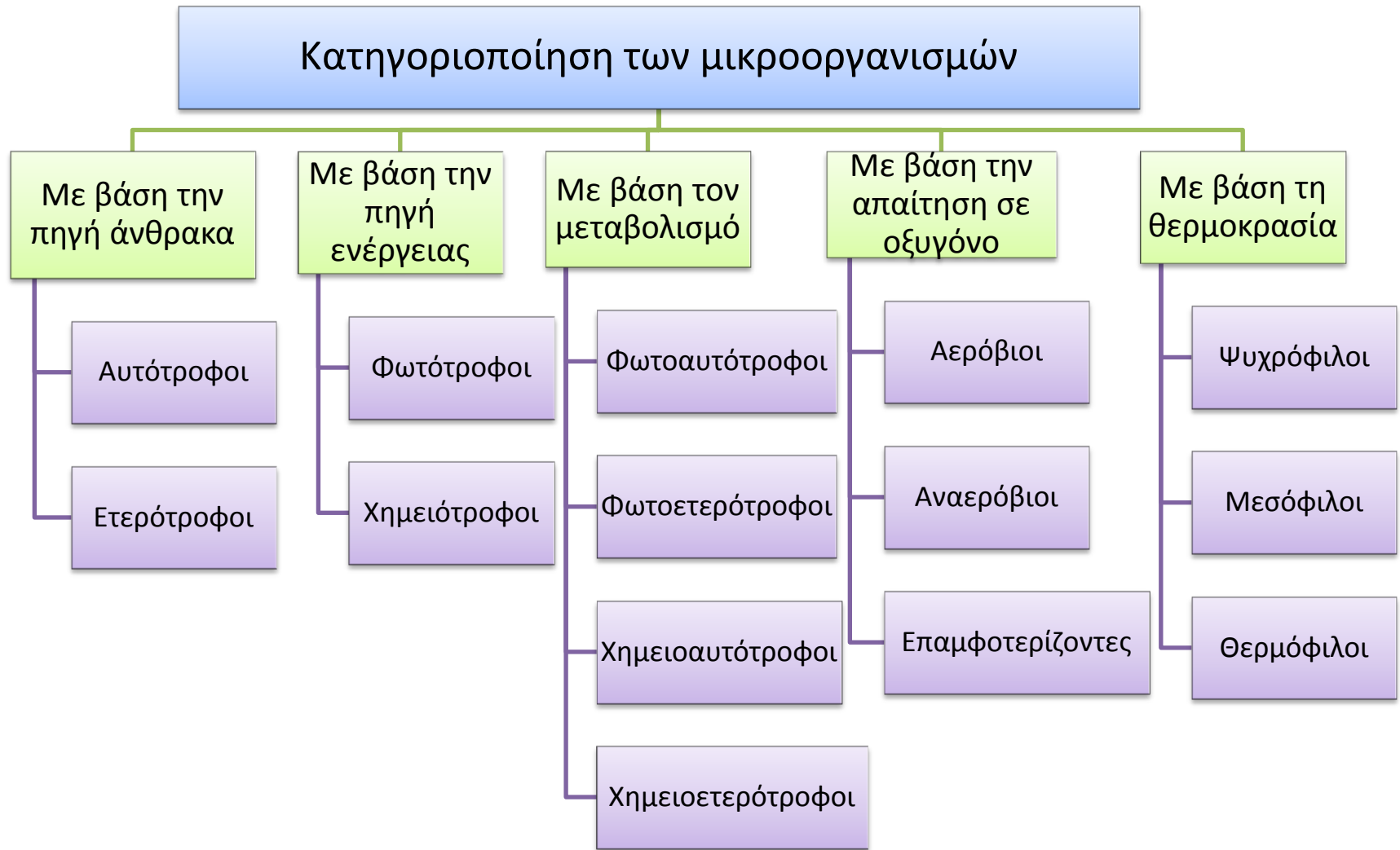


Οι μικροοργανισμοί

- **Αυτότροφοι** ή αυτοτροφικοί είναι οι μικροοργανισμοί οι οποίοι για να παρασκευάσουν κυτταρική ύλη χρησιμοποιούν ανόργανο άνθρακα που βρίσκεται στο νερό με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και των προϊόντων ιονισμού του.
- **Ετερότροφοι** ή ετεροτροφικοί είναι οι μικροοργανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν άνθρακα ενσωματωμένο σε οργανικές ουσίες (οργανικό άνθρακα).
- **Φωτότροφοι** ή φωτοσυνθετικοί είναι οι μικροοργανισμοί για τους οποίους πηγή ενέργειας είναι το ηλιακό φως.
- **Χημειότροφοι** ή χημικοσυνθετικοί είναι οι μικροοργανισμοί για τους οποίους πηγή ενέργειας είναι διάφορες χημικές ενώσεις. Αυτοί χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την οξείδωση οργανικών ή ανόργανων ουσιών.



Οι μικροοργανισμοί



Βασικά είδη μικροοργανισμών για επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- i. **Βακτήρια.** Είναι μονοκύτταροι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί. Παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αποικοδόμηση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης, τόσο στη φύση όσο και στις Ε.Ε.Λ.
- ii. **Μύκητες.** Είναι ετερότροφοι, αερόβιοι, μη φωτοσυνθετικοί, χημειότροφοι ευακρυωτικοί μικροοργανισμοί. Οι περισσότεροι μύκητες είναι σαπρόφυτα, δηλαδή προσλαμβάνουν την τροφή τους από τη νεκρή οργανική ύλη. Μαζί με τα βακτήρια είναι οργανισμοί υπεύθυνοι για την αποσύνθεση. Οι μύκητες εμφανίζονται σε όλα τα περιβάλλοντα. Αντέχουν σε μεγάλες αποκλίσεις του φυσιολογικού τους pH.



Βασικά είδη μικροοργανισμών για επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- iii. **Πρωτόζωα** . Είναι μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί χωρίς κυτταρικό τοίχωμα. Στην πλειοψηφία τους είναι αερόβιοι ή επιλεκτικά αναερόβιοι – χημειοτροφικοί μικροοργανισμοί. Τα πιο σημαντικά είδη για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι τα **αμοιβαδοειδή**, τα **βλεφαριδοφόρα** και τα **μαστιγοφόρα**. Τα πρωτόζωα τρέφονται με βακτήρια και άλλους μικροοργανισμούς. Διατηρούν την ισορροπία μεταξύ των διαφορετικών μικροοργανισμών.
- iv. **Μικροφύκη (algae)**. Είναι αυτοτροφικοί, φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί. Αναπαράγονται γρήγορα και μπορούν να προκαλέσουν ευτροφικές καταστάσεις (Αποξυγόνωση του νερού, δυσοσμία κ.λ.π.)



Βασικά είδη μικροοργανισμών για επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- v. **Έλμινθες.** Είναι οι πιο επιβλαβείς οργανισμοί για την ανθρώπινη υγεία. Είναι παράσιτα υπεύθυνα για πάρα πολλές ασθένειες.
- vi. **Ιοί.** Είναι υποχρεωτικά παράσιτα που περιβάλλονται από ένα πρωτεϊνικό κάλυμμα. Δεν έχουν τη δυνατότητα να συνθέσουν νέα προϊόντα αλλά παρασιτούν σε βάρος άλλων οργανισμών. Είναι ανθεκτικοί και μπορεί να αρχίσουν να αναπαράγονται όταν βρεθούν σε κατάλληλες συνθήκες. Προκαλούν επιδημικές κρίσεις εάν περάσουν στο πόσιμο νερό.



Βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

| | |
|--|--|
| Ολικά Κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms, TC) | Για την εκτίμηση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών και την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων. |
| Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων (Fecal Coliforms, FC) | |
| Ειδικοί μικροοργανισμοί (Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Έλμινθες) | Για την εκτίμηση της παρουσίας των συγκεκριμένων μικροοργανισμών που συνδέονται με την λειτουργία της ΕΕΛ και την επαναχρησιμοποίηση της εκροής. |
| Οξεία (άμεση) Τοξικότητα (TU_A) | Για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων. |
| Χρόνια Τοξικότητα (TU_C) | |

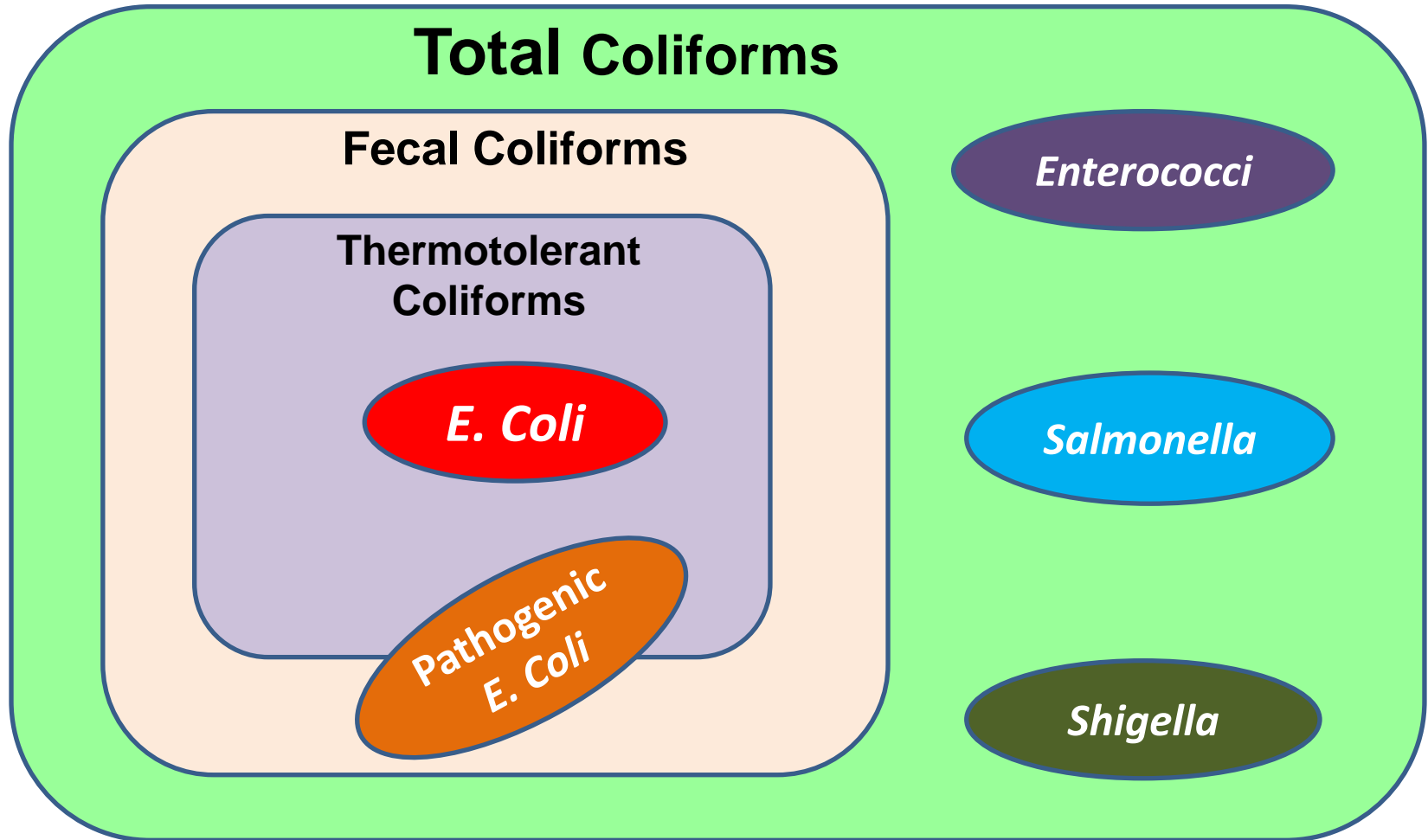


Μικροοργανισμοί και ασθένειες μεταδιδόμενες με το νερό

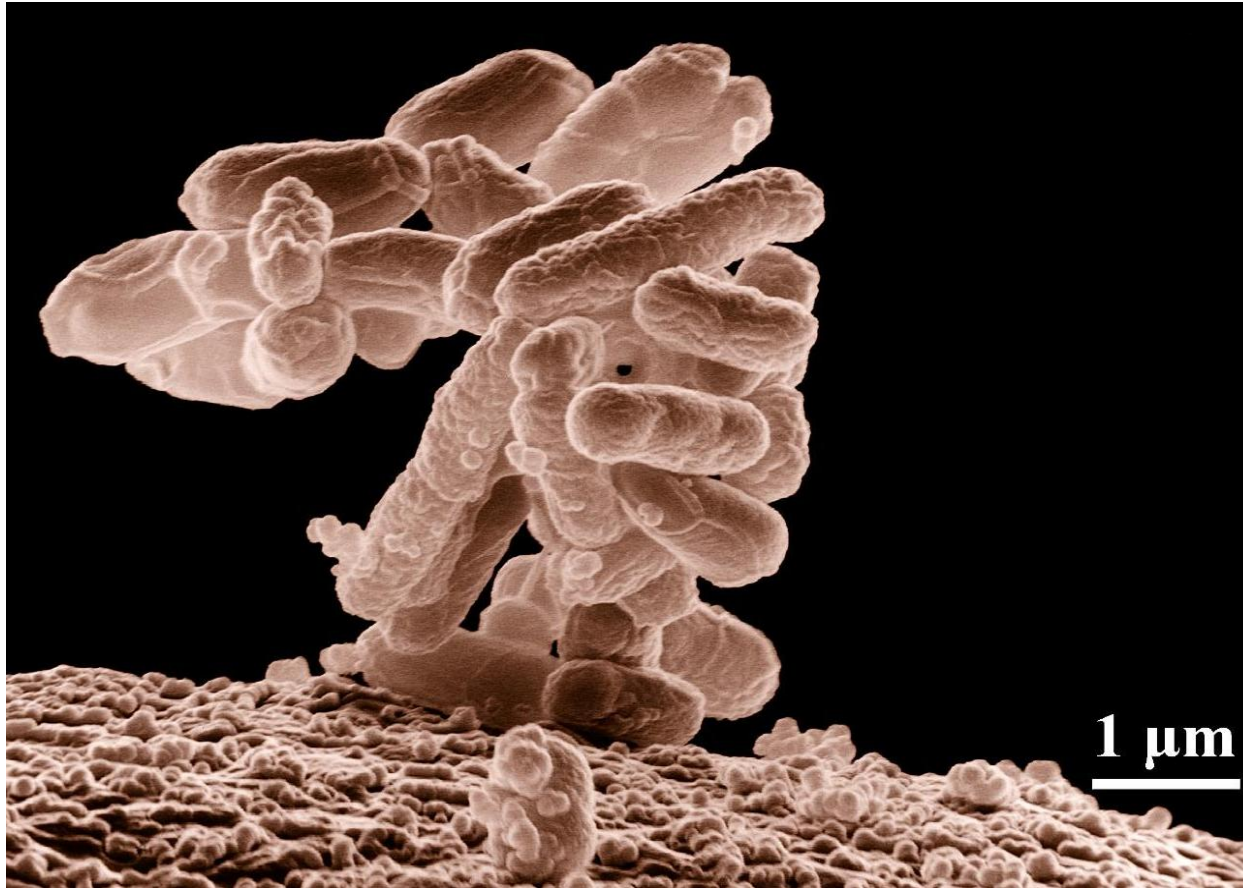
| Μικροοργανισμός | Κατηγορία | Κύριες ασθένειες |
|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| <i>Cryptosporidium parvum</i> | Πρωτόζωα | Οξεία εντεροκολίτιδα |
| <i>Cyclospora</i> | Πρωτόζωα | Οξεία εντεροκολίτιδα |
| <i>Toxoplasma gondii</i> | Πρωτόζωα | Τοξοπλάσμωση |
| <i>Legionella pneumophila</i> | Βακτήρια | Νόσος των Λεγεωναρίων |
| <i>Campylobacter jejunii</i> | Βακτήρια | Γαστρεντερίτιδα |
| <i>Escherichia coli O157:H7</i> | Βακτήρια | Αιμορραγική κολίτιδα |
| <i>Helicobacter pylori</i> | Βακτήρια | Γαστρικά έλκη |
| <i>Vibrio cholerae O139</i> | Βακτήρια | Χολέρα |
| <i>Yersinia enterocolitica</i> | Βακτήρια | Οξεία διάρροια |
| <i>Norovirus and Sapovirus</i> | Ιοί | Οξεία γαστρεντερίτιδα |
| <i>Hepatitis E virus</i> | Ιοί | Ηπατίτιδα |



Οι οργανισμοί δείκτες



Τυπική αποικία *Escherichia coli*



Πηγή:

http://www.ebreton.fr/sites/1009_espace_svt/?page_id=273



Οργανισμοί δείκτες και μέθοδοι που εφαρμόζονται για το μικροβιολογικό έλεγχο του νερού

- Να είναι εφαρμόσιμοι σε όλα τα νερά.
- Να συνυπάρχουν με τα παθογόνα είδη των μικροοργανισμών.
- Η συγκέντρωσή τους να είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με τα παθογόνα είδη.
- Να είναι εύκολα ανιχνεύσιμοι.
- Να έχουν χρόνο ζωής παραπλήσιο με αυτόν των παθογόνων ειδών.
- Να μην υπάρχουν στα καθαρά νερά.
- Να έχουν σταθερά βιοχημικά χαρακτηριστικά για ανίχνευση.
- Να είναι αβλαβείς.

- Η μέθοδος των πολλαπλών σωληναρίων (MPN).

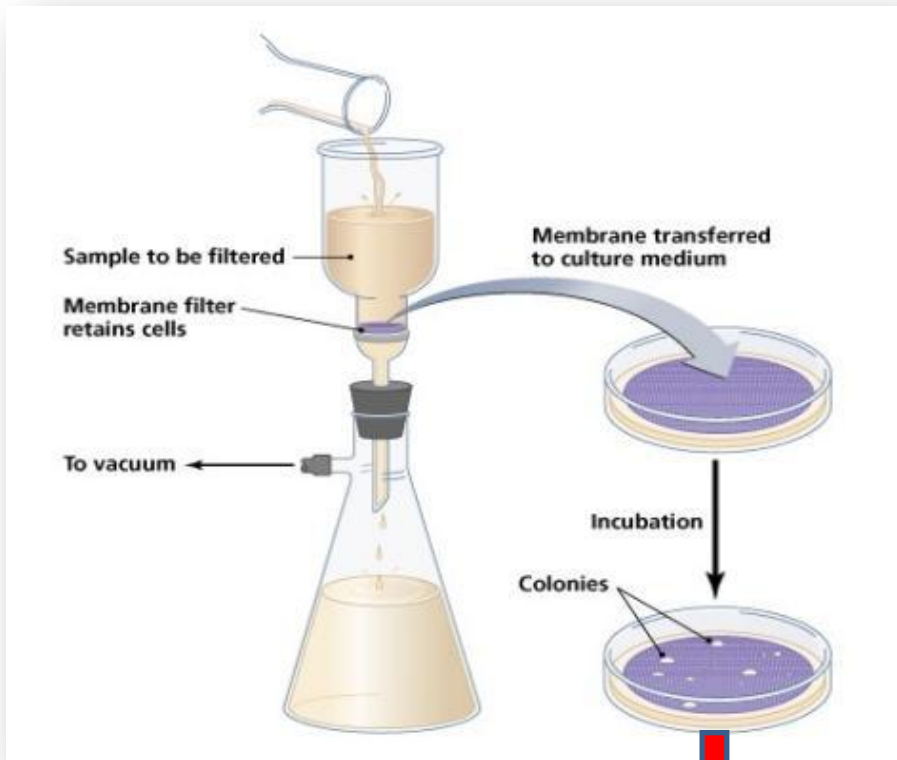
- Η μικροσκοπική καταμέτρηση.

- Η νεφελομετρική μέθοδος.

- Η μέθοδος των διηθητικών μεμβρανών (MF).



Η μέθοδος των διηθητικών μεμβράνων (MF)



Πηγή:

<http://academic.pgcc.edu/~kroberts/Lecture/Chapter%206/counting.html>

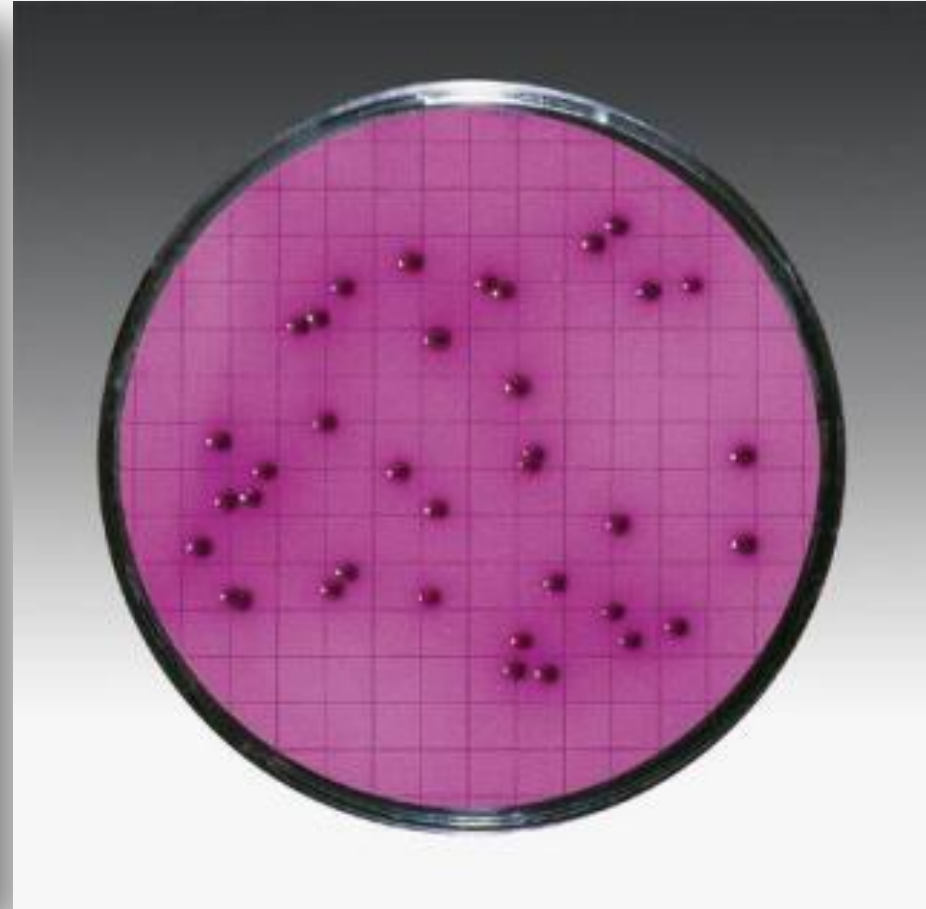
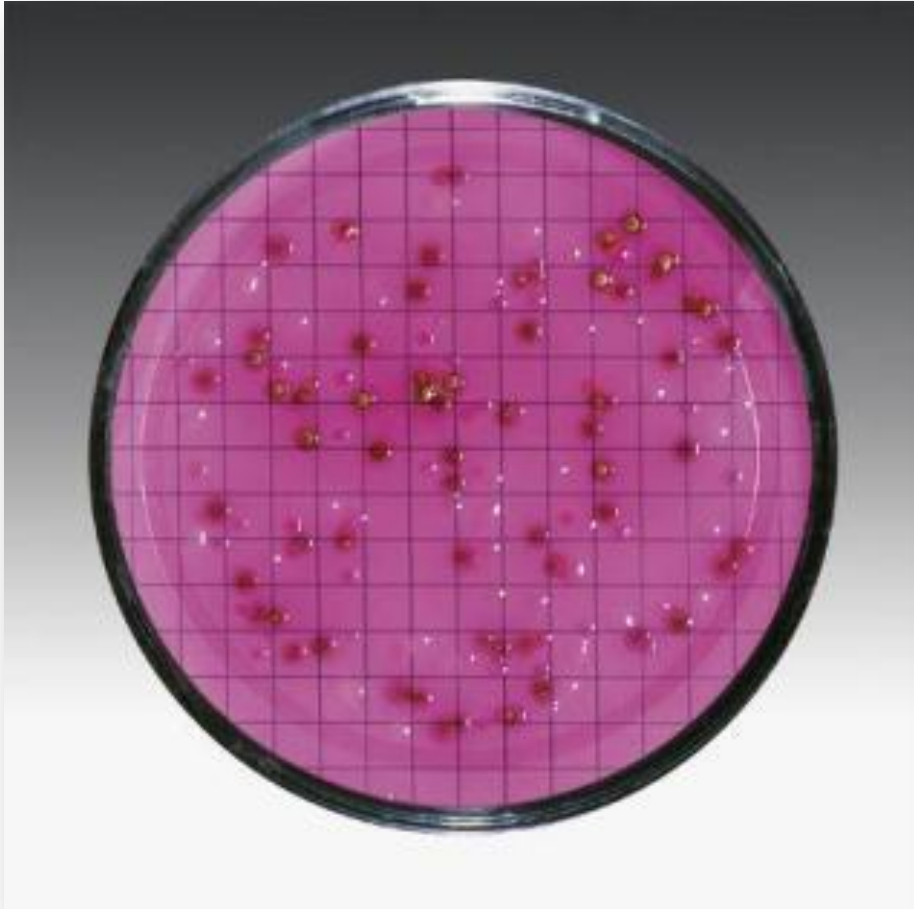


Πηγή:

<http://www.flexiblescientific.com/FS-Products/Lab-Incubator/Shel-Lab-General-Purpose-Lab-Incubator>



Αποικίες κολοβακτηριοειδών και κολοβακτηριοειδών κοπράνων σε τρυβλίο



Πηγή:

<http://microsite.sartorius.com/index.php?id=10266&uid=29>



Τυπικές συγκεντρώσεις και βιωσιμότητα παθογόνων οργανισμών σε ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα και επιφανειακά νερά (20 – 30 °C)

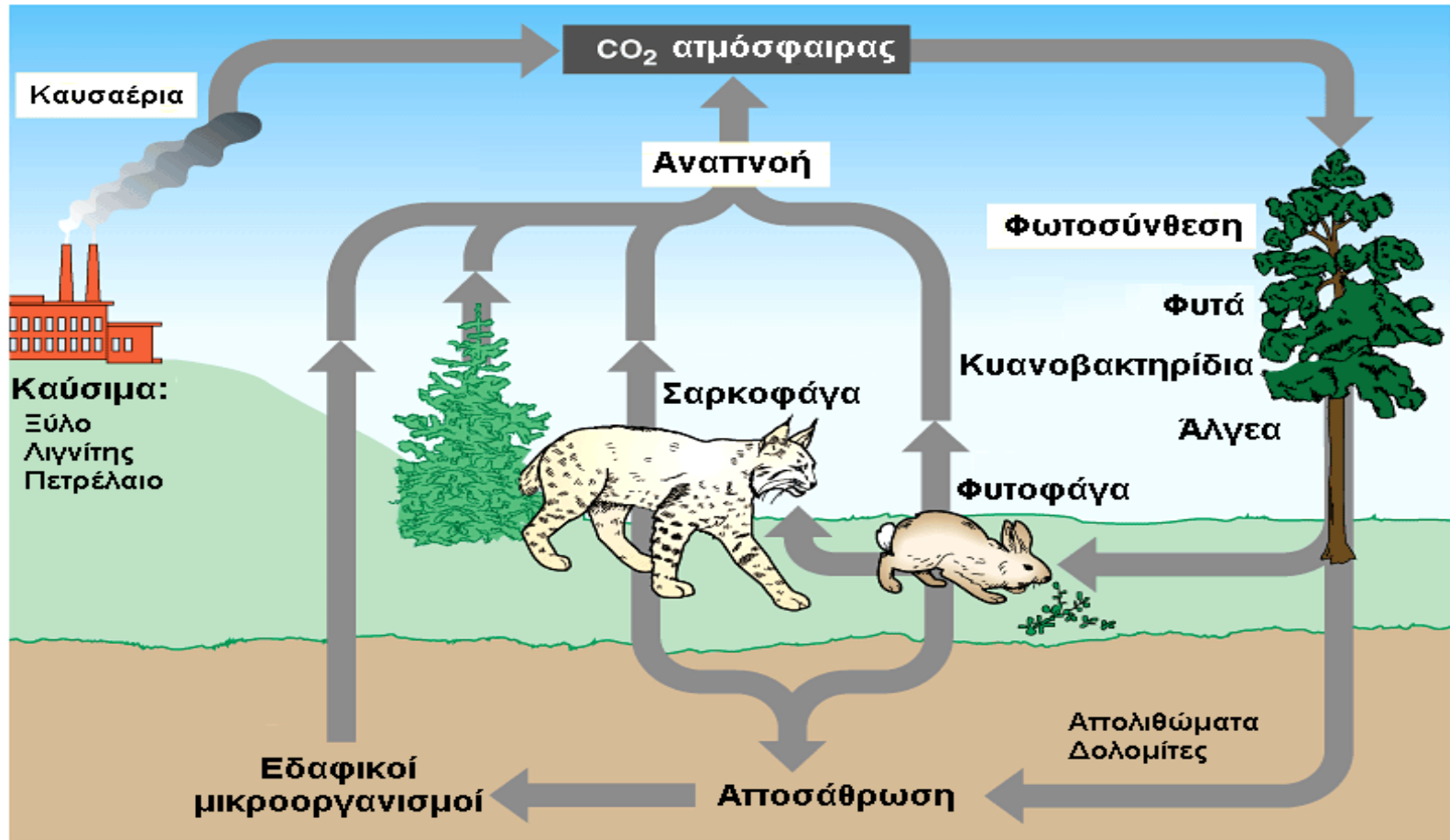
| Παθογόνοι οργανισμοί | Συγκέντρωση (MPN / 100 mL) (Υγρά απόβλητα) | Χρόνος Βιωσιμότητας (Νερά & υγρά απόβλητα) |
|---------------------------------------|---|---|
| Βακτήρια (Κολοβακτηρίδια κοπράνων) | $10^6 - 10^8$ | < 60 ημέρες Συνήθως < 30 ημέρες |
| Πρωτόζωα (Cryptosporidium parvum) | $10^1 - 10^3$ | < 30 ημέρες Συνήθως < 15 ημέρες |
| Έλμινθες (Σκουλήκια) | $10^1 - 10^3$ | Μήνες |
| Ιοί (Εντεροϊοί) | $10^3 - 10^4$ | < 120 ημέρες Συνήθως < 50 ημέρες |

Πηγή:

Metcalf & Eddy, Inc., “Μηχανική υγρών αποβλήτων, Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση” Εκδόσεις Τζιόλα, 2006



Ο κύκλος του άνθρακα



Πηγή: <http://biologi-ed.blogspot.gr/2012/08/soal-ekologi-1.html>

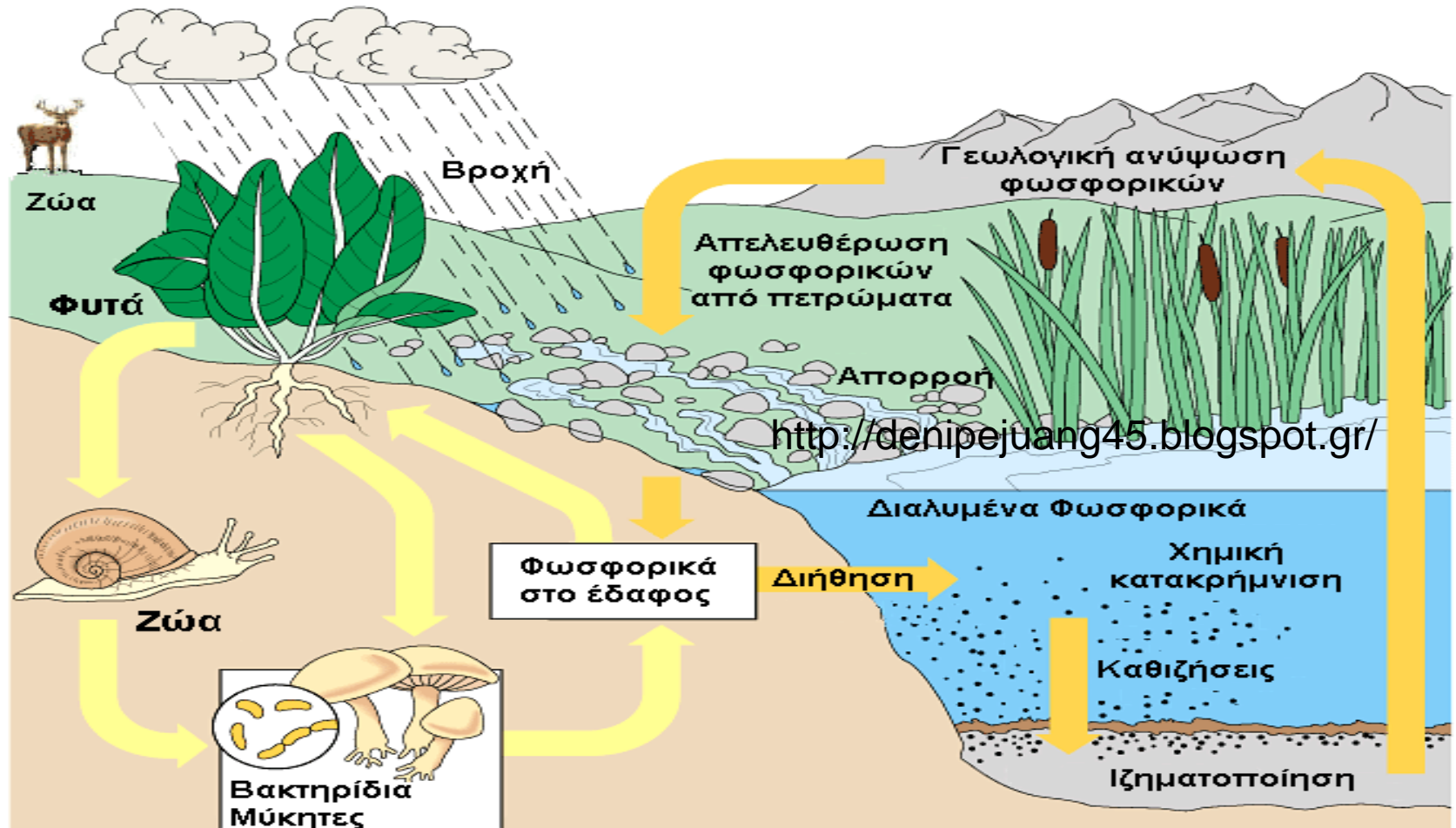


Ο κύκλος του αζώτου



Πηγή: <http://biologi-ed.blogspot.gr/2012/08/soal-ekologi-1.html>

Ο κύκλος του φωσφόρου



Πηγή: <http://biologi-ed.blogspot.gr/2012/08/soal-ekologi-1.html>

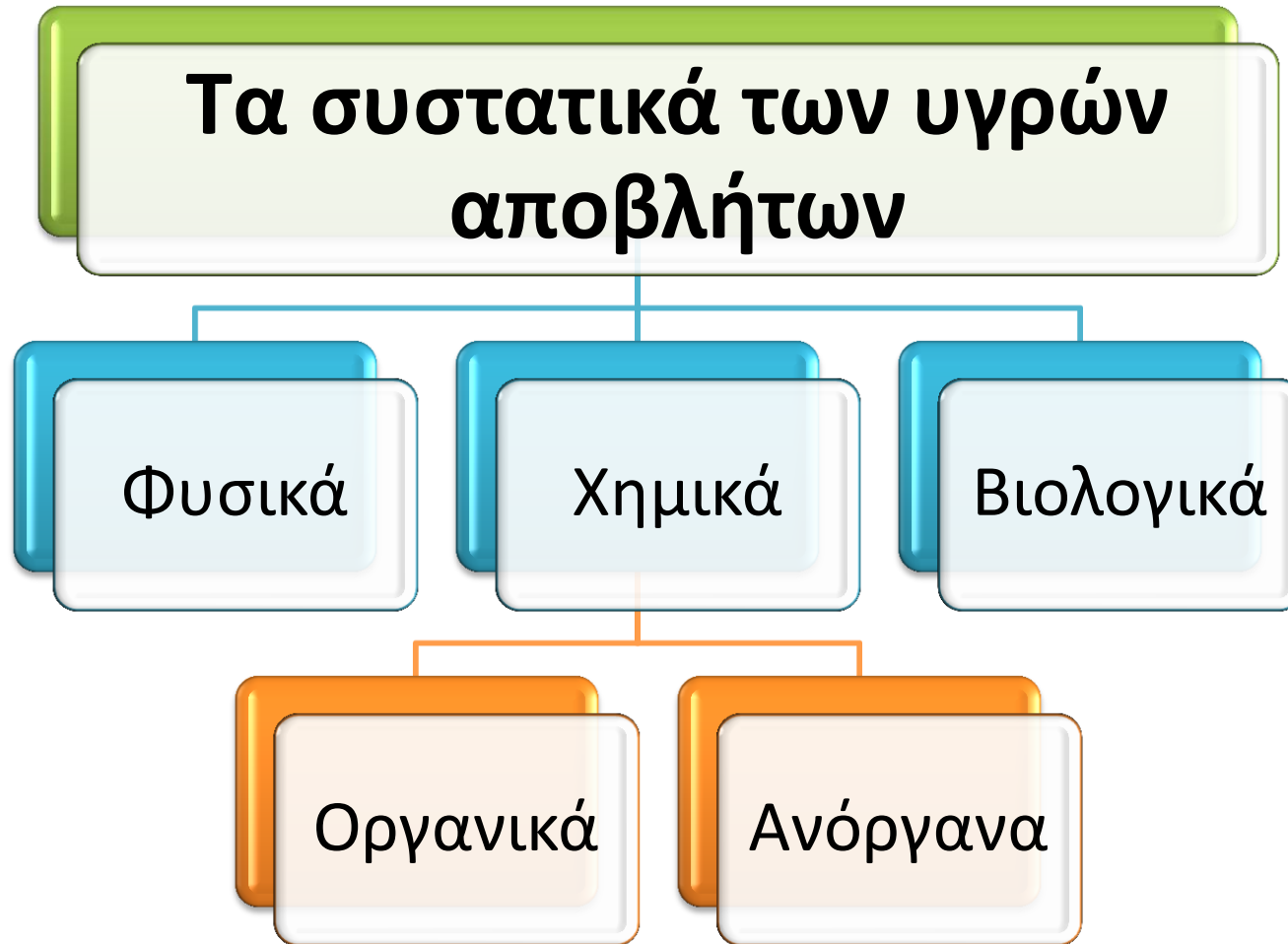




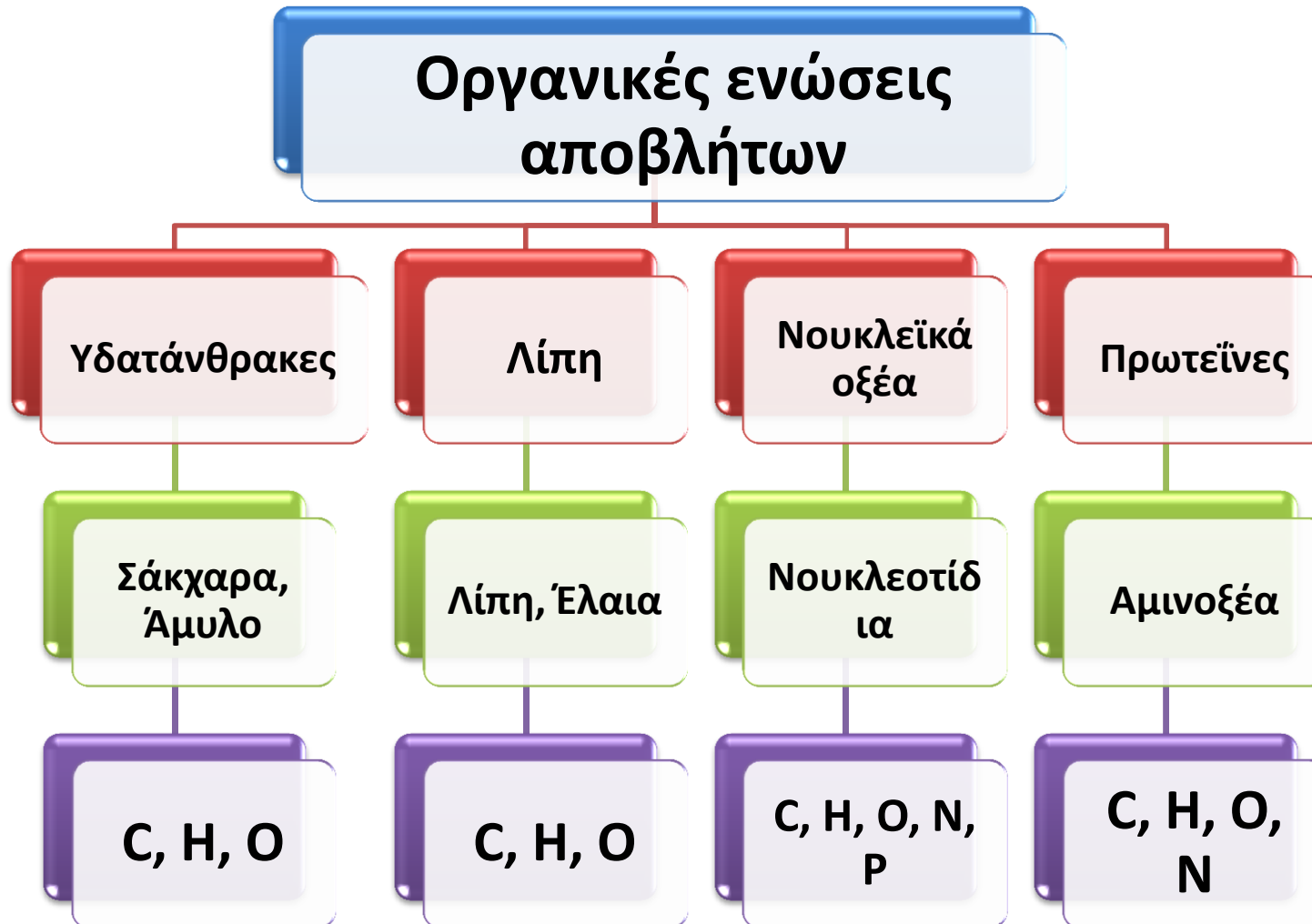
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Συστατικά υγρών αποβλήτων



Οργανικές ενώσεις αποβλήτων



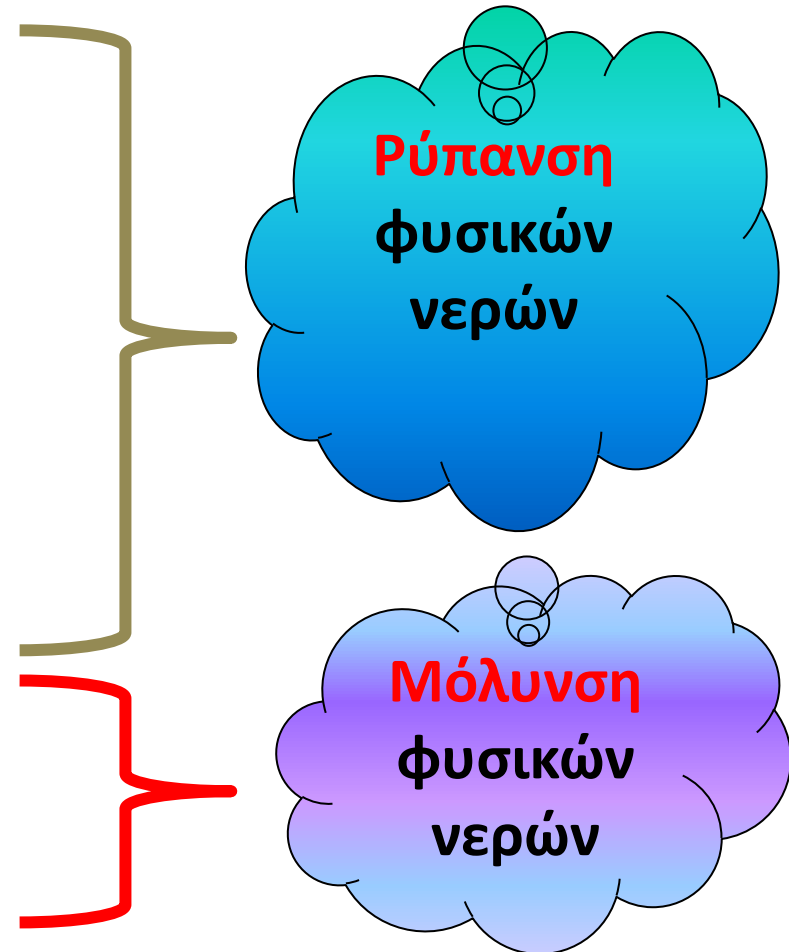
Συστατικά που ενδιαφέρουν στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

| Συστατικά | Σπουδαιότερος λόγος |
|---|--|
| Βιοαποδομήσιμα οργανικά | Αποξυγόνωση των νερών των φυσικών αποδεκτών που οδηγεί σε σηπτικές (αναερόβιες) συνθήκες. |
| Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) | Αποθέσεις ιζημάτων και αναερόβιες συνθήκες. |
| Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) | Συστατικά που προστίθενται από τις διάφορες χρήσεις του νερού. Επηρεάζουν τη ζήτηση για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού. |
| Θρεπτικά άλατα (N, P) | Ευτροφισμός και νιτρορύπανση των φυσικών νερών. |
| Βαριά μέταλλα | Είναι τοξικά (πολλά απ' αυτά ανήκουν στους ρύπους προτεραιότητας) |
| Παθογόνοι μικροοργανισμοί | Ασθένειες που μεταδίδονται με το νερό. |
| Τοξικές οργανικές ενώσεις (Οι περισσότερες δεν αντιμετωπίζονται με συμβατικά συστήματα επεξεργασίας). | Άμεση τοξικότητα, Καρκινογένεση, Τερατογένεση, κ.λ.π. |

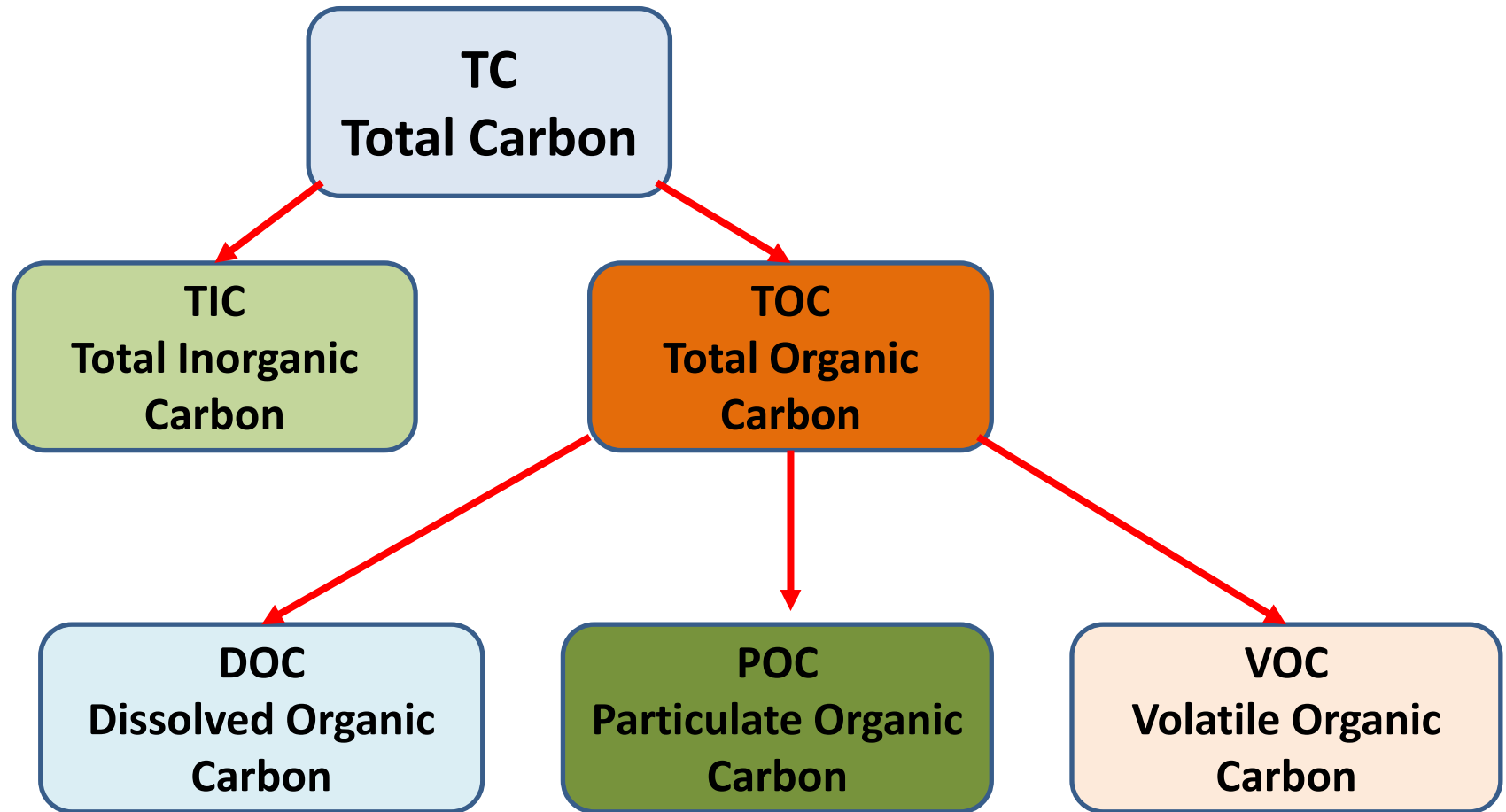


Σύσταση αστικών λυμάτων και επιπτώσεις στα φυσικά νερά

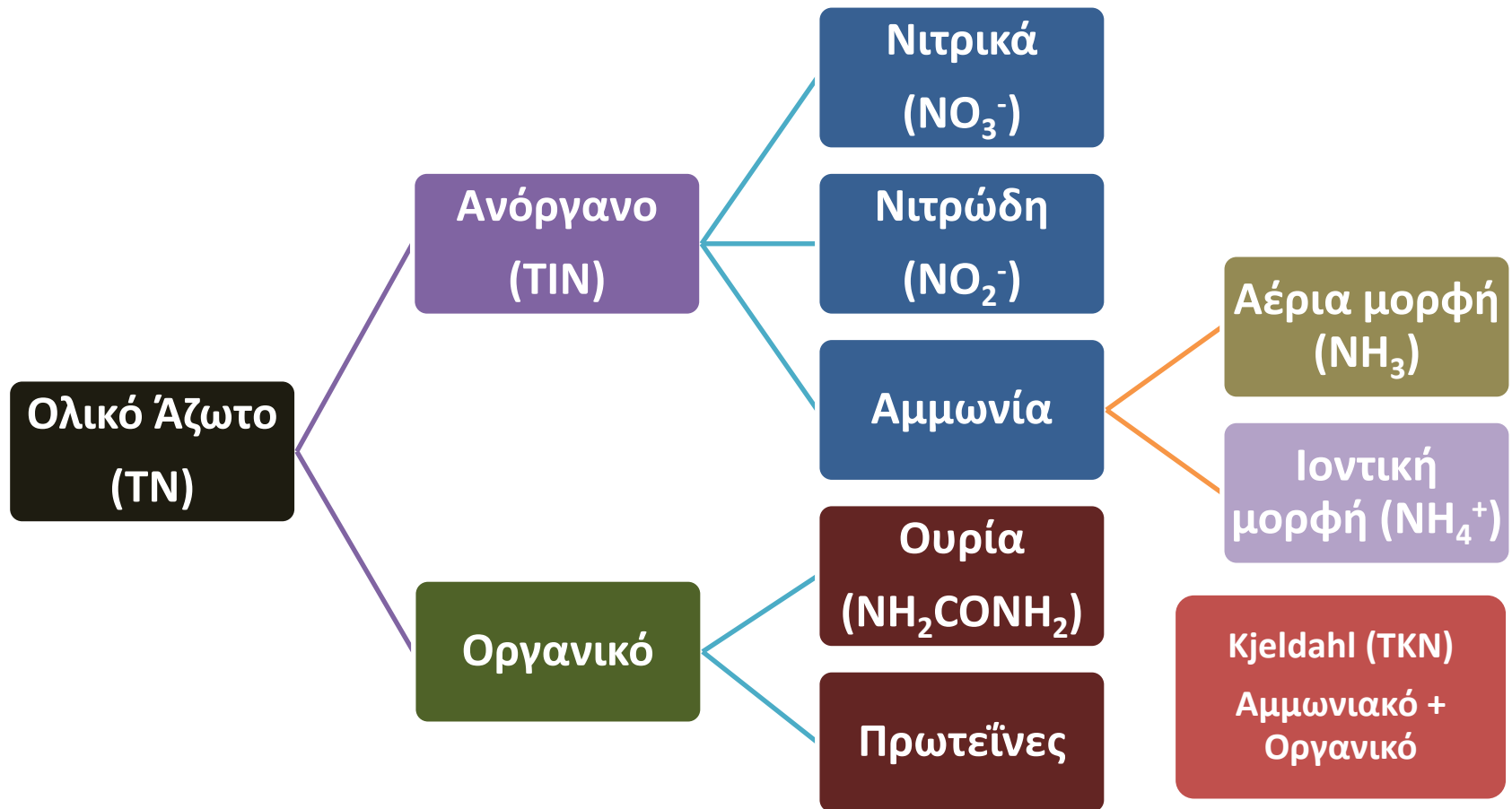
| Συστατικά |
|---|
| Βιοαποδομήσιμα οργανικά COD, Chemical Oxygen Demand BOD ₅ , Biochemical Oxygen Demand |
| Σωματίδια Αιωρούμενα (TSS), Διαλυμένα (TDS), Επιπλέοντα, Καθιζάνοντα, Ολικά (TS) |
| Θρεπτικά άλατα (N, P) |
| Βαριά μέταλλα Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Co, κ.λ.π. |
| Παθογόνοι μικροοργανισμοί |
| Τοξικές οργανικές ενώσεις (Οι περισσότερες δεν αντιμετωπίζονται με συμβατικά συστήματα επεξεργασίας). |



Ο άνθρακας στα υγρά απόβλητα



Το άζωτο στα υγρά απόβλητα

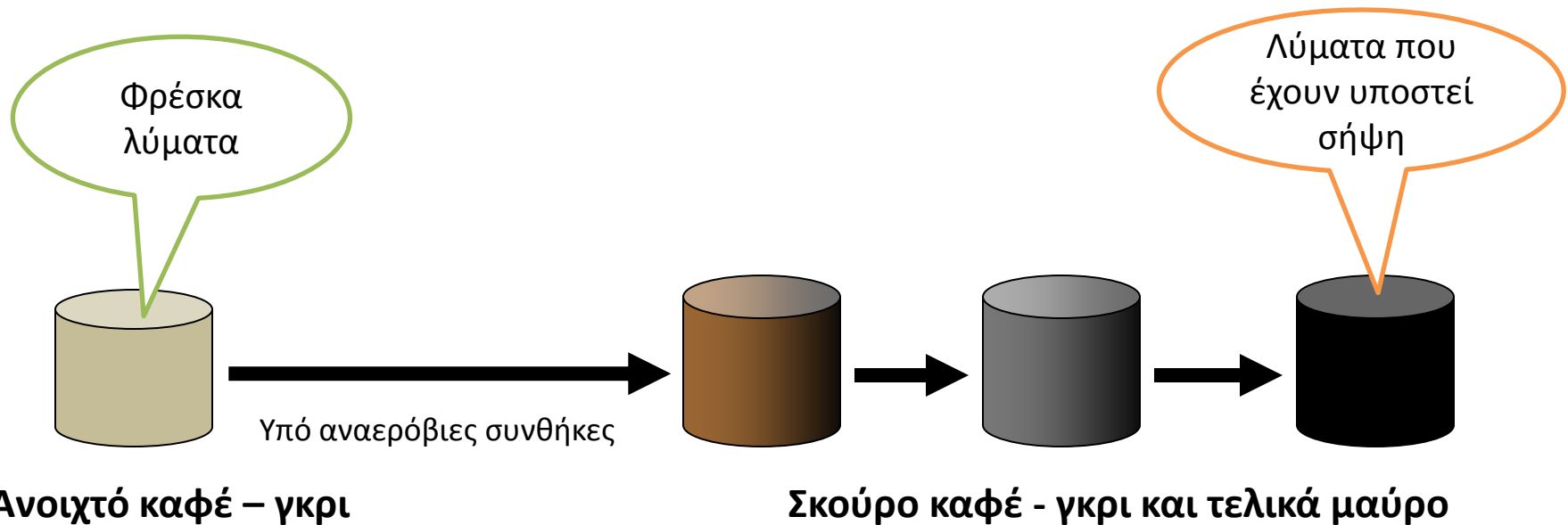


Φυσικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

| | |
|--|--|
| Θερμοκρασία | Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών των ΕΕΛ. |
| Αγωγιμότητα (EC, mS/cm) | Αποτιμάται η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για γεωργική χρήση. |
| Χρώμα (Ανοιχτό καφέ, γκρι, μαύρο) | Αποτιμάται η κατάσταση των λυμάτων (φρέσκα λύματα ή λύματα που έχουν υποστεί σήψη). |
| Θολότητα (NTU) | Αποτιμάται η ποιότητα της εκροής. |
| Διαπερατότητα (%T) | Αποτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV. |
| Οσμή (TON) | Προκειμένου να καθοριστεί εάν οι οσμές θα αποτελέσουν πρόβλημα. |
| Κατανομή μεγέθους σωματιδίων (PSD Particle Size Distribution) | Για την αξιολόγηση της απόδοσης των διαδικασιών επεξεργασίας. |
| Πυκνότητα | |



Φυσικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (χρώμα)



Το μαύρο χρώμα οφείλεται στη δημιουργία **σουλφιδίων μετάλλων** (MeS) που σχηματίζονται όταν τα σουλφίδια που παράγονται κάτω από αναερόβιες συνθήκες αντιδρούν με τα μέταλλα των υγρών αποβλήτων.

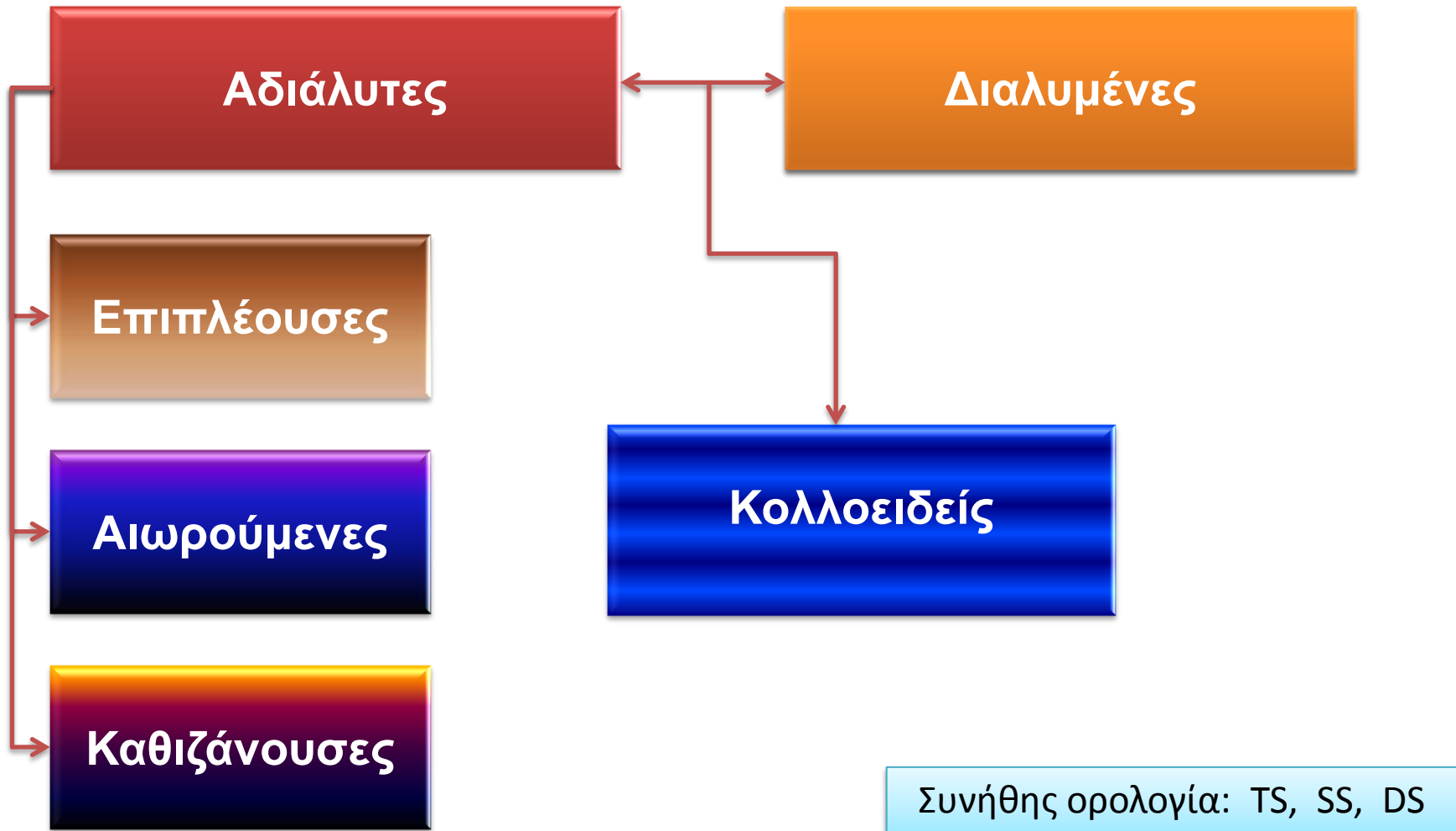


Φυσικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων (Τα στερεά)

| | |
|--|--|
| Total Solids (TS) | Για την αξιολόγηση (διερεύνηση) της πλέον κατάλληλης εφαρμογής (διεργασίας) για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (νερού). |
| Total Volatile Solids (TVS) | |
| Total Fixed Solids (TFS) | |
| Total Suspended Solids (TSS) | |
| Volatile Suspended Solids (VSS) | |
| Fixed Suspended Solids (FSS) | |
| Total Dissolved Solids TDS (TS-TSS) | Για να αξιολογηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων. |
| Volatile Dissolved Solids (VDS) | |
| Fixed Dissolved Solids (FDS) | |
| Settleable Solids (Καθιζάνοντα) | Για να προσδιοριστούν τα στερεά που καθιζάνουν με βαρύτητα σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο. |



Ουσίες στο νερό (και στα υγρά απόβλητα)



Τα στερεά

- Τα ολικά στερεά (**Total Solids – TS**) είναι το υπόλειμμα ενός δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμισή του σε θερμοκρασία 105 °C. Εκφράζονται σε mg υπολείμματος ανά λίτρο δείγματος.
- Τα ολικά στερεά (TS) διακρίνονται σε διαλυμένα και αιωρούμενα.
- Τα διαλυμένα στερεά (**Dissolved Solids – DS**) αναφέρονται στη συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή στη μάζα των αποβλήτων και ορίζονται ως τα στερεά του δείγματος που διέρχονται μέσα από ειδικό φίλτρο.
- Τα στερεά που συγκρατούνται στο φίλτρο ορίζονται ως αιωρούμενα στερεά (**Suspended Solids – SS**).

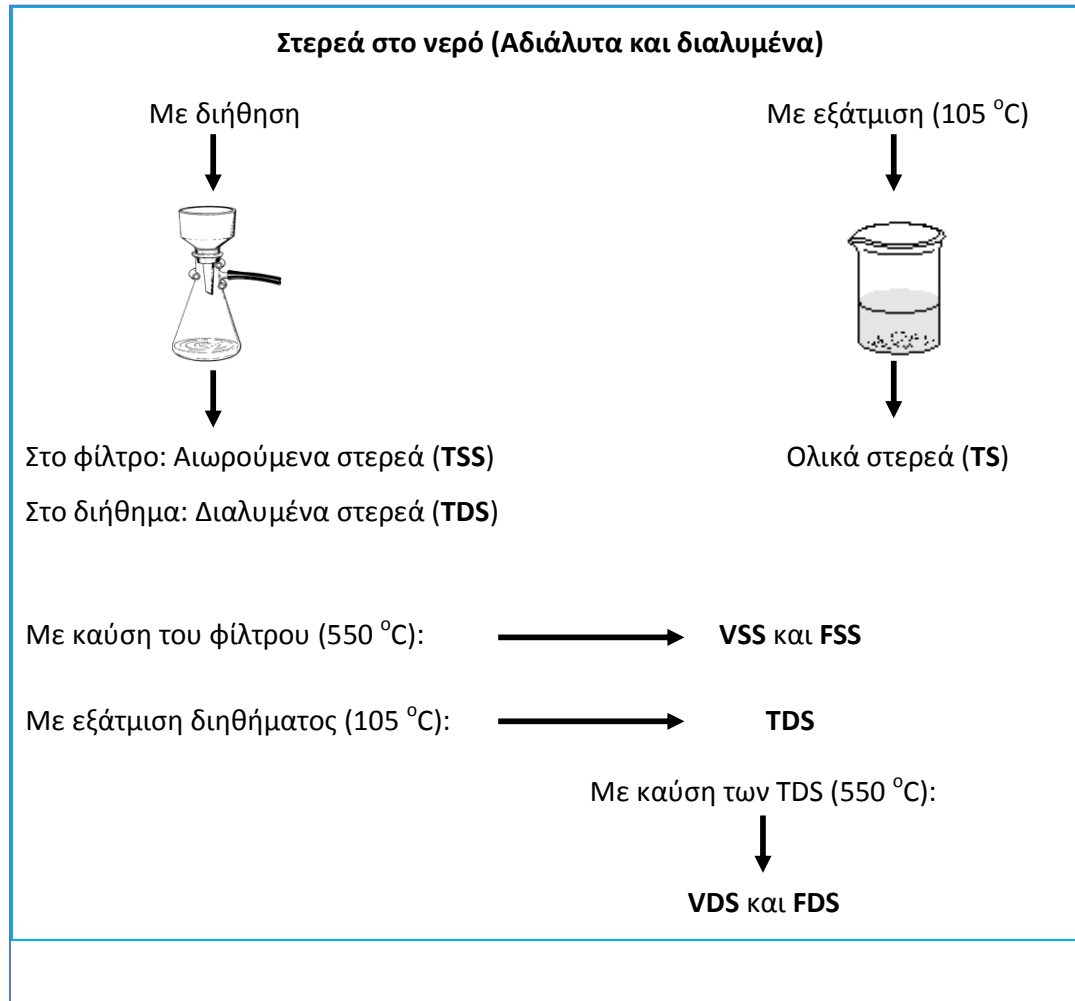


Τα στερεά

- Η σχέση που συνδέει τα διαλυμένα και τα αιωρούμενα στερεά είναι : **TS = DS + SS**.
- Τα παραπάνω είδη στερεών αποτελούνται από ανόργανα και οργανικά στερεά. Κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές κατηγοριοποιείται περαιτέρω ανάλογα με το βαθμό πτητικότητάς τους στους 550 ± 50 °C. Κατά τη θέρμανση των στερεών στους 550 ± 50 °C τα οργανικά στερεά εξαερώνονται (**Volatile Solids – VS**), ενώ τα ανόργανα μένουν ως υπόλειμμα (τέφρα) ή μη εξαερώσιμα στερεά (**Non Volatile Solids – NVS**).



Προσδιορισμός στερεών στο νερό



TS: Total Solids,
TSS: Total Suspended Solids,
TDS: Total Dissolved Solids,
VSS: Volatile Suspended Solids,
FSS: Fixed Suspended Solids,
VDS: Volatile Dissolved Solids,
FDS: Fixed Dissolved Solids



Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

| | |
|--|---|
| pH : $-\log[H^+]$ | Το μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων. |
| Ελεύθερη αμμωνία (NH_4^+) | Χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. |
| Οργανικό άζωτο (Org. N) | |
| Άζωτο Kjeldahl (TKN : Org. N + NH_4^+) | |
| Νιτρώδη (NO_2^-) | |
| Νιτρικά (NO_3^-) | Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης. Χρησιμοποιούνται ως μέτρο παρουσίας των θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. |
| Ανόργανος φώσφορος (Inorg. P) | |
| Ολικός φώσφορος (TP) | |
| Οργανικός φώσφορος (Org. P) | |



Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

| | |
|---|---|
| Αλκαλικότητα ($\Sigma \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$) | Ένα μέτρο της ρυθμιστικής ικανότητας των υγρών αποβλήτων (της ικανότητας τους να εξουδετερώνουν οξέα). |
| Χλωριούχα (Cl^-) | Για την εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση (άρδευση). |
| Θειικά (SO_4^{2-}) | Για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών. Για την εκτίμηση της «επεξεργασιμότητας» της ιλύος. |
| Μέταλλα (Ca , Mg , K , Na , Cr , Cu , Co , Pb , Cd , Hg , Mo , Ni , Fe , Se , As , Zn) | Για την εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση. Για την εκτίμηση της τοξικότητας. Ωστόσο ίχνη ορισμένων μετάλλων είναι απαραίτητα για μερικές βιολογικές διεργασίες. |
| Ανόργανα στοιχεία και ενώσεις | Για την εκτίμηση της παρουσίας ή της απουσίας ενός συγκεκριμένου στοιχείου. |
| Διάφορα αέρια (O_2 , CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4) | Παρουσία / απουσία συγκεκριμένων αερίων. |

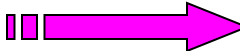
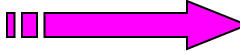



Οργανικά χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

| | |
|---|--|
| Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand) (CBOD₅) | Ένα μέτρο της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιολογική σταθεροποίηση των υγρών αποβλήτων. (Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων). |
| Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand) (NBOD) | Ένα μέτρο της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιολογική σταθεροποίηση των υγρών αποβλήτων. (Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων). |
| Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand) (COD) | Το οξυγόνο που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων. |
| Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon) TOC | Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD, αλλά σπάνια επειδή αφορά μέτρηση με πολύ μεγάλη ευαισθησία (πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης). |
| Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις και κατηγορίες ενώσεων | Για τον προσδιορισμό της παρουσίας των συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων και για την εκτίμηση των απαραίτητων ειδικών μέτρων που πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό της ΕΕΛ για την απομάκρυνσή τους. |

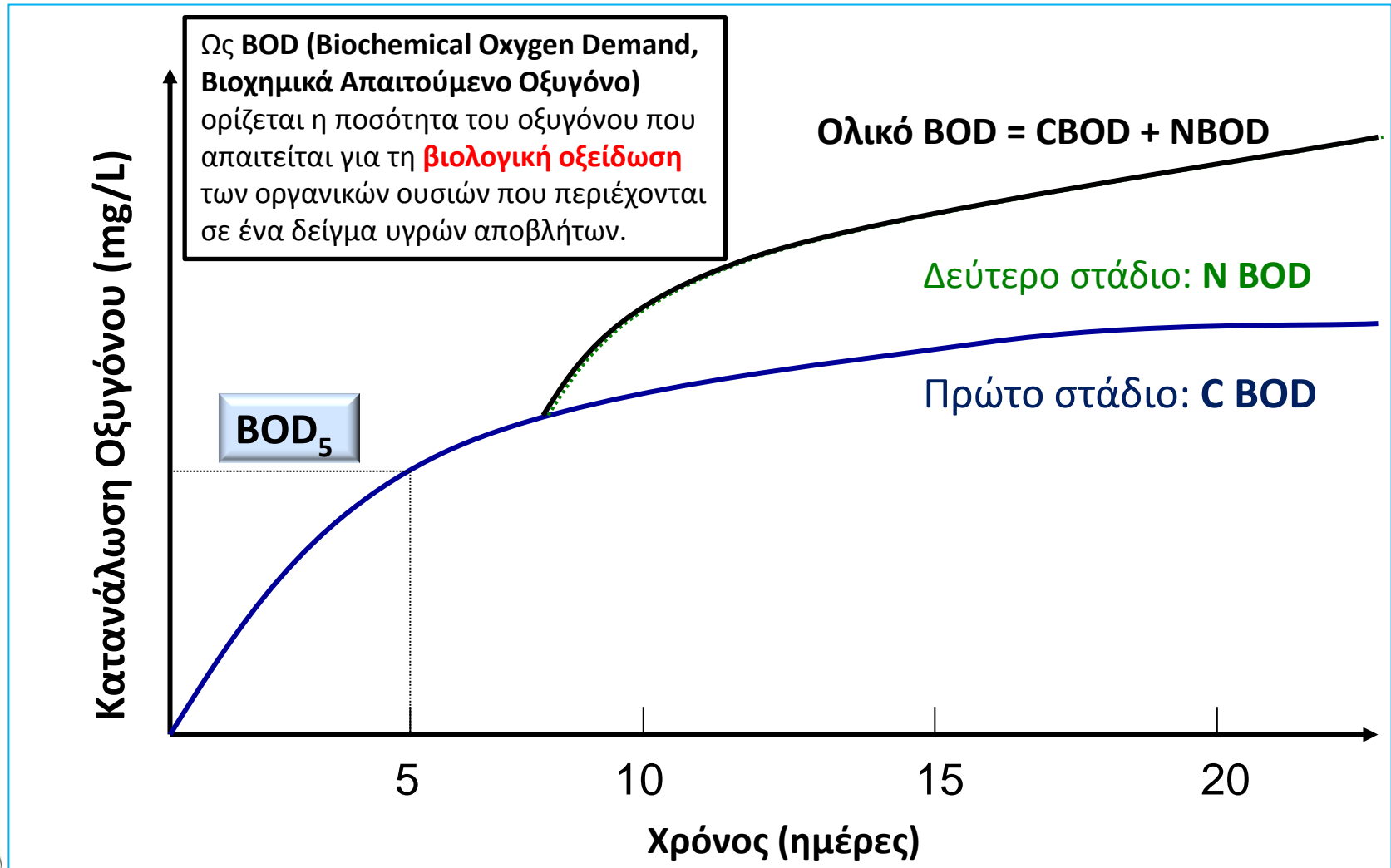


Οργανικά χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

- **C**BOD (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο των ανθρακούχων ενώσεων) 
- **N**BOD (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο των αζωτούχων ενώσεων)
- **COD** (Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο) 
- **TOC** (Ολικός οργανικός άνθρακας) 



Καμπύλη μέτρησης του BOD στους 20 °C



Μέτρηση του BOD



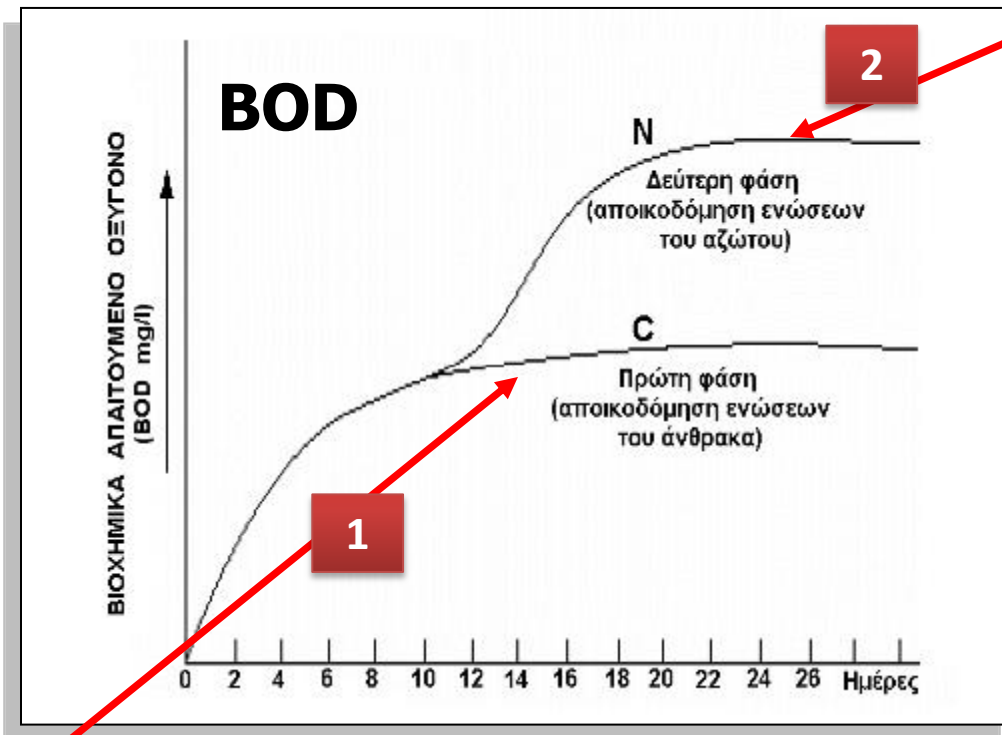
Πηγή:

<http://www.globalw.com/products/oxitop.html>

Συνθήκες μέτρησης BOD: Σκοτάδι, Συνεχής ανάδευση, Σταθερή θερμοκρασία 20 °C.



Φάσεις αποικοδόμησης ανθ/χων και αζωτούχων οργανικών



Στην πρώτη φάση αποικοδομούνται κυρίως οι υδατάνθρακες (σάκχαρα, λίπη). Η διάρκειά της είναι ~15 ημέρες.

Ακολουθεί η οξείδωση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων (λευκώματα, αμινοξέα) και της αμμωνίας. Στη φάση αυτή ως κατάλοιπο παράγεται νιτρικό οξύ (HNO_3) σύμφωνα με την αντίδραση:

$$\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}.$$

Το παραγόμενο νιτρικό οξύ αντιδρά με τα περιεχόμενα στα οικιακά λύματα ανθρακικά και όξινα ανθρακικά και ουδετεροποιείται:



(Συνεπώς η νιτροποίηση είναι δυνατόν να επιτευχθεί στις δεξαμενές αερισμού των Ε.Ε.Λ. εάν γίνει κατάλληλη φόρτιση των δεξαμενών).



Έκφραση BOD



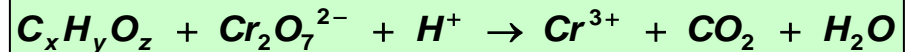
COD (Chemical Oxygen Demand)

- Με τον όρο **COD (Chemical Oxygen Demand, Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)** εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη **χημική οξείδωση** ενός δείγματος αποβλήτων.
- Ή το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο.
- Το οξειδωτικό που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το $K_2Cr_2O_7$ σε όξινο περιβάλλον παρουσία καταλυτών.



COD (Chemical Oxygen Demand)

- Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θεικού αργύρου (Ag_2SO_4) σαν καταλύτη. Η οξείδωση της οργανικής ύλης μπορεί να παρασταθεί από την εξής στοιχειομετρική εξίσωση:



- Η εξουδετέρωση των χλωριούχων γίνεται με θεικό υδράργυρο (HgSO_4). Η μέθοδος είναι χρονοβόρα αλλά κλασική και σίγουρη. Η εξουδετέρωση της περίσσειας των διχρωμικών ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ιόντων γίνεται με διάλυμα θεικού αμμωνιούχου σιδήρου ($\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) γνωστής κανονικότητας χρησιμοποιώντας δείκτη Ferroin.



Ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon)

- Ένας αυτόματος αναλυτής TOC (Total Organic Carbon) απαιτεί ελάχιστη ποσότητα υγρού δείγματος το οποίο εισάγεται σε ειδική στήλη με καταλύτη όπου καίγεται σε υψηλή θερμοκρασία προς CO₂.
- Τα αποτελέσματα της μέτρησης εκφράζονται σε **mg/L TOC**.



Σχέσεις μεταξύ BOD/COD και BOD/TOD

| Είδος υγρού αποβλήτου | BOD/COD | BOD/TOC |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| Ανεπεξέργαστα | 0.3 – 0.8 | 1.2 – 2.0 |
| Μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία | 0.4 – 0.6 | 0.8 – 1.2 |
| Τελική εκροή | 0.1 – 0.3 | 0.2 – 0.5 |

Πηγή:

Metcalf & Eddy, Inc., “Μηχανική υγρών αποβλήτων, Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση” Εκδόσεις Τζιόλα, 2006

Τεχνική Περιβάλλοντος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Χαρακτηριστικά τυπικών αστικών λυμάτων

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ | ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΦΟΡΤΙΟ) gr/κατ. ημ. | ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ mg/L |
|---------------------------|----------------------------------|---|
| Ολικά στερεά (TS) | 115 – 170 | 680 – 1000 |
| Πτητικά στερεά (VS) | 65 – 85 | 380 – 500 |
| Αιωρούμενα στερεά (SS) | 35 – 50 | 200 – 290 |
| BOD ₅ | 50 – 70 | 290 – 410 |
| COD | 115 – 125 | 680 – 730 |
| Ολικό άζωτο (TN) | 6 – 17 | 35 – 100 |
| Αμμωνία | 1 – 3 | 6 – 18 |
| Νιτρικά & Νιτρώδη | < 1 | < 5 |
| Ολικός φώσφορος (TP) | 1 – 4 | 6 – 24 |
| Ολικά κολοβακτηριοειδή | - | 10 ¹⁰ - 10 ¹² αποικ./mL |
| Κολοβακτηριοειδή κοπράνων | - | 10 ⁸ - 10 ¹⁰ αποικ./mL |



Σύσταση αστικών λυμάτων

| Συστατικό | Συγκέντρωση (mg/L) |
|--|---|
| TS | 450 |
| TVS | 300 |
| TSS | 250 |
| VSS | 200 |
| TDS | 200 |
| BOD₅ | 200 – 400 |
| N (NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻) | 0,5 |
| N (Organic) | 25 – 85 |
| N (NH₄⁺) | 15 – 50 |
| TP | 6 – 12 |
| Soluble P | 4 – 6 |
| Bacteria | 10⁷ – 2 x 10⁸ (CFU / 100 mL) |



Σύσταση αστικών λυμάτων (Συγκέντρωση mg/L)

| Είδος | Ανόργανα (mg/L) | Οργανικά (mg/L) | ΣΥΝΟΛΟ (mg/L) | BOD ₅ (mg/L) |
|---------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------------------|
| Καθιζάνοντα | 130 | 270 | 400 | 130 |
| Αιωρούμενα | 70 | 130 | 200 | 80 |
| Διαλυμένα | 330 | 330 | 660 | 150 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 530 | 730 | 1260 | 360 |



Παραγόμενες ποσότητες ρύπανσης (gr/κατ. ημ.)

| Είδος | Ανόργανα (gr/κατ.ημ.) | Οργανικά (gr/κατ.ημ.) | ΣΥΝΟΛΟ (gr/κατ.ημ.) | BOD ₅ (gr/κατ.ημ.) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Καθιζάνοντα | 20 | 40 | 60 | 21 |
| Αιωρούμενα | 10 | 20 | 30 | 14 |
| Διαλυμένα | 50 | 50 | 100 | 25 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 80 | 110 | 190 | 60 |



Ι.Α.Κ. (Ισοδύναμος Αριθμός Κατοίκων) ή ι.π. (Ισοδύναμος Πληθυσμός)

- Είναι ένα μέτρο σύγκρισης της οργανικής ρύπανσης των βιομηχανικών αποβλήτων σε σχέση με την ρύπανση των αστικών λυμάτων.
- **Ισοδύναμος πληθυσμός (ι.π.)** είναι το αποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο που παρουσιάζει BOD_5 ίσο προς **60 gr/ημέρα**.
- Με τη βοήθεια του **ι.π.** υπολογίζεται η επιβάρυνση των βιομηχανικών αποβλήτων σε σχέση με τα αστικά λύματα.

Ρύπανση ανά κάτοικο και ημέρα:

- Για κατανάλωση νερού **167 Lt** ανά κάτοικο και ημέρα, η τιμή του **BOD** είναι **360 mg/L**.
- Συνεπώς η ρύπανση ανά κάτοικο και ημέρα είναι:
 $360 \times 167 = 60.000 \text{ mg}$ ή **60 gr BOD / κάτοικο και ημέρα.**



Παράδειγμα

- Μια βιοτεχνία διαθέτει στο δίκτυο αποχέτευσης **300 m³** υγρά απόβλητα την ημέρα, με μέση τιμή **BOD₅ = 310 mg/L**, τότε:

$$300000 \frac{lt}{\eta\mu} \times 0,310 \frac{gr}{lt} = 93000 \frac{grBOD}{\eta\mu}$$

- Ο Ι.Α.Κ. που συναποχετεύεται και πρόκειται να συνυπολογισθεί στον καθαρισμό των αστικών λυμάτων θα είναι: $\frac{93000}{60} = 1550$ ισοδύναμοι κάτοικοι.



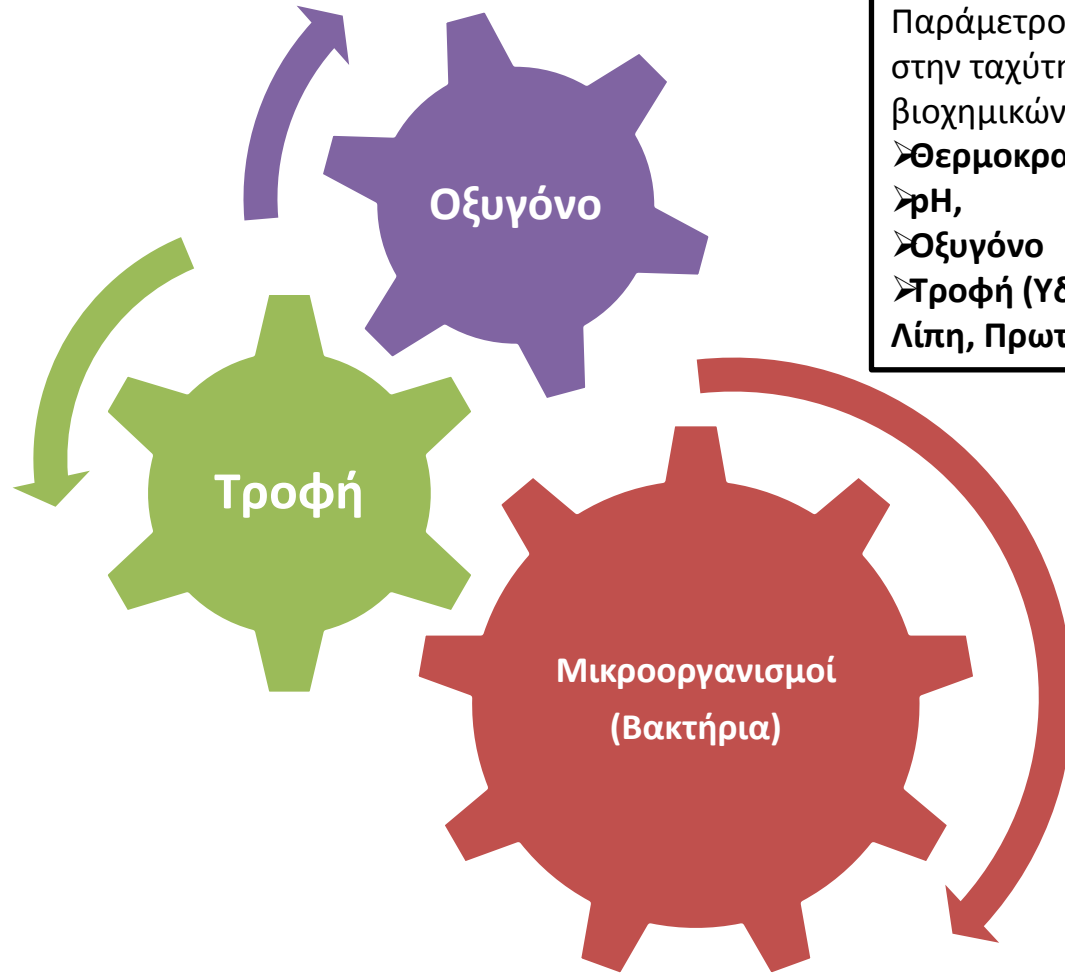


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Τρίπτυχο (βιολογικών διεργασιών) στην επεξεργασία λυμάτων

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).



Θρεπτικά συστατικά για ομαλή λειτουργία βιολογικών συστημάτων

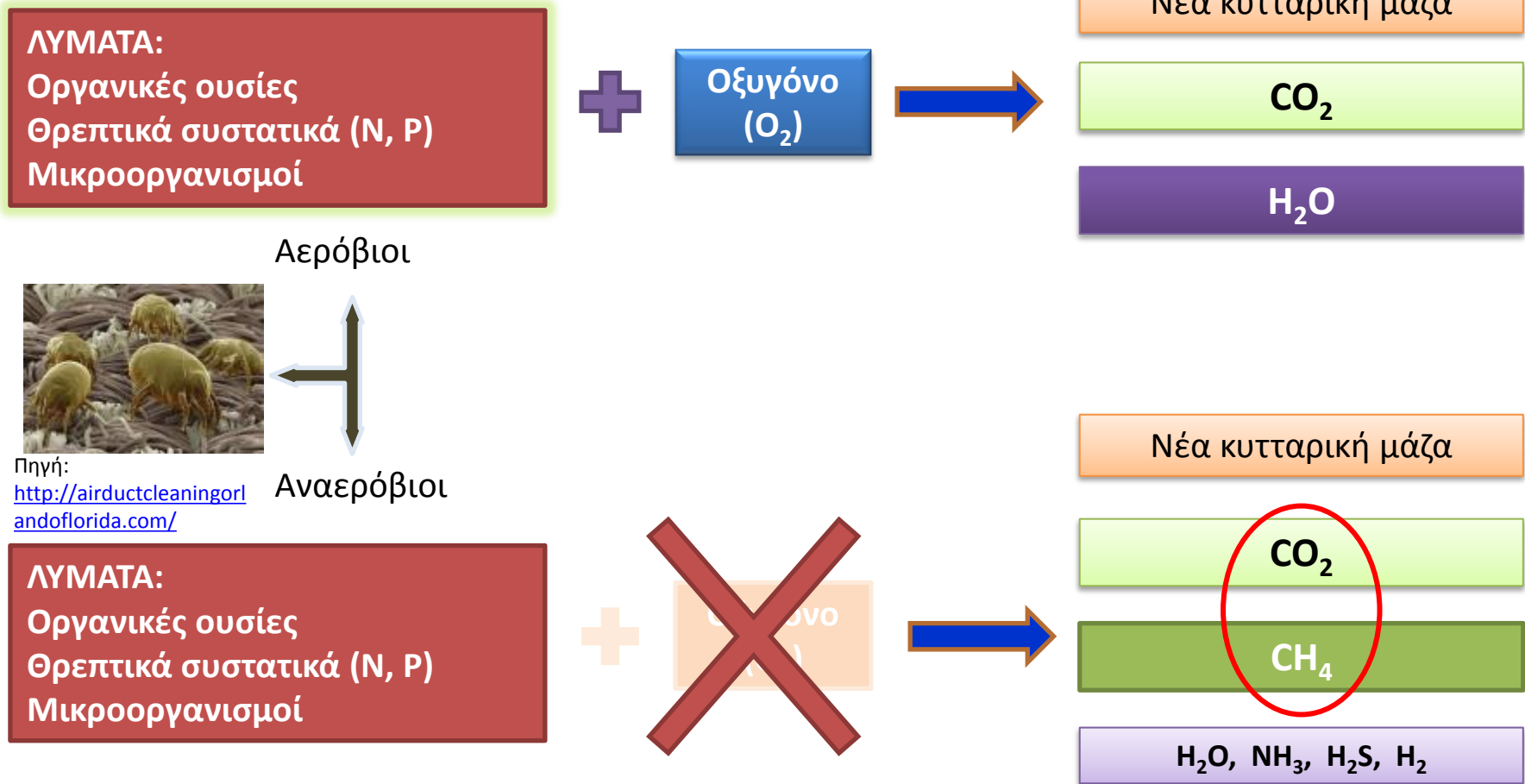
| Μέθοδος | Λόγος C / N / P |
|---|--------------------|
| Συμβατική μέθοδος EI | 100 / 5 / 1 |
| Παρατεταμένος αερισμός | 600 / 5 / 1 |
| (Στη φιάλη προσδιορισμού BOD ₅) | 60 / 3 / 1 |

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)



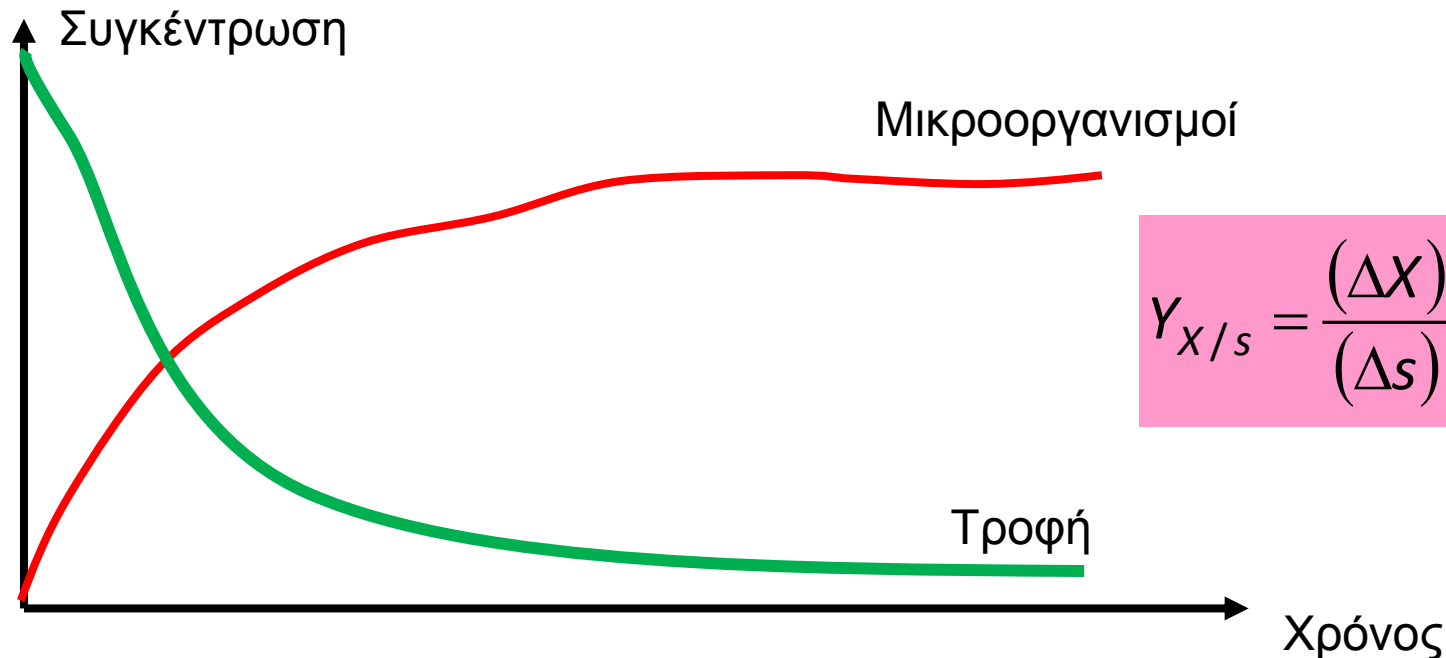
Αερόβιες και αναερόβιες βιολογικές διεργασίες





Συντελεστής παραγωγής ή Συντελεστής κυτταρικής απόδοσης ή Συντελεστής απόδοσης μετατροπής

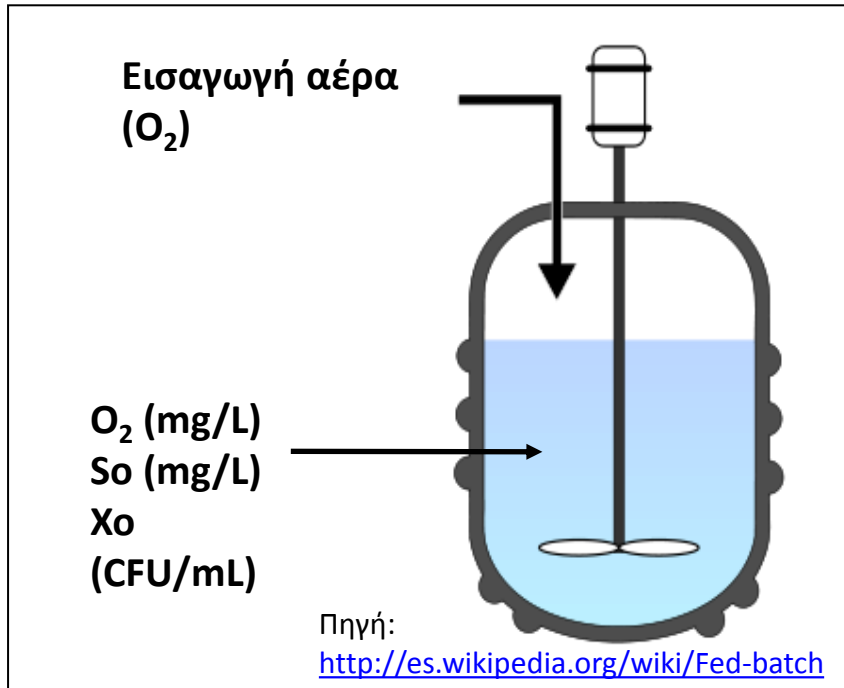
Τα μοντέλα πρόβλεψης της αφαίρεσης του υποστρώματος (**τροφής**) στα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στηρίζονται στις γνώσεις της μάζας των μικροοργανισμών που παράγεται ανά μονάδα μάζας υποστρώματος που αφαιρείται.



$$Y_{X/s} = \frac{(\Delta X)}{(\Delta s)} = \frac{\left(\frac{dX}{dt}\right)}{\left(\frac{ds}{dt}\right)}$$



Κινητική βιοχημικών αντιδράσεων



- **Κινητική:** Χρονική παρακολούθηση των αυξομειώσεων των συγκεντρώσεων των διαφόρων στοιχείων που λαμβάνουν χώρα σε μια βιοχημική αντίδραση.

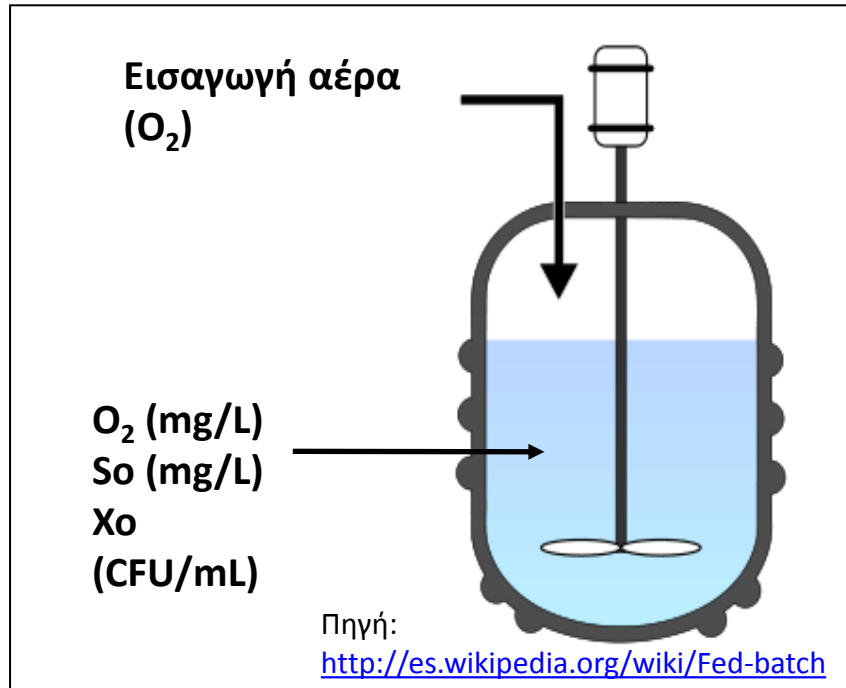
Αντιδραστήρας στιγμιαίας πλήρωσης:

Απλό πείραμα από το οποίο αντλούνται χρήσιμες πληροφορίες για την ταχύτητα με την οποία αποικοδομείται η τροφή από τους μικροοργανισμούς.

1. Τροφή (S_0, S)
2. Εμβολιασμός με βακτήρια
3. Κινητική βακτηρίων (X_0, X)
4. Κατανάλωση οξυγόνου (O_2)
5. Χρόνος (t)



Κινητική βιοχημικών αντιδράσεων



- Στον χρόνο $t_0=0$ γίνεται εμβολιασμός με αερόβια βακτήρια η αρχική **συγκέντρωση των οποίων είναι X_o** . Ακολουθως μετρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα οι **συγκεντρώσεις των βακτηρίων X και της τροφής S** όπως και η ποσότητα του **οξυγόνου που έχει καταναλωθεί**.

Αντιδραστήρας στιγμιαίας πλήρωσης:

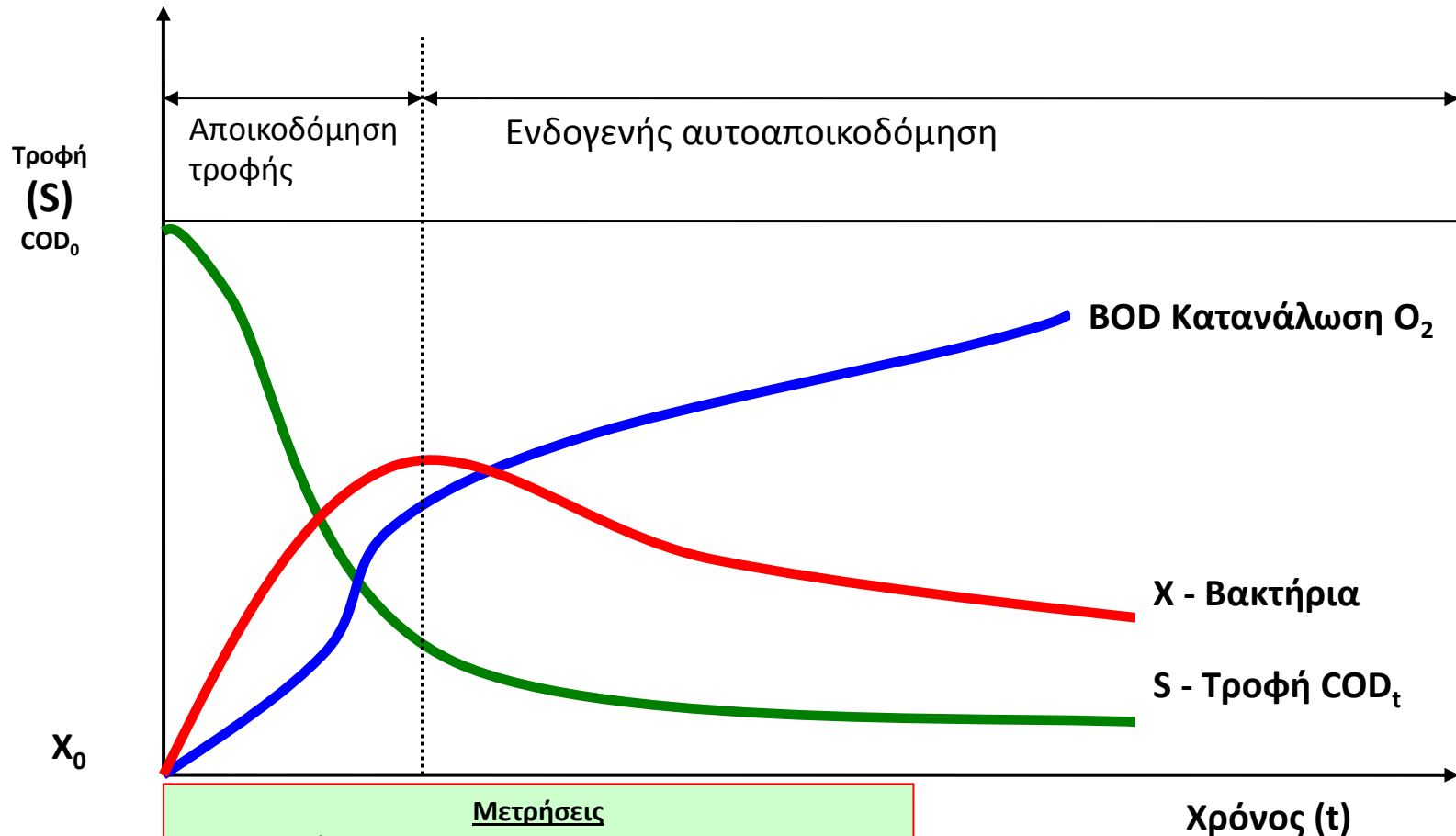
Απλό πείραμα από το οποίο αντλούνται χρήσιμες πληροφορίες για την ταχύτητα με την οποία αποικοδομείται η τροφή από τους μικροοργανισμούς.

Μετρήσεις

1. Τροφή (S_o, S) COD
2. Συγκέντρωση (Αριθμός αποικιών) βακτηρίων (X_o, X)
3. Κατανάλωση οξυγόνου (O_2) BOD



Κινητική βιοχημικών αντιδράσεων

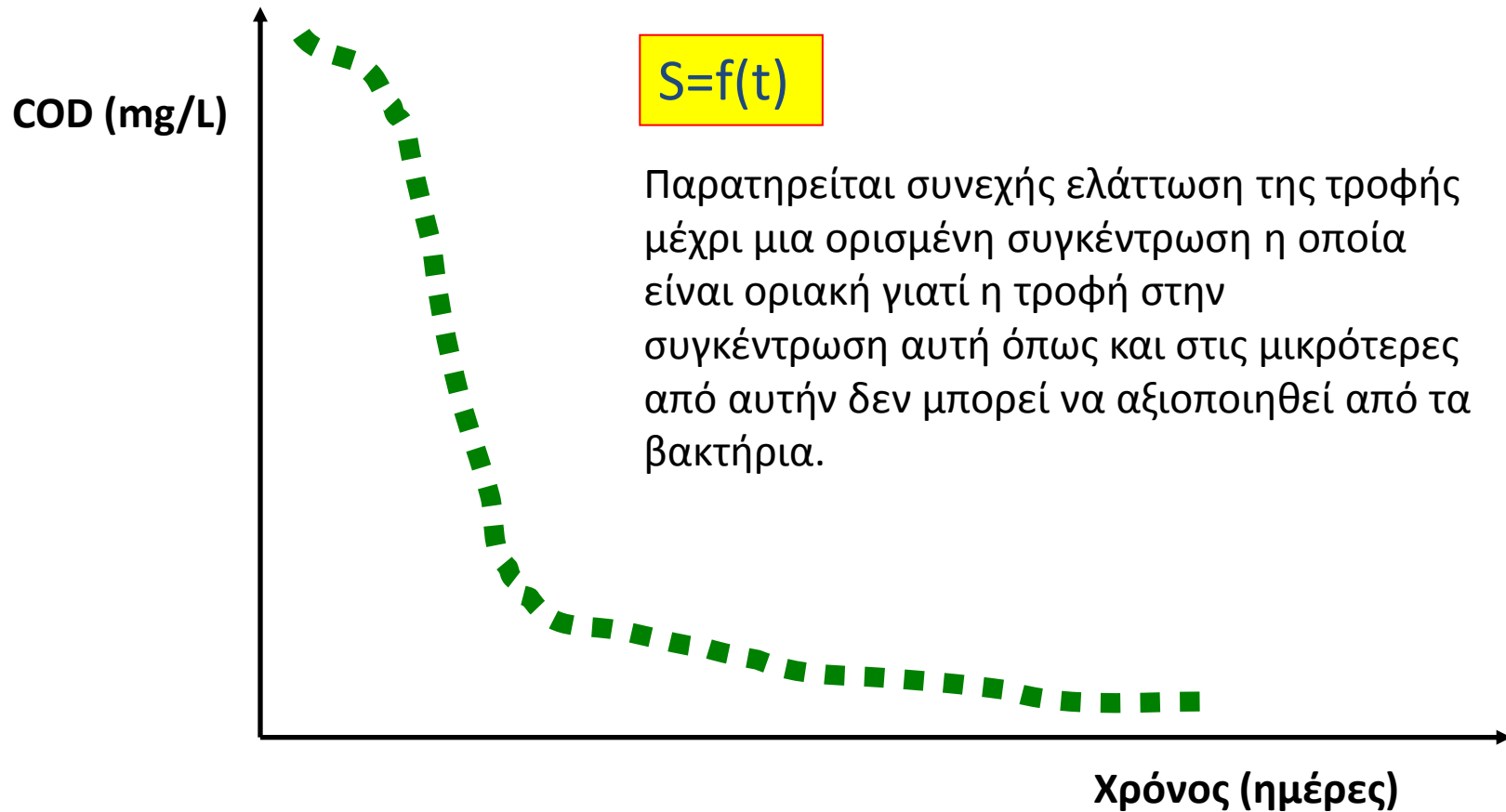


Μετρήσεις

1. Τροφή (S_0, S) COD
2. Συγκέντρωση (Αριθμός αποικιών) βακτηρίων (X_0, X)
3. Κατανάλωση οξυγόνου (O_2) BOD



Συγκέντρωση τροφής



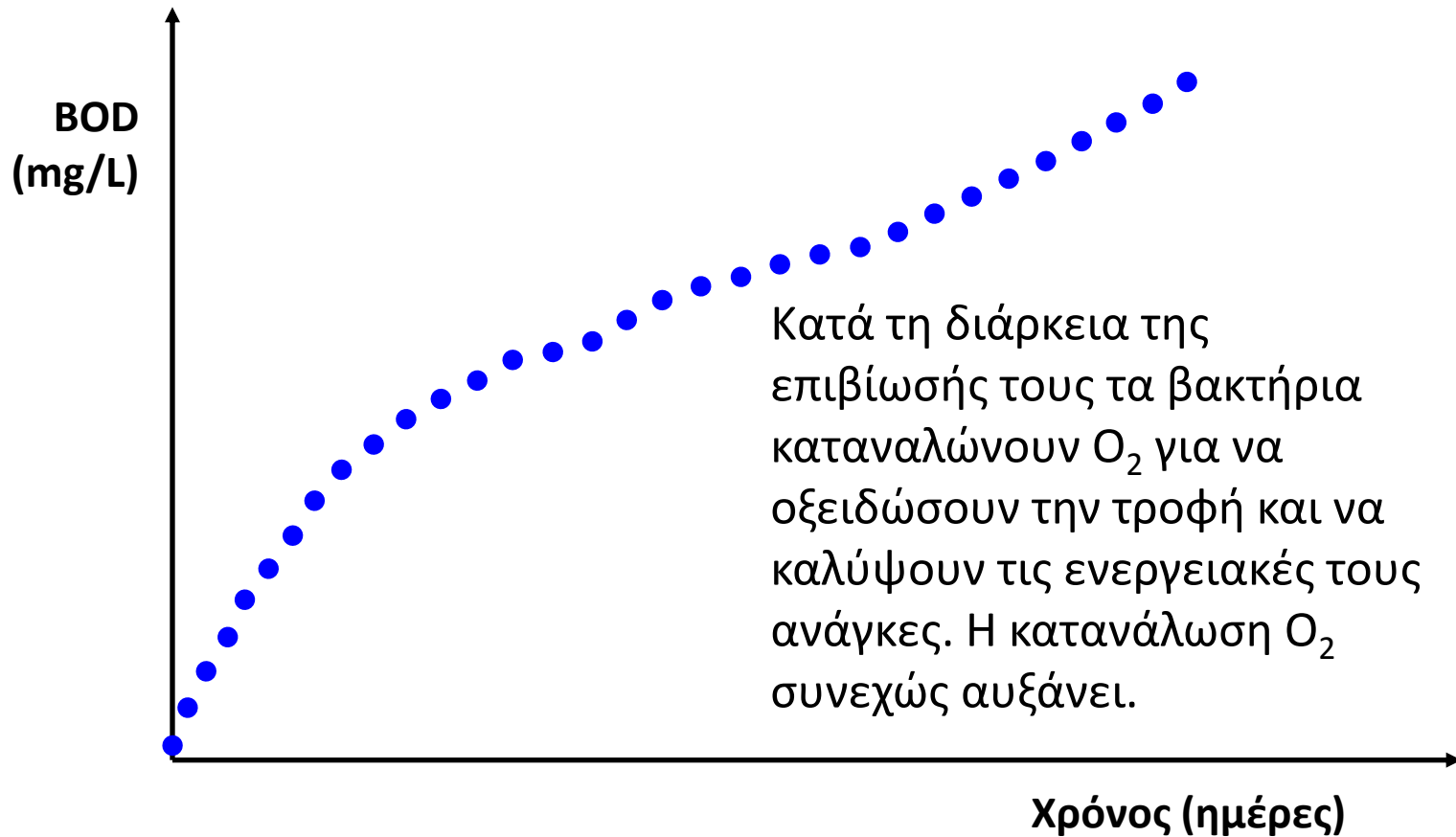
Βιομάζα (βακτήρια)



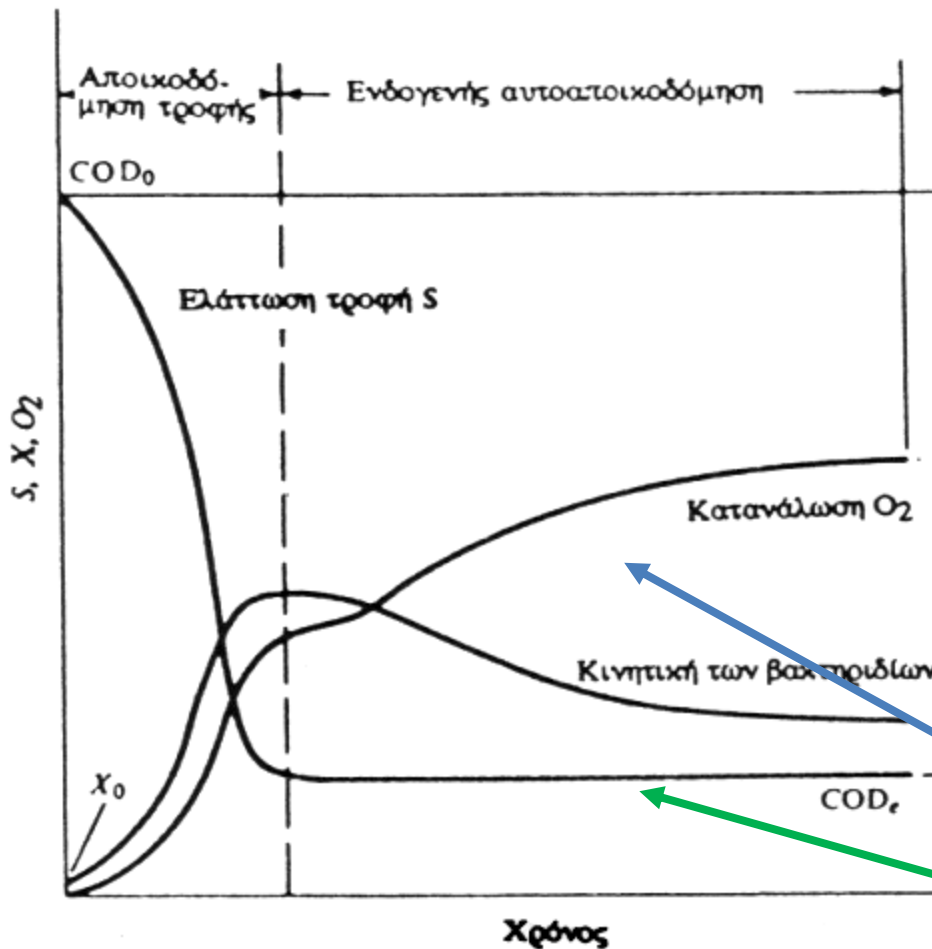
Η **βιομάζα** αρχικά αυξάνει. Στη συνέχεια παραμένει σταθερή γιατί δεν υπάρχει τροφή σε εκμεταλλεύσιμη ποσότητα και τέλος ελαττώνεται. Στην αρχή η ελάττωση της βιομάζας οφείλεται στην κατανάλωση των τροφών που είναι αποθηκευμένες στα κύτταρα των βακτηρίων (autodigestion), στη συνέχεια όμως και όταν εξαντληθούν τα αποθέματα αρχίζουν να καταστρέφονται και τα ίδια τα βακτήρια. Τα νεκρά βακτήρια χρησιμοποιούνται σαν τροφή από τα επιζώντα τα οποία συνεχώς λιγοστεύουν. Με αυτό τον τρόπο τα βακτήρια μπορούν να επιβιώσουν για μεγάλο διάστημα, μήνες ή ακόμα και χρόνια ανάλογα με το είδος και τις υπόλοιπες παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το περιβάλλον τους.



Κατανάλωση οξυγόνου



Οξυγόνο – Τροφή BOD – COD



Στη βιοτεχνολογία, η ποσότητα της τροφής η οποία αποτελείται από διάφορες οργανικές ουσίες, μετριέται με την ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την αποικοδόμηση (οξείδωσή) της από τα βακτήρια. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται Biochemical Oxygen Demand (BOD).

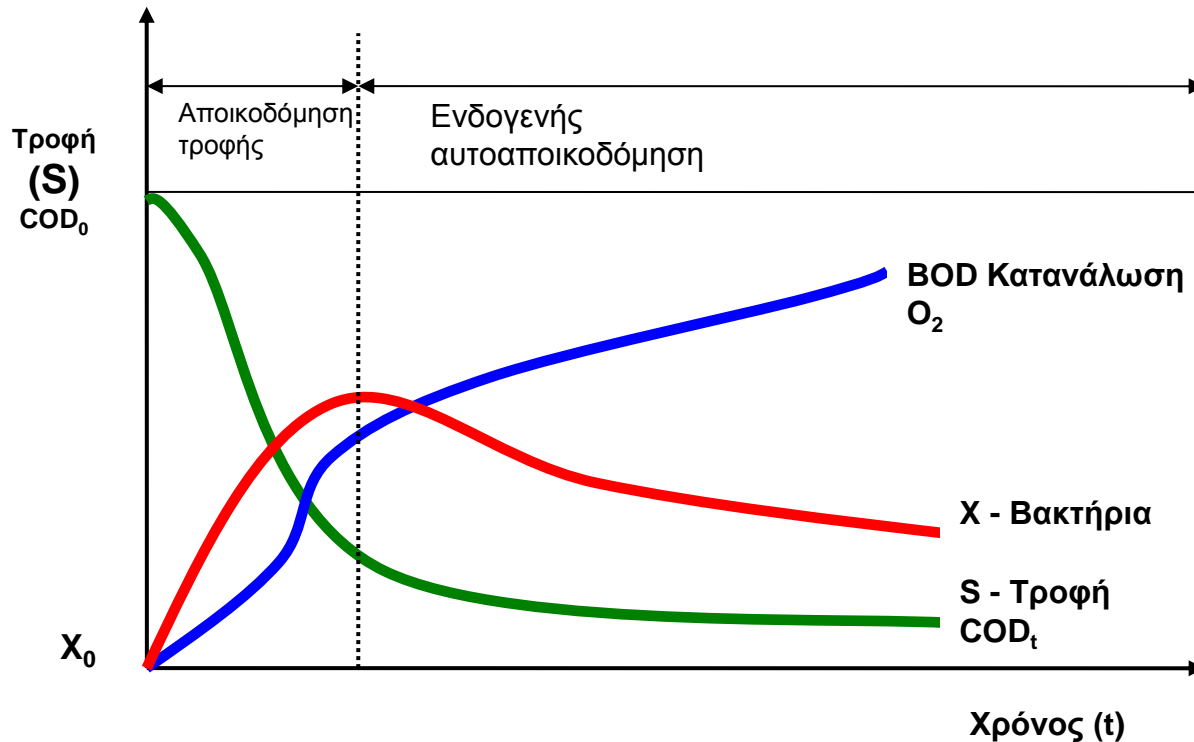
Το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση μιας ποσότητας οργανικών ουσιών μπορεί να μετρηθεί και με χημικές μεθόδους. Πρόκειται για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο το οποίο συμβολίζεται ως COD (Chemical Oxygen Demand).

Η καμπύλη της κατανάλωσης του οξυγόνου είναι (BOD)

Η καμπύλη της συγκέντρωσης της τροφής (COD)



Οξυγόνο – Τροφή BOD – COD

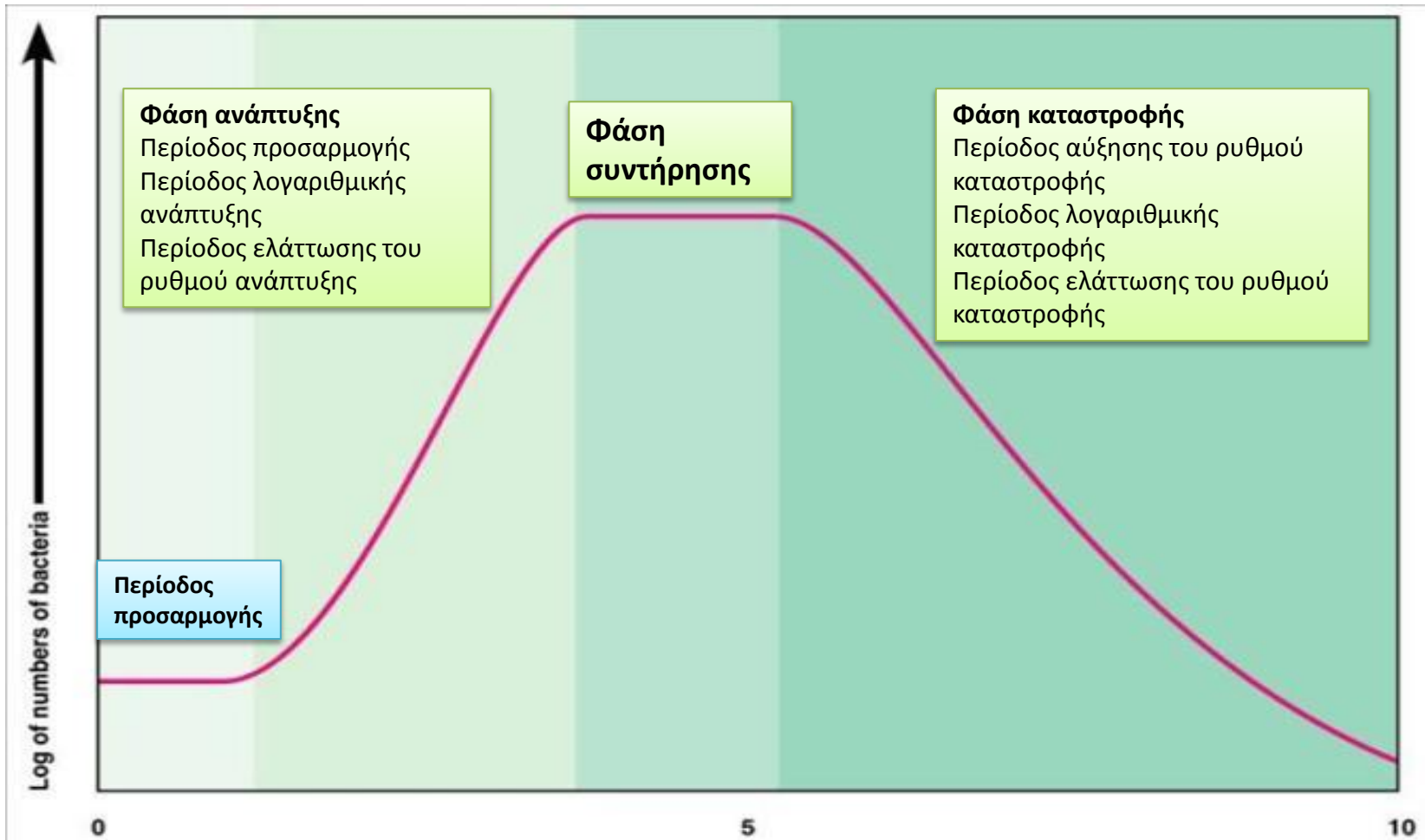


Αν στο τέλος του πειράματος η συγκέντρωση της βιομάζας είναι ίδια με την αρχική τότε το COD της τροφής που αποικοδομήθηκε είναι ίσο σε το BOD που καταναλώθηκε. Αυτό συμβαίνει όταν γίνεται πλήρης οξείδωση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στο δείγμα.

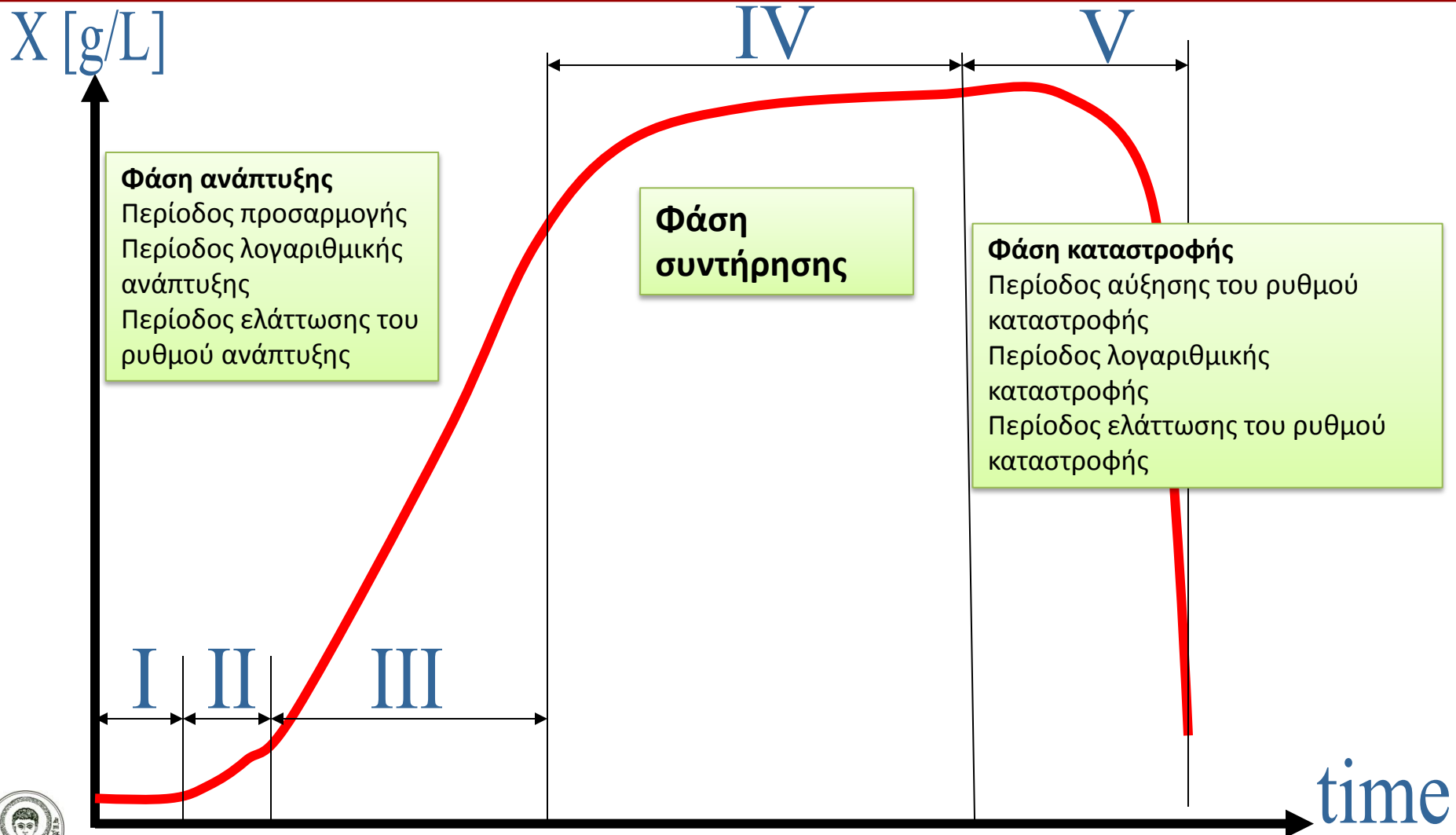
Η διαφορά μεταξύ των τιμών του BOD και του COD (αρχικού COD_0 και τελικού COD_t) οφείλεται στις οργανικές ουσίες οι οποίες έχουν μεν αφομοιωθεί από τα βακτήρια, δεν έχουν όμως ακόμη οξειδωθεί.



Η καμπύλη της κινητικής των μικροοργανισμών



Η καμπύλη της κινητικής των μικροοργανισμών



Η κινητική των βακτηρίων

- Η απεικόνιση της κινητικής γίνεται σε ημιλογαριθμική κλίμακα. Η λογαριθμική κλίμακα χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση της βιομάζας (ή των μικροοργανισμών) η δε φυσική κλίμακα για το χρόνο.
- Σε πειράματα με **μεγάλες** συγκεντρώσεις μικροοργανισμών μετριέται η βιομάζα σαν ξηρή ουσία.
- Σε πειράματα με **μικρές** συγκεντρώσεις μετριέται ο αριθμός των μικροοργανισμών σε ορισμένο όγκο (1 mL ή 100 mL).



Οι εξισώσεις της κινητικής των βακτηρίων

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

Η στοιχειώδης αύξηση της βιομάζας dX στο στοιχειώδη χρόνο dt είναι ανάλογη της υφιστάμενης βιομάζας X .

- Η εξίσωση με ολοκλήρωση δίνει:
 $X = X_0 e^{\mu t}$
 - (Ευθεία γραμμή σε ημιλογαριθμικό χαρτί).
 - (μ : ειδικός συντελεστής αύξησης).
- Αντίστοιχα για τη φάση της καταστροφής:
 $X = X_0 e^{-kt}$
 - (k : ειδικός συντελεστής καταστροφής).



Η εξίσωση του Monod

Οι συντελεστές μ (αύξησης) και K (καταστροφής) εξαρτώνται από όλες τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το περιβάλλον των βακτηρίων. Θερμοκρασία, αλατότητα, pH και η συγκέντρωση της τροφής είναι βασικές παράμετροι που έχουν μελετηθεί και βρίσκονται ακόμη υπό μελέτη.

Ο **Monod** μελέτησε την επίδραση της συγκέντρωσης της τροφής και παρουσίασε την εξής εξίσωση:

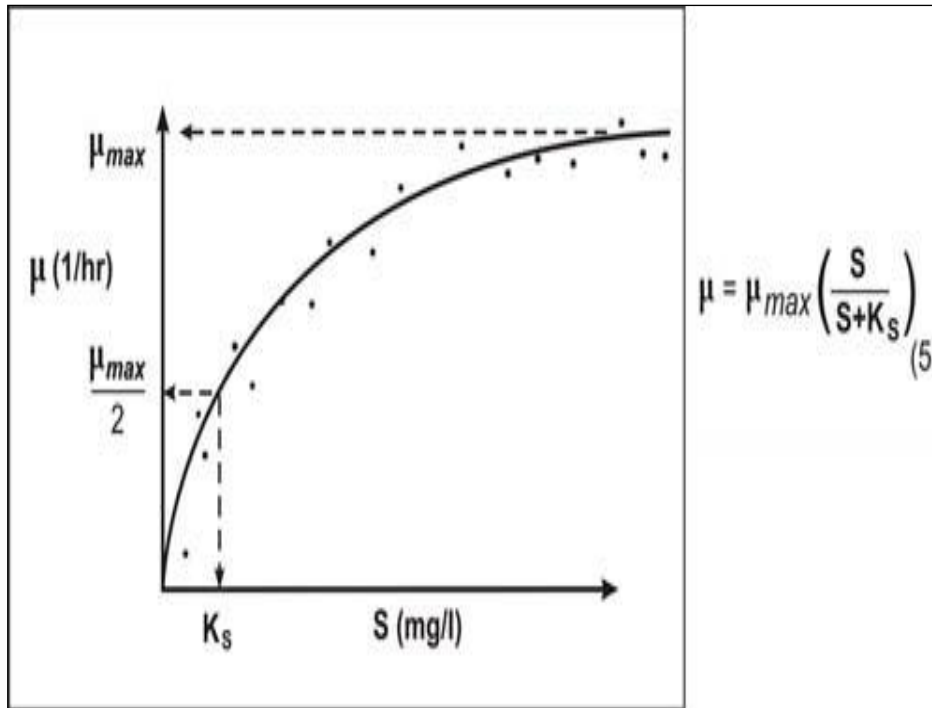
$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S}$$

μ_{\max} = μέγιστη τιμή του συντελεστή αύξησης για ορισμένη τροφή και ορισμένο είδος μικροοργανισμών

K_s = συντελεστής κορεσμού, η τιμή του οποίου είναι ίση με την τιμή του S όταν $\mu = \mu_{\max}/2$



Γραφική παράσταση της εξίσωσης του Monod



$$\mu_{max} = 1,0 \text{ h}^{-1} \quad K_s = 0,1 \text{ g/L}$$

- Σχέση μεταξύ του ρυθμού αύξησης των μικροοργανισμών και της εναπομένουσας συγκέντρωσης του υποστρώματος.
- (Δηλαδή της μέγιστης τιμής του συντελεστή αύξησης (μ_{max}) και του συντελεστή κορεσμού (K_s)).



Οι εξισώσεις της κινητικής των βακτηρίων

Συντελεστής παραγωγής (Yield coefficient)

$$Y_{X/s} = \frac{(\Delta X)}{(\Delta S)} = \frac{\left(\frac{dX}{dt}\right)}{\left(\frac{ds}{dt}\right)}$$

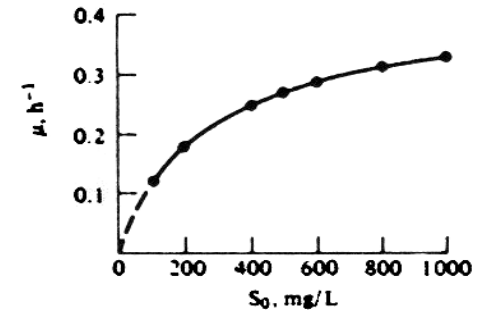
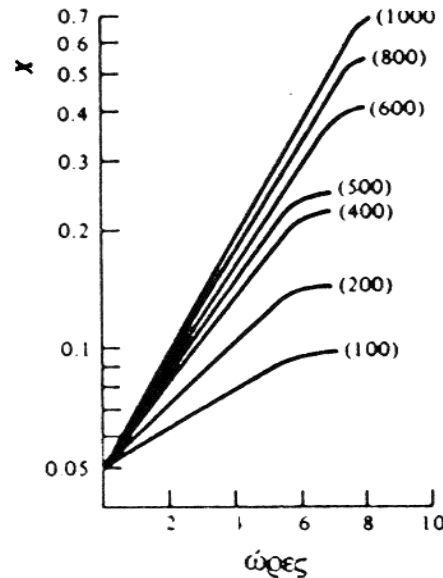
Παραγωγή βιομάζας

- Η στοιχειώδης ποσότητα της βιομάζας που παράγεται κατά την κατανάλωση της στοιχειώδους ποσότητας τροφής υπολογίζεται με τον συντελεστή παραγωγής Y .



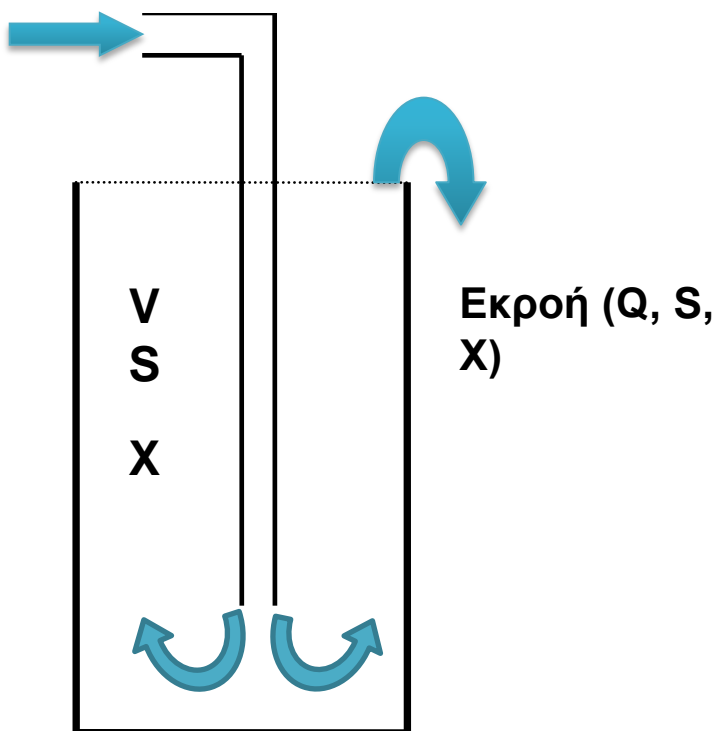
Οι εξισώσεις της κινητικής των βακτηρίων Συντελεστής παραγωγής (Yield coefficient)

- Καμπύλες ανάπτυξης ετερογενών μικροβιακών πληθυσμών σε πειράματα με τροφή διαφορετικών συγκεντρώσεων.
- Γραφική παράσταση του συντελεστή μ συναρτήσει των αρχικών συγκεντρώσεων της τροφής S_0 (Η βιομάζα X δίνεται σε μονάδες πυκνότητας).
- Πειράματα έδειξαν ότι για ετερογενείς μικροβιακούς πληθυσμούς στη θέση της συγκέντρωσης τροφής (S) μπορεί να μπει η αρχική συγκέντρωσή της (S_0).



Αντιδραστήρας συνεχούς ροής χωρίς επανακυκλοφορία

Εισροή (Q, S₀)



Η παροχή Q διοχετεύεται στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα. Υπερχειλίζει και εξέρχεται από το άνω μέρος του. Ο χρόνος παραμονής του υγρού στον αντιδραστήρα είναι:

$$\frac{Q}{V} = D = \frac{1}{t}$$

V = όγκος αντιδραστήρα
 Q = παροχή
 t = χρόνος παραμονής
 D = παροχή ανά μονάδα όγκου του αντιδραστήρα (ή συντελεστής αραίωσης)



Αντιδραστήρας συνεχούς ροής χωρίς επανακυκλοφορία

Στον αντιδραστήρα γίνεται παραγωγή βιομάζας και ελάττωση της τροφής. Στον στοιχειώδη χρόνο dt θα έχουμε συνολική μεταβολή βιομάζας VdX . Στη χρονική διάρκεια dt εξέρχεται από τον αντιδραστήρα η βιομάζα QXd και παράγεται η βιομάζα $V\mu Xdt$. Επομένως το ισοζύγιο της βιομάζας στον αντιδραστήρα δίνεται από την εξίσωση:

$$VdX = V\mu Xdt - QXd$$

Το ίδιο ισχύει και για τη τροφή (S)

$$VdS = QS_0dt - QSdt - V\mu X \frac{dt}{Y}$$

όπου: VdS = μεταβολή τροφής στον αντιδραστήρα
 QS_0dt = ποσότητα τροφής που εισέρχεται στον αντιδραστήρα
 $QSdt$ = ποσότητα τροφής που εξέρχεται από τον αντιδραστήρα
 $V\mu X$ = ποσότητα τροφής που αποικοδομείται στον αντιδραστήρα



Αντιδραστήρας συνεχούς ροής χωρίς επανακυκλοφορία

Για μόνιμες συνθήκες λειτουργίας του αντιδραστήρα η ποσότητα βιομάζας και η ποσότητα τροφής που υπάρχει στον αντιδραστήρα παραμένει σταθερή και η εξίσωση του Monod μετασχηματίζεται:

$$D = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S}$$

Και καταλήγουμε:

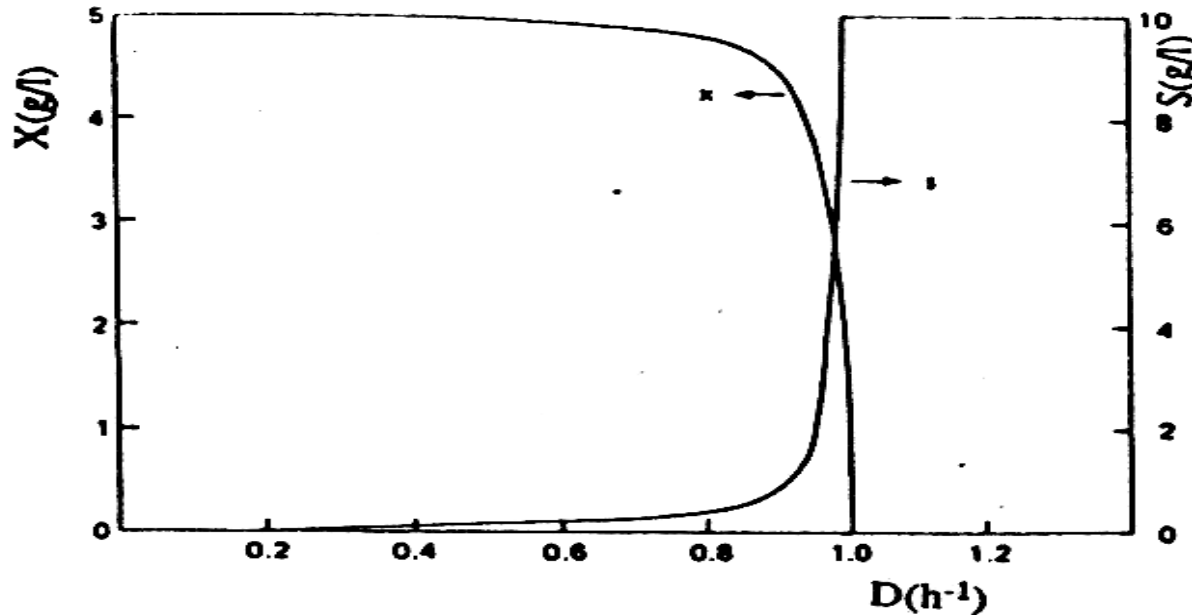
$$X = Y \left(S_0 - \frac{K_s D}{\mu_{\max} - D} \right)$$

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται οι καμπύλες των **X** και **S** συναρτήσει της αραίωσης **D**. Για τιμές **D** < μ_{\max} τα μεγέθη **X** και **S** παραμένουν σταθερά στον αντιδραστήρα. Για τιμές όμως **D** που πλησιάζουν την τιμή μ_{\max} παρατηρείται απότομη πτώση της πυκνότητας της βιομάζας και αύξηση της συγκέντρωσης της τροφής. Για **D** = μ_{\max} όλη η βιομάζα έχει εξέλθει από τον αντιδραστήρα και αποικοδόμηση της τροφής δεν γίνεται. Επομένως όση τροφή εισέρχεται ταυτόχρονα εξέρχεται από τον αντιδραστήρα.



Αντιδραστήρας συνεχούς ροής χωρίς επανακυκλοφορία

Καμπύλες βιομάζας (X) και τροφής (S) συναρτήσει της αραιώσης (D)

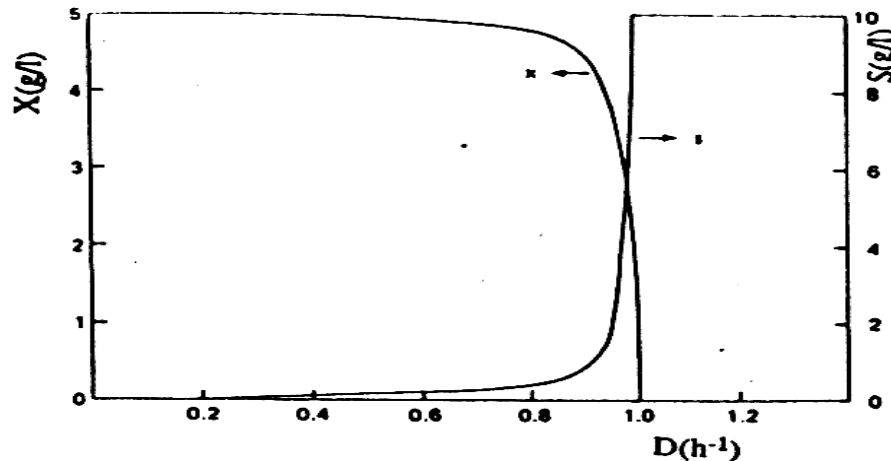


Για τιμές $D < \mu_{\max}$ τα μεγέθη X και S παραμένουν σταθερά στον αντιδραστήρα. Για τιμές όμως D που πλησιάζουν την τιμή μ_{\max} παρατηρείται απότομη πτώση της πυκνότητας της βιομάζας και αύξηση της συγκέντρωσης της τροφής. Για $D = \mu_{\max}$ όλη η βιομάζα έχει εξέλθει από τον αντιδραστήρα και αποικοδόμηση της τροφής δεν γίνεται. Επομένως όση τροφή εισέρχεται ταυτόχρονα εξέρχεται από τον αντιδραστήρα.



Αντιδραστήρας συνεχούς ροής χωρίς επανακυκλοφορία

Καμπύλες βιομάζας (X) και τροφής (S) συναρτήσει της αραιώσης (D)

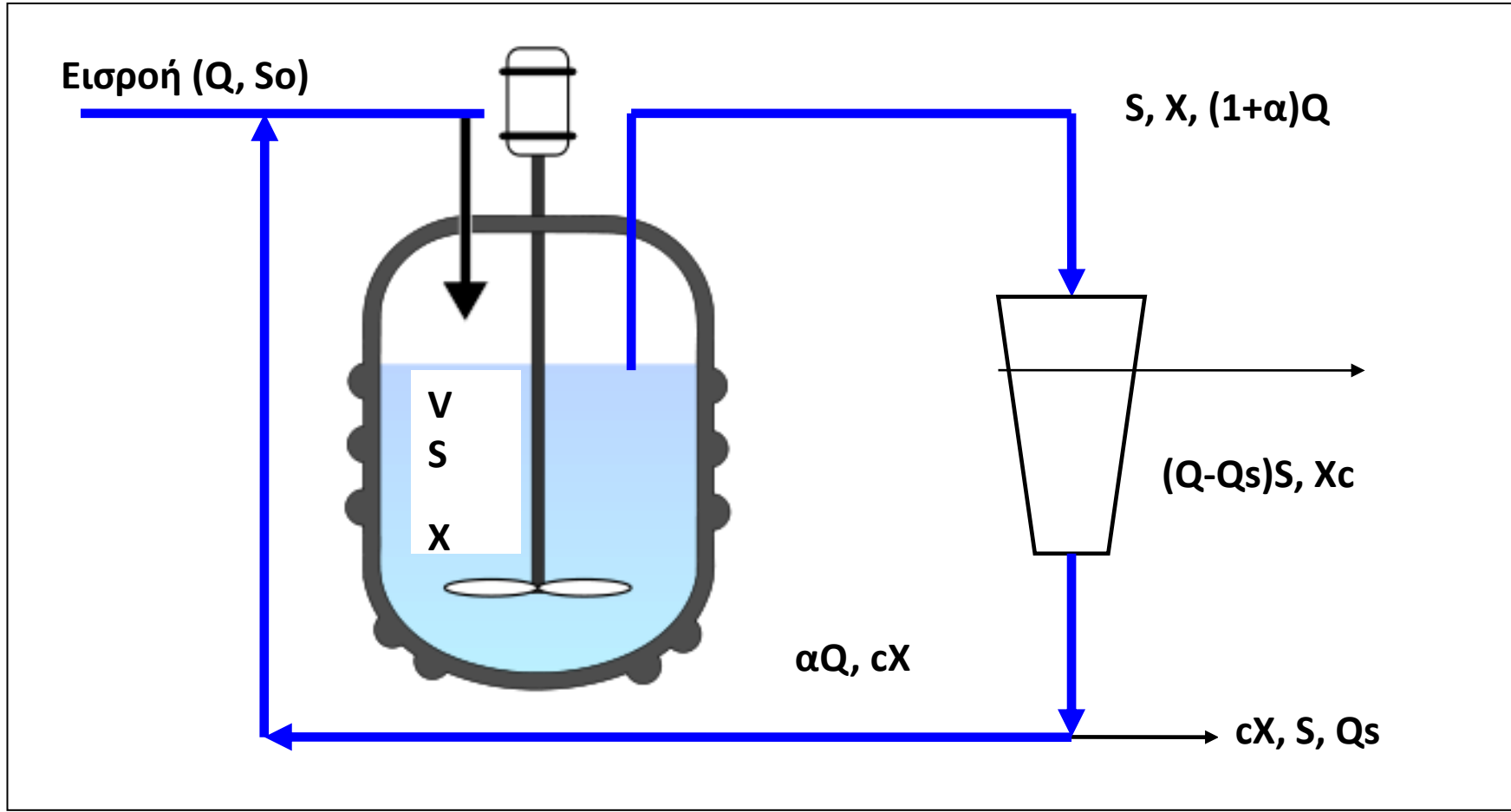


Τυπική σχέση μεταξύ βιομάζας X , τροφής S και της αραιώσης D σε ένα αντιδραστήρα συνεχούς ροής, τέλει ανάμιξης και μόνιμες συνθήκες λειτουργίας

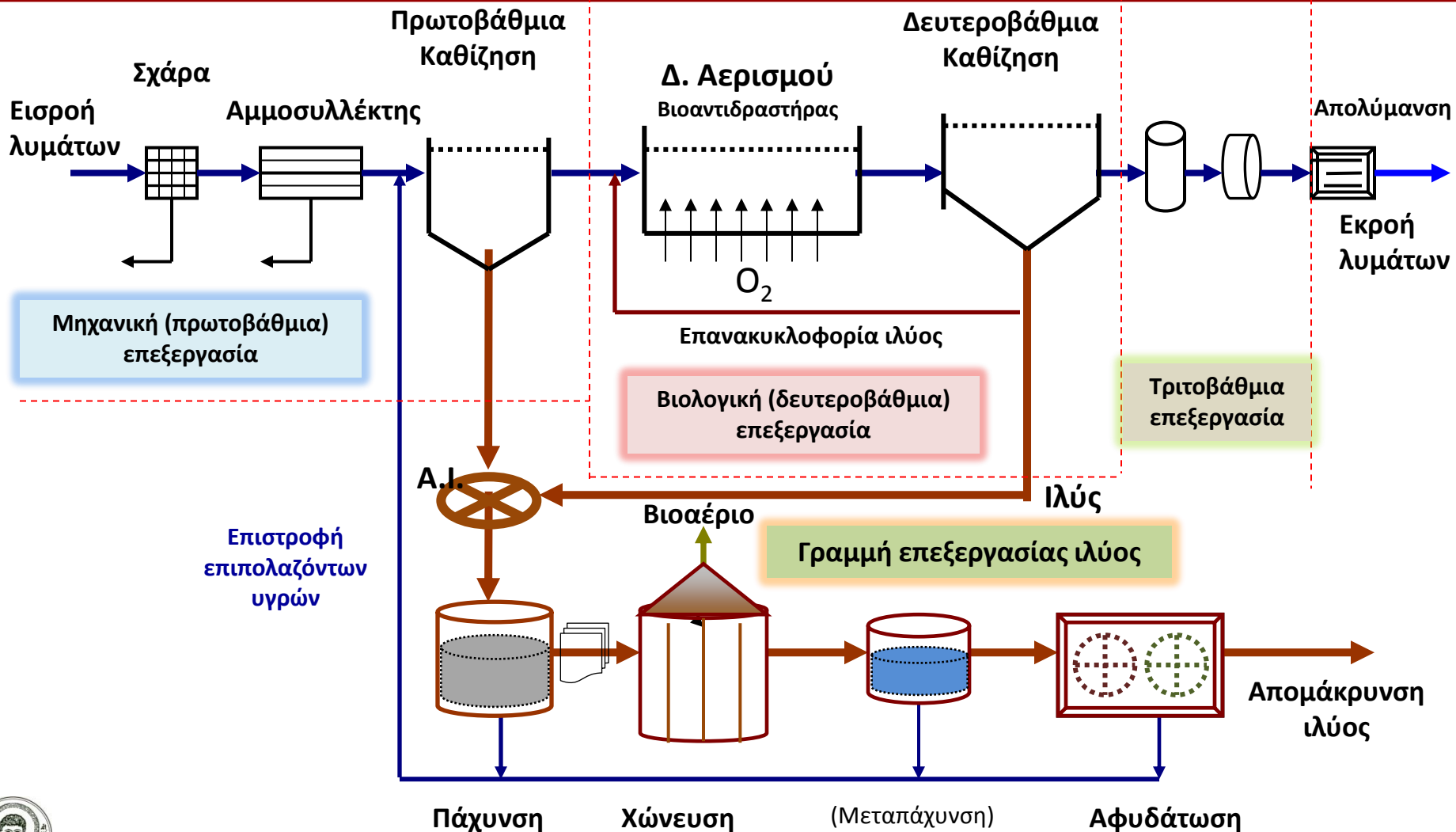
Η απόδοση του αντιδραστήρα βελτιστοποιείται με την κατάλληλη επιλογή του συντελεστή αραιώσης D , με τον οποίο ελέγχεται η ταχύτητα των βιοχημικών αντιδράσεων. Αυτό είναι σημαντικό για τον σχεδιασμό των αντιδραστήρων. Για την λειτουργία τους όμως σε περιπτώσεις που η απόδοσή τους δεν είναι ικανοποιητική, ο μηχανικός συντηρητής της εγκατάστασης δεν έχει δυνατότητες να επέμβει γιατί και ο όγκος των δεξαμενών V και η παροχή Q είναι σταθερά μεγέθη.



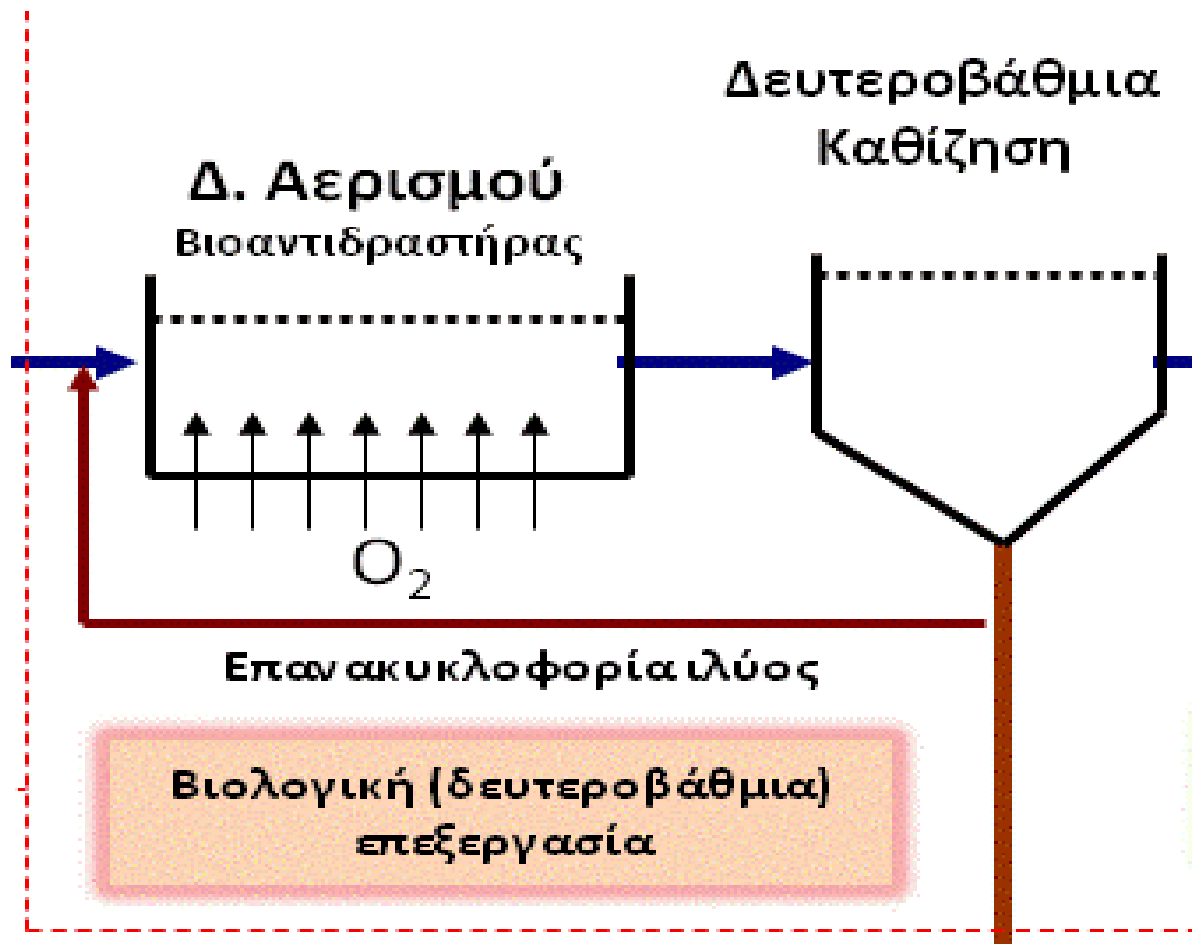
Αντιδραστήρας συνεχούς ροής με επανακυκλοφορία



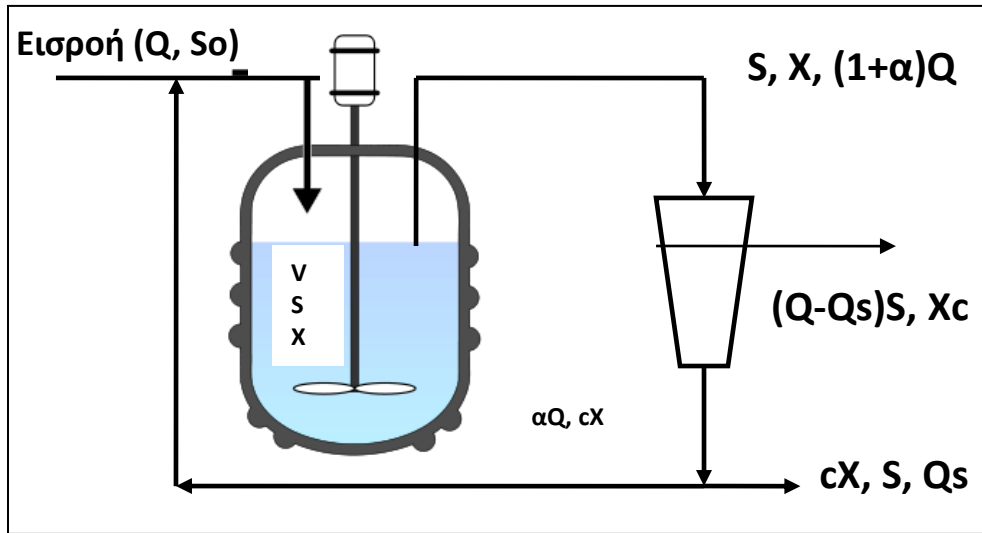
Τυπικό διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ. με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος



Αντιδραστήρας συνεχούς ροής με επανακυκλοφορία



Αντιδραστήρες συνεχούς ροής με επανακυκλοφορία



Οι νέες παράμετροι που εισάγονται είναι: X_e , Q_s ,

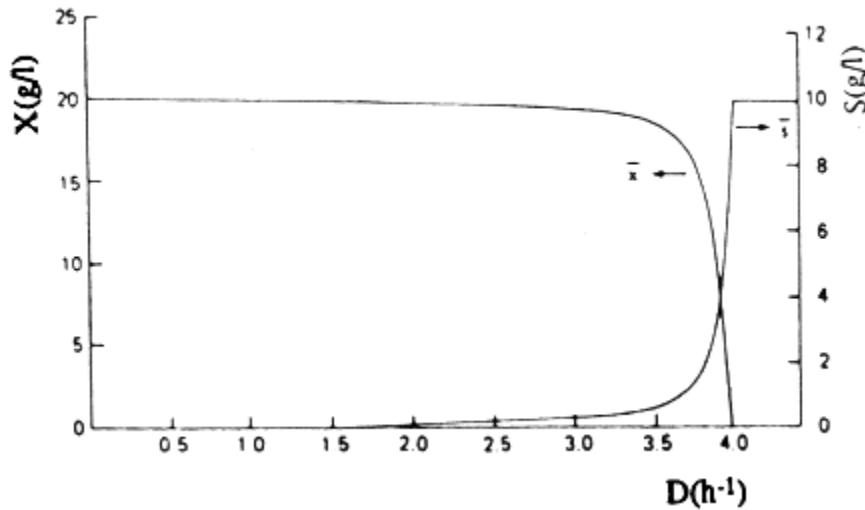
$$c = \frac{X_R}{X}$$

$$\alpha = \frac{Q_R}{Q}$$

όπου: α = συντελεστής επανακυκλοφορίας,
 X_e = συγκέντρωση βιομάζας στην εκροή (≈ 0)
 c = συντελεστής συγκέντρωσης ιλύος,
 Q_s = παροχή πλεονάζουσας ιλύος
 Q_R = παροχή επανακυκλοφορίας ιλύος
 X_R = συγκέντρωση βιομάζας επανακυκλοφορούσης ιλύος



Αντιδραστήρες συνεχούς ροής με επανακυκλοφορία



Η γραφική τους παράσταση είναι ίδια με τη προηγούμενη πλην όμως η τιμή του συντελεστή αραίωσης D στην οποία παρατηρείται απότομη πτώση της συγκέντρωσης της βιομάζας, είναι πολύ μεγαλύτερη.

$$\mu = D(1 + \alpha - \alpha c)$$

Σχέση μεταξύ βιομάζας X , τροφής S και αραίωσης D σε ένα αντιδραστήρα συνεχούς ροής με επανακυκλοφορία, τέλεια ανάμιξη και μόνιμες συνθήκες λειτουργίας.

$$S = \frac{\mu K_s}{\mu_{μεγ} - \mu} = \frac{K_s D(1 + \alpha - \alpha c)}{\mu_{μεγ} - D(1 + \alpha - \alpha c)}$$

$$X = \frac{YD(S_0 - S)}{\mu} = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + \alpha - \alpha c}$$

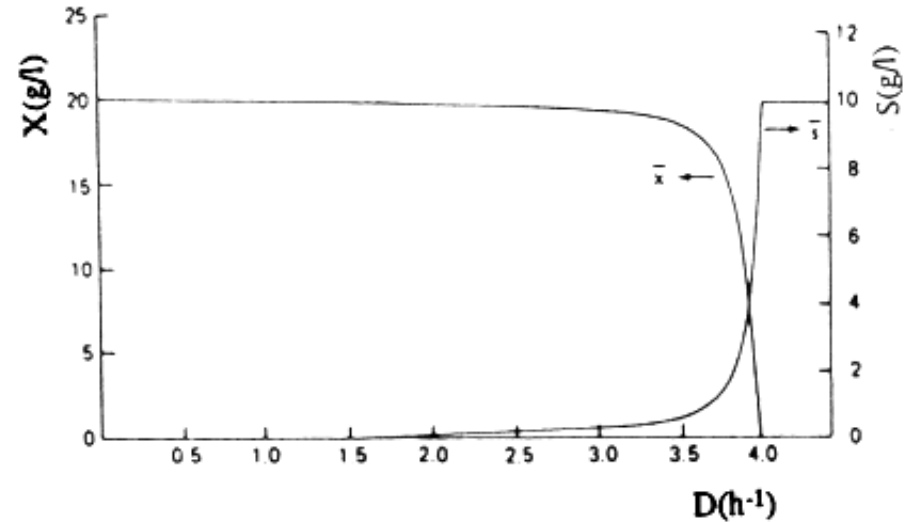
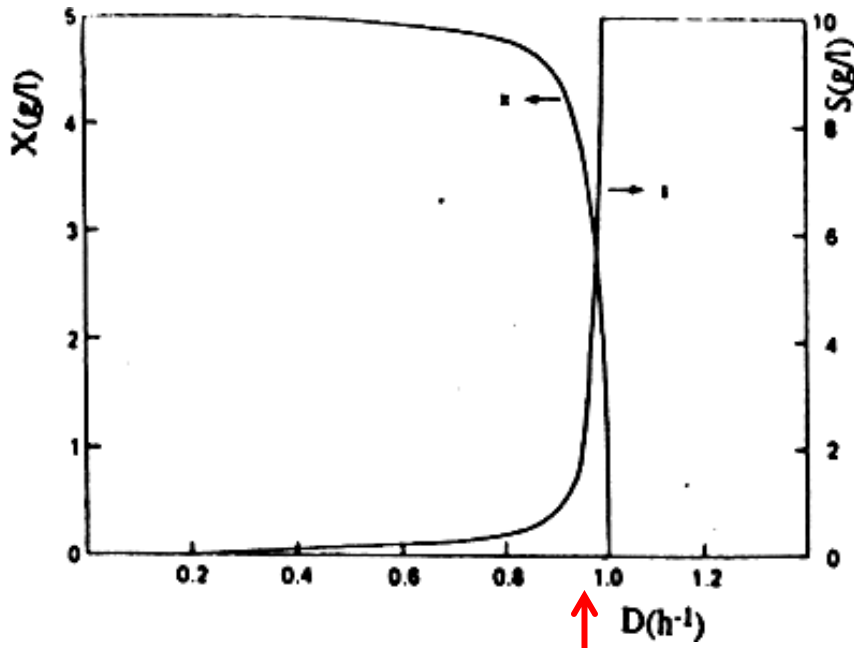


Αντιδραστήρες συνεχούς ροής

Χωρίς επανακυκλοφορία

$$\frac{Q}{V} = D = \frac{1}{t}$$

Με επανακυκλοφορία



Συντελεστής αραίωσης D (h⁻¹)



Αντιδραστήρες με βιολογικούς υμένες

- Στα τοιχώματα των αντιδραστήρων και γενικά σε όλες τις επιφάνειες οι οποίες υπάρχουν στο εσωτερικό τους π.χ. στερεοί δίσκοι (δισκοδιυλιστήρια), χάλικες (χαλικοδιυλιστήρια) κ.τ.λ. αναπτύσσεται με το χρόνο βιολογική μάζα η οποία περιβάλλει όλες τις ελεύθερες επιφάνειες.
- Μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα η ποσότητα της βιομάζας η οποία είναι επικολλημένη επάνω στις στερεές επιφάνειες παραμένει σταθερή διότι η επιπλέον παραγόμενη κατά τη λειτουργία του αντιδραστήρα αποκολλάται και αιωρείται στο εσωτερικό του, απομακρύνεται δε με την εκροή.



Biofilm (Βιολογικός υμέννας)



Πηγή: <http://mpkb.org/home/pathogenesis/microbiota/biofilm>

(Υψηλή βιοποικιλότητα λόγω μεγάλης $H_{1\lambda}$ ηλικίας ιλύος)

Η βιολογική αποικοδόμηση στους αντιδραστήρες αυτού του τύπου γίνεται κυρίως από τον βιολογικό υμένα που έχει αναπτυχθεί επί των τοιχωμάτων και κατά δεύτερο λόγο από την αιωρούμενη στο υγρό βιομάζα.



Αντιδραστήρες με βιολογικούς υμένες (εξισώσεις)

$$\mu X + \mu X_w - DX = 0$$

$$D(S_0 - S) - \frac{\mu(X + X_w)}{Y} = 0$$

$$X = Y(S_0 - S)$$

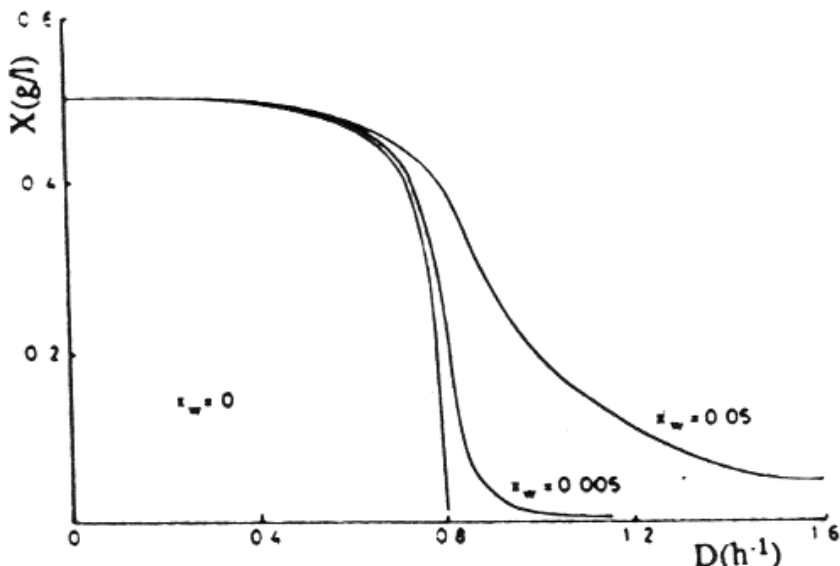
X_w η ενεργός βιομάζα επί των τοιχωμάτων ανά μονάδα όγκου του υγρού που περιέχεται στον αντιδραστήρα.

$$S^2 (DY - \mu_{μεγ} Y) + S(\mu_{μεγ} X_w + \mu_{μεγ} YS_0 - DYS_0 + DYK_s) - DYS_0 K_s = 0$$

Η εξίσωση αυτή είναι δευτέρου βαθμού ως προς S , αλλά μόνο οι θετικές ρίζες έχουν νόημα.



Παραγωγή βιομάζας σε βιολογικό υμέννα



$$\frac{Q}{V} = D = \frac{1}{t}$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή X_w τόσο μεγαλύτερη μπορεί να επιλεγεί η τιμή του συντελεστή αραίωσης και επομένως να ελαττωθούν οι διαστάσεις των δεξαμενών.

Στην τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων στους σχετικούς αντιδραστήρες η τιμή X_w είναι πολύ μεγαλύτερη από την τιμή X και ως εκ τούτου η τελευταία παράμετρος δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη.

Εν τούτοις η δαπάνη κατασκευής των δισκοδυλιστηρίων και των χαλικοδυλιστηρίων είναι σήμερα μεγαλύτερη από ότι των δεξαμενών ενεργού ιλύος που είναι αντιδραστήρες με επανακυκλοφορία ιλύος.



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.

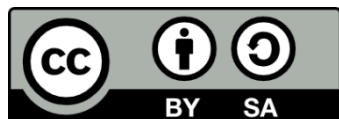
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





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.

