



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

## Ενότητα 5: Επισκόπηση Βιοδιεργασιών

Κορνάρος Μιχαήλ  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

# Βακτήρια:

Ο βασικότερος τύπος μικροοργανισμού στο βιολογικό καθαρισμό, υπεύθυνος για:

- την οξείδωση των οργανικών,
- την νιτροποίηση (οξείδωση αμμωνίας σε νιτρικά)
- την απονιτροποίηση (αναγωγή νιτρικών σε άζωτο),
- την παραγωγή οξικού οξέος και μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος.

Αποτελούνται κατά 80% από νερό, ενώ το 90% του υπολοίπου είναι οργανικό με εμπειρικό τύπο  $C_5H_7O_2N$



# Χαρακτηριστικά βακτηρίων

- Δε διαθέτουν οργανίδια
- Διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα
- Μονοκύτταροι Προκαρυωτικοί Οργανισμοί
- Διαθέτουν κυτταρική μεμβράνη
- Σχήμα σφαιρικό, ραβδοειδές
- Ορισμένα δημιουργούν ενδοσπόρια
- Πολλαπλασιάζονται αγενώς με διχοτόμηση
- Ορισμένα διαθέτουν κάψα
- Ορισμένα διαθέτουν μαστίγια ή βλεφαρίδες για κίνηση
- Διαθέτουν ριβοσώματα
- Το γενετικό τους υλικό συγκεντρωμένο στο πυρηνοειδές
- Χημειοαυτότροφα, φωτοαυτότροφα και αερόβια έως προαιρετικά αναερόβια και αναερόβια



# Μύκητες:

- Συνήθως είναι πολυκύτταροι όπως απαντώνται στον βιολογικό καθαρισμό.
- Οι ευρωτομύκητες σχηματίζουν μικύλια δηλαδή πολυκύτταρες αποικίες συνενωμένες σε ένα κυτταρικό τοίχωμα.
- Τα περισσότερα είδη είναι αερόβια και έχουν όξινο βέλτιστο pH.
- Είναι χρήσιμα για καθαρισμό σε χαμηλά pH και σε συνθήκες με περιορισμό αζώτου.
- Εμπειρικός τύπος:  $C_{10}H_{17}O_6N$ .
- Οι μύκητες είναι ανεπιθύμητοι στην ενεργό ιλύ, γιατί παρεμποδίζουν την καθίζηση.
- Το μέγεθος τους είναι 5  $\mu m$  και πάνω.



# Χαρακτηριστικά Μυκήτων

- Ευκαρυωτικά κύτταρα
- Ετερότροφοι οργανισμοί
- Ωσμότροφοι
- Αερόβιοι έως προαιρετικά αναερόβιοι
- Αναπαραγωγή με σπόρια



# Φύκη:

- Μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι οργανισμοί που παίρνουν ενέργεια είτε με φωτοσύνθεση (καταναλώνοντας  $\text{CO}_2$  και παράγοντας  $\text{O}_2$ ) είτε με αναπνοή (καταναλώνοντας  $\text{O}_2$  και παράγοντας  $\text{CO}_2$ ).
- Λόγω της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας συχνά βρίσκονται σε συμβιωτική σχέση με τα βακτήρια. Γι αυτό, είναι χρήσιμα σε δεξαμενές (λίμνες) παρατεταμένης οξειδωσης.
- συχνά είναι ανεπιθύμητα γιατί προκαλούν άσχημες γεύσεις και οσμές σε φυσικά ύδατα.
- Προκειμένου να αποφευχθεί η ανάπτυξή τους, συνήθως φροντίζουμε την έλλειψη (απομάκρυνση) αζώτου και φωσφόρου, ή φωτός.
- Εμπειρικός τύπος:  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2\text{N}$ .
- Το μέγεθος τους ποικίλει από 1  $\mu\text{m}$  μέχρι αρκετά μέτρα.



# Πρωτόζωα:

Είναι συνήθως μονοκύτταροι οργανισμοί.

Μπορούν να θεωρηθούν πρόδρομοι των ζώων.

Συνήθως τρέφονται με βακτήρια και είναι αρκετά σημαντικά, μια και αφαιρούν τα βακτήρια και αιωρούμενα (αδιάλυτα) οργανικά από τα καθαρισμένα νερά.

Εμπειρικός τύπος:  $C_7H_{14}O_3N$ .

Μέγεθος: 2-400  $\mu m$ .



# Ιοί

- Μικροσκοπικοί οργανισμοί που μπορούν να αναπτυχθούν μόνο παρασιτικά σε βάρους άλλων κυττάρων.
- Τυπικό φάσμα μεγέθους: 0,01  $\mu\text{m}$ -0,3  $\mu\text{m}$ .





# Χημική Σύσταση Μικροοργανισμών

- Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν και τη βάση της κυτταρικής δομής είναι C, H, O, N καθώς και P, S.
- Τα υπόλοιπα στοιχεία όπως K, Na, Ca, Mg, Cl, Fe κλπ, ανευρίσκονται σε μικρές ποσότητες.
- Τα διάφορα οργανίδια, οι μεμβράνες και οι λοιπές δομές του κυττάρου αποτελούνται από τέσσερα βασικά είδη μακρομορίων



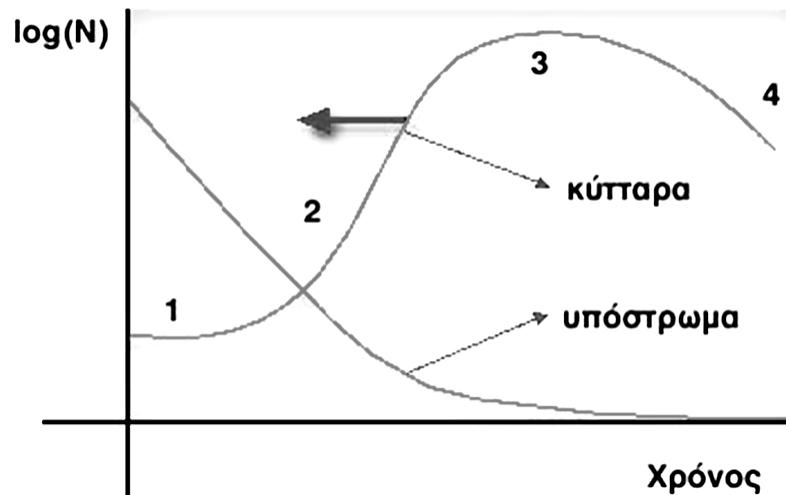
# Μακρομόρια

- Τα νουκλεϊνικά οξέα: το RNA (ριβοζονουκλεϊνικό οξύ) και DNA (δεσοξυριβοζονουκλεϊνικό οξύ) λέγονται και πληροφορικά μακρομόρια
- Τα λιπίδια αποτελούν κυρίως τρόπο αποθήκευσης ενέργειας, αλλά έχουν και δομικό ρόλο.
- Οι πολυσακχαρίτες έχουν δομικό (π.χ. κυτταρίνη) αλλά και αποθηκευτικό ρόλο.
- Οι πρωτεΐνες είναι τα πιο διαδεδομένα μακρομόρια στο κύτταρο (30 με 70% του ξηρού βάρους) και παίζουν πολλούς ρόλους, όπως:
  - (α) καταλυτικό (τα ένζυμα),
  - (β) ρυθμιστικό (π.χ. ορμόνες),
  - (γ) μεταφορικό (π.χ. αιμοσφαιρίνη),
  - (δ) προστατευτικό (αντισώματα, θρομβίνη),
  - (ε) τοξικό (τοξίνες),
  - (στ) αποθηκευτικό,
  - (ζ) συσταλτικό (για κίνηση), και
  - δομικό (κολλαγόνο, γλυκοπρωτεΐνες)

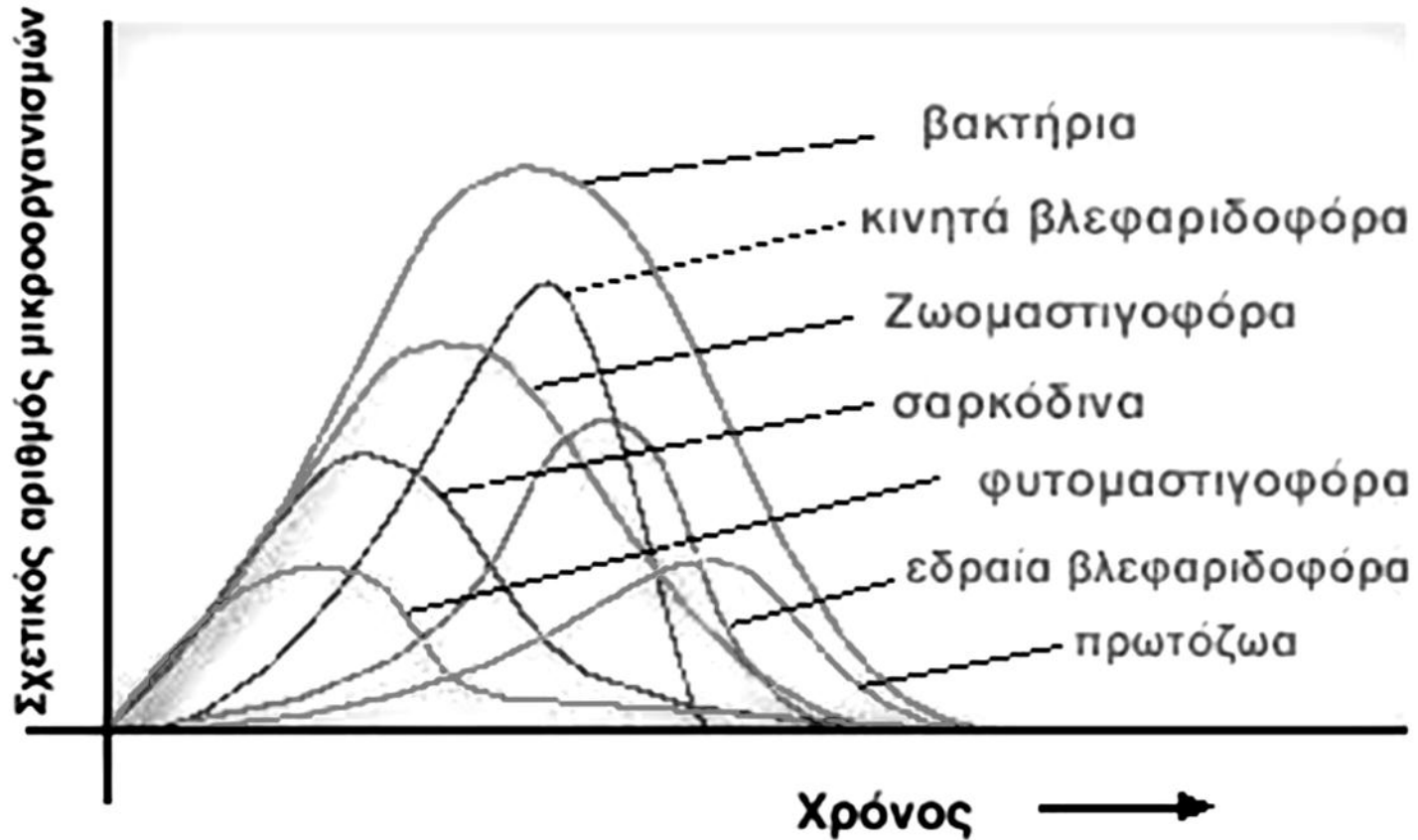


# Τυπική καμπύλη ανάπτυξης

- (1) Λανθάνουσα φάση
- (2) Φάση εκθετικής ανάπτυξης
- (3) Στάσιμη φάση
- (4) Φάση απόκλισης (θανάτου)



# Οργανισμοί σε δεξαμενή σταθεροποίησης



# Μη δομημένα, μη κατανεμημένα μοντέλα κινητικής

- Το πιο απλό μοντέλο είναι το μοντέλο του Malthus.  $r = \mu \cdot x$

όπου:

- $r$  ο ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών
- $x$  η συγκέντρωση μικροοργανισμών σε g/L κυτταρικής μάζας
- $\mu$  ο ειδικός ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης (microbial specific growth rate)



# το Μοντέλο Monod

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

Όπου:

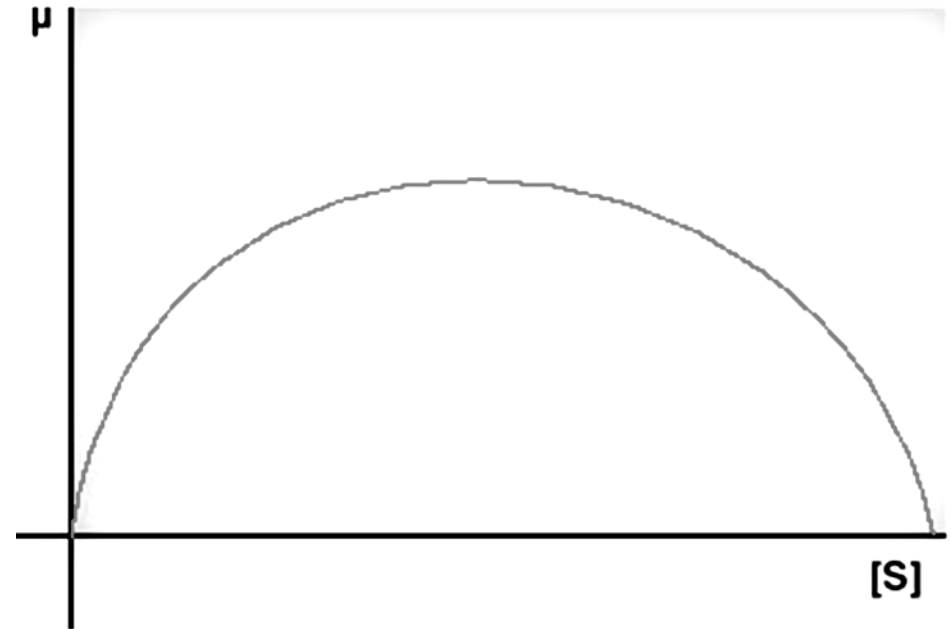
$S$ : περιοριστικό υπόστρωμα (mg/L)

$K_s$ : σταθερά κορεσμού (ίση με την συγκέντρωση του υποστρώματος στην οποία ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ίσος με το ήμισυ του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης)

$\mu_{\max}$ : μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης



# Μοντέλο παρεμπόδισης υποστρώματος



$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{1 + \frac{K_m}{S} + \frac{S}{K_I}}$$

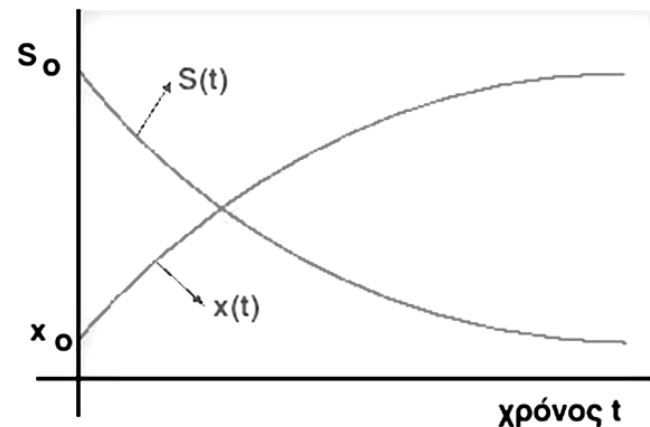


# Αντιδραστήρας Διαλείποντος Εργου

Τα ισοζύγια για την βιομάζα και το υπόστρωμα παίρνουν την μορφή:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} x - k_d x \quad \frac{dS}{dt} = - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} x$$

με αρχικές συνθήκες  $x(0) = x_0, S(0) = S_0$





# Αντιδραστήρας Διαλείποντος Εργου

Αν αγνοηθεί η ενδογενής αναπνοή έχουμε:

$$\ln S = \ln \left[ S_0 + Y(S_0 - S) \frac{S_0}{x_0} \right] + \left( \frac{x_0 + YS_0}{Y K_s} \right) \ln \left[ \frac{x_0 + Y(S_0 - S)}{x_0} \right] - \mu_{\max} t \frac{[x_0 + YS_0]}{Y K_s}$$

Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ευρεθεί ο απαιτούμενος χρόνος για να μειωθεί το υπόστρωμα σε κάποια επιθυμητή τιμή.



# Αντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας (CSTR)

Τα ισοζύγια μάζας σ' αυτή την περίπτωση είναι:

$$V \frac{dS}{dt} = Q^0 S^0 - Q^0 S - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X \cdot V$$

$$V \frac{dX}{dt} = Q^0 X^0 - Q^0 X + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} X \cdot V - k_d X$$

όπου  $S^0$  και  $X^0$  οι συγκεντρώσεις στην τροφοδοσία.



# Αντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας (CSTR)

Διαιρώντας με τον όγκο,  $V$  τις παραπάνω σχέσεις και ορίζοντας τον ρυθμό αραίωσης:  $D = \frac{Q^0}{V} = \frac{1}{\theta}$

(dilution rate, αντίστροφος του χρόνου παραμονής  $\theta$ ),  
για μόνιμη κατάσταση ( $\frac{ds}{dt} = \frac{dx}{dt} = 0$ ) έχουμε:

$$D(S_0 - S) - \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} x = 0$$

$$D(x^0 - x) + \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} x - k_d x = 0$$



# Αντιδραστήρας Συνεχούς Λειτουργίας (CSTR)

Αν δεν περιέχονται οργανισμοί στην τροφοδοσία ( $x^0=0$ ) έχουμε:

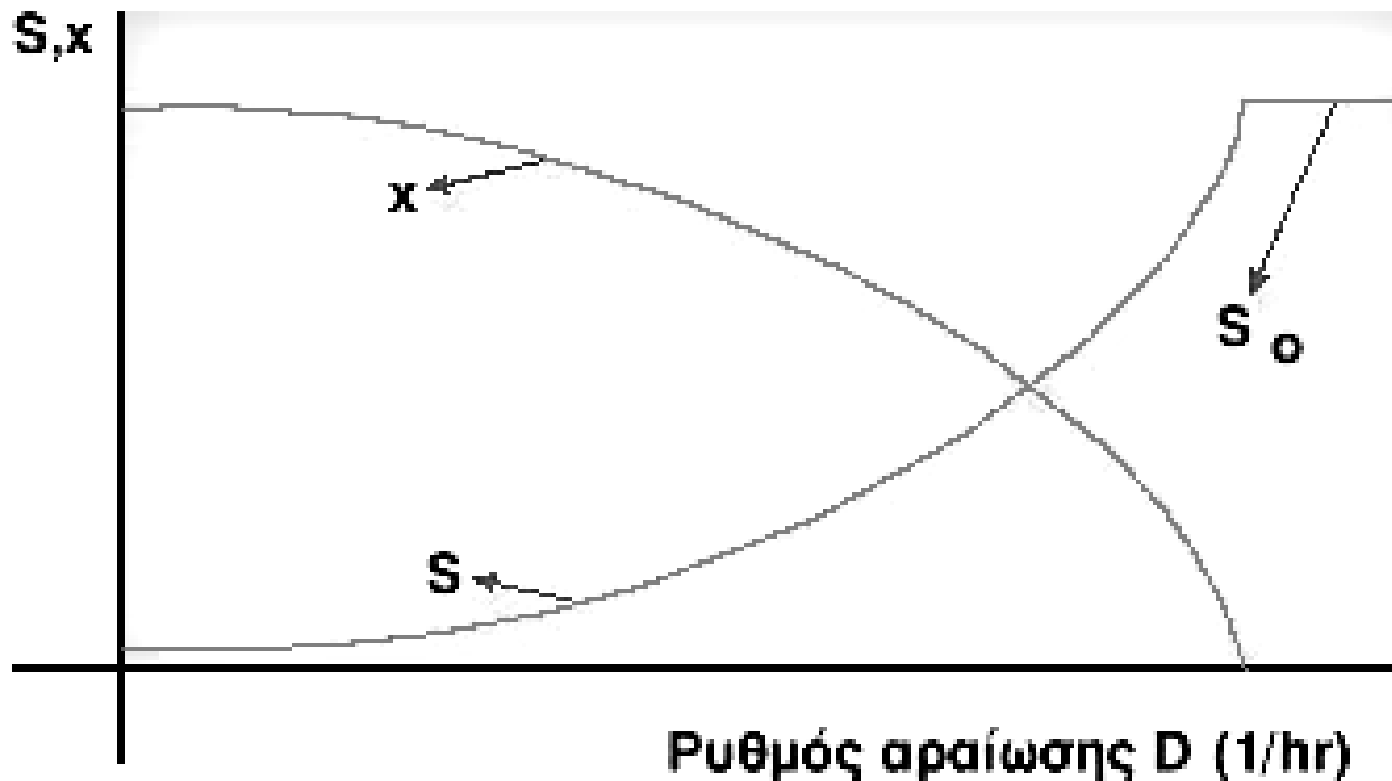
$$D = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} - k_d \Rightarrow S = \frac{(D + k_d) K_s}{\mu_{\max} - (D + k_d)}$$

για  $D > D_w = \frac{\mu_{\max} S_0}{K_s + S_0} - k_d$  οι οργανισμοί δεν μπορούν να αναπτυχθούν στον αντιδραστήρα μια και αφαιρούνται με ρυθμό μεγαλύτερο απ' ότι μπορούν να

αναπτυχθούν ( $D_w$  ρυθμός εκπλυτικής αραίωσης).



# Συγκεντρώσεις υποστρώματος και βιομάζας για αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας



# Ορισμοί

Ρυθμός χρήσης υποστρώματος:  $r_{su} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu_{max} S}{K_s + S} x = D(S - S_0)$

Ειδικός ρυθμός χρήσης υποστρώματος

(ανά g βιομάζας):  $U = \frac{D(S_0 - S)}{x}$

Παρατηρούμενη απόδοση:  $Y_{obs} = \frac{YU - k_d}{U} = \frac{DY}{D + k_d}$

Λόγος τροφής/μικροοργανισμών:  $F/M = \frac{DS_0}{x}$



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.





Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0.0**.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Αναπληρωτής Καθηγητής, Μιχαήλ Κορνάρος. «Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Επισκόπηση Βιοδιεργασιών». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2143>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [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».



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

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

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