



Διαχείριση υγρών αποβλήτων: *Βιολογικός καθαρισμός*

Αναπ. Καθηγητής Δημοσθένης Α. Σαρηγιάννης

Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μηχανικής

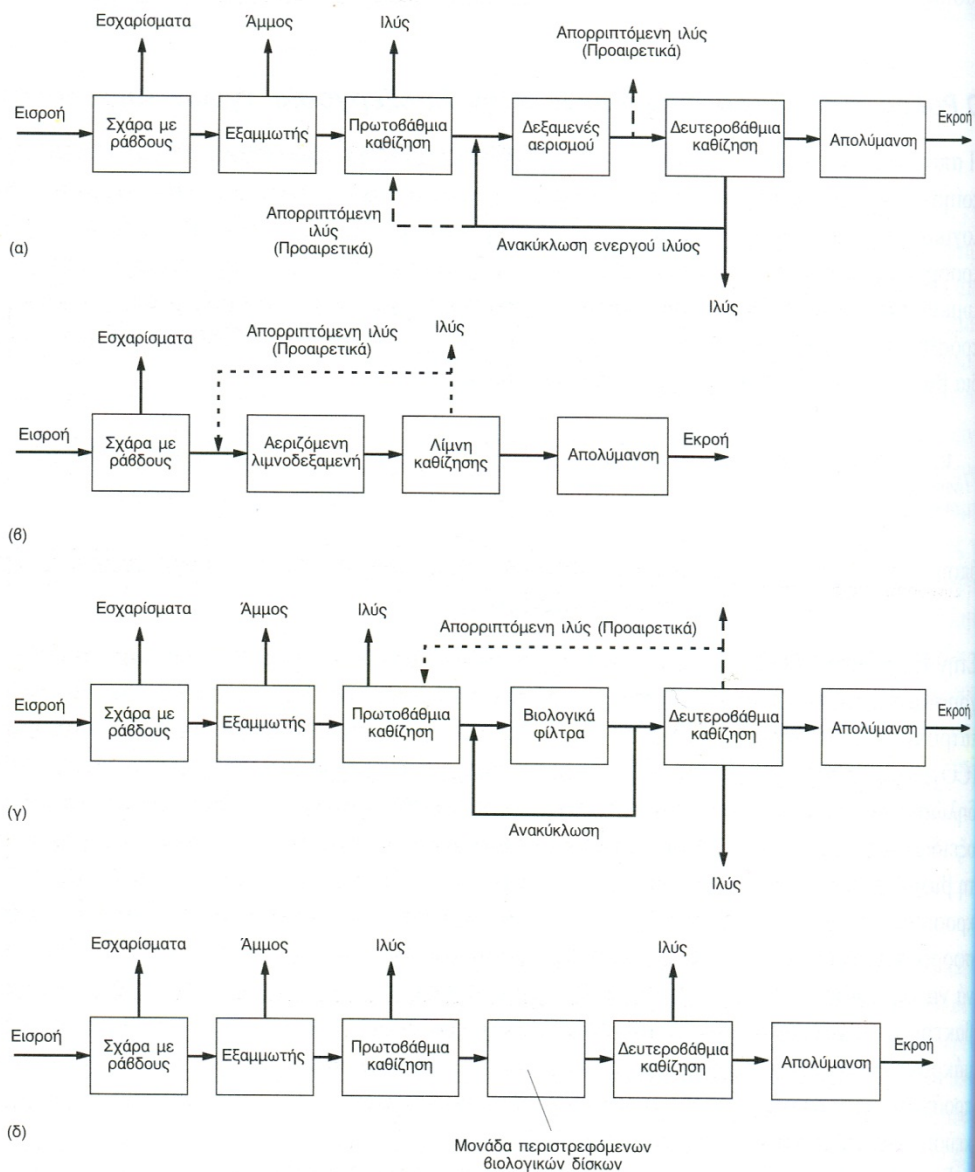
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Διάγραμμα ροής βιολογικού καθαρισμού



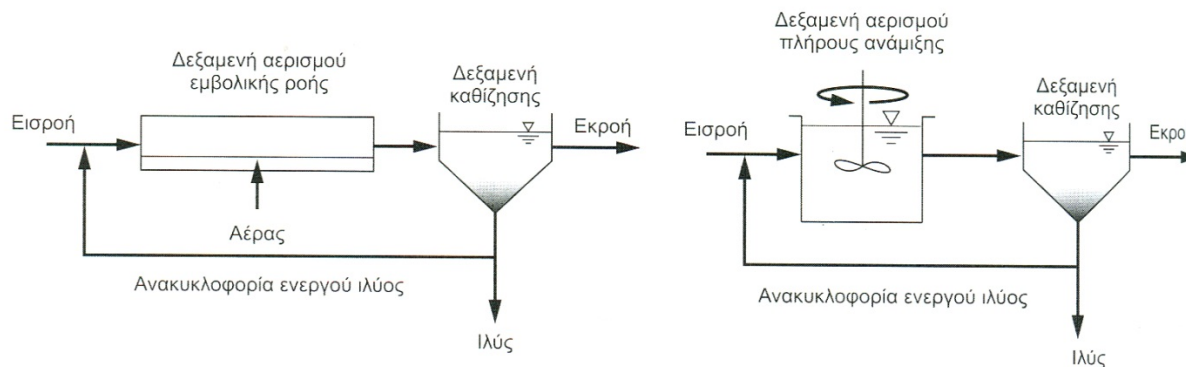


Τύποι διεργασιών

Τύπος	Τυπικό όνομα	Χρήση
Αερόβιες διεργασίες		
Αιωρούμενης βιομάζας	Διεργασίες ενεργού ιλύος	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση
	Αεριζόμενες λιμνοδεξαμενές	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση
	Αερόβια χώνευση	Σταθεροποίηση, Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
Προσκολλημένης βιομάζας	Βιολογικά φίλτρα	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση
	Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση
	Αντιδραστήρες σταθερής κλίνης	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση
Υβριδικές (συνδυασμένες) διεργασίες αιωρούμενης και προσκολλημένης βιομάζας	Βιολογικά φίλτρα/ ενεργός ιλύς	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση
Ανοξικές διεργασίες		
Αιωρούμενης βιομάζας	Απονιτροποίηση αιωρούμενης βιομάζας	Απονιτροποίηση
Προσκολλημένης βιομάζας	Απονιτροποίηση προσκολλημένης βιομάζας	Απονιτροποίηση
Αναερόβιες διεργασίες		
Αιωρούμενης βιομάζας	Διεργασίες αναερόβιας επαφής	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
	Αναερόβια χώνευση	Σταθεροποίηση, καταστροφή στερεών, θάνατος παθογόνων
Προσκολλημένης βιομάζας	Αναερόβια σταθερή και ρευστοποιημένη κλίνη	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, σταθεροποίηση αποβλήτων, απονιτροποίηση
	Αναερόβιο στρώμα ιλύος ανοδικής ροής	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, ειδικά για απόβλητα υψηλού φορτίου
Στρώμα ιλύος	Αναερόβιο στρώμα ιλύος ανοδικής ροής/προσκολλημένη βιομάζα	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
Υβριδικές	Αναερόβια χώνευση	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
Συνδυασμένες αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες διεργασίες		
Αιωρούμενης βιομάζας	Διεργασίες ενός ή πολλαπλών σταδίων, διάφορες διεργασίες κατοχυρωμένες με πατέντα	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση, απονιτροποίηση και απομάκρυνση φωσφόρου
Υβριδικές	Διεργασίες ενός ή πολλαπλών σταδίων με υλικό πλήρωσης για την ανάπτυξη προσκολλημένης βιομάζας	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, νιτροποίηση, απονιτροποίηση και απομάκρυνση φωσφόρου
Διεργασίες με λιμνοδεξαμενές		
Αερόβιες λιμνοδεξαμενές	Αερόβιες λιμνοδεξαμενές	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
Λιμνοδεξαμενές ωρίμανσης (τριτοβάθμιες)	Λιμνοδεξαμενές ωρίμανσης (τριτοβάθμιες)	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
Λιμνοδεξαμενές	Λιμνοδεξαμενές	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα
Αναερόβιες λιμνοδεξαμενές	Αναερόβιες λιμνοδεξαμενές	Απομάκρυνση BOD του άνθρακα, σταθεροποίηση αποβλήτων



Δεξαμενή πλήρους ανάμιξης – εμβολικής ροής

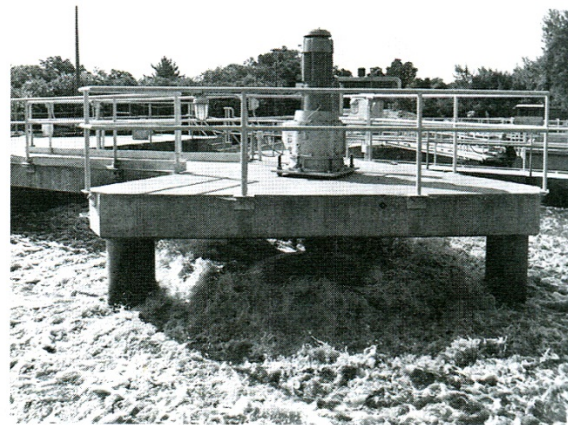


(α-1)

(β-1)



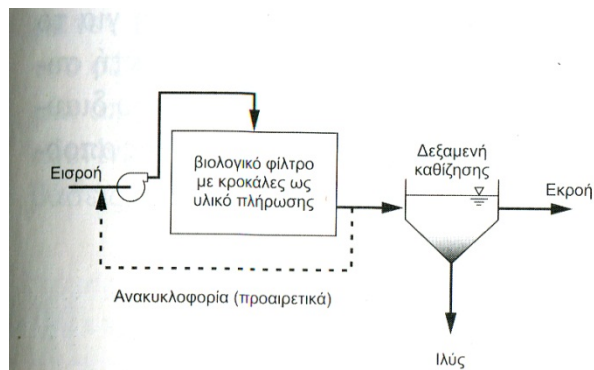
(α-2)



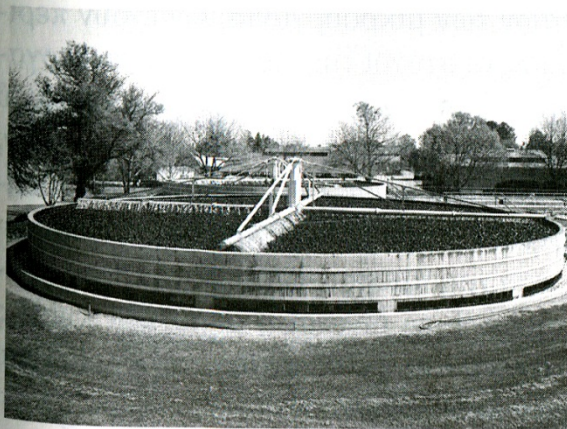
(β-2)



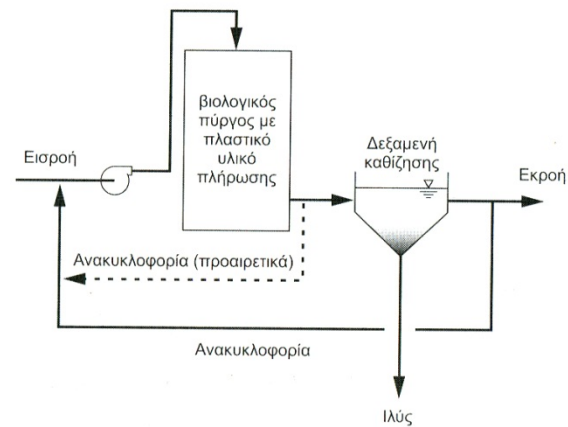
Δεξαμενή καθίζησης



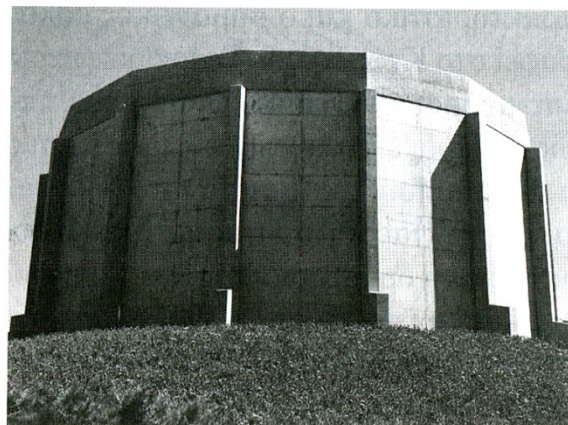
(α-1)



(α-2)



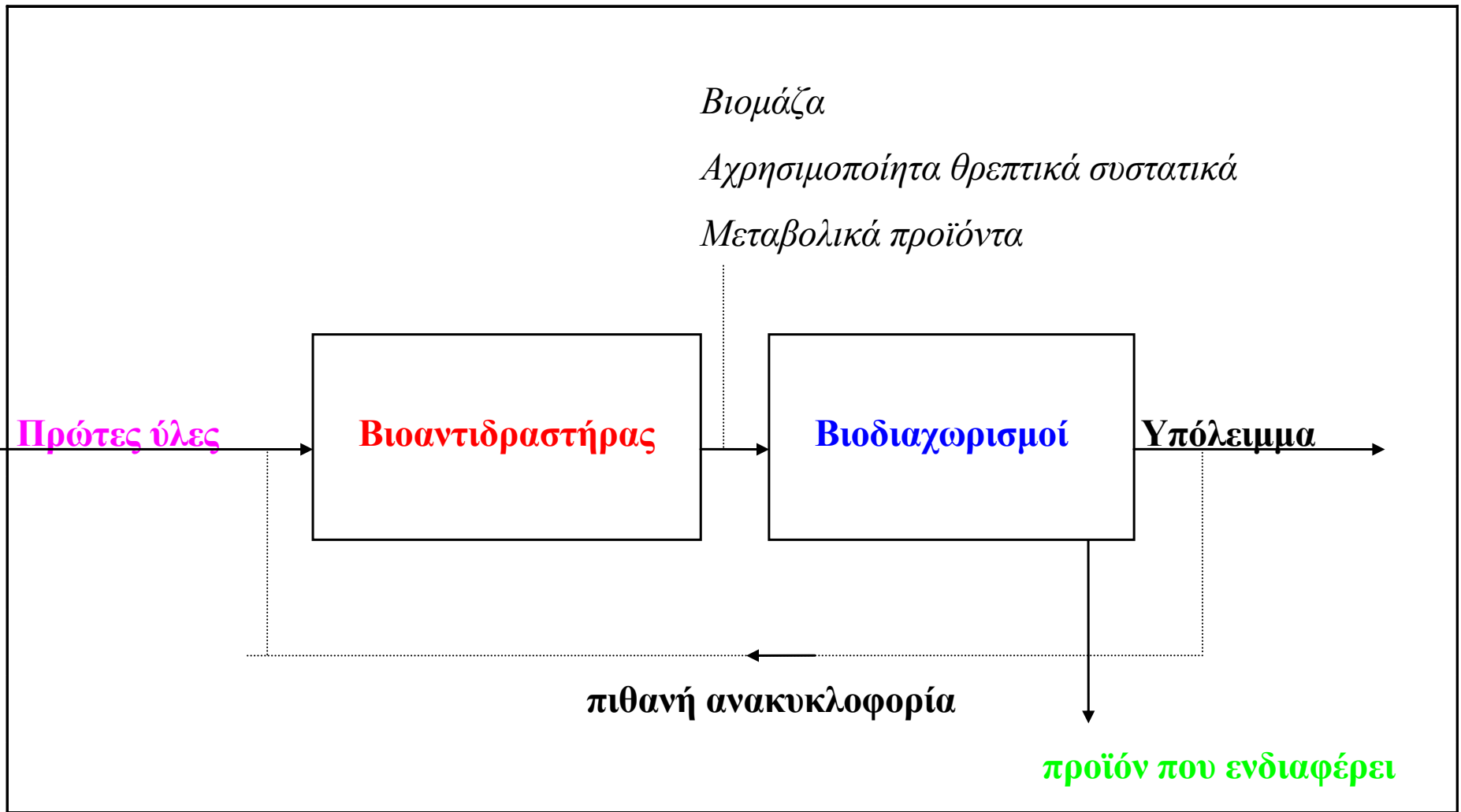
(β-1)



(β-2)



Τυπική Βιοδιεργασία





ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ



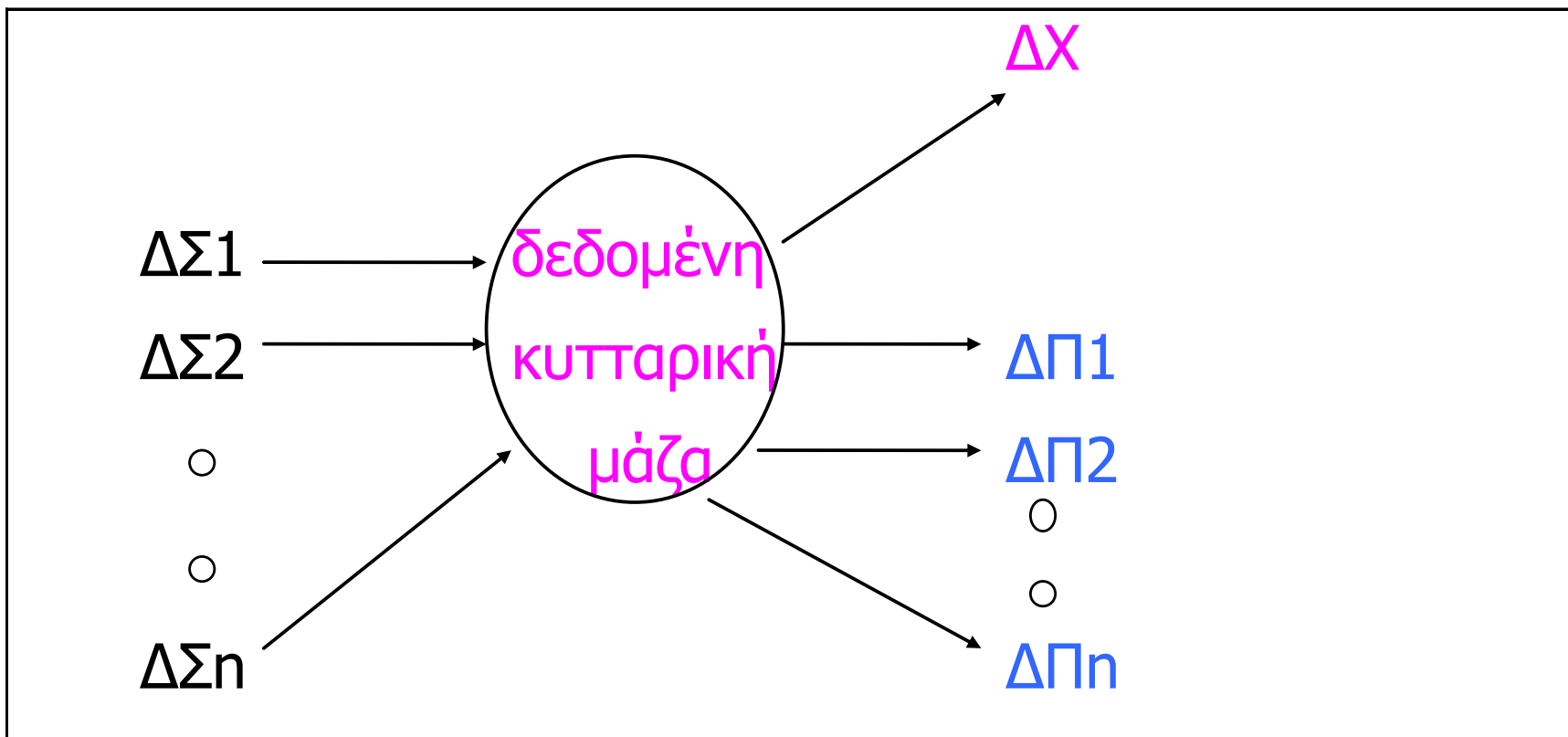
- Ας υποθέσουμε γενικά ένα σύστημα m αντιδράσεων (r_1, \dots, r_m) μεταξύ N διαφορετικών ουσιών A_1, \dots, A_N (αντιδρόντα και προϊόντα).
- Μπορούμε να παραστήσουμε κάθε αντίδραση j με την μορφή:

$$\sum_{i=1}^N \nu_{ij} A_i = 0$$

- $\nu_{ij} < 0$ εάν το A_i είναι αντιδρών,
- $\nu_{ij} > 0$ εάν είναι προϊόν της j αντίδρασης
- $\nu_{ij} = 0$ εάν δεν παίρνει μέρος στην αντίδραση j .

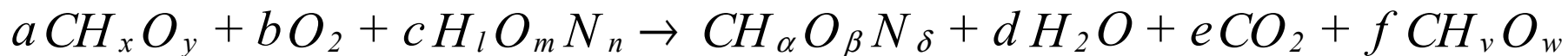


Η μικροβιακή ανάπτυξη ως αντίδραση





Μικροβιακή ανάπτυξη με παραγωγή ενός προϊόντος



Όπου:

- $CH_x O_y$ η πηγή άνθρακα,
- $CH_l O_m N_n$ η πηγή αζώτου,
- $CH_\alpha O_\beta N_\delta$ η κυτταρική μάζα
- $CH_\nu O_w$ προϊόν.



Μικροβιακή ανάπτυξη με παραγωγή ενός προϊόντος



- Τα ολικά C,H,O και N είναι διατηρούμενες ποσότητες
- επομένως τα ισοζύγια τους για **κλειστό** σύστημα ή για **ανοικτό σε μόνιμη κατάσταση** (μηδενική συσσώρευση) δίνουν:

C:
$$a = l + e + f$$

H:
$$xa + lc = \alpha + 2d + vf$$

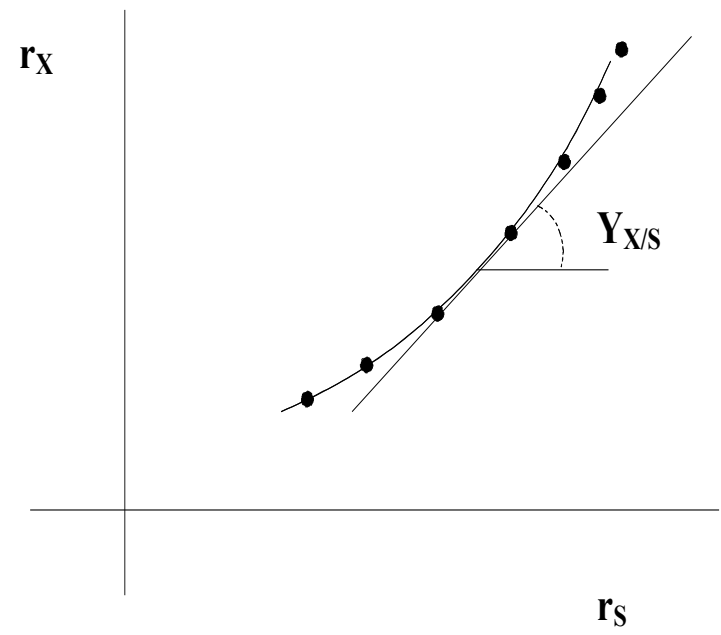
O:
$$ay + 2b + mc = \beta + d + 2e + wf$$

N:
$$nc = \delta$$



Συντελεστές απόδοσης

$$Y_{X/S} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{X_t - X_0}{S_0 - S_t} = \frac{r_X}{r_S}$$



- r_X και r_S οι ρυθμοί παραγωγής βιομάζας και κατανάλωσης υποστρώματος αντίστοιχα,
- X_t και X_0 η βιομάζα σε χρόνους t και 0 αντίστοιχα
- S_t και S_0 το θρεπτικό υπόστρωμα σε χρόνους t και 0 αντίστοιχα
- πρόκειται για μακροσκοπική ποσότητα που προσδιορίζεται πειραματικά από την κλίση της καμπύλης του r_X ως προς r_S



Συντελεστές απόδοσης



- το είδος του οργανισμού
- το είδος του υποστρώματος,
- το ρυθμό ανάπτυξης
- το λόγο άνθρακας/ άζωτο στο θρεπτικό μέσο
- το pH
- τη θερμοκρασία
- την τάση του διαλυμένου οξυγόνου κ.ο.κ.

Αρα η μικροβιακή ανάπτυξη ως μία πολύπλοκη συνολική αντίδραση δεν παρουσιάζει σταθερή στοιχειομετρία.



Άλλοι συντελεστές απόδοσης



- **συντελεστής απόδοσης $Y_{P/S}$** : μάζα (σε g) κάποιου μεταβολικού προϊόντος που παράγεται ανά g υποστρώματος που χρησιμοποιείται,
 - $Y_{X/O}$: η βιομάζα που παράγεται ανά μονάδα μάζας οξυγόνου που καταναλίσκεται κ.ο.κ.
 - Ένας συντελεστής που έχει βρεθεί να είναι περίπου σταθερός ανεξαρτήτως οργανισμού και συνθηκών ανάπτυξης είναι ο συντελεστής
- Y_{ATP} : τα g βιομάζας που παράγονται ανά mole ATP που σχηματίζεται κατά την ανάπτυξη.
Ο συντελεστής αυτός είναι πάντοτε περίπου 10,5.



Άλλοι συντελεστές απόδοσης



- $Y_{x/S_{mol}}$: τα g βιομάζας που σχηματίζονται ανά mole υποστρώματος
- $Y_{x/S_{g-at}}$ που ορίζεται ως τα g βιομάζας που σχηματίζονται ανά g-atom C του υποστρώματος.

Ορίζοντας ως *ένα C-mole ενός οργανισμού την ποσότητα που περιέχει ένα γραμμοάτομο άνθρακα (12,011 g)* μπορούμε να ορίσουμε τους συντελεστές απόδοσης:

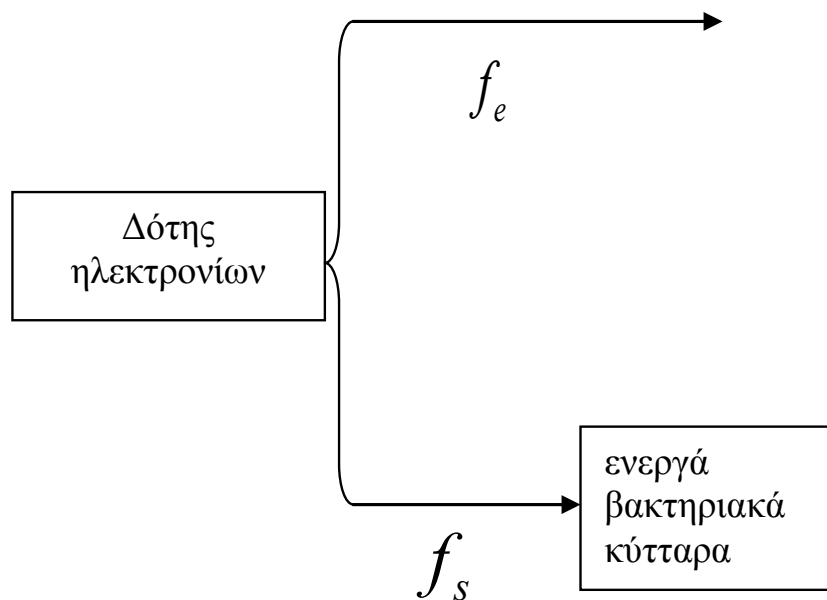
- Y_{SC} : C-moles οργανισμού που σχηματίζονται ανά mole υποστρώματος που καταναλίσκεται
- Y_{CC} : C-moles οργανισμού που παράγονται ανά γραμμοάτομο άνθρακα του υποστρώματος.
- Y_{ATPC} : : C-moles οργανισμού ανά mole ATP που σχηματίζεται
- Y_{OC} : C-moles οργανισμού ανά γραμμοάτομο καταναλισκόμενου οξυγόνου.



Κατανομή υποστρώματος και συντελεστής απόδοσης



- Το υπόστρωμα/δότης ηλεκτρονίων κατά την μικροβιακή ανάπτυξη μεταφέρεται κατά ένα κλάσμα f_e στον δέκτη ηλεκτρονίων για παραγωγή ενέργειας και κατά ένα κλάσμα f_s χρησιμοποιείται για σύνθεση κυτταρικής μάζας (αφομοίωση)





Κατανομή υποστρώματος και συντελεστής απόδοσης



Το κλάσμα f_e που διατίθεται για ενέργεια εκφράζεται σε ηλεκτροϊσοδύναμα ($e^- eq$).

Το κλάσμα f_s που πηγαίνει για σύνθεση μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες μάζας, όπως g-κυττάρων/g-COD που καταναλώνεται.

Ο συντελεστής απόδοσης συμβολίζεται με Y οπότε :

$$Y = \frac{f_s (M_c \text{ g - cells / mol cells})}{(n_e e^- eq / \text{mol cells}) \cdot (8 \text{ g COD / } e^- eq \text{ δότη})}$$

όπου M_c : Το “μοριακό” βάρος σε g από τον εμπειρικό τύπο της κυτταρικής μάζας

n_e : Ο αριθμός ηλεκτροϊσοδυνάμων σε ένα εμπειρικό “mol” κυττάρων

και η μάζα του δότη ηλεκτρονίων εκφράζεται σε COD.



Εξάρτηση ρυθμού ενζυμικών αντιδράσεων



- τη συγκέντρωση του ενζύμου
- τη συγκέντρωση των αντιδρώντων
- τη συγκέντρωση διαφόρων ουσιών που ενεργοποιούν ή παρεμποδίζουν την κατάλυση
- το pH
- τη θερμοκρασία
- την ιοντική ισχύ του μίγματος.

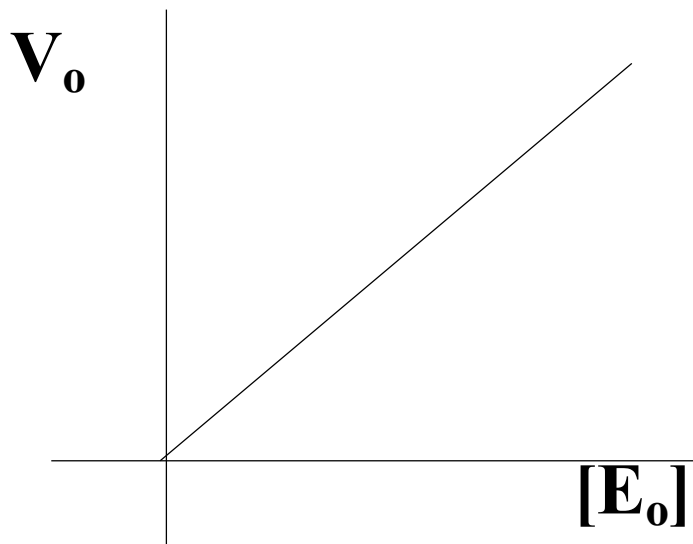
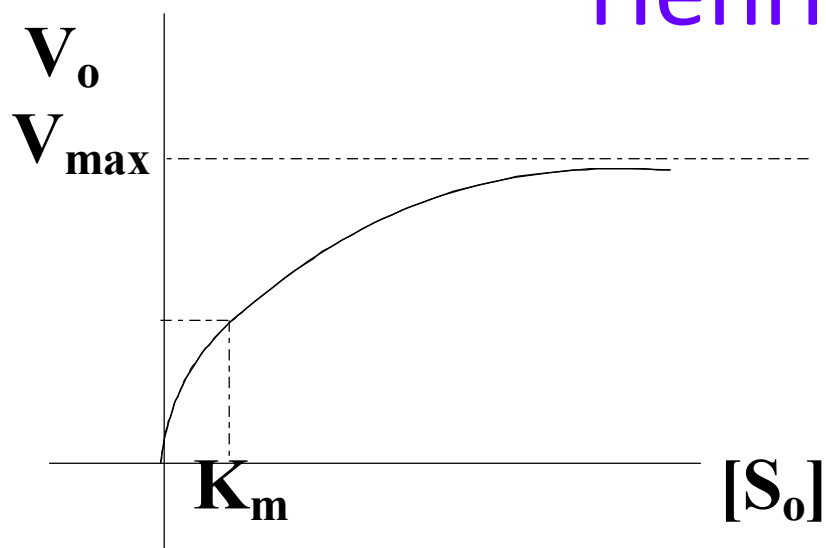


Κινητική ενζυμικών αντιδράσεων

(α)

(β)

Henri 1902



(α) Ο ρυθμός της αντίδρασης είναι **πρώτης τάξης** ως προς την συγκέντρωση του υποστρώματος για χαμηλές συγκεντρώσεις του τελευταίου, και **μηδενικής τάξης** για μεγάλες συγκεντρώσεις του υποστρώματος, δηλαδή παρουσιάζει "κορεσμό", και

(β) Ο ρυθμός της αντίδρασης είναι ανάλογος (**πρώτης τάξης**) της συγκέντρωσης του ενζύμου.

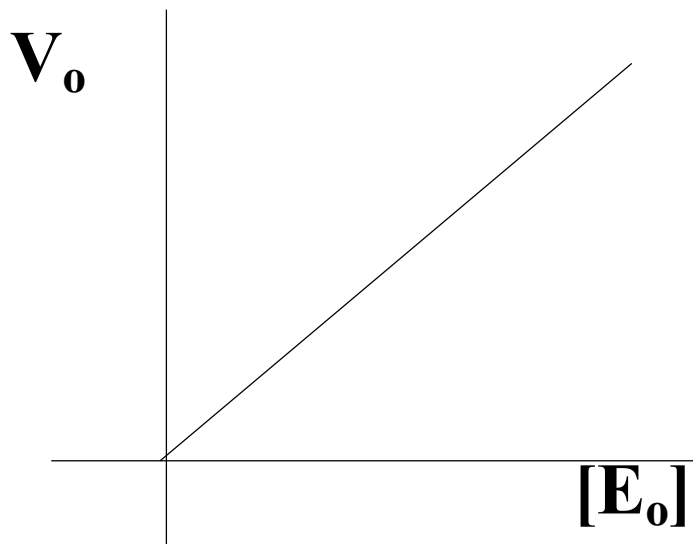
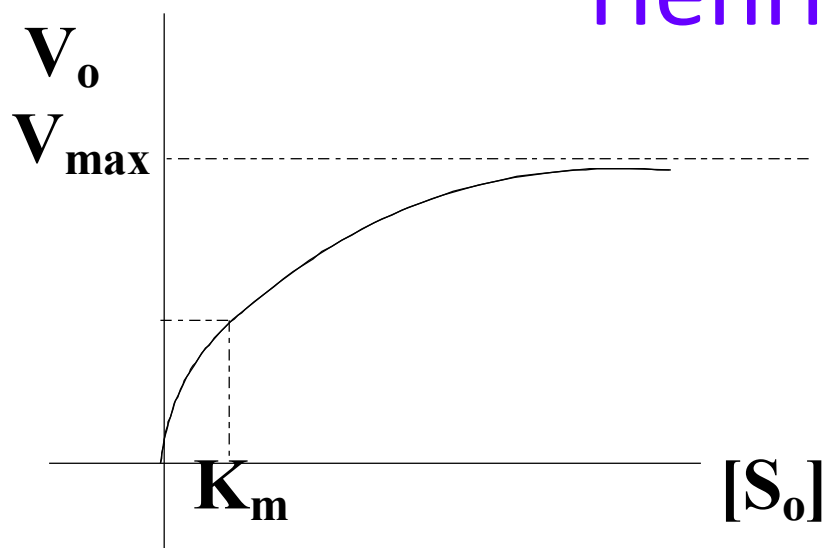


Κινητική ενζυμικών αντιδράσεων

(α)

(β)

Henri 1902



(α) Ο ρυθμός της αντίδρασης είναι **πρώτης τάξης** ως προς την συγκέντρωση του υποστρώματος για χαμηλές συγκεντρώσεις του τελευταίου, και **μηδενικής τάξης** για μεγάλες συγκεντρώσεις του υποστρώματος, δηλαδή παρουσιάζει "κορεσμό", και

(β) Ο ρυθμός της αντίδρασης είναι ανάλογος (**πρώτης τάξης**) της συγκέντρωσης του ενζύμου.

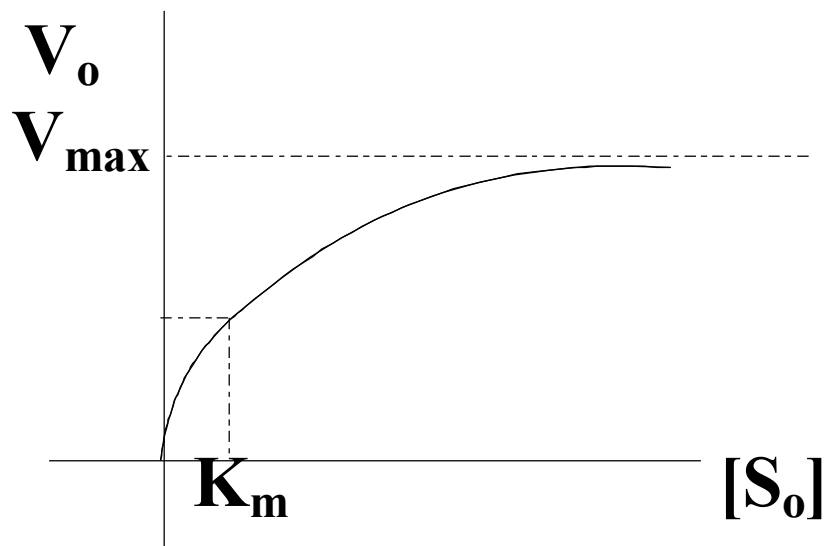


Μικροβιακή ανάπτυξη με παραγωγή ενός προϊόντος



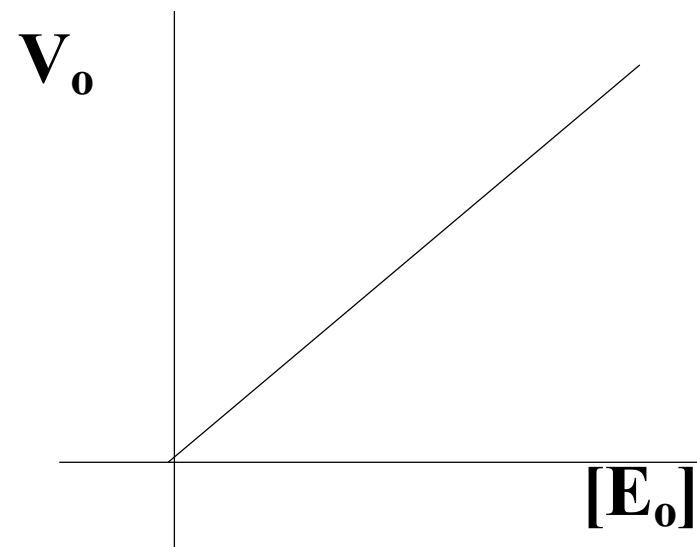
Ο Henri πρότεινε

(α)



$$v = \frac{v_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$

(β)



$$v_{\max} = \alpha E_o$$

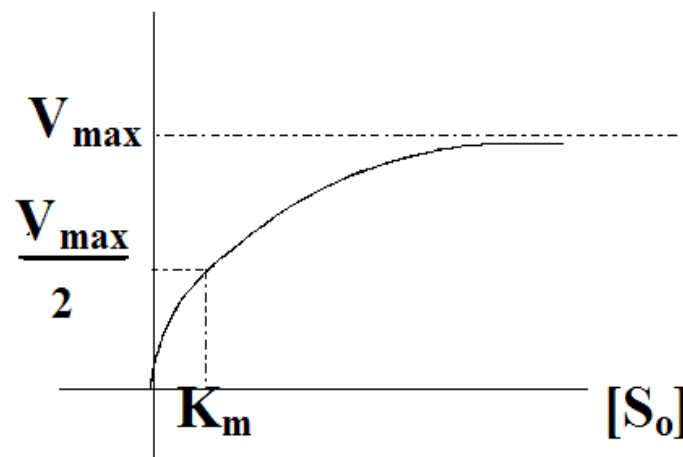


Μικροβιακή ανάπτυξη με παραγωγή ενός προϊόντος



Κινητική Michaelis- Menten

- η σταθερά K_m είναι ίση με την συγκέντρωση του υποστρώματος που αντιστοιχεί σε ρυθμό ίσο με το μισό του **μέγιστου ρυθμού v_{max}** .
- Η σταθερά αυτή ονομάζεται **σταθερά κορεσμού ή Michaelis-Menten**
- η κινητική ονομάζεται έκφραση **Michaelis-Menten** από τα ονόματα των δύο που πρώτοι έδωσαν κάποιο μηχανισμό συμβατό με την έκφραση.



$$v = \frac{v_{max} [S]}{K_m + [S]}$$



Ανάπτυξη καλλιέργειας μικροοργανισμών - ρυθμοί



(α) ο ρυθμός ανάπτυξης βιομάζας $r_X = dx/dt$,

(β) ο ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος $r_S = -d[S]/dt$,

(γ) ο ρυθμός σχηματισμού προϊόντος $r_P = d[P]/dt$, και

(δ) ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας $r_H = dH/dt$.



Ειδικοί ρυθμοί (ανά g κυτταρικής μάζας)



$$\mu = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt}$$

$$q_S = - \frac{1}{x} \frac{d[S]}{dt}$$

$$q_P = \frac{1}{x} \frac{d[P]}{dt}$$

$$q_H = \frac{1}{x} \frac{dH}{dt}$$