

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

Βιοαντιδραστήρες

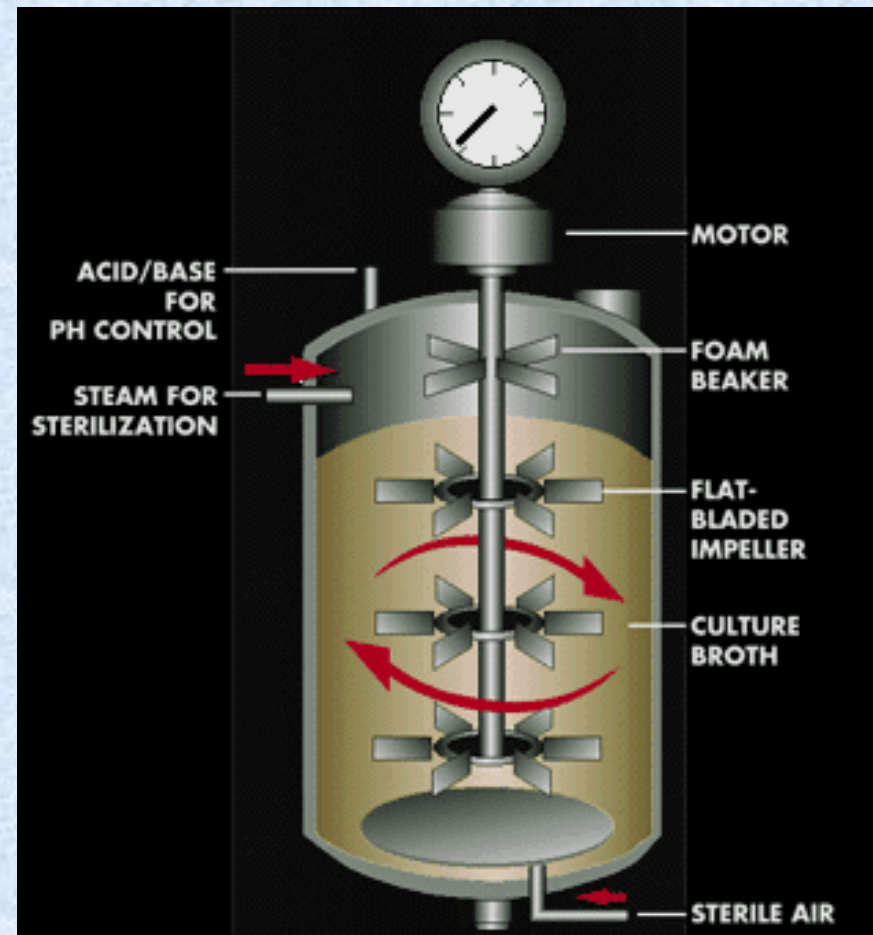
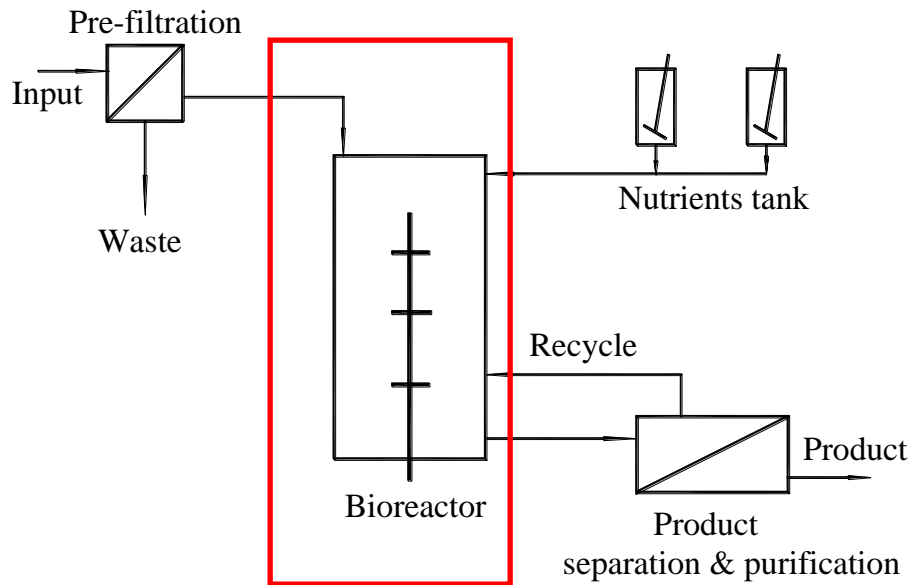
Διάρθρωση του μαθήματος

- 1. Συνοπτική περιγραφή βιοαντιδραστήρων**
- 2. Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα**
- 3. Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα**
- 4. Πρακτικές θεωρήσεις για το σχεδιασμό του βιοαντιδραστήρα**

Τι είναι ο βιοαντιδραστήρας

Βιοαντιδραστήρας: Μια συσκευή, ένα δοχείο, που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της δράσης ενός βιολογικού καταλύτη, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή χημική τροποποίηση

Ζυμωτήρας: Βιοαντιδραστήρας στον οποίο ο βιοκαταλύτης είναι ζωντανό κύτταρο

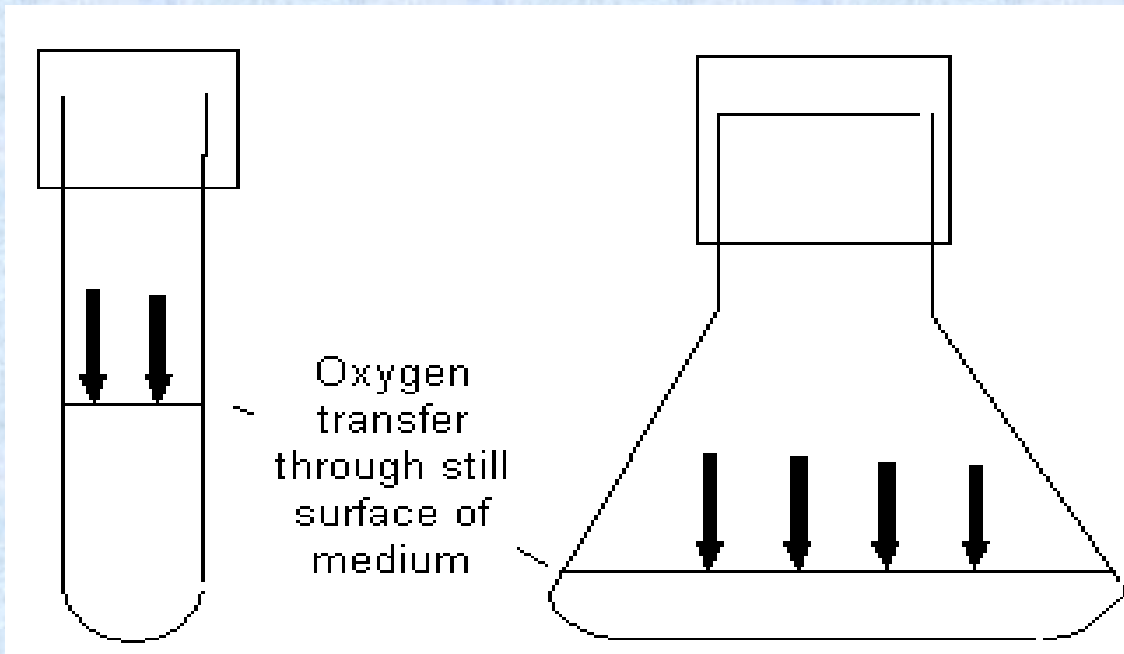


Τι είναι ο βιοαντιδραστήρας

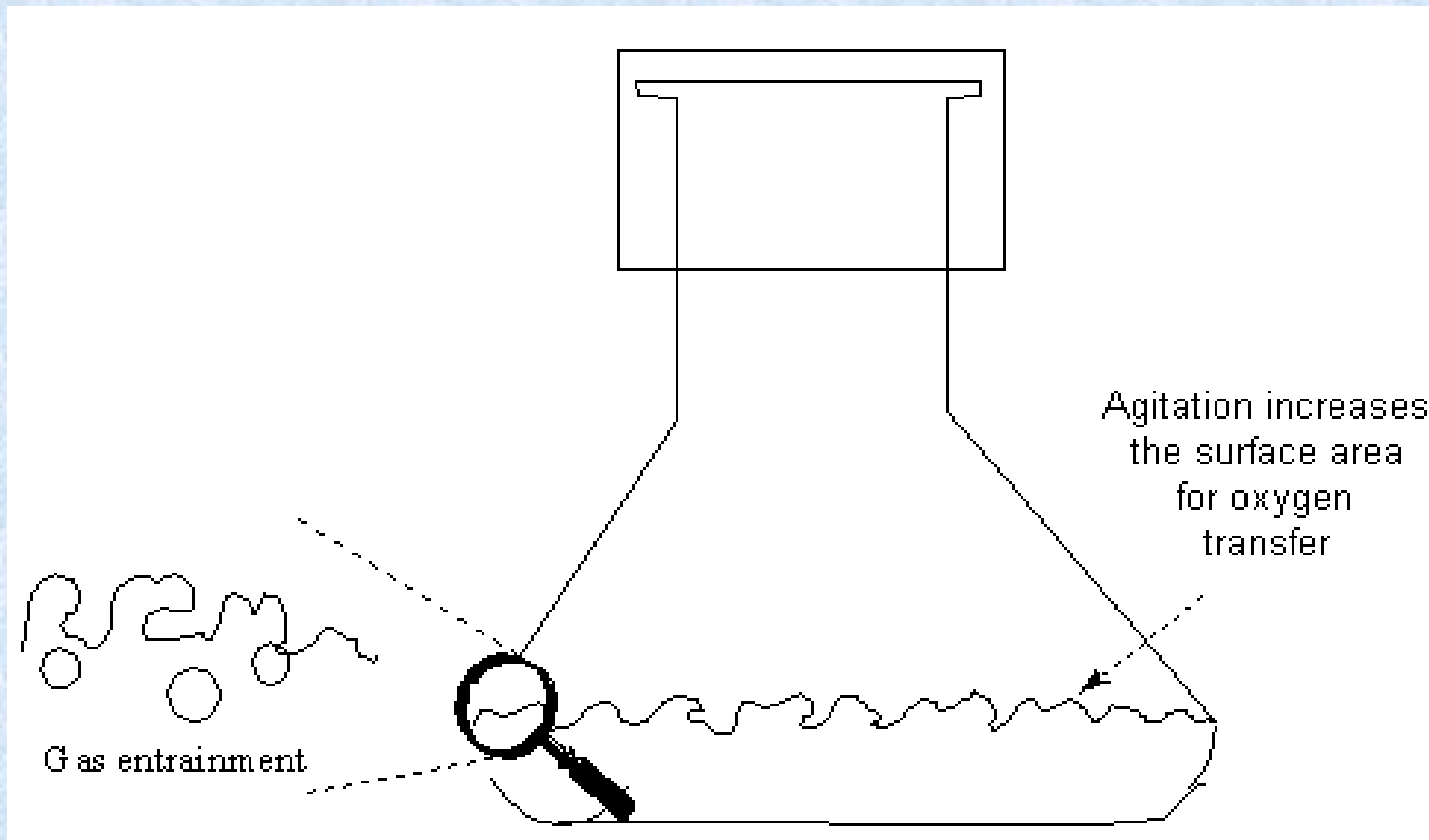


Ακίνητη καλλιέργεια

- Στις ακίνητες καλλιέργειες, υπάρχει ελάχιστος ή μηδενικός αερισμός
- Η μεταφορά του οξυγόνου πραγματοποιείται μέσω της επιφάνειας της καλλιέργειας

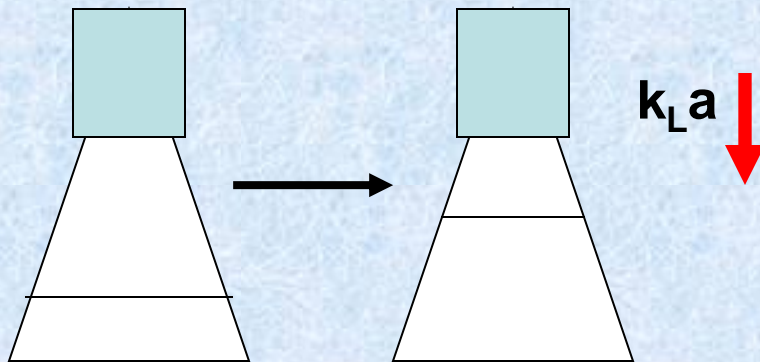


Ανακινούμενες φιάλες

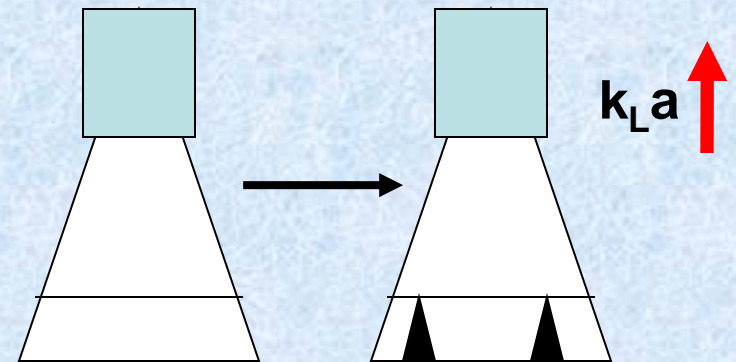


Μεταφορά O_2 σε ανακινούμενες φιάλες

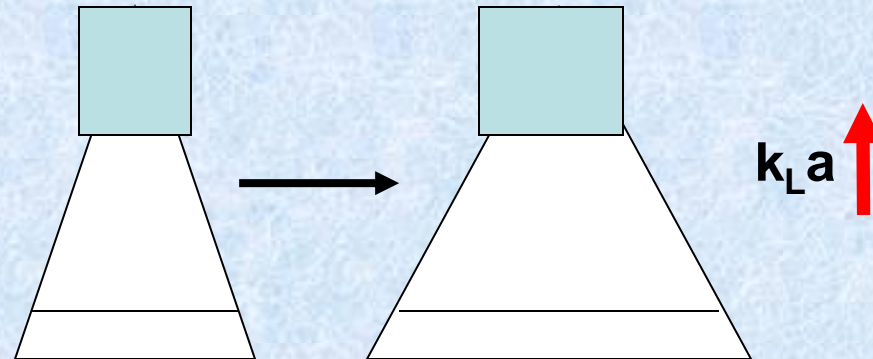
$k_L a$: ελαττώνεται με τον όγκο



$k_L a$: είναι μεγαλύτερο όταν υπάρχουν διαφράγματα



$k_L a$



$k_L a$: αυξάνεται με την επιφάνεια του υγρού

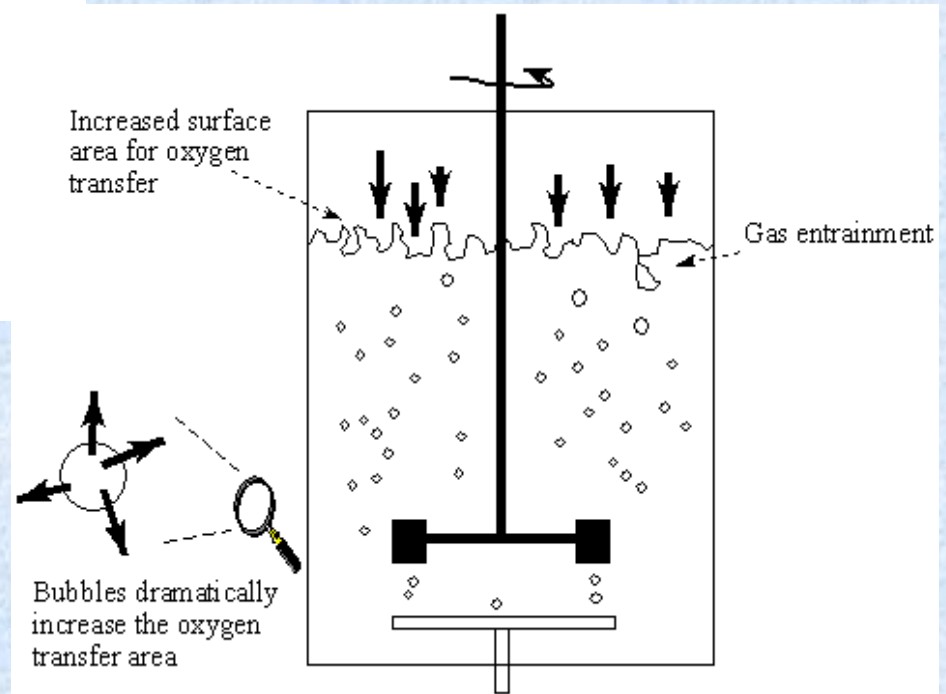
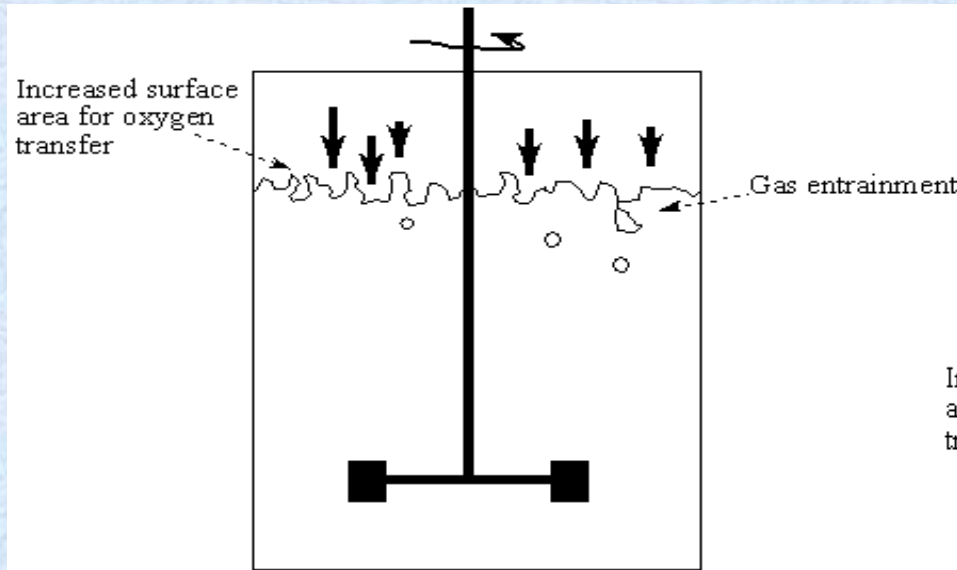
Unbaffled flask



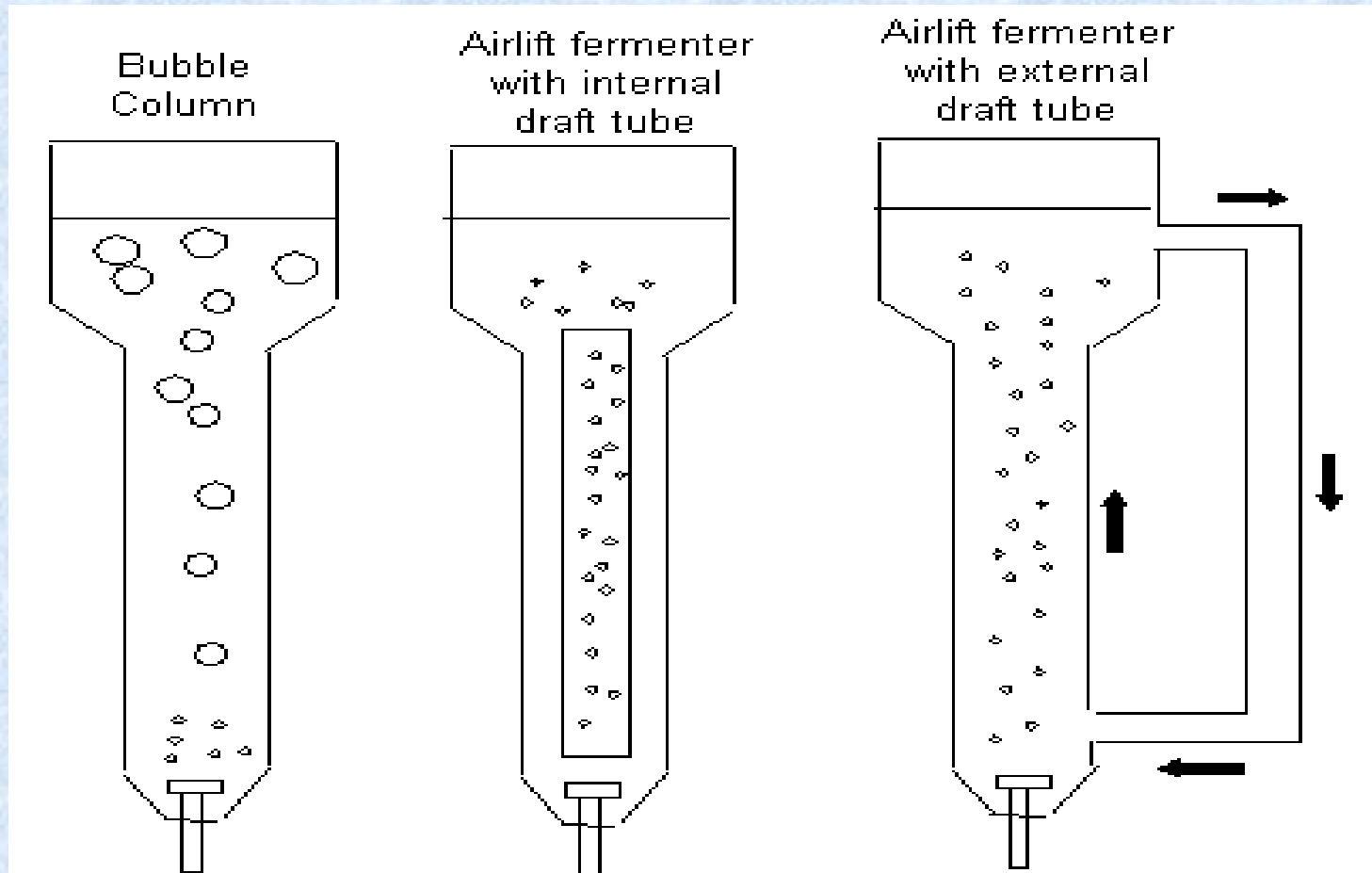
Baffled flask



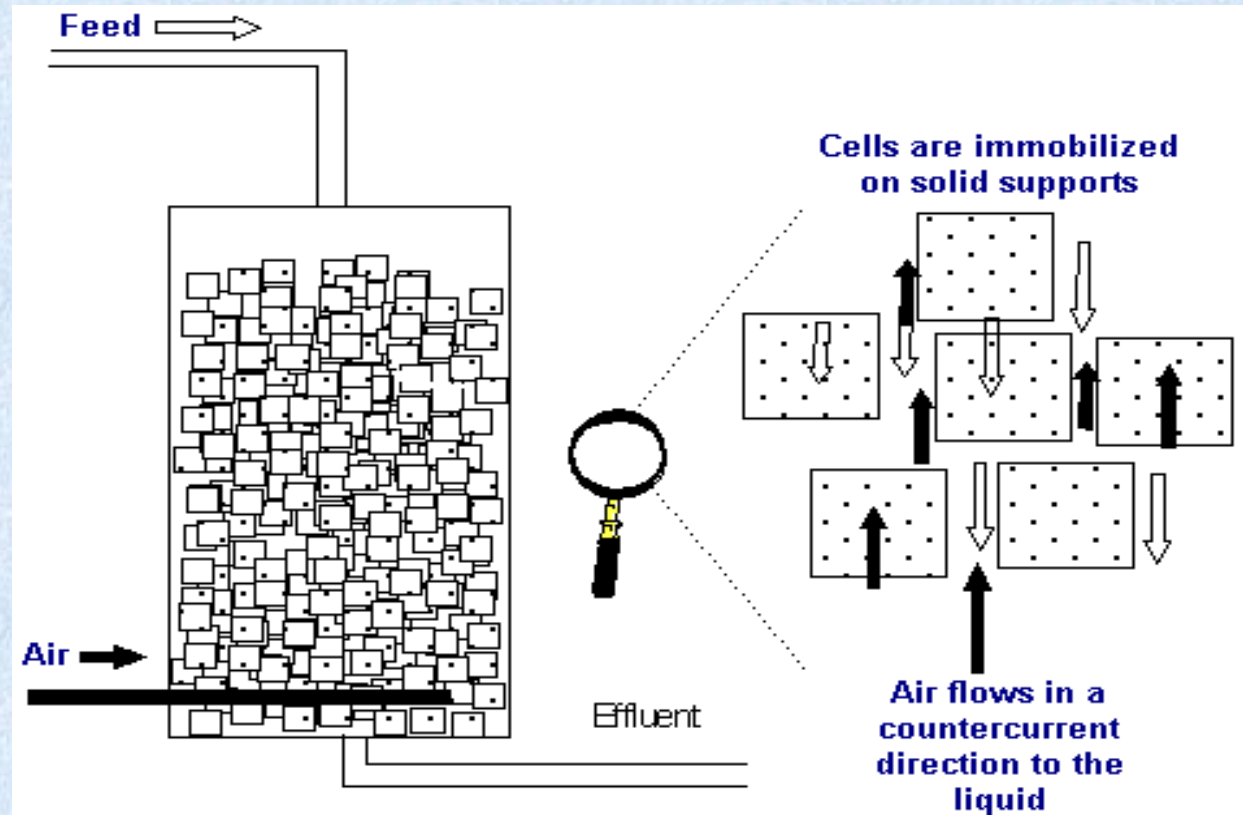
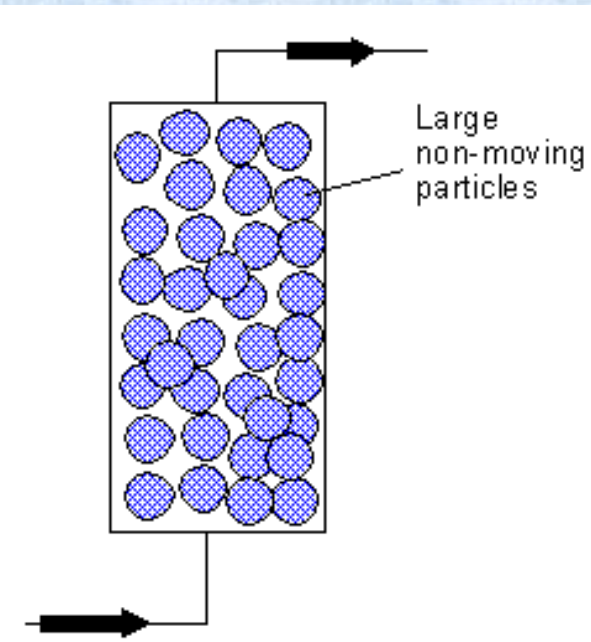
Βιοαντιδραστήρες με μηχανική ανάδευση



Βιοαντιδραστήρες φυσαλίδων

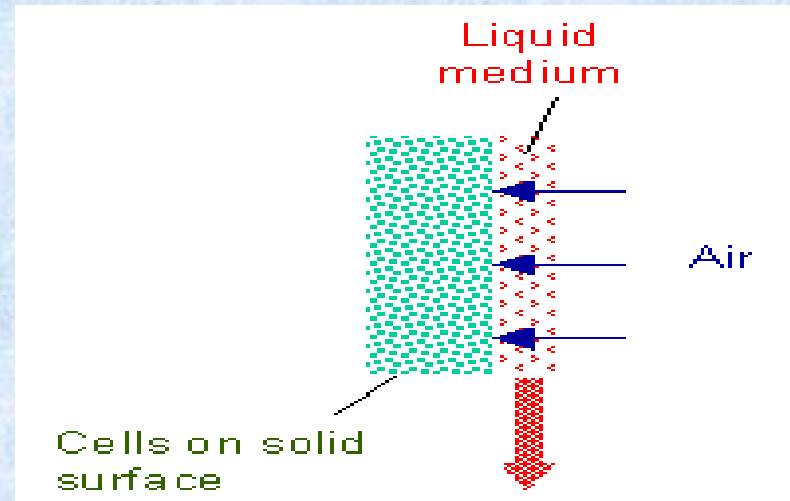
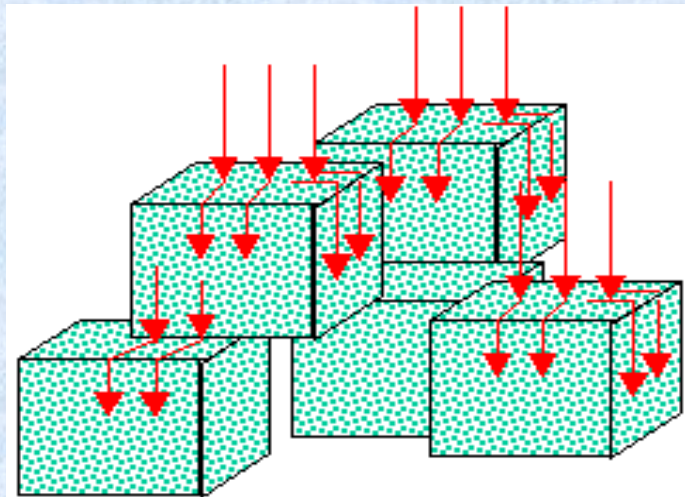


Βιοαντιδραστήρες κλίνης και δακρύζουσας ροής



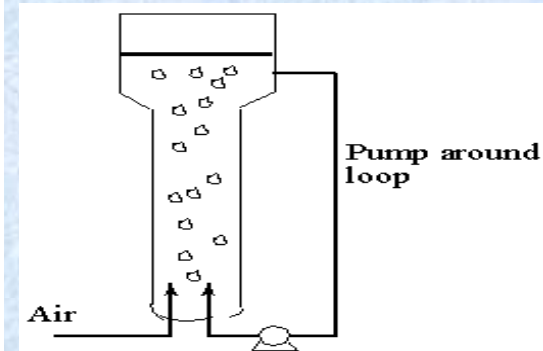
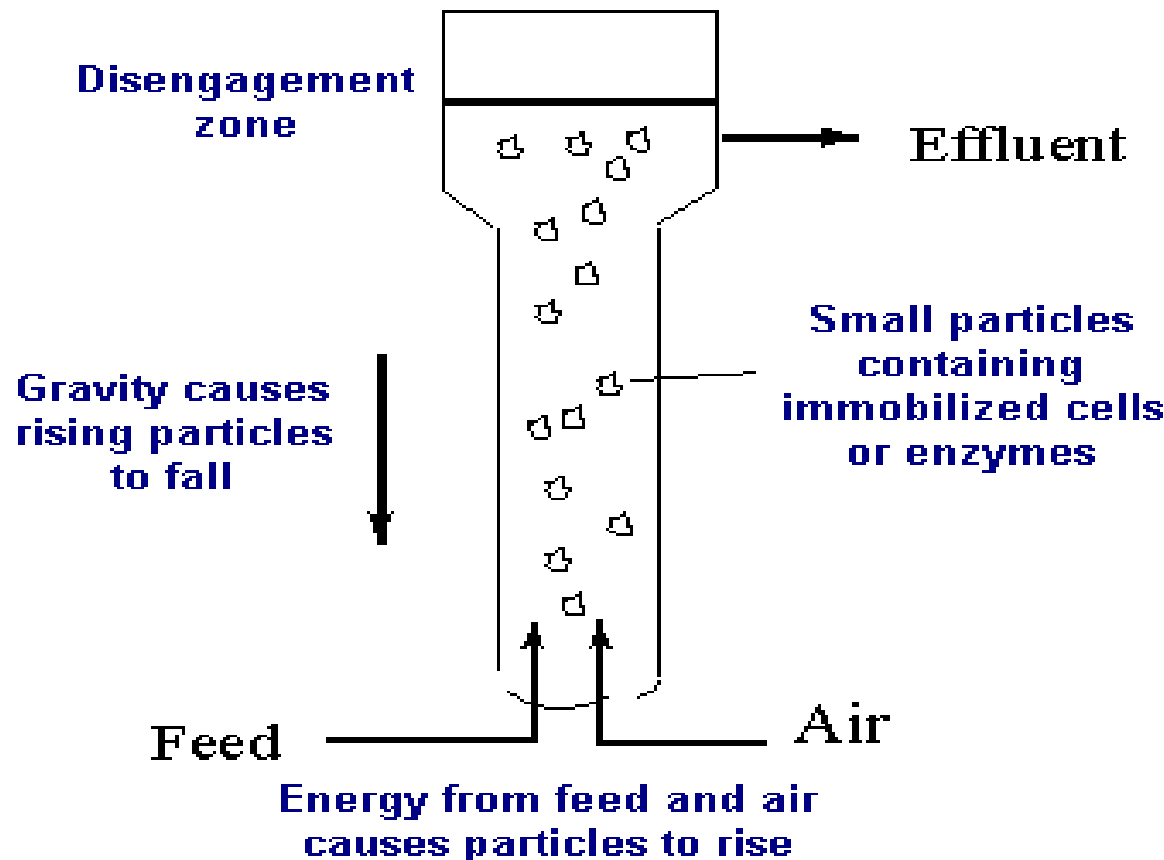
Βιοαντιδραστήρες δακρύζουσας ροής

- Το μέσο καλλιέργειας ρέει (στάζει ή δακρύζει) πάνω στα στερεά σωματίδια, στα οποία είναι ακινητοποιημένα τα κύτταρα
- Τα σωματίδια δεν είναι βυθισμένα στο υγρό



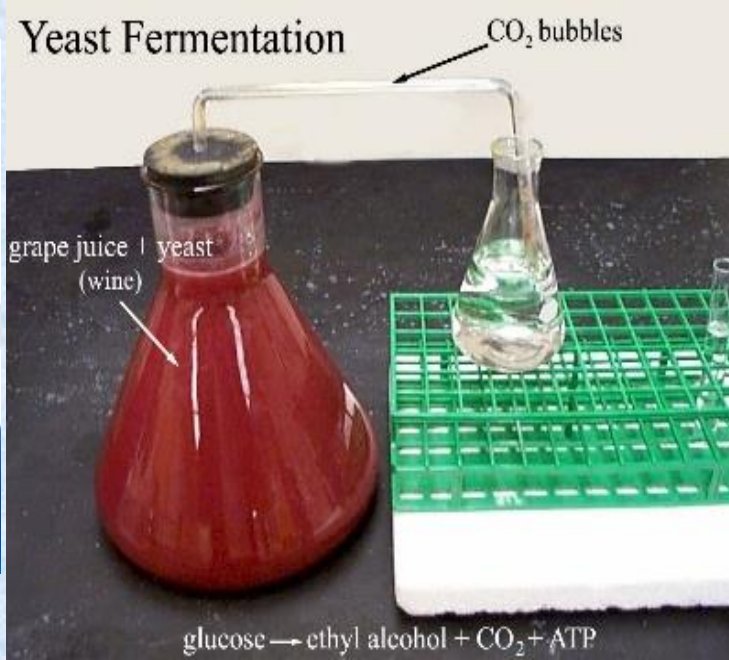
Εφαρμόζεται ευρέως στην αερόβια χώνευση της λάσπης

Βιοαντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης





Cell culture fermenter



Shake flask fermenter



laboratory fermenter



Pilot fermenter



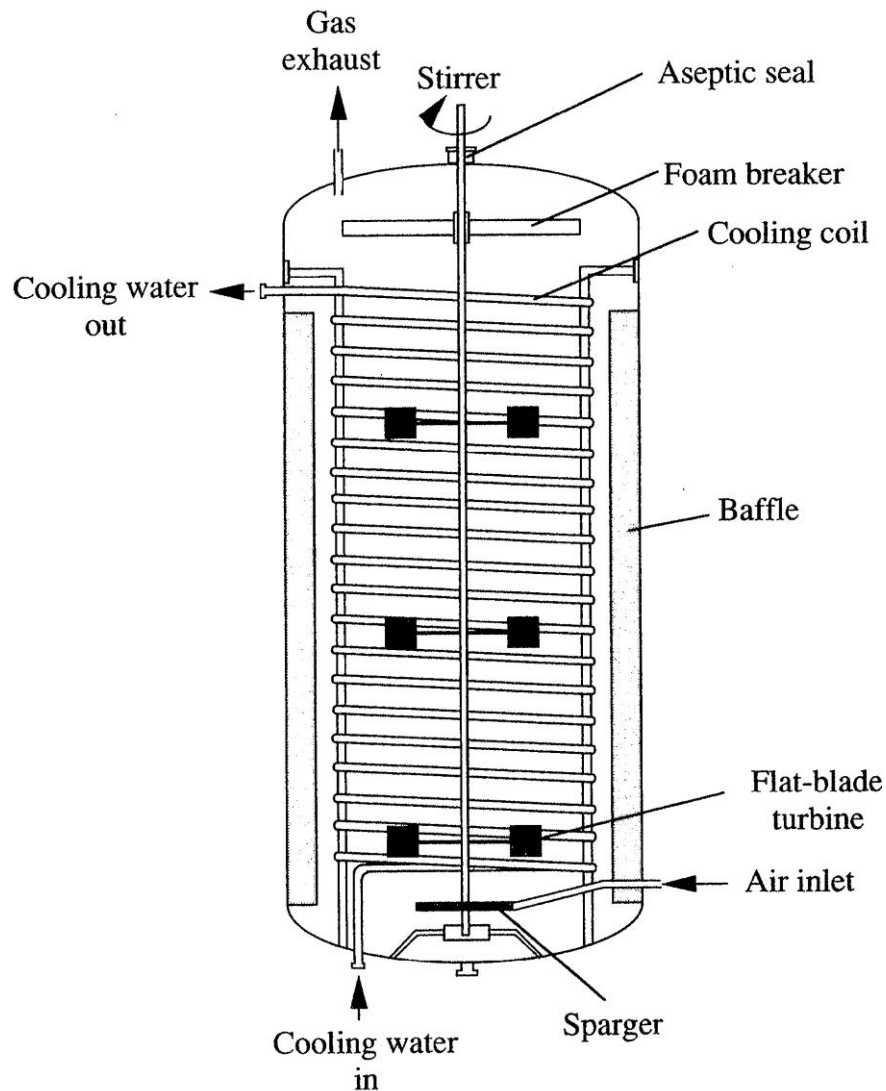
Plant fermenter

Δράσεις στο σχεδιασμό του βιοαντιδραστήρα

- 1. Αερόβιος βιοαντιδραστήρας:**
απαιτείται κατάλληλη ανάμιξη και αερισμός
- 2. Αναερόβιος βιοαντιδραστήρας:** δεν απαιτείται ανάδευση με ανακίνηση ή φυσαλίδες

Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα

- 1. Δεξαμενή πλήρους ανάμιξης

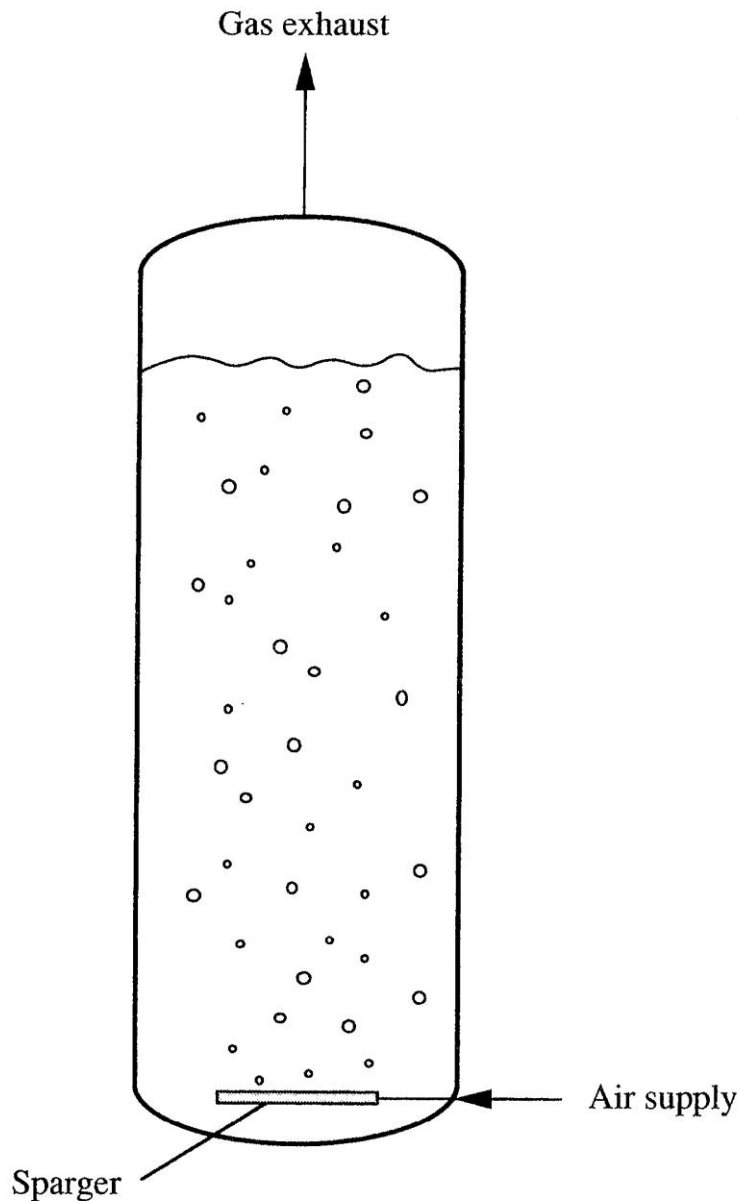


Μέθοδος ανάμιξης: Μηχανική ανάδευση

- Συνήθως χρησιμοποιούνται διαφράγματα για τη μείωση των στροβιλισμών
- Εφαρμογές: ακινητοποιημένα κύτταρα
- Οι υψηλές διατμητικές τάσεις μπορεί να καταστρέψουν τα κύτταρα
- Απαιτείται υψηλή δαπάνη ενέργειας

Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα

- 2. Δεξαμενή φυσαλίδων



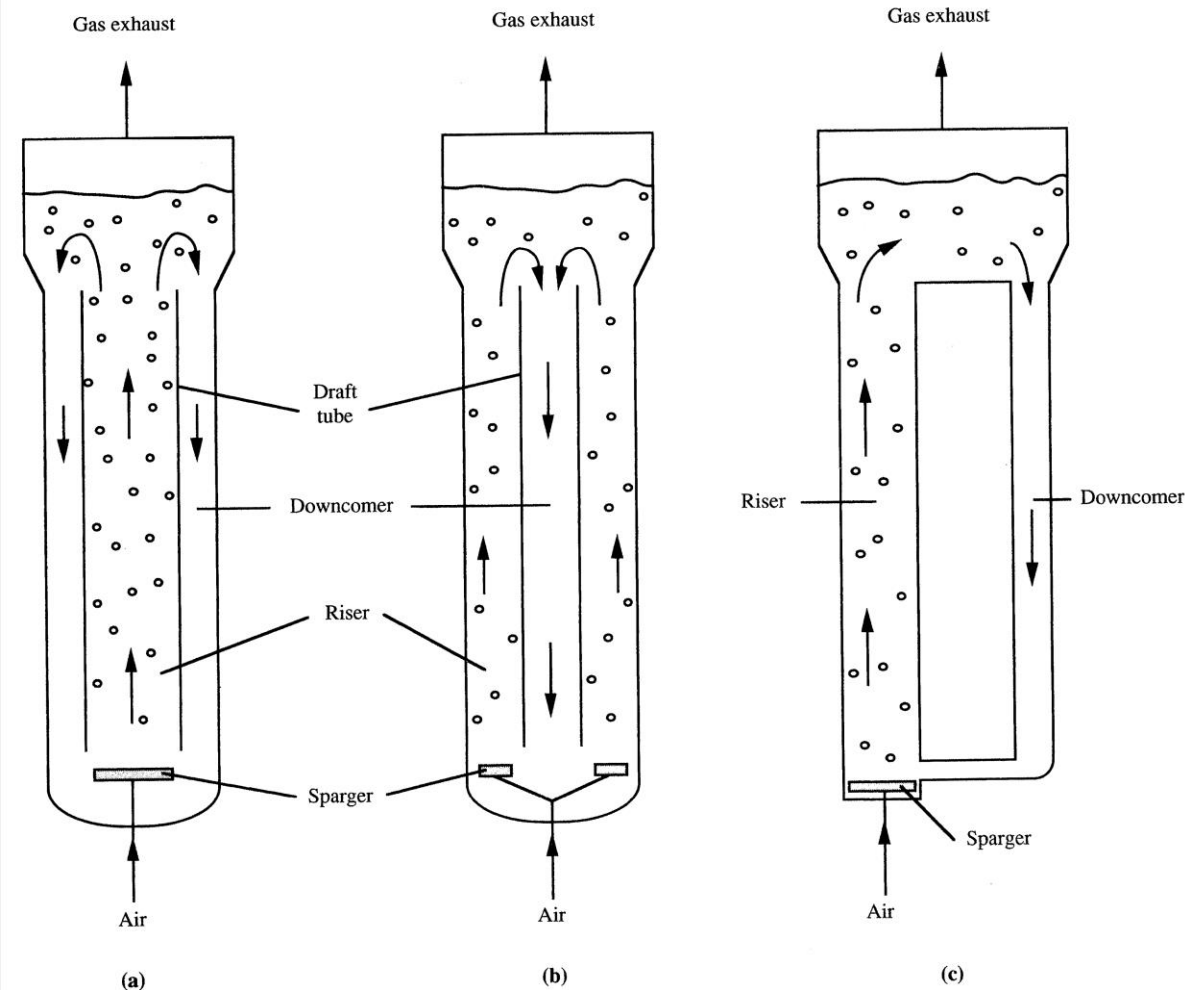
Μέθοδος ανάδευσης: Διοχέτευση αέρα υπό μορφή φυσαλίδων

- Απλός σχεδιασμός
- Πολύ καλή μεταφορά μάζας και θερμότητας
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Οι συντελεστές μεταφοράς αερίου-υγρού εξαρτώνται κυρίως από τη διάμετρο των φυσαλίδων και τη διάλυση του αέρα στο μέσο καλλιέργειας

Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα

- 3. Δεξαμενή αερομεταφοράς/βρόχου

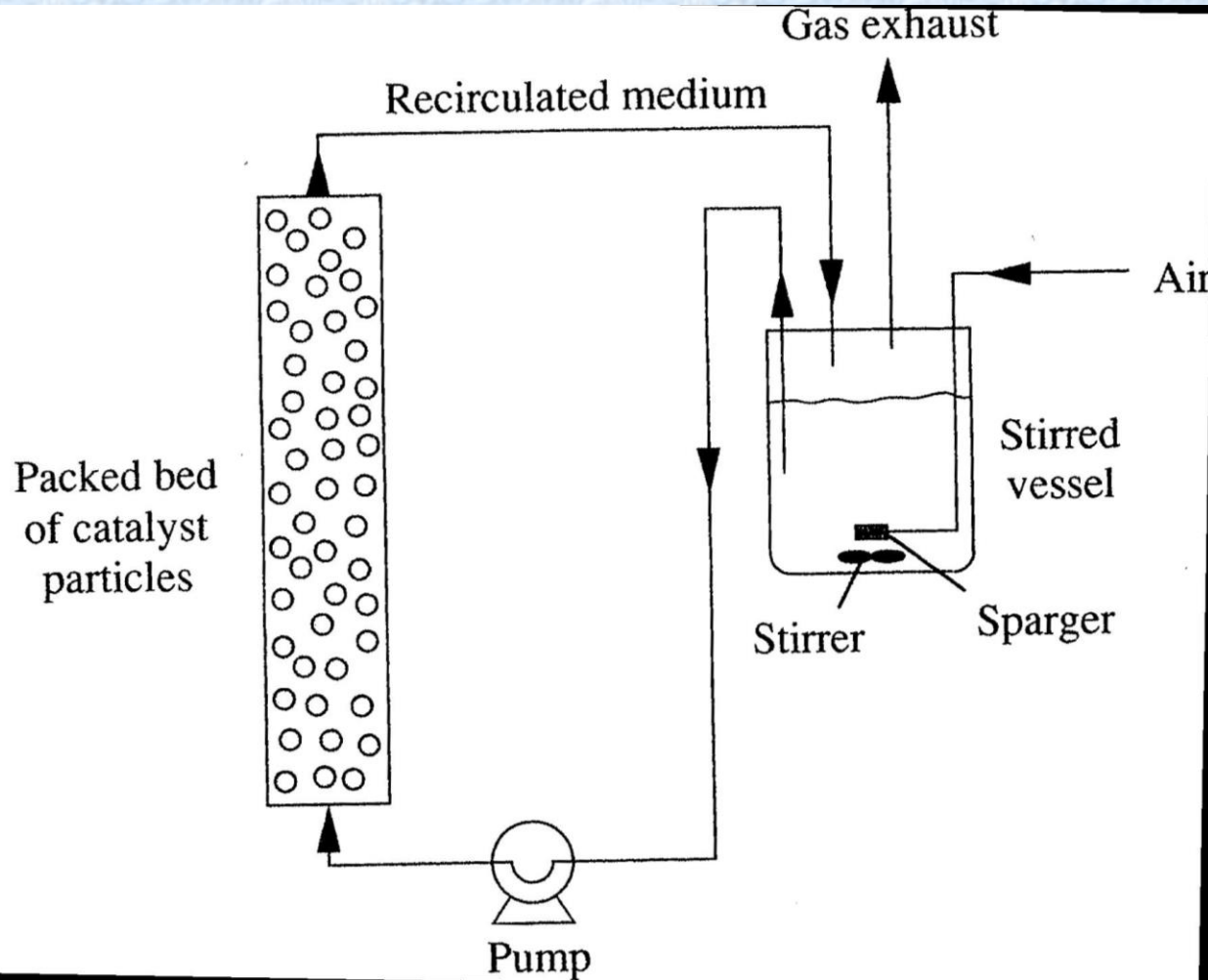


Μέθοδος ανάμιξης:
Αερομεταφορά

- Σ' αυτό τον τύπο υπάρχουν δύο ρεύματα υγρών, ένα ανοδικό και ένα καθοδικό
- Το υγρό κυκλοφορεί λόγω της διαφορετικής πυκνότητας του ανοδικού και του καθοδικού ρεύματος

Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα

- 4. Αντιδραστήρας πακτωμένης κλίνης



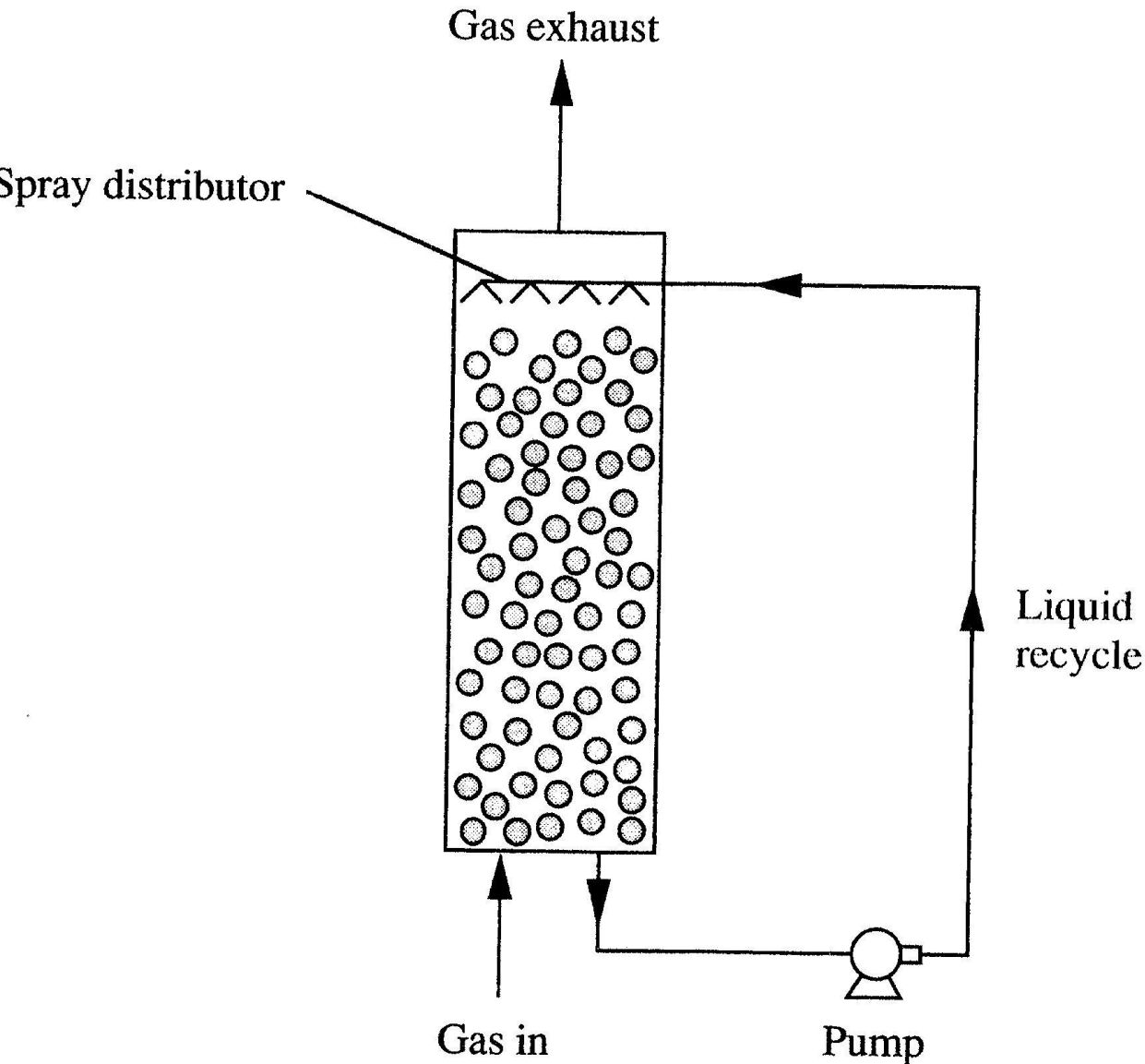
Οι αντιδραστήρες κλίνης χρησιμοποιούνται όταν ο καταλύτης είναι σε κυτταρική μορφή ή σε ακινητοποιημένη

Πρόκειται για αντιδραστήρα συνεχούς ροής

Το μέσο καλλιέργειας τροφοδοτείται είτε από την κορυφή είτε από τον πυθμένα

Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα

- 5. Αντιδραστήρας δακρύζουσας κλίνης

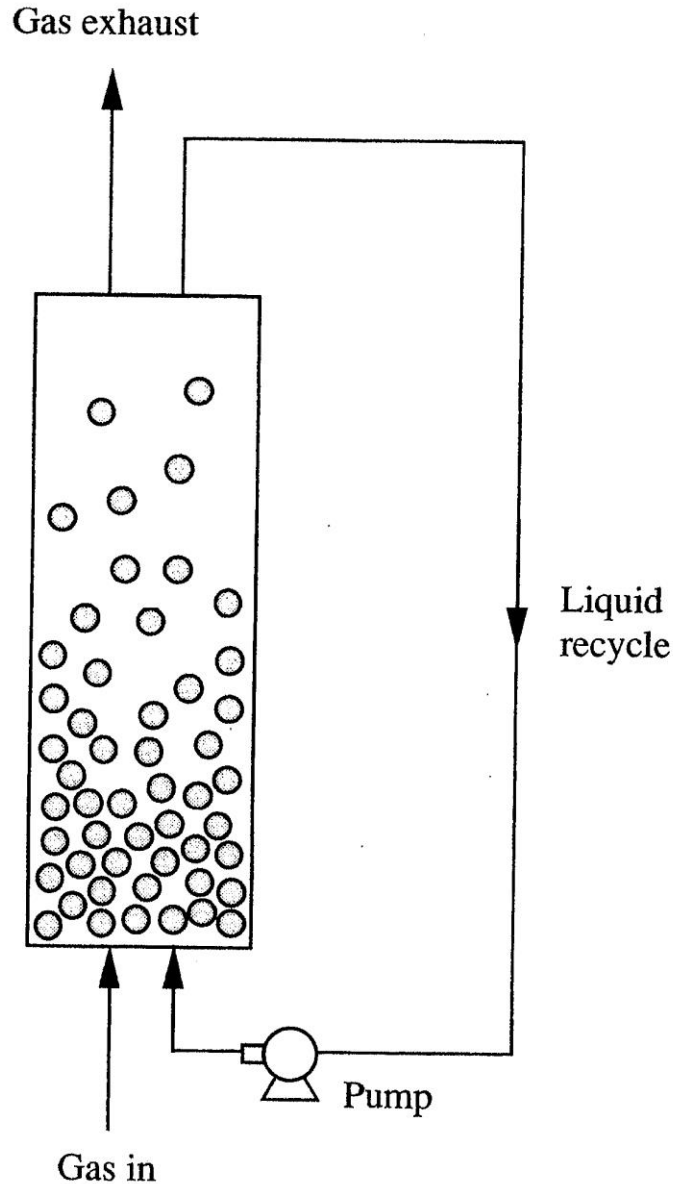


Πρόκειται για
εναλλακτική μορφή
του αντιδραστήρα
πακτωμένης κλίνης

Υγρό τροφοδοτείται
στην κορυφή του
αντιδραστήρα υπό
μορφή εκνεφώματος
και ακολούθως ρέει
εντός της κλίνης

Ρύθμιση παραμέτρων του βιοαντιδραστήρα

- 6. Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης



Όταν ο αντιδραστήρας πακτωμένης κλίνης τροφοδοτείται από τον πυθμένα, η κλίνη αιωρείται και εκτείνεται, ειδικά σε υψηλές ροές

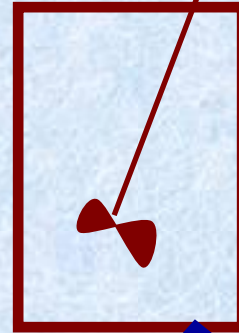
Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-1. Παρτίδες (διαλείποντος έργου)

Ο βιοαντιδραστήρας παρτίδων διαθέτει συνήθως σύστημα ανάδευσης για την ανάμιξη του διαλύματος

Το pH διατηρείται με τη χρήση είτε buffer είτε ρHστάτη

Συνήθως τοποθετείται αντιαφριστικό για τη διάσπαση του αφρού



$$r = \frac{dC_s}{dt} = \frac{r_{\max} C_s}{K_m + C_s}$$

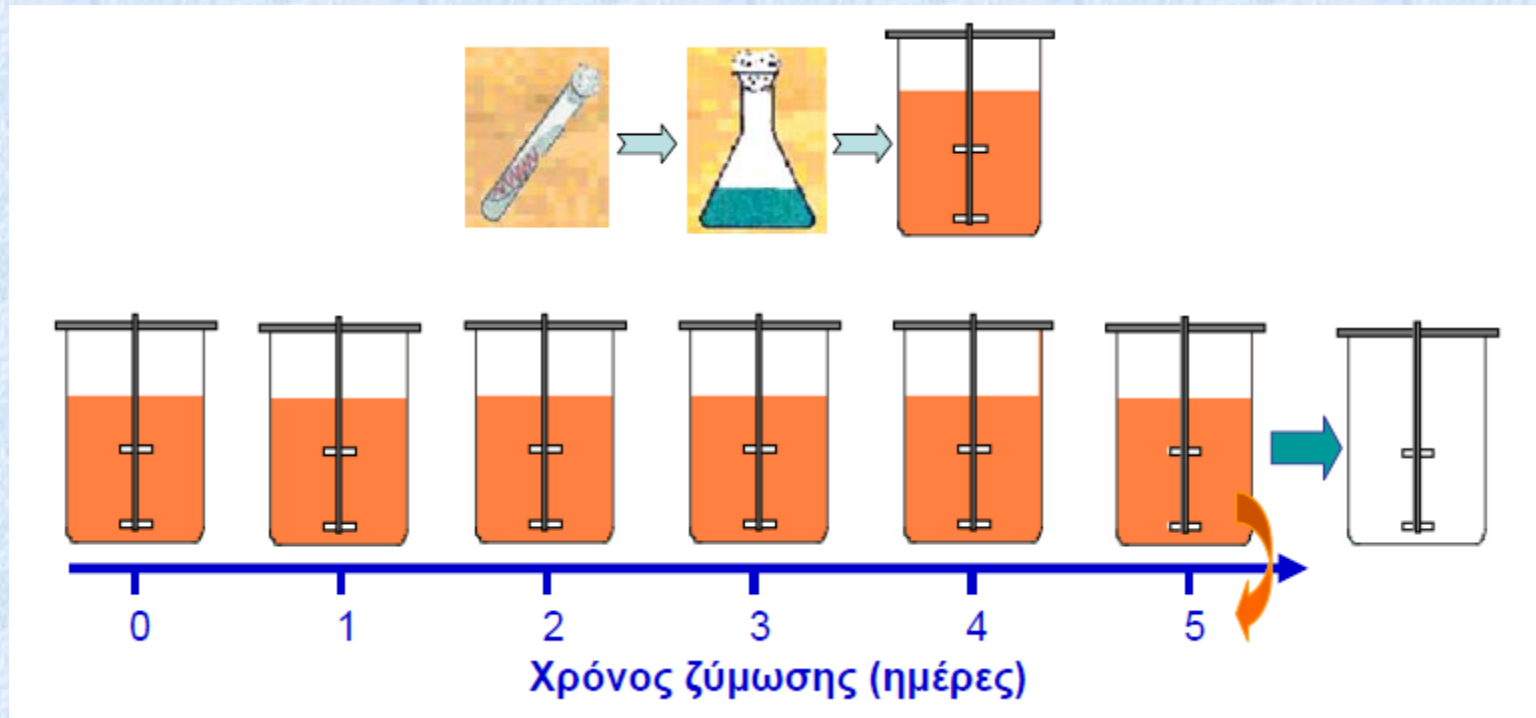
Λειτουργία σε παρτίδες υπό ανάδευση

Μεταβολή της C_s με τον t

$$K_m \ln \frac{C_{s0}}{C_s} + (C_{s0} - C_s) = r_{\max} t$$

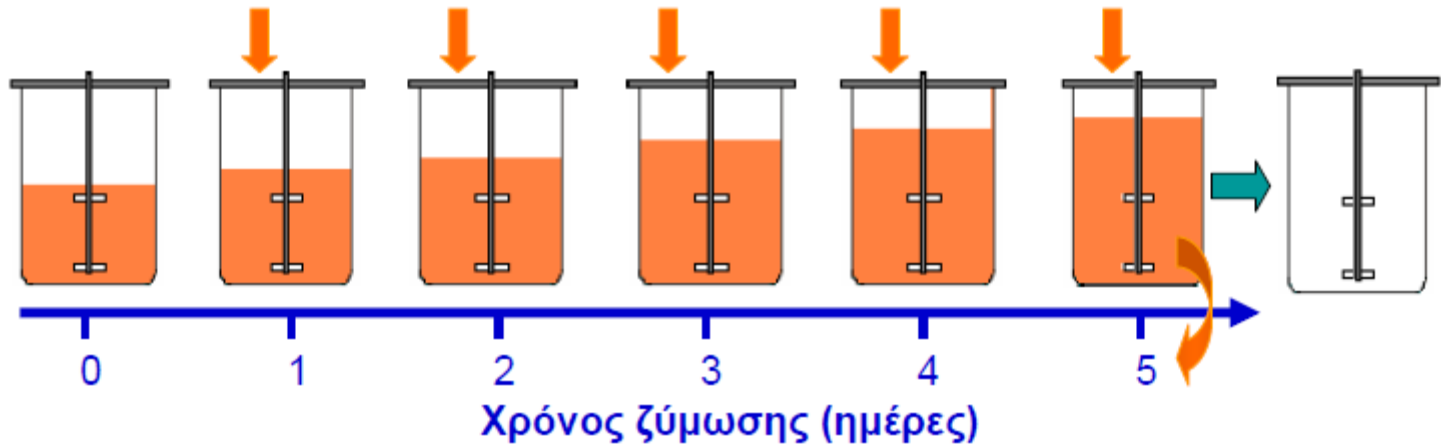
Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-1. Παρτίδες (διαλείποντος έργου)



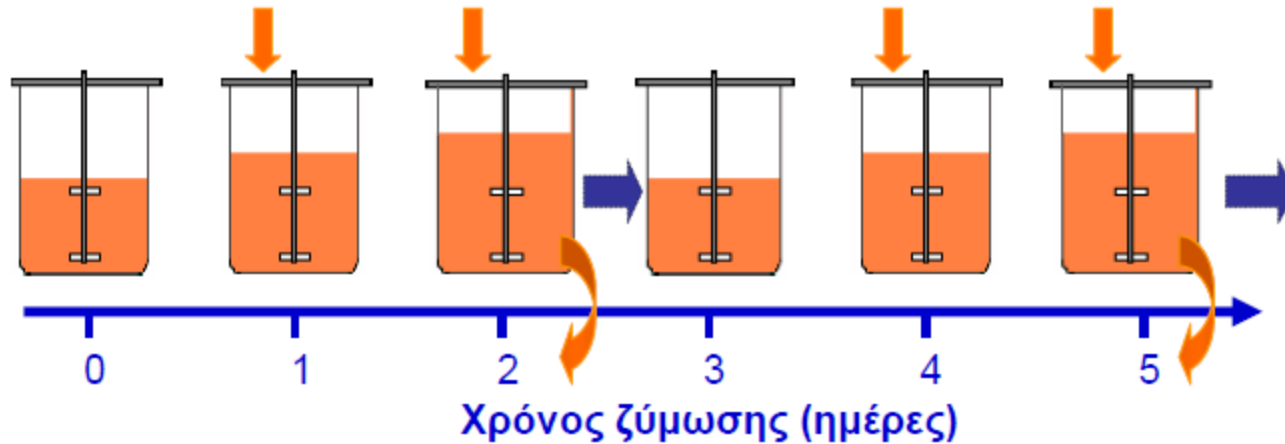
Ημιδιαλείποντος έργου

Στη διεργασία αυτή αποστειρωμένο θρεπτικό υλικό προστίθεται στο βιοαντιδραστήρα σε ορισμένα χρονικά διαστήματα ή συνεχώς



Τα πλεονεκτήματα της ζύμωσης αυτής οφείλονται κυρίως στην αύξηση της παραγωγής βιομάζας και στην εξουδετέρωση της καταβολικής καταστολής

Επαναλαμβανόμενου ημιδιαλείποντος έργου



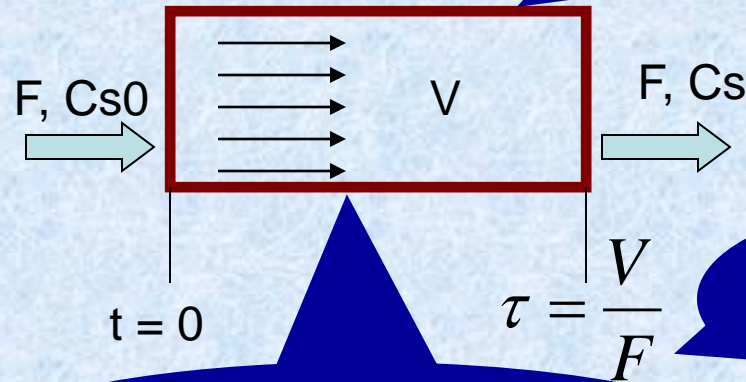
Το κλειστό σύστημα της ζύμωσης ημιδιαλείποντος έργου μετατρέπεται σε ένα μερικώς ανοιχτό σύστημα όπου ο όγκος του θρεπτικού υλικού, ο ρυθμός τροφοδοσίας και ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης υφίστανται κυκλικές μεταβολές

Όταν οι μεταβολές γίνονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα η καλλιέργεια περνά μέσα από συνθήκες ισορροπίας που μπορούν να συνοδεύονται από υψηλούς ρυθμούς παραγωγή προϊόντων

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-2. Τροφοδοτούμενη ροή

Το μέσο καλλιέργειας εισέρχεται από το ένα άκρο (ενός κυλινδρικού σωλήνα που περιέχει τα κύτταρα) και το προϊόν εξέρχεται από το άλλο άκρο



Ο ιδανικός αντιδραστήρας είναι ένας μακρύς σωλήνας γεμισμένος με τα κύτταρα με οποιονδήποτε τρόπο

Χρόνος παραμονής

Συνεχής λειτουργία χωρίς ανάδευση

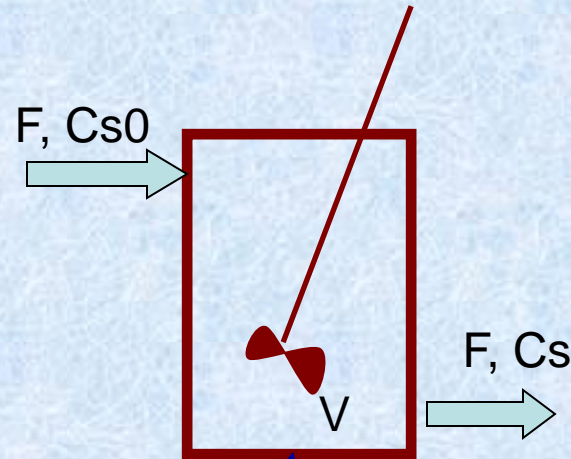
$$K_m \ln \frac{C_{s0}}{C_s} + (C_{s0} - C_s) = r_{\max} t$$

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-3. Συνεχής λειτουργία υπό ανάδευση

Ένας αντιδραστήρας συνεχούς ροής (CSTR) είναι ο ιδανικός αντιδραστήρας

Βασίζεται στην πολύ καλή ανάμιξη των αντιδρώντων



Συνεχής
λειτουργία υπό
ανάδευση

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-3. Συνεχής λειτουργία υπό ανάδευση

Η ζύμωση αυτή, ως ανοιχτό σύστημα, λειτουργεί υπό συνθήκες :

- Σταθερού όγκου θρεπτικού υλικού
- Σταθερού ειδικού ρυθμού ανάπτυξης του μικροοργανισμού

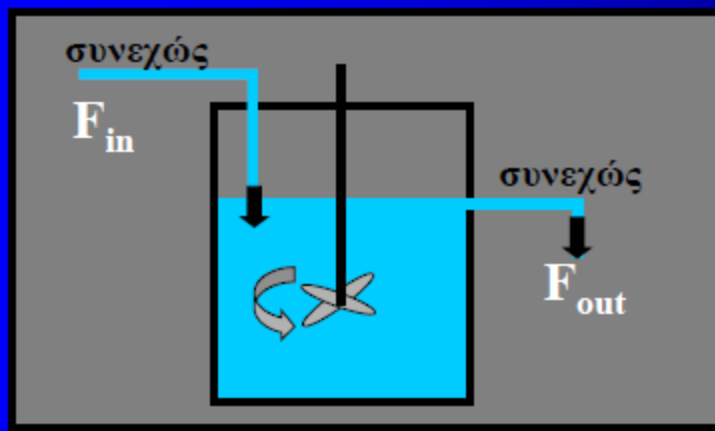
Νέο θρεπτικό υλικό εισάγεται στο βιοαντιδραστήρα με **σταθερά ταχύτητα** ροής και υπό **ασηπτικές συνθήκες** ενώ **ταυτόχρονα ίσο ποσό υλικού** καλλιέργειας κυττάρων **αφαιρείται** από αυτόν

Η διεργασία αυτή χαρακτηρίζεται **ανάλογα** με :

- Τη **φύση του τελικού προϊόντος** (π.χ. βιομάζα ή μεταβολικό προϊόν)
- Τον **τύπο της διαδικασίας ή λειτουργίας** (π.χ. ομογενή/ ετερογενή συστήματα, απλά / πολλαπλά συστήματα, συστήματα με ή χωρίς επαναχρησιμοποίηση των κυττάρων)
- Τον **τρόπο ελέγχου** του βιοαντιδραστήρα (π.χ. **χημοστάτης** όταν η διαδικασία ελέγχεται από τη **είσοδο** των θρεπτικών στοιχείων)

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-3. Συνεχής λειτουργία υπό ανάδευση



$$D = \frac{F}{V}$$

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΡΑΙΩΣΗΣ
(Dilution rate)

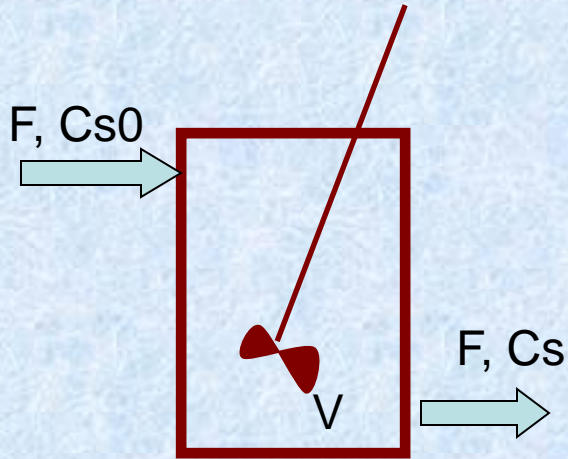
Σταθερός όγκος $F_{in} = F_{out}$

Συγκεντρώσεις ρεύματος εξόδου = Συγκεντρώσεις βιοαντιδραστήρα

Σταθερές τιμές συγκεντρώσεων

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-3. Συνεχής λειτουργία υπό ανάδευση



Ισοζύγιο μάζας του υποστρώματος

Είσοδος - Έξοδος - Κατανάλωση = Συσσώρευση

$$FC_{s0} - FC_s - r_s V = V \frac{dC_s}{dt}$$

Σταθερή κατάσταση

$$\frac{dC_s}{dt} = 0$$

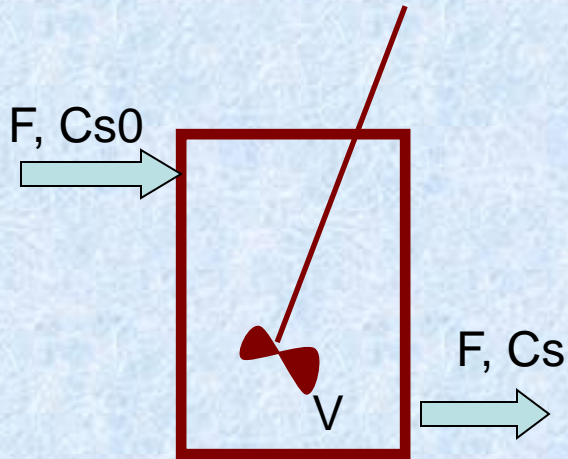
Ταχύτητα Michaelis-Menten

$$r = \frac{r_{\max} C_s}{K_m + C_s}$$

$$FC_{s0} - FC_s - V \frac{r_{\max} C_s}{K_m + C_s} = 0$$

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-3. Συνεχής λειτουργία υπό ανάδευση



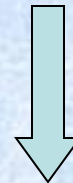
Ισοζύγιο μάζας του υποστρώματος

$$FC_{s0} - FC_s + V \frac{r_{\max} C_s}{K_m + C_s} = 0$$



$$\frac{F}{V} = \frac{r_{\max} C_s}{(C_{s0} - C_s)(K_m + C_s)}$$

$$\frac{F}{V} = \frac{1}{\tau}$$



$$C_s = -K_m + \frac{r_{\max} C_s \tau}{C_{s0} - C_s}$$

Τρόποι λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα

-3. Συνεχής λειτουργία υπό ανάδευση

Η διεργασία **συνεχούς έργου** έχει ορισμένα **πλεονεκτήματα** σε σχέση με εκείνη του **διαλείποντος έργου**. Τα σπουδαιότερα είναι :

- Η δυνατότητα χρησιμοποίησης **μεγαλύτερων μεγεθών** ζύμωσης με καλύτερα **οικονομικά** αποτελέσματα
- Ο πληρέστερος **έλεγχος** λειτουργίας της **διεργασίας**
- Η **ελάττωση** της **απώλειας** του **μικροοργανισμού**, ο οποίος ως καταλύτης **δεν καταναλώνεται** κατά τη διάρκεια της ζύμωσης
- Η ακριβέστερη μαθηματική **μοντελοποίηση** της διεργασίας

Τα σπουδαιότερα **μειονεκτήματα** είναι :

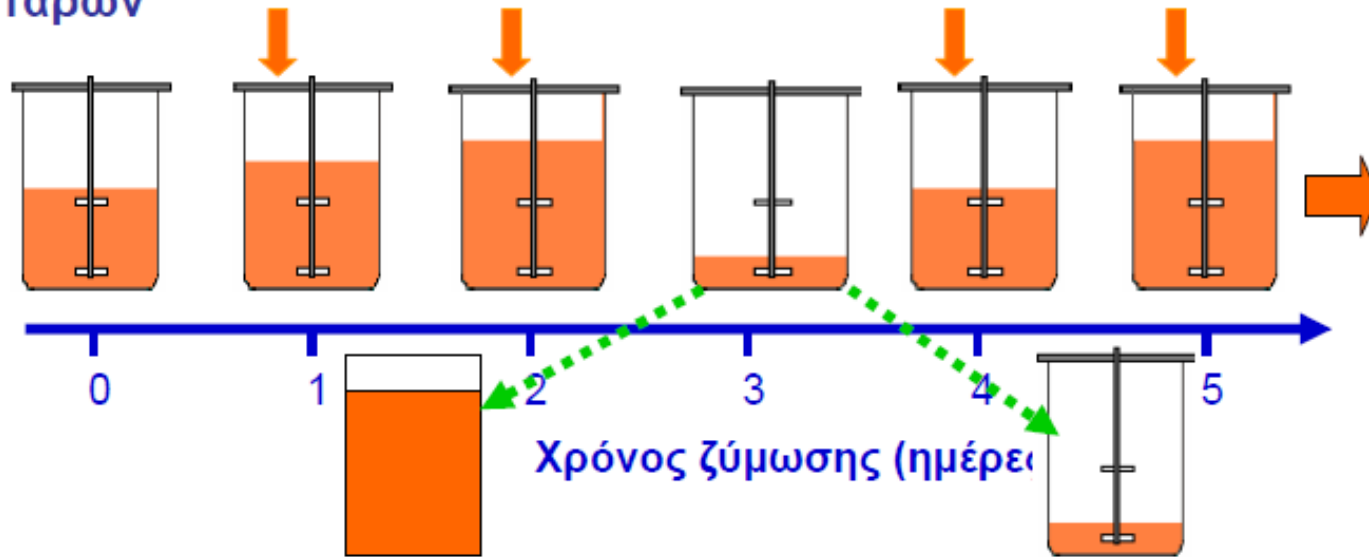
- Η **δυσκολία** διατήρησης συνθηκών **ασηψίας**
- Η περιορισμένη εναλλακτική δυνατότητα χρησιμοποίησης της για παραγωγή **διαφορετικών** προϊόντων χρησιμοποιώντας τον **ίδιο βιοαντιδραστήρα**
- Οι περισσότερες βιολογικές βιομηχανίες (π.χ. **φαρμακευτικές**) είναι κατά κανόνα **μικρές** σε μέγεθος

Οι κυριότερες εφαρμογές είναι :

- Η **αναερόβια χώνευση** για την παραγωγή βιοαερίου (μεθάνιο)
- Ο **βιολογικός** καθαρισμός αποβλήτων

Ημισυνεχούς έργου (κλειστό/ανοιχτό σύστημα)

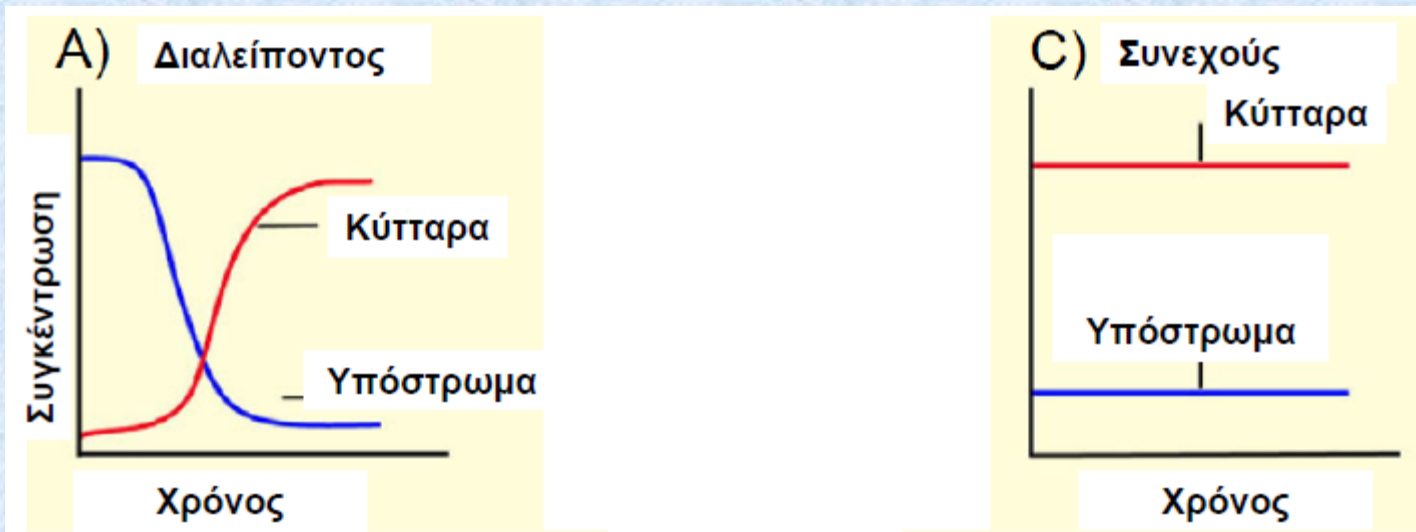
Η ζύμωση αυτή είναι μια μερικώς ανοιχτή ζύμωση. Διαιρείται σε μια κυκλικά-συνεχή ζύμωση και σε ένα ημισυνεχές στάδιο ανακύκλωσης κυττάρων



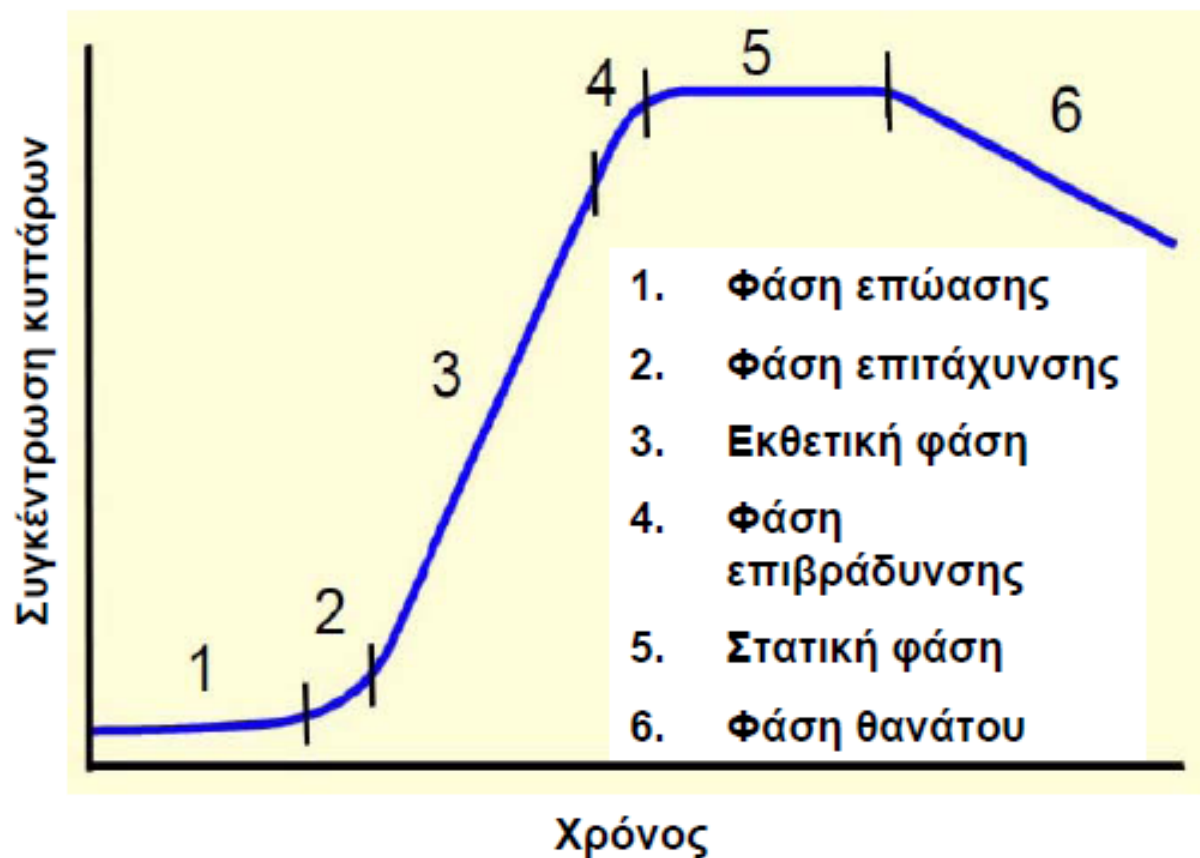
Οι στόχοι της είναι η χρησιμοποίηση του βιοσυνθετικού δυναμικού του κυττάρου με περιοδική προσθήκη νέου θρεπτικού υλικού και την αφαίρεση ισόποσου όπου η εναπομείνασα ποσότητα λειτουργεί ως εμβόλιο.

Το υλικό που αφαιρείται χρησιμοποιείται για την παραλαβή βιομορίων ή ως εμβόλιο νέας καλλιέργειας σε άλλους βιοαντιδραστήρες (ασηπτική διεργασία)

Μικροβιακή ανάπτυξη



Μικροβιακή ανάπτυξη σε συνθήκες διαλείποντος έργου



εκθετική φάση

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

μ : ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

Εξίσωση Monod

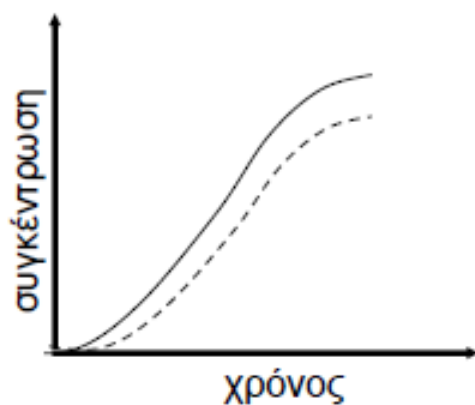
$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S}$$

S: συγκέντρωση υποστρώματος

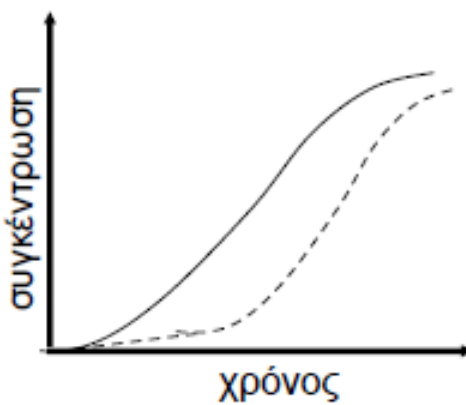
Μοντέλα παραγωγής μικροβιακών προϊόντων

ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

Σχετιζόμενο με την
κυτταρική ανάπτυξη

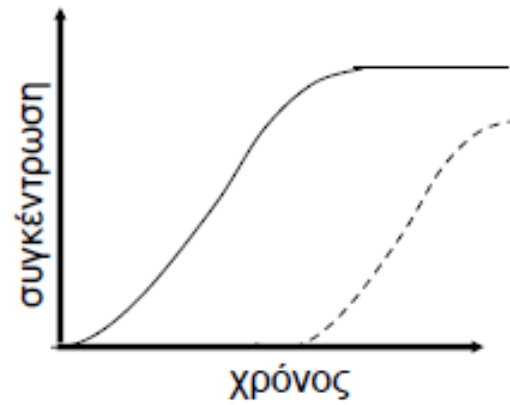


Μικτό μοντέλο



ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΤΕΣ

Μη σχετιζόμενο με την
κυτταρική ανάπτυξη



Leudeking-Piret

$$\frac{dP}{dt} = \left(a * \frac{dx}{dt} \right) + (b * x)$$

$$\frac{dP}{dt} = b * x$$

Brown - Vass

$$\frac{dP}{dt} = a * \frac{dx(t-t_m)}{dt}$$

Πρακτικά θέματα των βιοαντιδραστήρων

Θερμικό φορτίο: Καθορίζεται από τα ενεργειακά ισοζύγια

Ρυθμός παραγωγής θερμότητας

$$\dot{q} = V \cdot \mu \cdot C \cdot \frac{1}{Y_{kcal}}$$

Δημοφιλής
μέθοδος

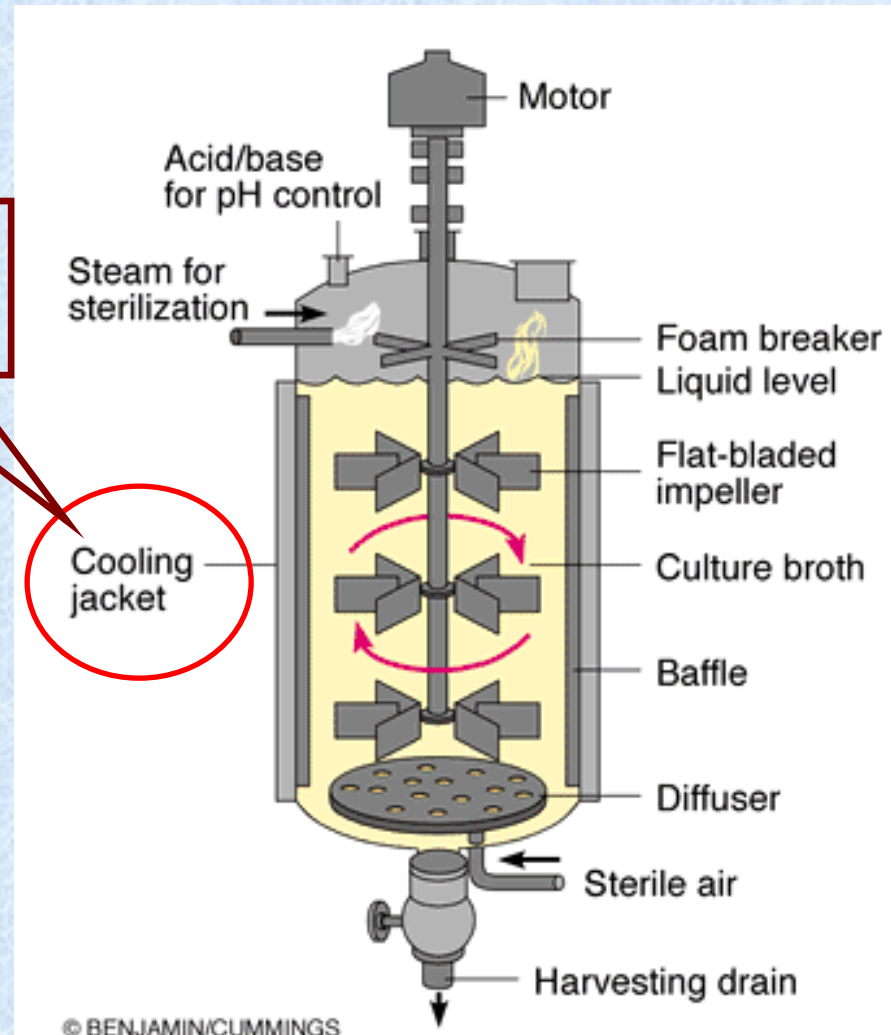
\dot{q} : ρυθμός παραγωγής θερμότητας, $kcal/l \cdot s$

V : όγκος του υγρού στον αντιδραστήρα, l

μ : ειδικός ρυθμός ανάπτυξης, s^{-1}

C : συγκέντρωση βιομάζας (g/l)

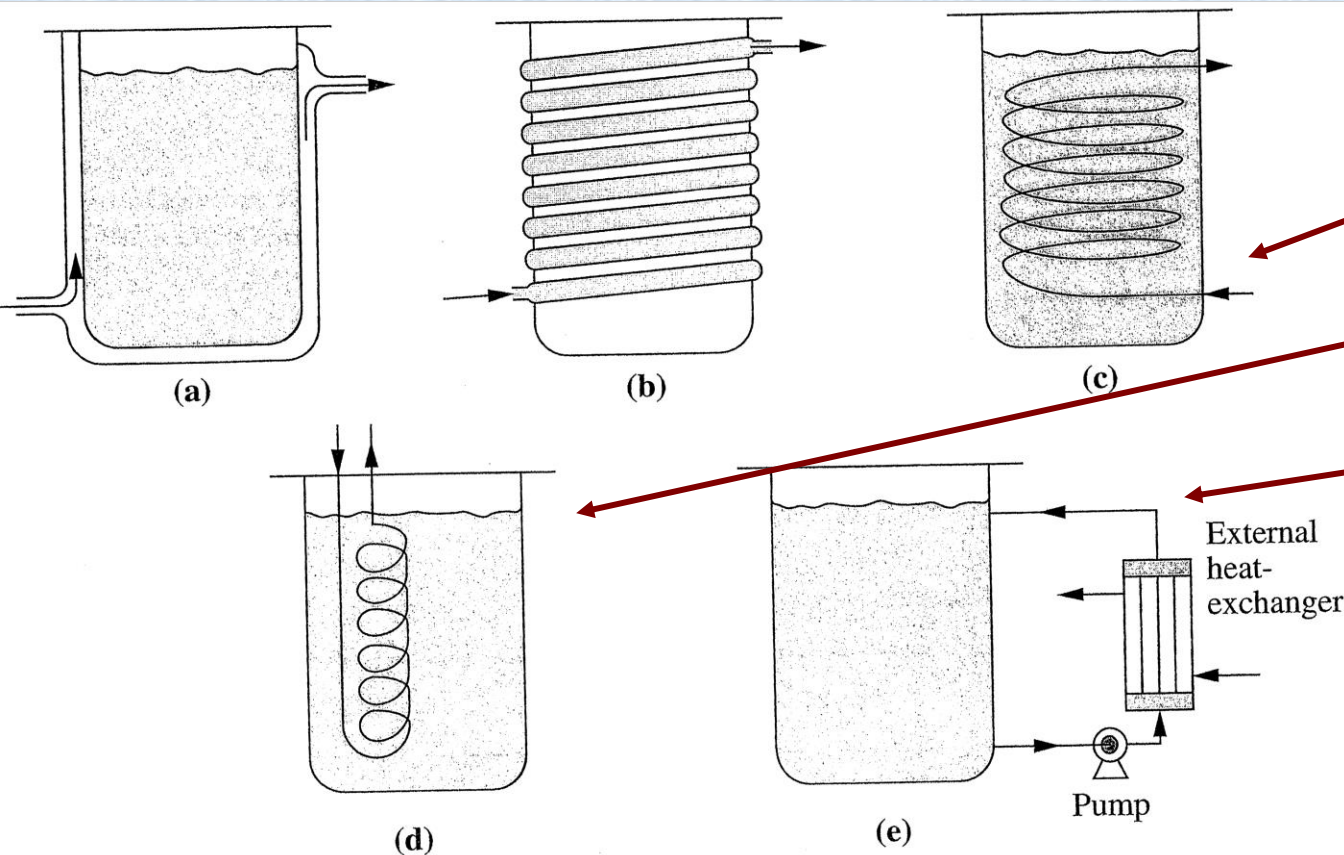
Y_{kcal} : συντελεστής απόδοσης, που αντιστοιχεί σε γραμμάρια κυττάρων ανά $kcal$ δαπανούμενης ενέργειας, $g \text{ cells}/kcal$



Πρακτικά θέματα των βιοαντιδραστήρων - Έλεγχος θερμοκρασίας (μεταφορά θερμότητας)

Επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας:

1. Χαμηλή στο εξωτερικό (a) περίβλημα και (b) σπείραμα σε μικρούς αντιδραστήρες
2. Υψηλή σε εσωτερικό σπείραμα (c) ελικοειδές και (d) ρυθμιζόμενο σε μεγάλους αντιδραστήρες
3. Προσαρμόσιμη σε περίπτωση (e) εξωτερικού εναλλάκτη



Δυσκολία στον καθαρισμό
Λερώνονται εύκολα από
κύτταρα που αναπτύσσονται
στην επιφάνειά τους

Πανεύκολος καθαρισμός

- Απαίτηση αποστείρωσης
- Διατμητικές τάσεις στα κύτταρα
- Απώλεια οξυγόνου

Πρακτικά θέματα των βιοαντιδραστήρων - Ανάδευση (μεταφορά αερίων)

Όλες οι βιολογικές αντιδράσεις είναι τριπλής φάσης (αέριο-υγρό-στερεό)
Είναι κρίσιμη η μεταφορά μάζας μεταξύ φάσεων (π.χ. η τροφοδοσία οξυγόνου σε αεροβική χώνευση)

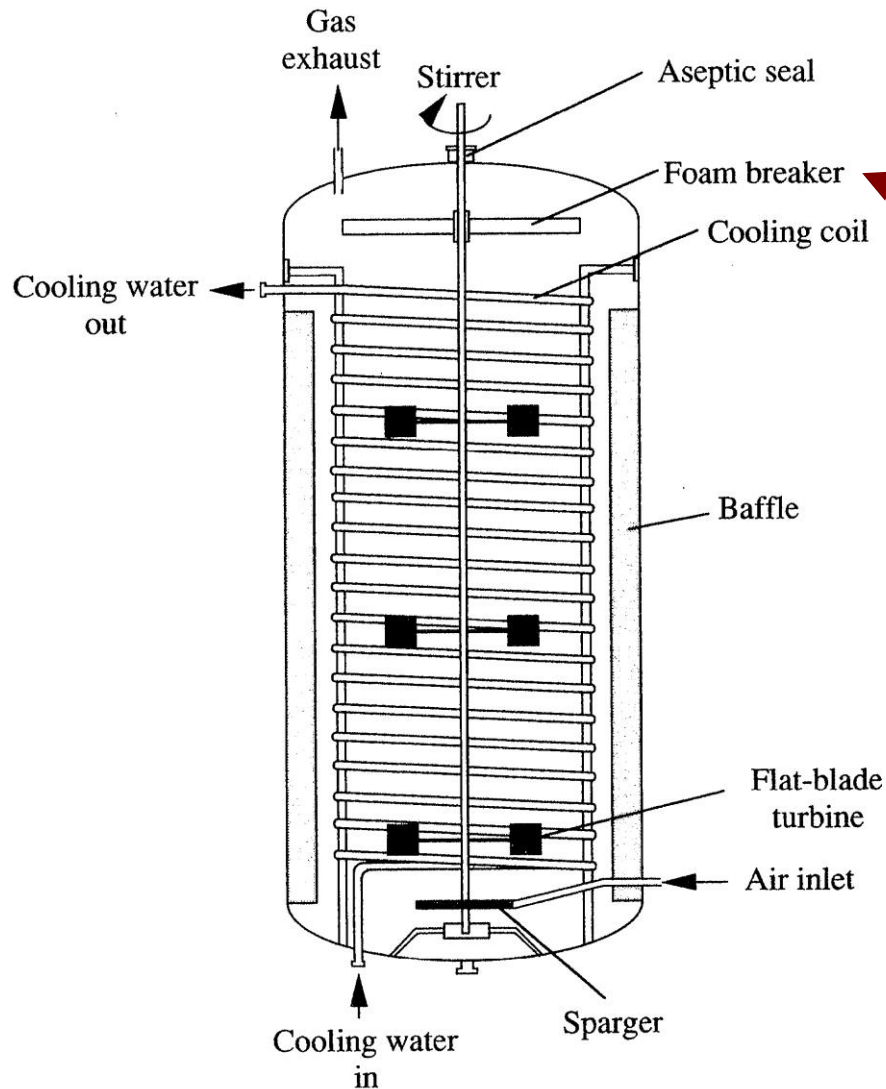
Η εξίσωση που καθορίζει το ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου είναι:

$$J_A = K_l (C_A^* - C_{A_g}) \quad C_A^* = P_{A_g} / H$$

Ανάδευση:

- Μηχανική ανάδευση (σε μικρούς αντιδραστήρες ή/και ιξώδη υγρά, σε χαμηλή θερμότητα αντίδρασης)
- Ανάδευση προωθούμενη από αέρα (σε μεγάλους αντιδραστήρες ή/και υψηλή θερμότητα αντίδρασης)

Πρακτικά θέματα των βιοαντιδραστήρων - Απομάκρυνση του αφρού



1. Μηχανικά (προσθήκη ειδικού θραύστη)
2. Χημικά αντιαφριστικά (μπορεί να μειώσουν το ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου)

Πρακτικά θέματα των βιοαντιδραστήρων

- Άλλα

1. Λειτουργία σε άσηπτες συνθήκες (3-5% των ζυμώσεων σε βιομηχανικό μέγεθος χάνονται λόγω αποτυχίας στην αποστείρωση)
2. Υλικά κατασκευής (γυαλί για μικρούς βιοαντιδραστήρες, π.χ. < 30 λίτρα και ανοξείδωτο ατσάλι για μεγάλους)
3. Τρόπος διοχέτευσης των κυττάρων (τρεις σχεδιασμοί: πορώδης, στομίου, ακροφυσίου)
4. Έλεγχος της εξάτμισης λόγω της τροφοδοσίας με ξηρό αέρα

Επιλογή τρόπου λειτουργίας

ΔΙΑΛΕΙΠΟΥΣΑ



- Σχετική απλότητα και χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού
- Χαμηλότερος κίνδυνος μολύνσεων
- Μικρότερος κίνδυνος μετάλλαξης επιστροφής
- Ευελιξία στον προγραμματισμό της βιομηχανικής παραγωγής
- Μικρότερη ευαισθησία σε έκτακτα περιστατικά και διαταραχές

ΣΥΝΕΧΗΣ

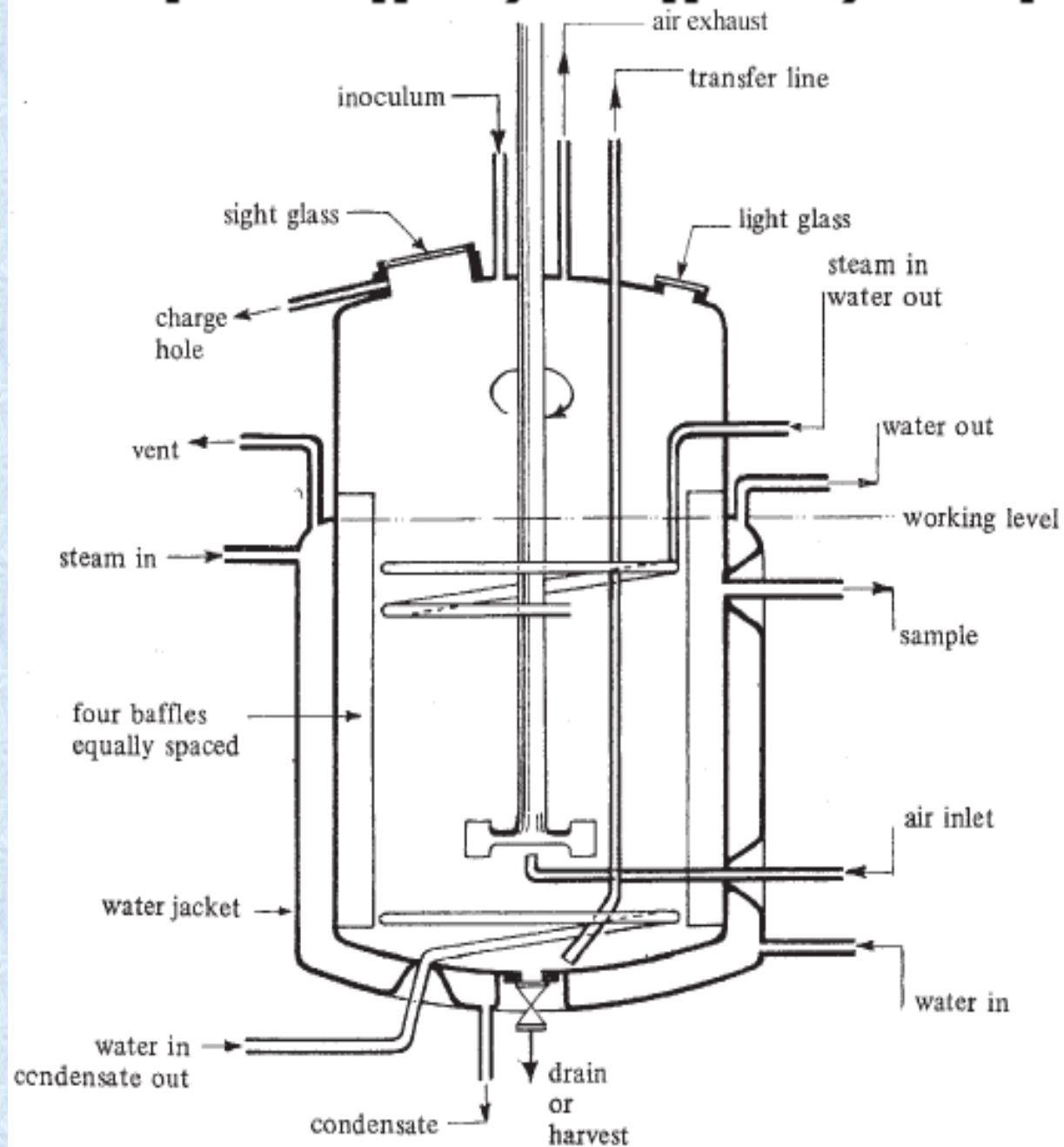
- Μικρότερος χρόνος μη παραγωγικών διαδικασιών (downtime)
- Ομοιογενές προϊόν
- Ευκολότερος έλεγχος ρυθμού ανάπτυξης
- Αύξηση παραγωγικότητας διεργασιών επεξεργασίας προϊόντος



- Μεγαλύτερο μέγεθος βιοαντιδραστήρων
- Μείωση παραγωγικότητας λόγω χρόνου προσαρμογής

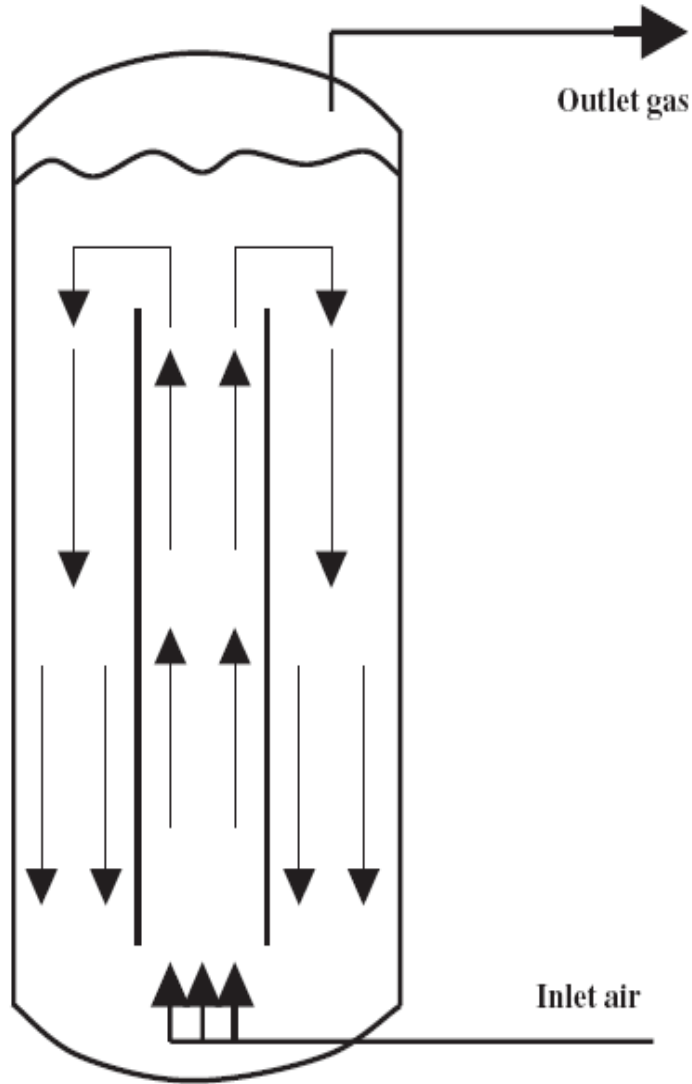
- Δυσκολότερη διατήρηση ασηπτικών συνθηκών
- Έλλειψη συμμόρφωσης με απαιτήσεις ποιότητας (ξεχωριστές παρτίδες)
- Πιθανή ελάττωση απόδοσης λόγω απώλειας πλασμιδίων
- Κάποια προϊόντα δεν παράγονται ικανοποιητικά
- Πιθανή διαφοροποίηση απόδοσης λόγω μεταβολής ρεύματος τροφοδοσίας

Βιοαντιδραστήρας πλήρους αναμίξεως

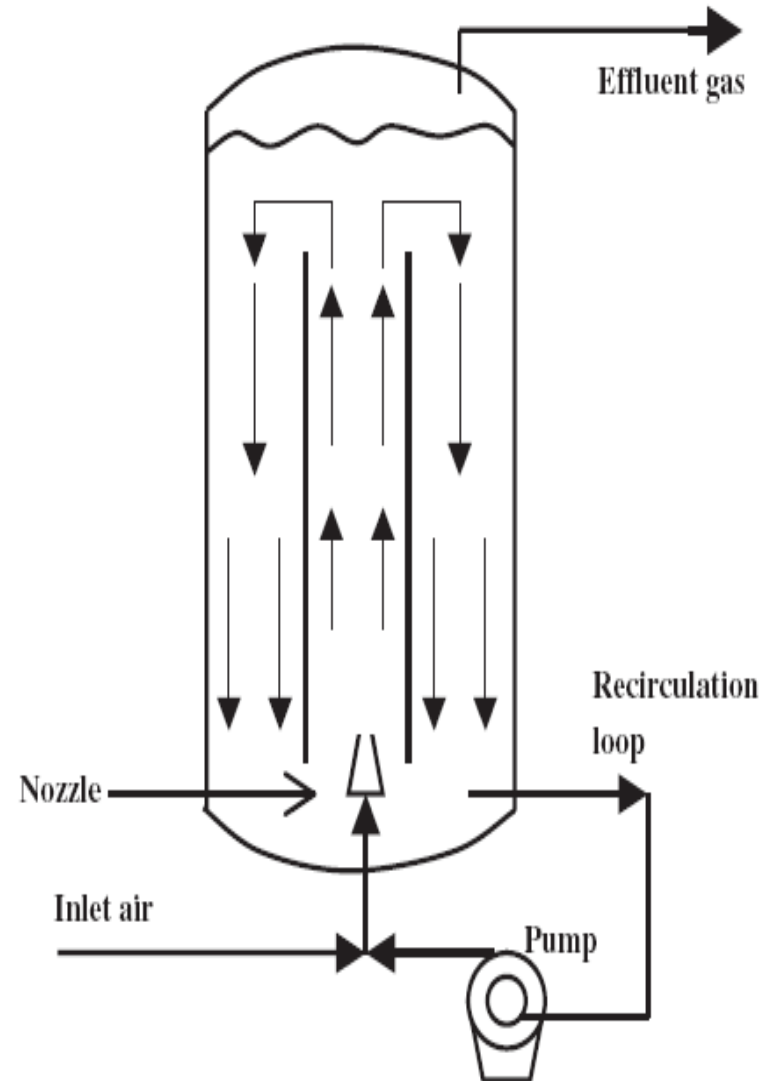


Βιοαντιδραστήρας βρόχου

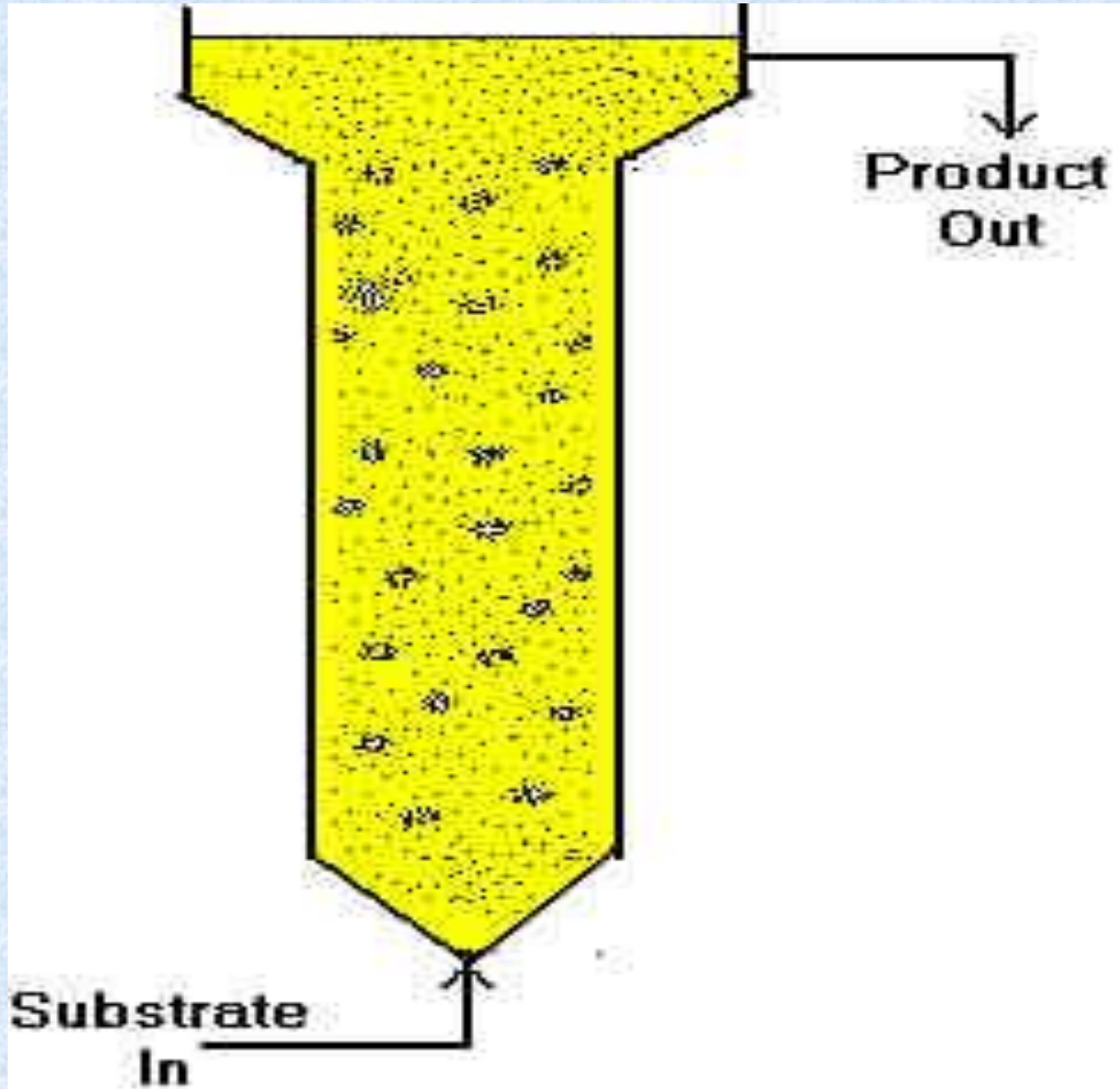
Εσωτερικός βρόχος



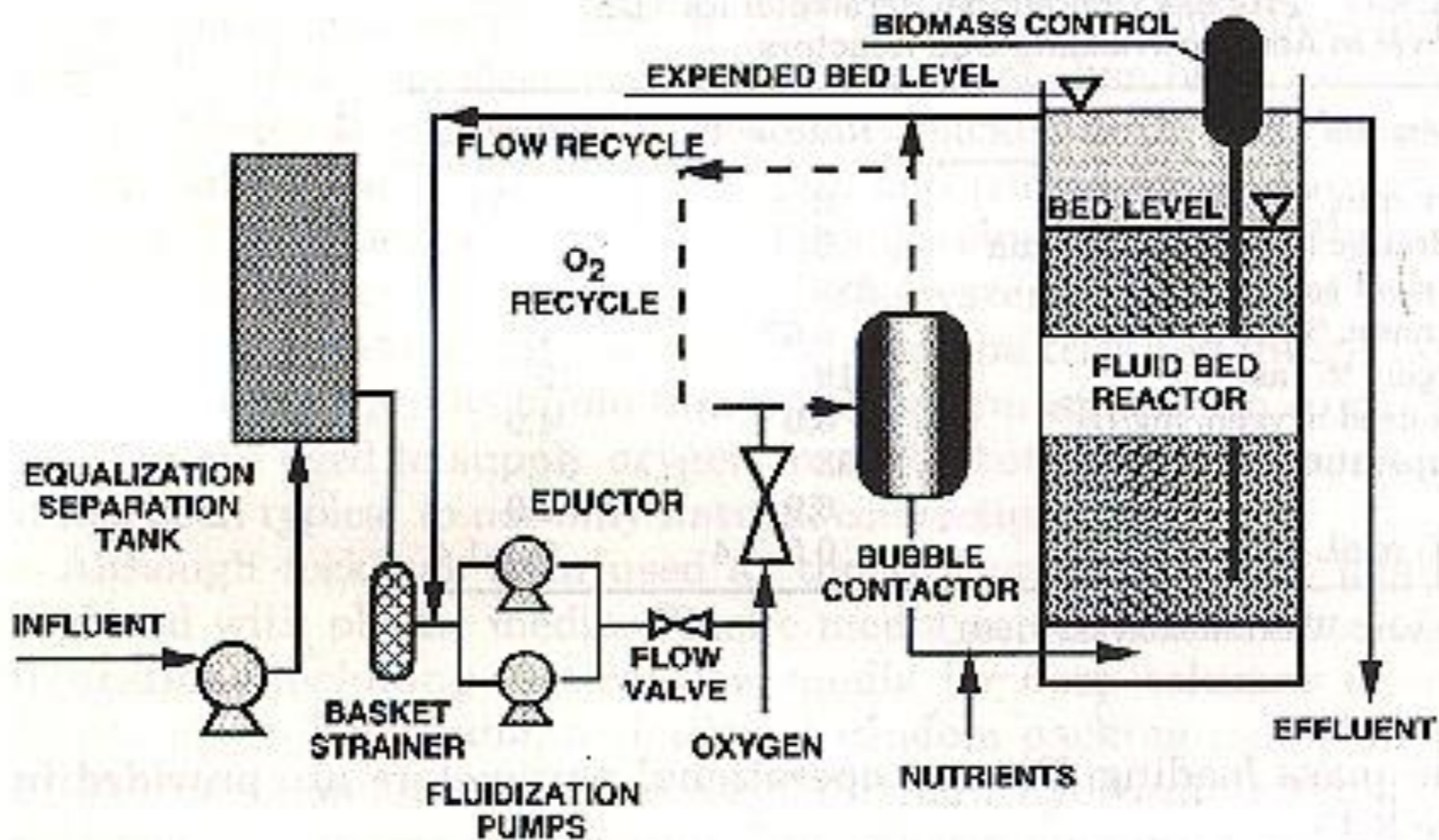
Εξωτερικός βρόχος



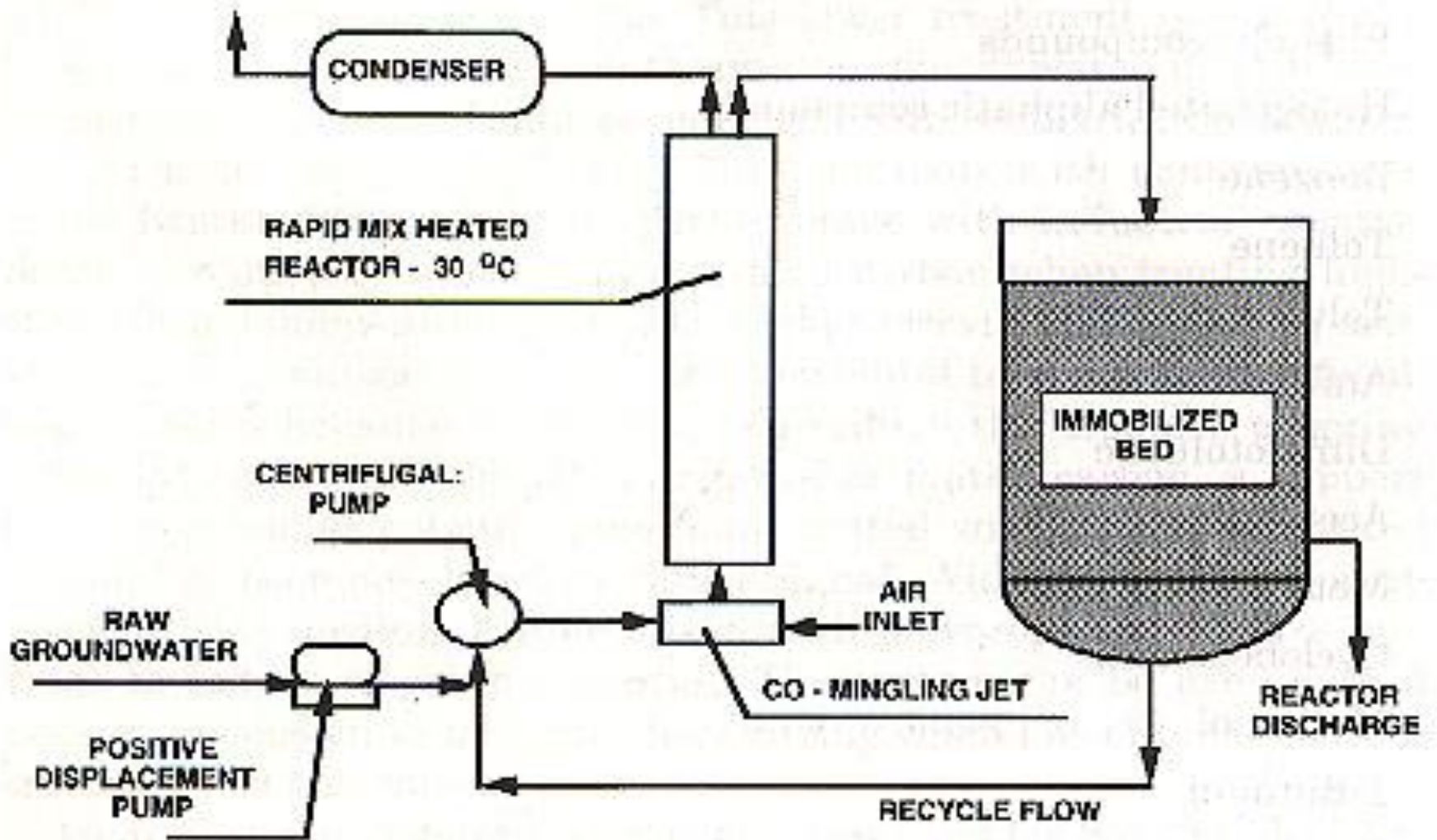
Βιοαντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης



Βιοαντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης

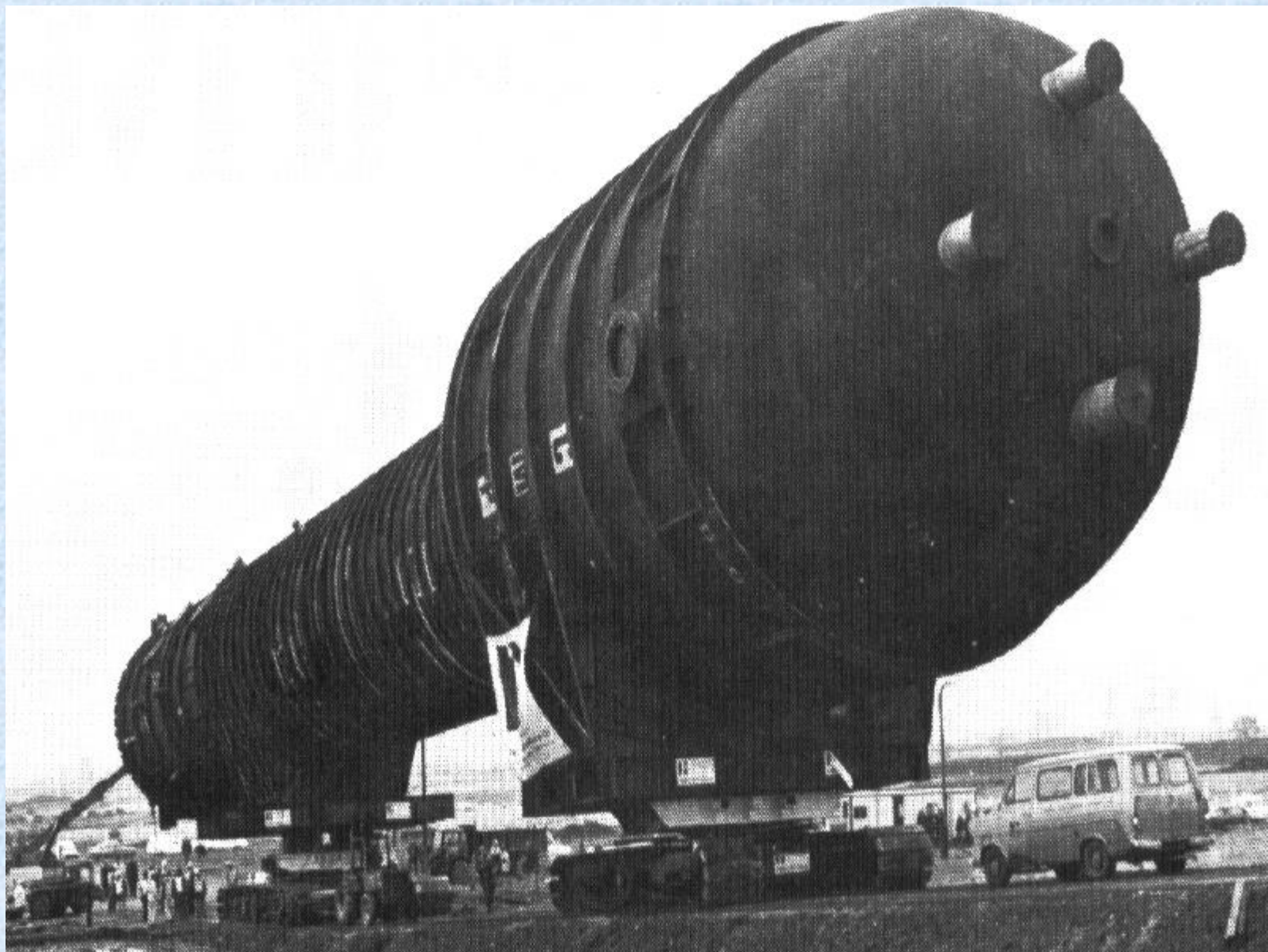


Βιοαντιδραστήρας κλίνης





Βιοαντιδραστήρας πλήρους αναμίξεως



Βιοαντιδραστήρας πλήρους αναμίξεως



Προϊόν: Pruteen (ζωοτροφή)

Υποστρώματα: CH_3OH , NH_3

Όγκος: 750 m^3 , **Ύψος:** 42 m, **Πλάτος:** 11 m

Καταλύτης: *Methylophilus methylotrophus*

ICI, Μ. Βρετανία (1981)

Βιοαντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης

Ύψος: 21 m

Όγκος: 390 m³

Υπόστρωμα: απόβλητα
εργαστασίου παραγωγής ζύμης

Βιοκαταλύτης: ακινητοποιημένα
βακτηριακά κύτταρα σε άμμο

Συνθήκες: αναερόβιες

Gist-brocades, Delft - Ολλανδία



Φωτοβολταϊκός βιοαντιδραστήρας

Τύπος: Βιοαντιδραστήρας με λήψη πολλαπλών σωληνώσεων

96 σωλ. πολυαιθυλενίου (μήκος 120 m, διάμετρος 25 cm, όγκος: 600 m³)

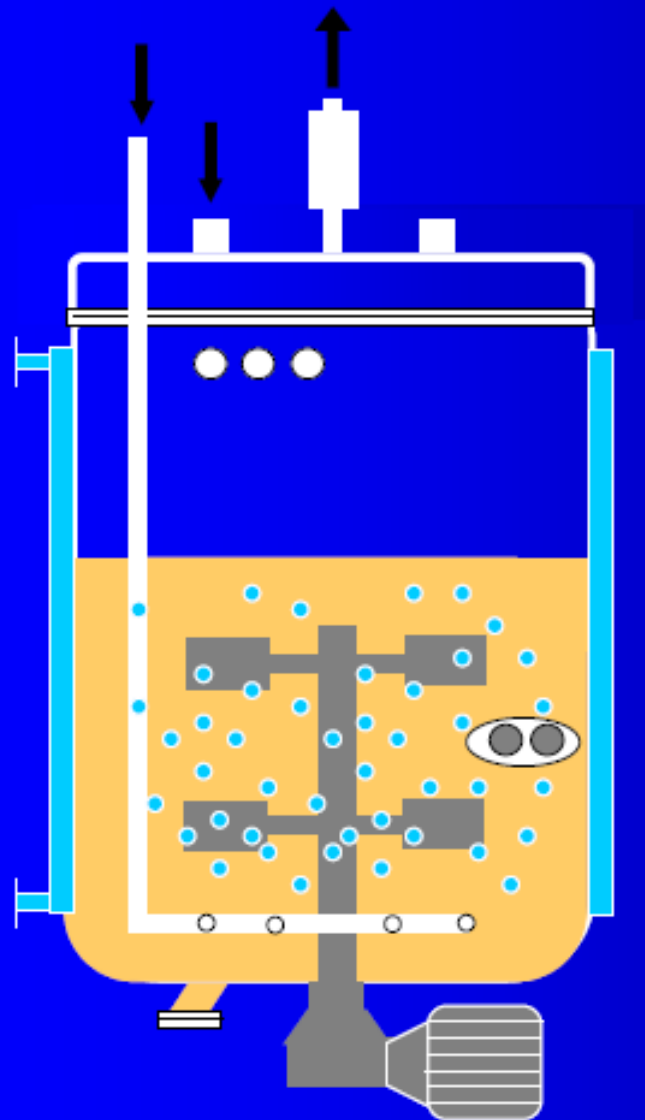
Καταλύτης: κύτταρα κυανοβακτηρίου *Arthrospira platensis*

Τροφοδοσία: αντλία & σωλήνας ανακύκλωσης

Hidrobiologica SA, La Rioja, Αργεντινή



Βιοαντιδραστήρες πλήρους αναμίξεως

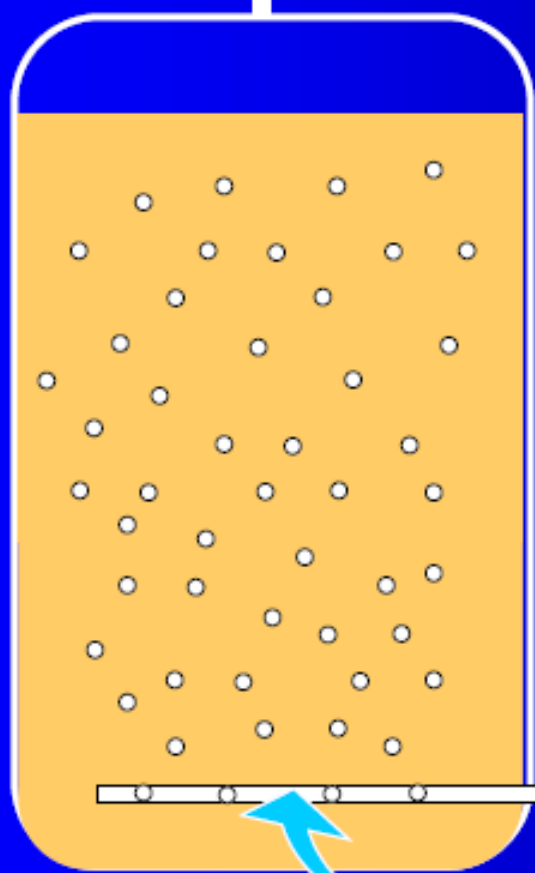


- Καλός έλεγχος και ρύθμιση μεταβλητών
- Μεγάλος αριθμός ερευνητικών εργασιών

- ✓ Αντιβιοτικά
- ✓ Αμινοξέα
- ✓ Βιομηχανικά ένζυμα

Βιοαντιδραστήρες στήλης φυσαλίδων

ΕΞΟΔΟΣ ΑΕΡΑ



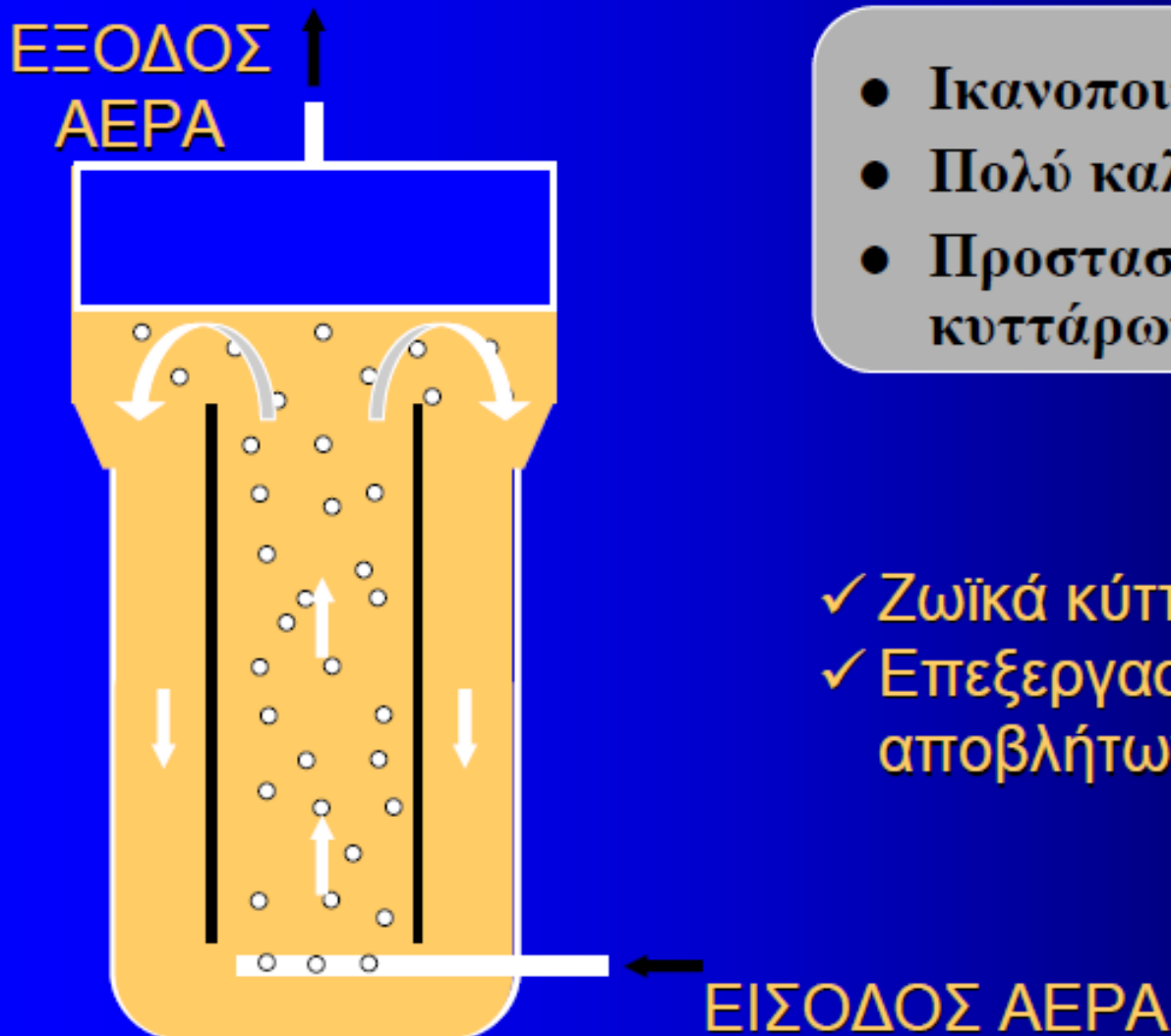
- Χαμηλό κόστος κατασκευής
- Ικανοποιητική μεταφορά μάζας & θερμότητας

- ✓ Ζύμη αρτοποιίας
- ✓ Κιτρικό οξύ

ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΕΡΑ

ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΗΣ ΑΕΡΑ
(sparger)

Βιοαντιδραστήρας βρόχου



- Ικανοποιητική ανάδευση
- Πολύ καλή μεταφορά μάζας
- Προστασία ευαίσθητων κυττάρων

- ✓ Ζωϊκά κύτταρα
- ✓ Επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων

Βιοαντιδραστήρες κλίνης

Σταθερής κλίνης
(packed bed)

Ρευστοποιημένης κλίνης
(fluidized bed)

Πλεονεκτήματα

- Δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας
- Αυξημένη διεπιφάνεια

- Μεγάλη συγκέντρωση βιοκαταλύτη
- Αντιμετώπιση αναστολής από προϊόν

- Εύκολη ρύθμιση pH και T
- Δυνατότητα χρήσης κολλοειδών υποστρωμάτων

- ✓ Παραγωγή οξικού οξέος (ξίδι)
- ✓ Παραγωγή βιοαερίου από στερεά απόβλητα

- ✓ Επεξεργασία υγρών αποβλήτων
- ✓ Πιλοτική παραγωγή μπύρας χωρίς αιθανόλη (alcohol-free)
- ✓ Πιλοτική παραγωγή anti-HIV αντισωμάτων

Βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

Βιοαντιδραστήρας κοίλων ινών



- Απομάκρυνση παρεμποδιστικού προϊόντος ή άλλων παρεμποδιστών
- Δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας

- ✓ Ενζυμικοί βιοαντιδραστήρες
- ✓ Ανάπτυξη ζωικών κυττάρων
- ✓ Ανάπτυξη αρχαιοβακτηρίων

Βιοαντιδραστήρες ζύμωσης στερεάς κατάστασης

Ζύμωση στερεάς κατάστασης: ανάπτυξη μικροοργανισμών σε στερεά υποστρώματα απουσία ελεύθερου νερού

- Με δίσκους
- Στερεάς κλίνης
- Περιστρεφόμενου τυμπάνου
- Με ανάδευση

- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης & λειτουργίας
- Ευκολότερη ανάκτηση προϊόντων

- ✓ Αμυλάση
- ✓ Πρωτεάση
- ✓ Παραδοσιακά τρόφιμα
Α. Ανατολής (soy sauce)

Ζυμωτήρας περιστρεφόμενου τυμπάνου

ΘΥΡΙΔΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΙ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΕΞΟΔΟΣ ΑΕΡΑ

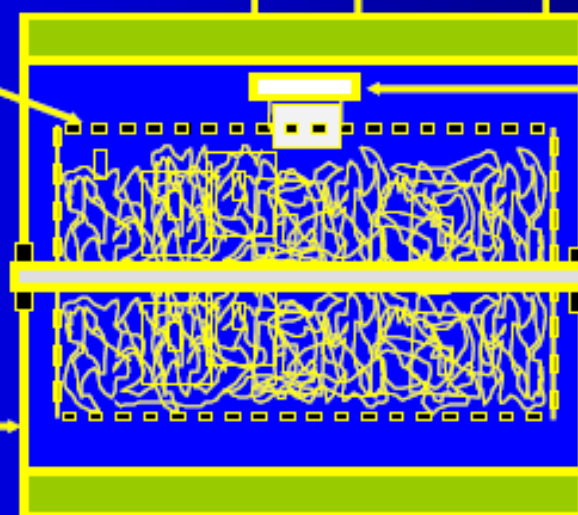
ΔΙΑΤΡΗΤΟ
ΤΥΜΠΑΝΟ

ΣΥΡΟΜΕΝΗ
ΘΥΡΙΔΑ

ΕΙΣΟΔΟΣ
ΑΕΡΑ

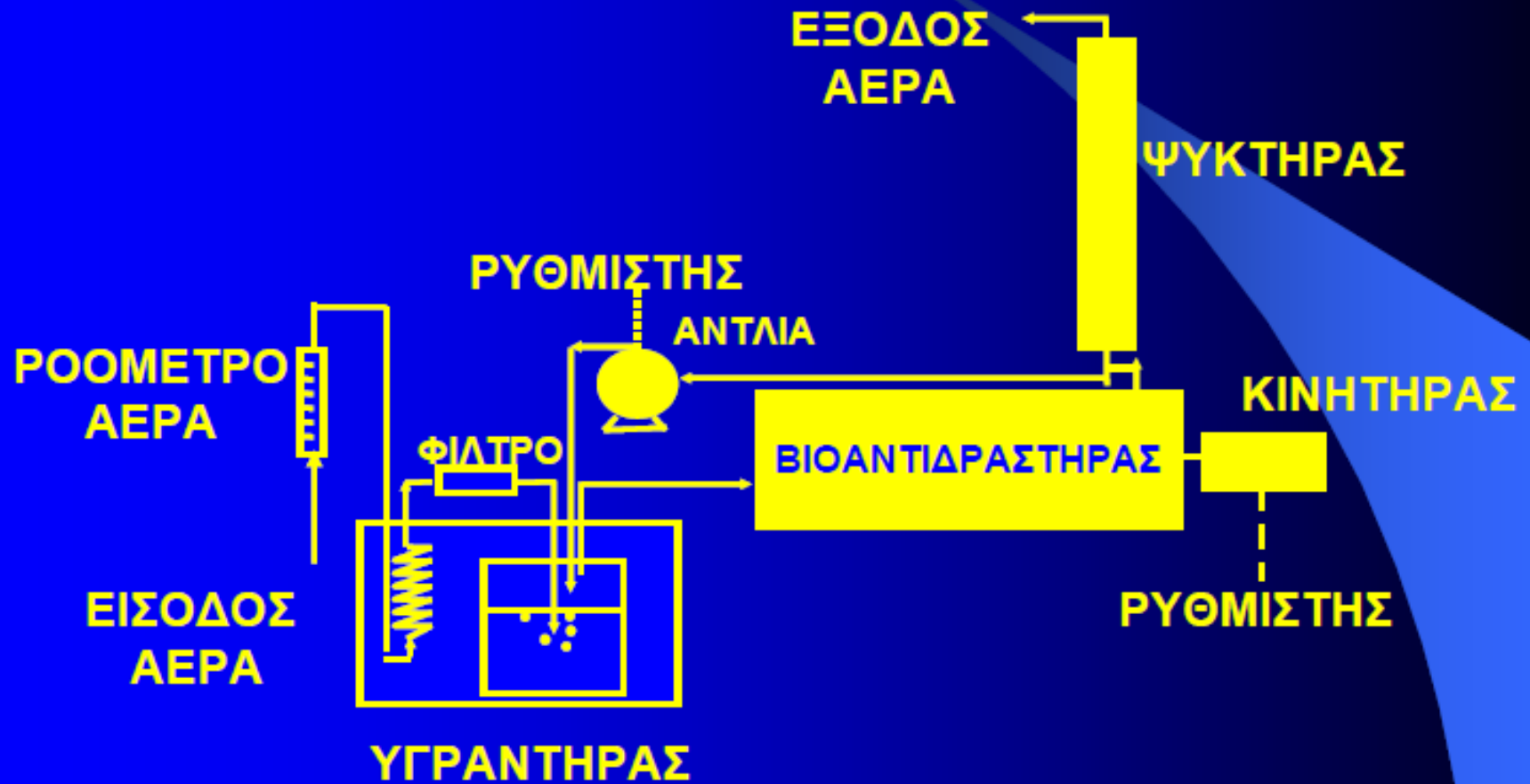
ΑΞΟΝΑΣ

ΜΑΝΔΥΑΣ





Ζυμωτήρας περιστρεφόμενου τυμπάνου - διάγραμμα ροής



Επιλογή & σχεδιασμός βιοαντιδραστήρων

Κριτήρια - Περιορισμοί

- Μικροοργανισμός (είδος, φυσιολογία, γενετική αστάθεια)
- Υπόστρωμα (τύπος, παρεμπόδιση)
- Προϊόν (φάση παραγωγής, αξία)

Κάθε περίπτωση αποτελεί ένα μοναδικό πρόβλημα και πρέπει να εξετάζεται με βάση τους συγκεκριμένους περιορισμούς