

AEROB KEVERŐS BIOREAKTOROK



Készítette:
Kótai Alexandra
Szilágyi Szabina

ÁTTEKINTÉS

- Elméleti háttér:
 1. Bevezetés
 2. Keverés funkciói
 3. További faktorok, melyeket figyelembe kell venni
 4. Paraméterek
- Bioreaktorok
 1. Aerob bioreaktorok csoportosítása



BEVEZETÉS I.

- A kevert bioreaktorok olyan reaktorok, melyekben mechanikus keverő rendszer található (levegőztetés mellett).
- Jó keveredési viszonyok.
- Szakaszos, félfolytonos, valamint fed-batch és folytonos technológiák esetében is felhasználhatók, emiatt könnyen lehet terméket és technológiát váltani esetükben.
- Használhatóak nagy viszkozitású fermentleveknél is.
- Jó „számíthatóság” a tervezés és méretnövelés szempontjából.



BEVEZETÉS II.

- Megfelelő keverés és kielégítő oxigénátadási viszonyok csak néhány 100 m^3 -es térfogatig valósíthatóak meg.
- Maximum 2 VVM levegőztetés (különben flooding).
- Nagyobb méret esetén problémák a hűtéssel és fűtéssel.
- Magas az oxigénátadás energia igénye ($0,8\text{-}2 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$).
- Sok gondot okoz a sterilitás megőrzése.

→ újabb és újabb bioreaktorok tervezése



KEVERÉS FUNKCIÓI

- Energia bevitel a folyadékba
 - folyadék állandó mozgásban tartása
 - pótolni kell
 - a bevitt energia mennyiségét a levegőztetési viszonyok és a gazdasági szempontok határozzák meg



KEVERÉS FUNKCIÓI

- Energia bevitel a folyadékba
- Anyagtranszport a levegő buborékok és a fermentlé, a fermentlé és a mikroba között
 - lehetővé válik a fermentlé oldott és nem oldott komponenseinek jó elkeverése
 - megszűnnek a koncentráció gradiensek
 - holt zónák kialakulásának megelőzése



KEVERÉS FUNKCIÓI

- Energia bevitel a folyadékba
- Anyagtranszport a levegő buborékok és a fermentlé, a fermentlé és a mikroba között
- A levegő diszpergálása a folyadékban
 - minél kisebb buborékok képzése a cél
 - fontos a felület megújítása
 - buborékok egyesülésének megakadályozása



KEVERÉS FUNKCIÓI

- Energia bevitel a folyadékba
- Anyagtranszport a levegő buborékok és a fermentlé, a fermentlé és a mikroba között
- A levegő diszpergálása a folyadékban
- Gáz és folyadékfázis elválasztása
 - cél a CO_2 kivonása a rendszerből



KEVERÉS FUNKCIÓI

- Energia bevitel a folyadékba
- Anyagtranszport a levegő buborékok és a fermentlé, a fermentlé és a mikroba között
- A levegő diszpergálása a folyadékban
- Gáz és folyadékfázis elválasztása
- A hőtranszport elősegítése



TOVÁBBI FAKTOROK

- A fermentlé reológiai tulajdonságai
- A mikroba oxigén igénye
- A mikrobák érzékenysége a nyírőerőre



TOVÁBBI FAKTOROK

- A fermentlé reológiai tulajdonságai
 1. Szubsztrát okozta viszkozitás
 2. Mikroba koncentrációjának növekedése
 3. Extracelluláris termékek képződése
 4. Nyálkaképződés a mikrobák sejtfalán



TOVÁBBI FAKTOROK

- A fermentlé reológiai tulajdonságai
- A mikroba oxigén igénye

$$Q = \frac{1}{x} \cdot \frac{dC}{dt}$$

Ahol:

Q – fajlagos légzési sebesség [h^{-1}]

x – mikroba koncentráció [mg/dm^3]

C – az oldott oxigén koncentráció [mg/dm^3]



TOVÁBBI FAKTOROK

- A fermentlé reológiai tulajdonságai
- A mikroba oxigén igénye
- A mikrobák érzékenysége a nyírőerőre
- Főleg a fonalas gombáknál és baktériumoknál okoz gondot, továbbá az állat és növényi szövetek tenyésztésekor
- Romlanak a keverési, anyag és hőátadási viszonyok
- A keverős fordulatszám nem növelhető tetszőleges nagyra két okból:
 1. Gazdasági okok
 2. Mikroorganizmusok fizikai károsodása



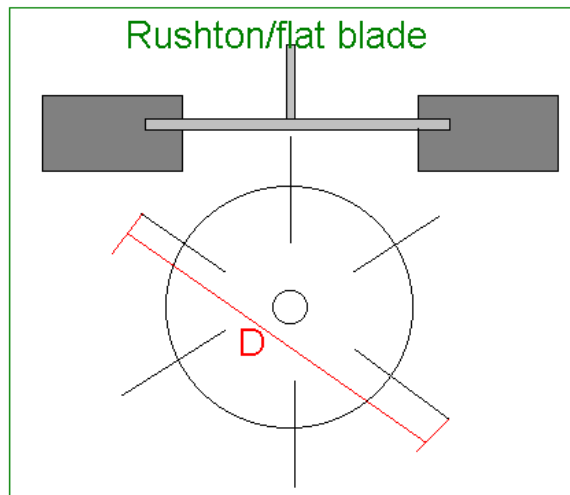
PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája
- A keverő elemek száma
- A fermentor és a keverő geometriai elrendezése és aránya
- A keverő fordulatszáma
- A levegőztetés sebessége



PARAMÉTEREK

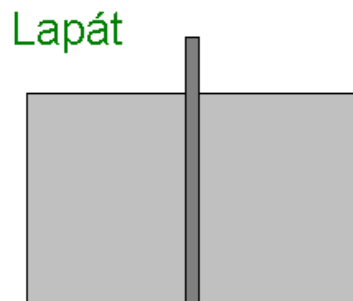
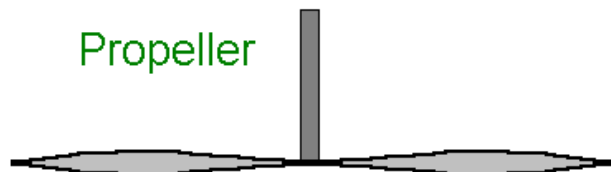
- A keverő elem fajtája
 - A leggyakrabban használt keverő elem az egyenes lapátú nyitott turbina keverő.



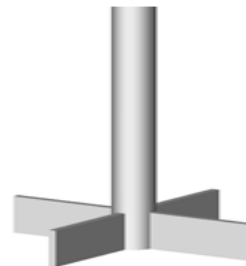
PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája

→ léteznek még más keverő típusok is



Propeller
axiális keverő
„elefántfül”



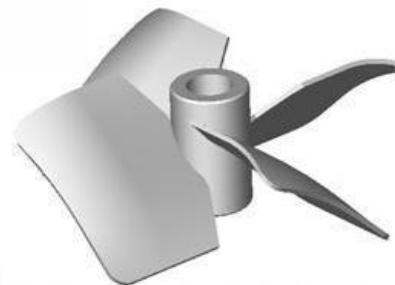
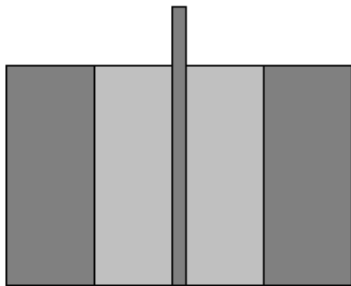
PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája

→ Nagy viszkozitású fermentleveknél használatos legfelső keverő elemként – nagy szívó kapacitással rendelkezik

→ Nagyon viszkózus fermentlevek - két egymástól függetlenül meghajtott keverő (egyik mozgásban tartja a folyadékot, másik a levegőt diszpergálja a folyadékban)

45°-ban hajlított
lapát



Maxflo és Lightning
axiális keverők



PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája
 - Intenzív keverést létrehozni képes, alacsony teljesítményszámú keverők:



Interming



Lightning



Prochem Maxflo T



Scaba 6SRGT



PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája
- A keverő elemek száma
 - A keverő tengelyre általában több keverő elemet szerelnek fel.
 - A keverők közötti távolság és a keverő elemek száma empirikus képletekkel számíthatóak.



PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája
- A keverő elemek száma
- A fermentor és a keverő geometriai elrendezése és aránya
 - Vékony vagy slim fermentor:
150 m³-ig $H/D=1,5-3$
 - Testes vagy korpulens fermentorok:
150 m³ felett $H/D=1$

H: magasság

D: átmérő



PARAMÉTEREK

- A keverő elem fajtája
- A keverő elemek száma
- A fermentor és a keverő geometriai elrendezése és aránya
- A keverő fordulatszáma
- A levegőztetés sebessége
 - Fontos, hogy a keverés megfelelő legyen
 - ha túl intenzív, akkor a mechanikai károkon kívül a fermentében kialakuló magas oxigén koncentráció esetleg oxigén toxicitáshoz is vezethet
 - ha nem elég intenzív a keverés, akkor nem teljesülnek a fentebb említett követelmények



PARAMÉTEREK

- Egy reaktor megtervezésénél figyelembe kell venni a hidrodinamika törvényeit.
- Ezek közül néhány tanulmányozható a fermentációtól függetlenül is
 - nem rendszerspecifikus paraméterek
- A legtöbb esetben a hidrodinamikai viselkedés és a fermentáció tulajdonságai együttesen befolyásolják a rendszer viselkedését
 - rendszerspecifikus paraméterek



A RENDSZERSPECIFIKUS ÉS A NEM RENDSZERSPECIFIKUS PARAMÉTEREK

- Nem rendszerspecifikus paraméterek:
 - Keverő teljesítmény felvétele
 - Levegő diszperziója
 - Fluidum keveredése
 - Gázfázis keveredése
 - Keverők hidrodinamikája
 - Hőátadás
- Rendszerspecifikus paraméterek
 - Anyagtranszport a gáz és folyadékfázis között
 - Oxigénfluxus
 - K_L függése
 - C^* függése
 - Hold up



A KEVERŐ TELJESÍTMÉNY FELVÉTELE

- A felvett energiát a teljesítménnyel jellemezhetjük, ami kevesebb, mint a motor teljesítménye.
- A keverő teljesítmény felvétele:

$$P = A \rho_L N^3 D^5 Re^m Fr^n$$

ρ_L : a fermentlé sűrűsége [kg/m³]

N: a keverő fordulatszáma [1/s]

D: a keverő átmérője [m]

Re: keverési Reynolds szám [-]

Fr: keverési Froude szám [-]

$$Re_{\text{keverési}} = \frac{\rho_L N D^2}{\mu} = \frac{\text{tehetetlenségi erő}}{\text{belső súrlódási erő}}$$

$$Fr_{\text{keverési}} = \frac{N^2 D}{g} = \frac{\text{centrifugális erő}}{\text{gravitációs erő}}$$



A KEVERŐ TELJESÍTMÉNY FELVÉTELE

- Kis viszkozitású fermentleveknél:
- állandó keverési sebesség mellett a levegőztetési sebességet növelve, a keverő teljesítmény felvétele csökken

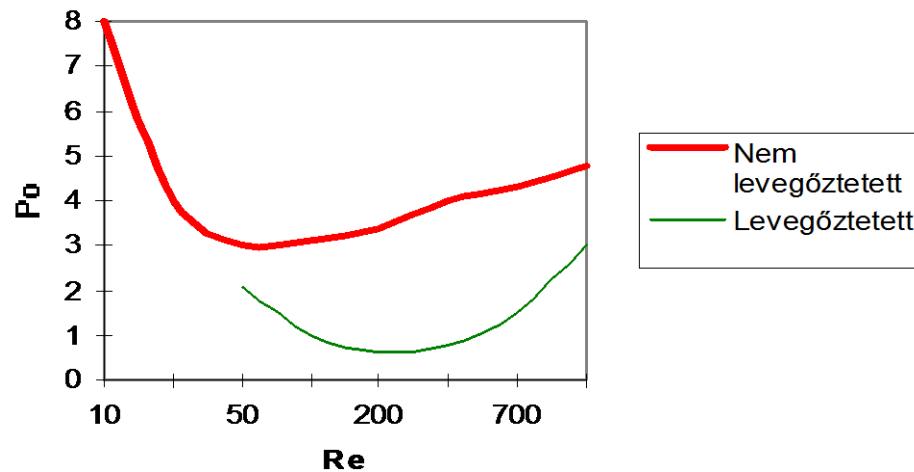
$$P = A\rho_L N^3 D^5 Re^m Fr^n$$

- a teljesítmény felvétel csökkenhet állandó levegőztetési sebesség mellett is (felére vagy még kevesebbre), ha a keverési sebességet növeljük - gáz recirkulációja nő
- a teljesítmény tehát a keverési sebességtől, a levegőztetési sebességtől, a recirkuláció mértékétől és az áramlási képtől függ



A KEVERŐ TELJESÍTMÉNY FELVÉTELE

- Nagy viszkozitású fermentleveknél:
 - stabil légüregek méretét a levegőztetési sebesség alig befolyásolja - teljesítmény felvétel alig változik a levegőztetési sebesség függvényében
 - minimumos görbét kapunk, a jó gázdiszperzió eléréséhez a sebességet a minimumnak a közelébe kell választani



A LEVEGŐ DISZPERZIÓJA

- A levegőztetési körülmények jellemzésére bevezették a levegőztetési számot:

$$\boxed{Na} = \frac{\text{látszólagos felületi (lineáris) légsebesség}}{\text{keverő kerületi sebessége}} = \frac{\frac{F \text{ m}^3 / \text{s}}{\frac{D_i^2 \pi}{4} \text{ m}^2}}{ND_i \pi \text{ m} / \text{s}} = \boxed{\frac{F}{ND_i^3}}$$

ahol a lineáris sebességet a keverő által súrolt felületre számítjuk

F: levegő térfogat árama [m³]

N: keverő fordulatszáma [1/s]

D: keverő átmérője [m]



A FLUIDUM KEVEREDÉSE

Kis viszkozitású fermentleveknél

- kis fermentornál az általában nem jelent problémát
- nagy méretű fermentornál a keverés jelentősége megnő, mert:
 - a keverő elemtől távol rosszabb oxigén ellátottság alakulhat ki
 - a teljesen telített fermentlében csak kb. 10 másodpercig elegendő a levegő a mikroba számára, ha nincs utánpótlás

Nagy viszkozitású fermentleveknél

- távol a keverő elemtől holt terek alakulnak ki
- a keverő tengelyhez közeli régióban, egy jól körülhatárolt térben, intenzív gáz-folyadék keveredést tapasztalunk



A GÁZFÁZIS KEVEREDÉSE

- $K_L a$ meghatározáshoz szükséges vizsgálni, illetve ha a $K_L a$ -t ismerjük, akkor azért, hogy az OTR-t számolni tudjuk a reaktor tervezésekor.
- Kis viszkozitású fermentlevek:
 - Ahogy a keverő sebessége N_f fölé emelkedik jól kevert gázfázis kialakulásához vezet.
- Nagy viszkozitású fermentlevek:
 - Nem állnak rendelkezésünkre olyan közelítések, melyekkel a gázfázis keveredését becsülhetnénk.



KEVERŐK HIDRODINAMIKÁJA

- Kis viszkozitású fermentleveknél:
 - ha a keverő a kis viszkozitású fermentlevekbe 1W/kg -nál nagyobb teljesítményt visz be és egyenletesen növeljük a levegőztetési sebességet, a keverő lapátjai mögött egyre növekvő, gázzal töltött üregek kialakulását figyelhetjük meg → alacsony nyomású területek → örvények (kiv. Scaba 6 SRGT)
 - egy adott levegőztetési sebesség fölött elárasztás jelensége lép fel - ezt elkerülendő fontos megfelelő energia beviteli értéket és levegőztetési sebességet választani



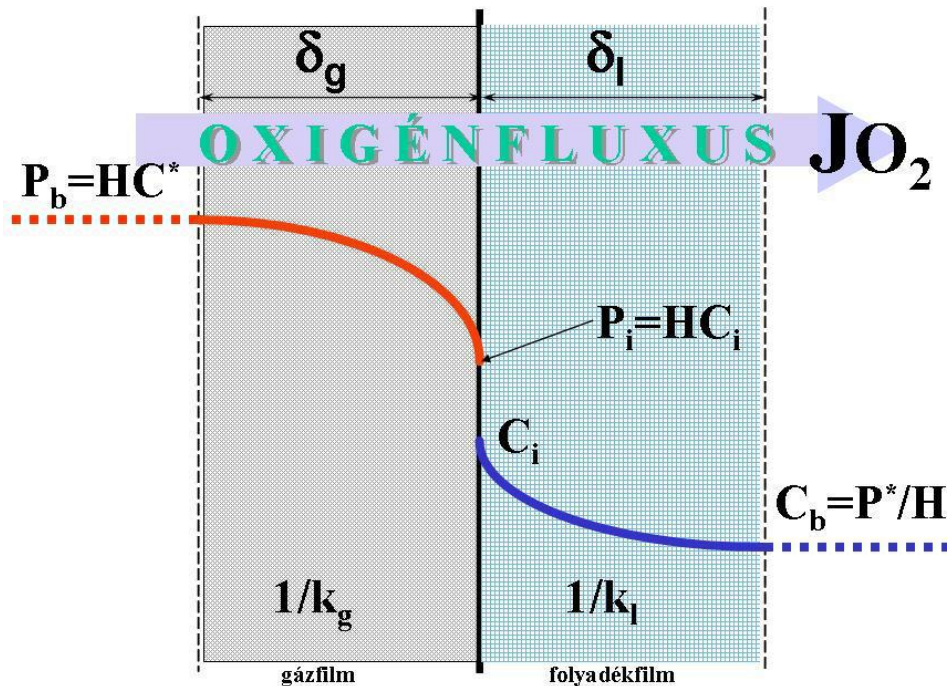
KEVERŐK HIDRODINAMIKÁJA

- Nagy viszkozitású fermentleveknél:
 - kis levegőztetési sebesség is stabil, egyenlő méretű légüregek keletkezéséhez vezet
 - a jelenség minden egyes keverőelemnél előfordul
 - légsebesség növelésével az üregméret csak kis mértékben nő
 - légbuborékok ezekből a kis üregekből válnak le



RENDSZERSPECIFIKUS PARAMÉTEREK

- Anyagtranszport a gáz és folyadékfázis között:
 - kétfilmelmélet: gázbuborék belsejéből a folyadék főtömege felé irányuló O_2 transzport leírására



H: Henry-állandó

P_b : gázbuborékokban mérhető oxigén parciális nyomása

C_b : a folyadék főtömegében mérhető oldott oxigén koncentráció

C_i, P_i : határfelületi oldott oxigén szintje, ill. parciális nyomása



ANYAGTRANSPORT A GÁZ ÉS A FOLYADÉK FÁZIS KÖZÖTT

○ Oxigénfluxus:

$$J_{O_2} = \frac{\text{határfelületen átadott } O_2 \text{ (mol vagy g)}}{\text{felület}} = \frac{\text{hajtóerő}}{\text{ellenállás}}$$

- hajtóerő: nyomás- vagy koncentrációkülönbség
- ellenállás: gázbuborékok belső és külső felületén lévő gáz-, illetve stagnáló folyadékfilm



ANYAGTRANSPORT A GÁZ ÉS A FOLYADÉK FÁZIS KÖZÖTT

- Az oxigénfluxusból az eredő oxigénabszorpció-sebességét akkor kapjuk meg, ha a fluxust a teljes anyagátadási felületre számítjuk ki:

$$J = \frac{dc}{dt} = K_L a \cdot (C^* - C)$$

K_L : eredő folyadékoldali tömegátadási tényező [cm/s]

a : térfogategységre jutó anyagátadási felület [1/cm]

$K_L a$: eredő folyadékoldali oxigénabszorpció együttható [1/idő]

C^* : telítési oxigén koncentráció [mg/dm³]

C : aktuális oldott oxigén koncentráció [mg/dm³]



ANYAGTRANSPORT A GÁZ ÉS A FOLYADÉK FÁZIS KÖZÖTT

○ K_L függése:

• Viskozitás

K_L a viszkóзитás négyzetgyökével arányos

• Hőmérséklet

hőmérséklet növelésével K_L értéke nő, ugyanakkor C^* csökken → oxigén átadás sebességi viszonyait a két hatás eredője határozza meg

• Fermentlé összetétele:

tápsó oldatokban a tiszta vízhez képest K_L csökken és a növekszik - két hatás eredője adja a végeredményt
→ K_L értéke kisebb a tiszta vízben mérhetőnél



ANYAGTRANSPORT A GÁZ ÉS A FOLYADÉK FÁZIS KÖZÖTT

- C^* függése:
 - Oxigén parciális nyomása
az oxigén vizes oldatokban kevésbé oldható, oldhatóságát a Henry törvény írja le
 - Hőmérséklet
oxigén oldhatósága csökken a hőmérséklet növekedésével
 - Tápoldat összetétele



ANYAGTRANSPORT A GÁZ ÉS A FOLYADÉK FÁZIS KÖZÖTT

- Hold up:

A rendszer gázvisszatartási képességét jellemzi.

A Hold-up (H_o) és az átlagos buborék átmérő (d_b) közötti összefüggés:

$$a = \frac{6H_o}{d_b}$$

a : anyagátadási felület

H_o : Hold-up= gáztérfogat/teljes térfogat

d_b : buborékátmérő



BIOREAKTOROK FELHASZNÁLÁSA

- gyógyszeripar (antibiotikum)
 - jó keveredési viszonyok (finom diszperzió a gáz- és folyadékfázis között és a szubsztrátok tekintetében)
 - jó anyag- és hőátadási tulajdonságok
 - biztonságos, steril üzemmód lehetősége
 - mechanikai stabilitás
 - minél egyszerűbb konstrukció, üzemmód, üzemeltetés
 - jó számíthatóság (a tervezés és méretnövelés szempontjából ismerni kell a rendszert)
- finom-fermentációs iparok (enzimek, nukleotidok, aminosavak, modern biotechnológiai termékek előállítása mikrobákkal, pl. rekombináns idegen fehérjék, stb.)



BIOREAKTOROK TÍPUSAI

- Levegőztetés módja szerint:
 - Keverős reaktor
 - Levegőztetés és mechanikus keverés
 - Hurokreaktor (air lift)
 - Levegőztetés



BIOREAKTOROK TÍPUSAI

- Energia bevitel módja szerint:
 - Belső reaktorelemekkel mechanikusan mozgatott bioreaktorok
 - Külső folyadék szivattyúval ellátott bioreaktorok
 - Komprimált gázzal bevitt energiát alkalmazó bioreaktorok



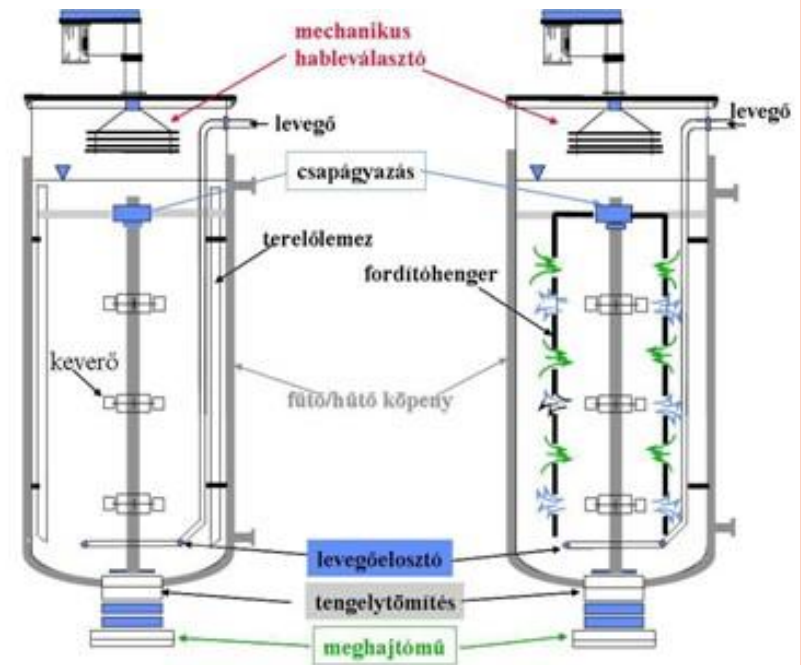
BIOREAKTOROK JELLEMZÉSE

- Szerkezeti anyagában:
 - Rozsdamentes acél
- Tengelytömítésben:
 - Csúszógyűrű
- Változtatható fordulatszámú keverő



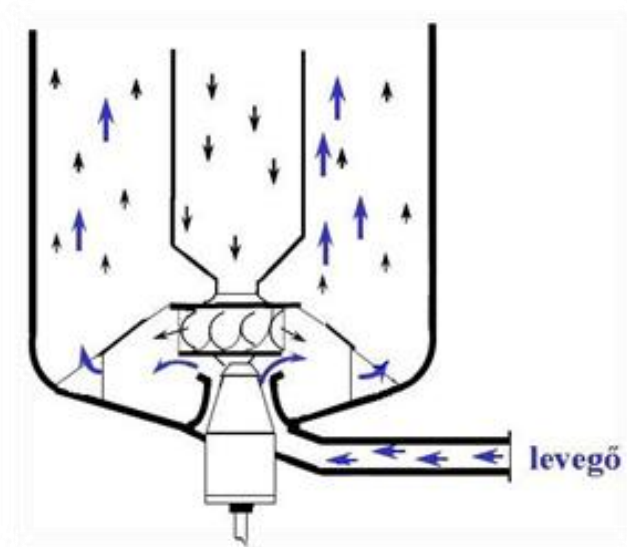
FORDÍTÓHENGERES KEVERŐS FERMENTOR

- Koaleszkálófermentlevek → buborék egyesülés
 - hold-up csökken
 - oxigénátadás romlik
- fordítóhenger az egyesült buborékokat újra felaprózza (másodlagos gázdiszperzió)
- szitatányéros keverős reaktorral is elérhető
- nyílások → fermentlé kényszeráramlása → speciális keveredési és áramlási kép



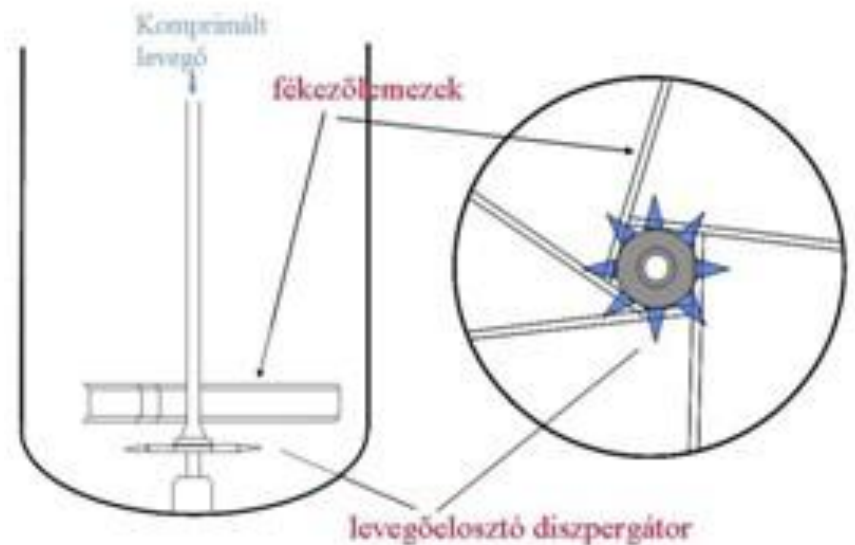
ELECTROLUX FERMENTOR

- alsó légbeszívású reaktor → levegőztetéshez komprimált levegőt kell felhasználni
- fordítóhenger a kényszeráramlás kialakítására
- átmenet a belső léccirkulációjú hurokreaktorok felé



VOGELBUSCH-FERMENTOR

- keverős reaktor továbbfejlesztett változata:
 - gáz/folyadék diszperzió
 - a keveredési viszonyok
 - az oxigénátadás javítása
- komprimált levegőt a keverőtengelyen vezetik a készülék alján levő keverőelemekbe
- a keverőelemek oldalán a forgási irányban lévő oldalon történik a buborékok kiáramlása
 - a gyorsan forgó keverőelemek diszpergálják
- fékezőlemez rendszer
- együttforgás megakadályozása
 - turbulencia fokozása
- elsősorban pékélesztőhöz



FRINGS ACETÁTOR

- felső légbeszívású reaktor → a turbina önbeszívó
- az önbeszívás csak kis viszkozitás fermentlevek esetén hatékony
- a reaktor mérete limitált
- kis levegőztetési hatékonyság
- magas oxigén-kihasználás
- élesztőgyártás
- alkoholból történő ecetgyártás



Frings Acetator
turbinája

Heinrich Frings GmbH & Co KG
Biological and Chemical Technology



Köszönjük a figyelmet!



KÉRDÉSEK

1. Kevert bioreaktorok előnyei/hátrányai!
2. Mik a keverés funkciói?
3. Milyen paramétereket változtathatunk aerob bioreaktorok tervezésénél?
4. Mitől függ a $K_L a$ és a C^* ?
5. Sorolja fel az aerob keverős bioreaktorokat és az egyiket jellemezze!



IRODALOMJEGYZÉK

- Sevelle Béla, Biomérnöki műveletek és folyamatok, 2011. Typotex Kiadó
- Juhász Tamás, Kevert bioreaktorok, 2001.

