
TENTAMEN I BIOREAKTIONSTEKNIK (KKR090)

Torsdag 18/12, 2013

08:30-13:30 Maskinsalarna

Tentamenstid = 5 h

Carl Johan Franzén kommer att besöka tentamenslokalen ca kl 09:30 och ca kl 11:30.

Examinator: Claes Niklasson

Tentamensansvarig: Carl Johan Franzén (0730-556851)

Lösningar kommer anslås på Kemitekniks anslagstavla, plan 2 forskarhus 2, vid tentamens sluttid.

Granskning av tentamensrättning kan ske tisdag 21/1 kl 13:30-15:00 i seminarierummet Industriell bioteknik / Systembiologi (plan 6 KB Forskarhus 1 över passagen till plan 3 i Fysikhuset).

Preliminära betygsgränser:

<30 p betyg U

~~30-39~~ p ³⁰⁻³⁸ betyg 3

~~40-49~~ p ³⁹⁻⁴⁷ betyg 4

~~50-60~~ p ⁴⁸⁻⁶⁰ betyg 5

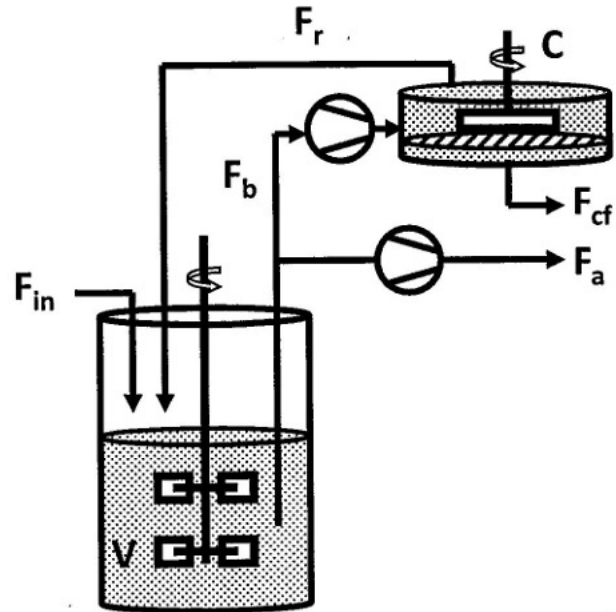
Tillåtna hjälpmedel: (Tömd) Räknedosa

Uppgift 1 (6 poäng)

- a) Vad karakteriserar ostrukturerade, biokemiskt strukturerade, osegregerade och segregerade kinetikmodeller för mikrobiell tillväxt och metabolism?
 - b) Hur bestämmer man kvaliteten på en kinetikmodell?
-

Uppgift 2 (12 poäng)

Recirkulering av celler i en kontinuerlig odling kan vara fördelaktigt i vissa fall, t.ex. om man vill uppnå mycket höga omsättningsgrader av substratet, eller ifall mediet innehåller inhiberande ämnen. Praktiskt kan detta utföras genom att man pumpar cellsuspensionen över ett filter, där cellfritt förbrukat medium tas ut (F_{cf}) och den kvarvarande cellsuspensionen återförs till bioreaktorn. För att hålla konstant volym tas en del av cellsuspensionen ut från bioreaktorn genom en avtappning (F_a).



Vid ett sådant försök var det färska inflödet till 0.2

liter/timme. Den totala volymen cellsuspension i bioreaktorn, recirkulationsloopen och filterenheten var 2.5 liter. 1% av det färska inflödet togs ut genom avtappningsflödet F_a .

Av flödet in till filtret (F_b) gick 90% av flödet, samt alla celler, tillbaka som recirkulerande flöde (F_r).

Cellerna växte enligt Monodkinetik, med $\mu_{max} = 0.2 \text{ h}^{-1}$ och $K_S = 0.2 \text{ g/l}$. Biomassautbytet på förbrukat substrat hade i ett annat försök visat sig vara $Y_{X/S} = 0.15 \text{ g/g}$.

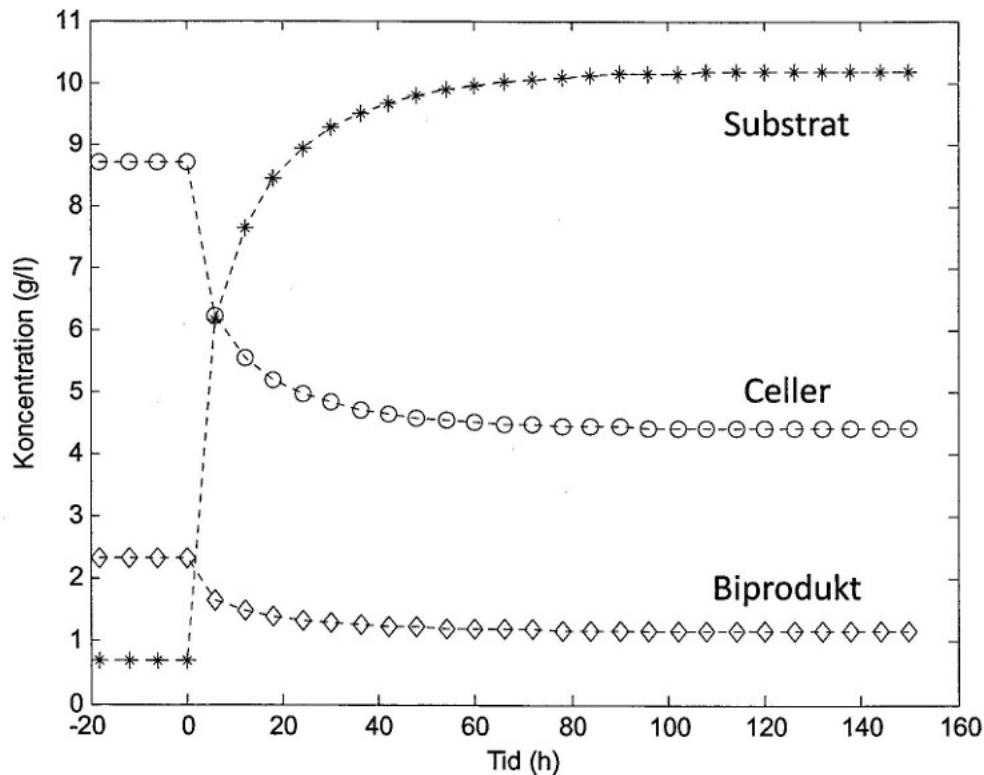
Förutsäg med denna bakgrund:

- Den specifika tillväxthastigheten vid steady state.
- Halterna av substrat och biomassa i reaktor samt i det recirkulerande flödet F_r .
- Vad skulle hända med den specifika tillväxthastigheten ifall man skulle öka F_a till 5% av F_{in} ?
- Vad skulle tillväxthastigheten, biomasshalten och substrathalten vara vid steady state ifall ingen recirkulation sker, dvs $F_a = F_{in}$?
- Vilka praktiska begränsningar tror du ett sådant odlingsystem har?
- Vad tror du skulle hända med biomassautbytet om F_a är väldigt låg? Varför?

(Förutsägelserna a-d måste förstås motiveras genom beräkningar)

Uppgift 3 (10 poäng)

Bilden nedan visar resultat från koncentrationsmätningar i en kontinuerlig odling i en omrörd bioreaktor (CSTR) med volymen 1 l. Vid tiden 0 h, ändras utspädningshastigheten D från 0.10 h^{-1} till 0.30 h^{-1} . Halten substrat i inflödet till bioreaktorn är 20 g/l . Cellerna kan antas växa enligt Monodkinetik.



- Beräkna ytbyteskoefficienter för celler ($Y_{X/S}$) och biprodukt ($Y_{P/S}$) på förbrukat substrat, i g/g. Biomassans askhalt är försumbart låg.
- Bestäm parametervärdena μ_{max} och K_S i Monodkinetiken
- Föreslå ett eller flera försök och utvärderingsmetoder som skulle kunna ge säkrare uppskattning av parametervärdena

Uppgift 4 (10 poäng)

Inflödes hastigheten till en isobar ideal tubreaktor är $20,0 \text{ m}^3 \text{ gas/h}$, bestående av $1/2$ acetylen och $1/2$ inert gas vid $555 \text{ }^\circ\text{C}$ och 20 bar . Vid denna temperatur polymeriseras acetylen enligt:



Reaktionen är ett andra ordningens förlopp med

$$R = k \cdot C_A^2$$

$$k = 6,1 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

Vilken reaktorvolym krävs för att åstadkomma 98% omsättning med avseende på acetylen?

Uppgift 5 (12 poäng)

Till en kontinuerlig omrörd bioreaktor ska tillföras 1 m^3 medium per timme. Mediet steriliseras först i en kontinuerlig tubreaktor, där det snabbt kan hettas upp till max 125°C . För att undvika oönskade reaktioner vill man dock hålla temperaturen så låg som möjligt.

- a) För avdödning av mikroorganismer i det aktuella mediet har följande experimentella satsvisa data uppmätts. Det visar sig att avdödningen kan anses vara ett första ordningens förlopp.

Bestäm aktiveringsenergin för hastighetskonstanten för avdödning (k_d) av mikroorganismer ur följande satsvisa steriliseringsförsök.

Tid (s)	Temperatur $^\circ\text{C}$	N antal/ m^3
0	100	$1.0 \cdot 10^8$
120	100	$4.7 \cdot 10^6$
0	120	$1.0 \cdot 10^8$
150	120	$3.1 \cdot 10^3$

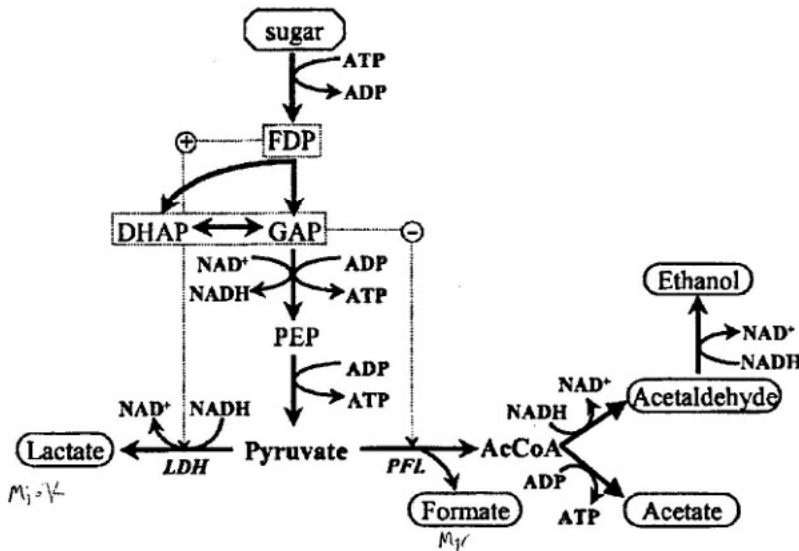
- b) Tubreaktorn har volymen 60 liter. För att ta reda på uppehållstidsfördelningen i reaktorn genomfördes ett spårämnesförsök, vars resultat sammanfattas i tabellen nedan.

Tid (min)	Konc hos spårämne
0	0
1	0
2	5
3	30
4	25
5	4
6	0

Beräkna vilken steriliseringstemperatur som garanterar att halten kontaminerande celler i inflödet till bioreaktorn blir maximalt 1 cell per liter medium, dvs $< 10^3$ celler / m^3 . Ange temperaturen i hela grader. Mediet kan anses bete sig som ett segregerat flöde. Precis som i de satsvisa försöken är antalet celler i det osteriliserade mediet $1 \cdot 10^8$ celler / m^3 .

Uppgift 6 (10 poäng)

Lactococcus lactis odlades i en anaerob kemostat med 10 g/l glukos i inflödet och med NH_3 som kvävekälla. Vid utspädningshastigheten $D=0.095 \text{ h}^{-1}$ uppvisade *L. lactis* s.k. mixed acid fermentation (se figur).



Följande halter uppmättes i bioreaktorn vid steady state:

Mjölksyra ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$): 19 mM

Myrsyra (CH_2O_2): 59 mM

Ättiksyra ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$): 41 mM

Etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$): 40 mM

Glukos ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$): $<0.05 \text{ g/l}$, under detektionsgränsen.

Askfri biomassa ($\text{CH}_{1.82}\text{O}_{0.55}\text{N}_{0.2}$): 0.81 g/l

- Man misstänker att det blivit ett fel i kvantifieringen av produkterna pga ett fel i en av standarderna. Kontrollera kol- och reduceringsgradsbalanserna och korrigera halterna så att båda balanserna uppfylls till minst 99%.
- Beräkna de specifika produktionshastigheterna av de fyra produkterna, i mmol/gh
- Förklara hur de observerade halterna och utbytena beror av varandra med hjälp av bilden ovan.

Formelsamling: Bioreaktionsteknik KKR090

Reaktionsomsättning

$$n_j = n_j^\circ + \sum v_{ij} \xi_i, \quad i = 1, 2, \dots, R$$

$$F_j = F_j^\circ + \sum v_{ij} R_i \quad R_i = \frac{d\xi_i}{dt}$$

Omsättningsgrad

$$F_j = F_j^\circ (1 - x_j), \quad x_j > 0 \quad \text{då } v_j < 0$$

Reaktionsentalpi

$$\Delta H = \sum v_j h_j = \sum v_j (\Delta H_f^\circ)_j$$

Medelmolvärme

$$\langle c_p \rangle = \left[1 / (T_2 - T_1) \right] \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$$

Reduceringsgrad $\gamma_i = 4 + a_i - 2b_i - (c_i/c_4) * (4d_4 + a_4 - 2b_4)$

Uppehållstidfördelning

$$\langle t \rangle = \int_0^1 t dF(t), \quad \langle t \rangle = \int_0^\infty t E(t) dt \quad \text{och} \quad \sigma_t^2 =$$

$$\int_0^\infty (t - \langle t \rangle)^2 E(t) dt$$

Pulsmetoden

$$E(t) = \frac{c_s}{\int_0^\infty c_s dt}$$

Stegmetoden

$$F(t) = \frac{C_s - C_{s0}}{C_{s1} - C_{s0}}$$

Ideal tankreaktor

$$E(t) = (1/\tau) \exp(-t/\tau)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-t/\tau)$$

Linjär process eller segregerat flöde

$$\langle c_j \rangle = \int_0^\infty c_j(t) E(t) dt$$

Spårämnesförsök öppen mätsträcka

$$\langle t \rangle = (L/v) [1 + 2(D_{ea}/vL)] \quad \text{och} \quad \sigma_t^2 / \langle t \rangle^2 = 2(D_{ea}/vL) + 8(D_{ea}/vL)^2$$

Spårämnesförsök slutna mätsträcka

$$\langle t \rangle = L/v \quad \text{och} \quad \sigma_t^2 / \langle t \rangle^2 = 2(D_{ea}/vL) - 2(D_{ea}/vL)^2 [1 - \exp(-vL/D_{ea})]$$

Jämförelse av ideal och reell reaktor för första ordningens förlopp

Vid given omsättningsgrad:

$$(V_{reell} / V_{ideal}) = 1 + k_1 \tau_{reell} \frac{D_{ea}}{v L_{reell}} \quad (\text{tom tub})$$

Vid lika reaktorvolym:

$$(1 - x)_{reell} / (1 - x)_{ideal} = 1 + (k_1 \tau)^2 (D_{ea} / vL) \quad (\text{tom tub})$$

Tankseriemodellen $\langle t \rangle = \tau, \quad N = \tau^2 / \sigma_t^2$