

# MATLAB-oefeningen

Jarne Van Meerbergen  
3de Ba Bio-ingenieurswetenschappen  
Biochemische Ingenieurstechnieken

5 mei 2009

## 1 Batchgroei met productvorming

We berekenen het verloop van de biomassa-, substraat- en productconcentratie gedurende de batchfermentatie (30 uur); met volgende massabalansen en kinetische vergelijkingen:

$$\frac{dS}{dt} = -\mu X/Y_{XS}$$

$$\frac{dP}{dt} = (k_1 + k_2\mu)X$$

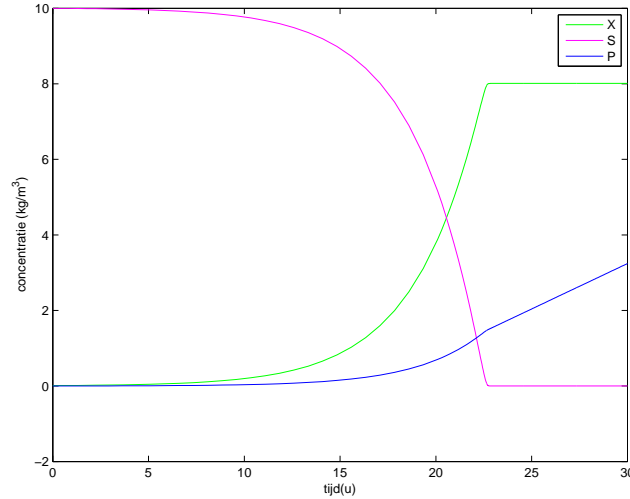
$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

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

Naarmate de biomassa sneller begint aan te groeien door opname van het substraat, zal de concentratie aan substraat ongeveer even snel –doch iets sneller ( $Y_{XS} < 1$ )– afnemen. Wanneer er geen substraat meer in de reactor aanwezig is, blijft de concentratie biomassa constant, aangezien er geen afsterving plaatsvindt. Vanaf dit punt wordt er overgeschakeld van een exponentiële naar een lineaire producttoename, aangezien de specifieke groeisnelheid 0 wordt:

$$\frac{dP}{dt} = k_1 X$$

Op figuur 1 is het verloop van de biomassa-, substraat- en productconcentratie gedurende de batchfermentatie over een tijdspanne van 30 uur weergegeven.



**Figuur 1:** Batchfermentatie

## 2 Fed-batchfermentatie

We berekenen het verloop van de biomassa-, substraat- en productconcentratie gedurende de batchfermentatie en de 22.5 uur later gestartte fed-batchfermentatie (77.5 uur); met volgende massabalansen en kinetische vergelijkingen:

$$D = F/V$$

$$\frac{dS}{dt} = S_f - DX$$

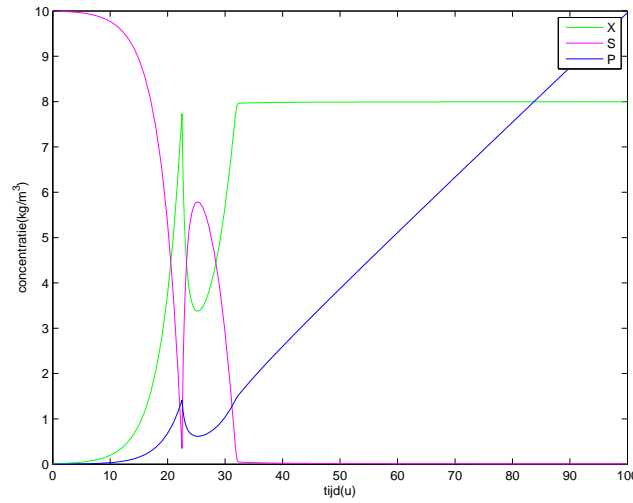
$$\frac{dP}{dt} = (k_1 + k_2\mu)X - DP$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - DX$$

$$\frac{dV}{dt} = F$$

Op figuur 2 zien we dat er in de eerste 22.5 uur, tussen de starttijd tot aan de overschakeling naar fed-batchfermentatie, er een karakteristiek batchfermentatie verloop van concentraties is. Na toepassing van een voedingsstroom tegen een constant debiet (fed-batch) stijgt de substraatconcentratie in de reactor terug, maar daalt de biomassa -en de productconcentratie kort door verdunning. Wanneer de biomassa echter terug begint aan te groeien zal zijn concentratie en bijgevolg die van het product exponentieel toenemen,

tot steady-state wordt bereikt. Op dit punt wordt het toegevoegd substraat direct opgenomen door de biomassa en heft de aangroei van biomassa de verdunning door de voedingsstroom op, waardoor de concentratie aan biomassa een constante waarde blijft aanhouden. In de vergelijking van de productconcentratie zitten echter nog 2 snelheidsconstanten ( $k_1$  en  $k_2$ ), waardoor het verloop van deze niet constant wordt maar lineair blijft.



**Figuur 2:** Fed-batchfermentatie

### 3 De chemostaat

We berekenen het verloop de biomassa-, substraat- en productconcentratie gedurende de fermentatie in een continue bioreactor (chemostaat). Voor de eerste 5 uur is er een transiënte opstart (dilutiesnelheid =  $0 \text{ h}^{-1}$ ) en hierna wordt er een in- en uitlaatdebiet voorzien, welke even hoog zijn (steady-state). Het verloop wordt berekend voor 3 dilutiesnelheden voor de debieten:  $0.25$ ,  $0.30$  en  $0.35 \text{ h}^{-1}$ , respectievelijk zijn deze geplot op figuur 3 van boven naar onder. De eerste 5 uur is er op elke figuur een typisch batchfermentatie verloop te zien.

$$\frac{dS}{dt} = D(S_f - S) - q_S$$

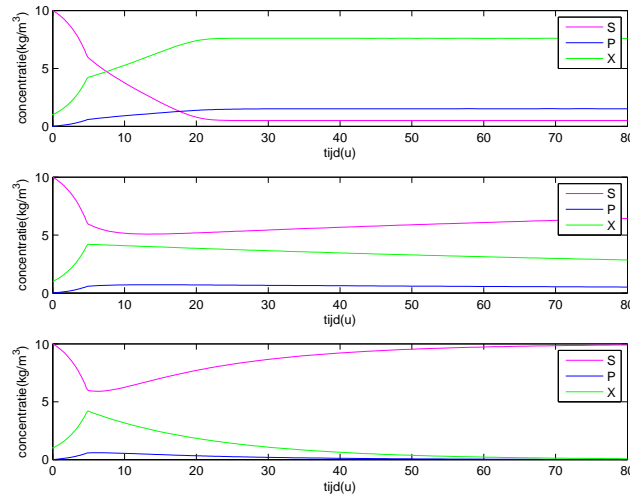
$$\frac{dP}{dt} = q_P - DP$$

$$\frac{dX}{dt} = q_X - DX$$

Op de bovenste figuur zien we dat de stationaire toestand snel bereikt wordt

en de biomassaconcentratie relatief hoog ligt tov de andere concentraties. Het in- en uitlaatdebiet is voldoende hoog om de biomassa van voldoende substraat te voorzien en laag genoeg om er voor te zorgen dat de biomassa niet te snel uit de reactor verdwijnt. Hierdoor ligt de productaanmaak hoger dan deze voor de andere dilutiesnelheden en is dit dus het te verkiezen systeem.

Op de volgende figuren zien we dat, door verhoging van de dilutiesnelheden, de biomassa te snel uit het systeem verdwijnt. Hierdoor stapelt het substraat zich op en wordt er minder tot geen (bij uitspoeling van de biomassa) product aangemaakt.



**Figuur 3:** Chemostaat

## 4 Continue bioreactor met celrecyclage

We berekenen het verloop van de levende cellen-, totale biomassa-, substraat- en productconcentratie gedurende de fermentatie (40 uur) van glucose tot melkzuur, in een 2-trapsmembraanrecycle-bioreactor. We doen dit zowel voor het eerste als voor het tweede reactorvat. Dit doen we mbv volgende balansen en kinetische vergelijkingen:

$$\mu_i = \mu_{max} \frac{S_i}{K_S + S_i} \frac{K_P}{K_P + P_i}$$

$$k_{d,i} = k_{d0}(1 + aP_i)$$

$$r_{s,i;p,i} = \frac{\mu}{\gamma_{s,p} + \delta_{s,p}\mu}$$

• **Reactorvat 1:**

$$\frac{dS_1}{dt} = (F_1 S_{f,1} - B_1 F_1 S_1)/V_1 - r_{s,1} X_1$$

$$\frac{dP_1}{dt} = (F_1 P_{f,1} - B_1 F_1 P_1)/V_1 + r_{p,1} X_1$$

$$\frac{dX_1}{dt} = \mu_1 X_1 - B_1 F_1 X_1/V_1 - k_{d,1} X_1$$

$$\frac{dX_{tot,1}}{dt} = \mu_1 X_1 - B_1 F_1 X_{tot,1}/V_1$$

• **Reactorvat 2:**

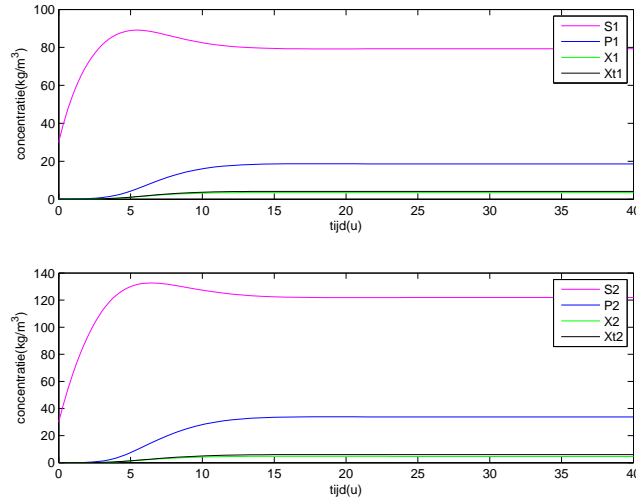
$$\frac{dS_2}{dt} = (B_1 F_1 S_1 + F_2 S_{f,2} - B_2(B_1 F_1 + F_2) S_2)/V_2 - r_{s,2} X_2$$

$$\frac{dP_2}{dt} = (B_1 F_1 P_1 + F_2 P_{f,2} - B_2(B_1 F_1 + F_2) P_2)/V_2 + r_{p,2} X_2$$

$$\frac{dX_2}{dt} = (B_1 F_1 X_1 - B_2(B_1 F_1 + F_2) X_2)/V_2 - k_{d,2} X_2 + \mu_2 X_2$$

$$\frac{dX_{tot,2}}{dt} = (B_1 F_1 X_{tot,1} - B_2(B_1 F_1 + F_2) X_{tot,2})/V_2 + \mu_2 X_2$$

De bovenste figuur geeft het verloop van de concentraties weer voor het eerste reactorvat, de onderste doet dit voor het tweede reactorvat. Beide reactorvaten geven eenzelfde verloop weer voor de concentraties met als enig verschil dat de substraat- en productconcentratie in het tweede reactorvat groter is.

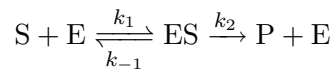


**Figuur 4:** Continue bioreactor met celrecyclage

Dit is omdat dit vat een extra input van substraat, product en biomassa krijgt afkomstig van het eerste vat. De biomassaconcentratie ligt echter niet hoger, omdat de specifieke afstervingsconstante  $k_{d,2}$  rekening houdt met de hogere productieconcentratie in dit vat. Wanneer steady-state bereikt is is de groei van de biomassa gelijk aan de som van de sterfte en wat uit de reactor stroomt. Met de constante biomassaconcentratie wordt bijgevolg een constante productaanmaak en substraatopname bereikt. De totale concentratie aan biomassa bereikt ook een stationaire toestand, daar het ingangsdebiet en de groei compenseren voor het uitlaatdebiet en de afsterving.

## 5 Enzymkinetiek

We berekenen het verloop van de enzym-, enzymcomplex-, substraat- en productconcentratie gedurende de batchfermentatie (1000 sec). We stellen de balansen op adhv de enzymkinetiek:



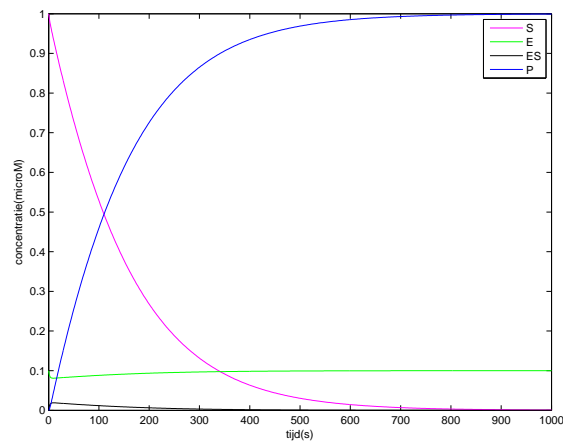
- **Balansen:**

$$\frac{dS}{dt} = k_{-1}ES - k_1 \cdot E \cdot S$$

$$\frac{dE}{dt} = (k_{-1} + k_2)ES - k_1 \cdot E \cdot S$$

$$\frac{dES}{dt} = k_1 \cdot E \cdot S - (k_{-1} + k_2)ES$$

$$\frac{dP}{dt} = k_2ES$$



**Figuur 5:** Enzymkinetiek

Op figuur 5 zien we duidelijk de Michaelis-Menten-Kinetiek waaraan de enzymreacties gehoorzamen. Aangezien in het begin de substraatconcentratie het hoogst is, verloopt de omzetting naar product door de enzymen het snelst. Door omzetting van substraat naar product daalt de substraatconcentratie, waardoor de reactiesnelheid afneemt. Dit is een verklaring voor de steeds tragere toe- en afname van respectievelijk de product- en substraatconcentratie, wanneer de reactie vordert.

Door de hoge substraatconcentratie bij aanvang is er op dat moment dan ook een lichte stijging van de enzymcomplexconcentratie, gepaard met een lichte daling in de enzymconcentratie. Naarmate de curve die de substraatconcentratie voorstelt afvlakt, maw wanneer de substraatconcentratie veel lager wordt (relatief vroeg in de reactieperiode), streeft de enzymconcentratie terug zijn initiële concentratie en wordt de enzymcomplexconcentratie bijgevolg terug 0.

## 6 Populatiodynamica van een roofdier-prooi-systeem

We berekenen het verloop de biomassa-, substraat- en productconcentratie gedurende de fermentatie (500 uur) in een chemostaat, vanaf de transiënte opstart. De biomassa is een gemengde populatie bestaande uit 2 organismen. Organisme 1 voedt zich met het substraat terwijl organisme 2 zich met organisme 1 voedt. We gebruiken volgende balansen en kinetische vergelijkingen:

$$\mu_1 = \frac{\mu_{max,1}S_1}{K_1+S_1}$$

$$\mu_2 = \frac{\mu_{max,2}X_1}{K_1+X_1}$$

$$\frac{dS}{dt} = D \cdot S_f - \frac{\mu_1}{Y_{XS,1}}X_1 - D \cdot S$$

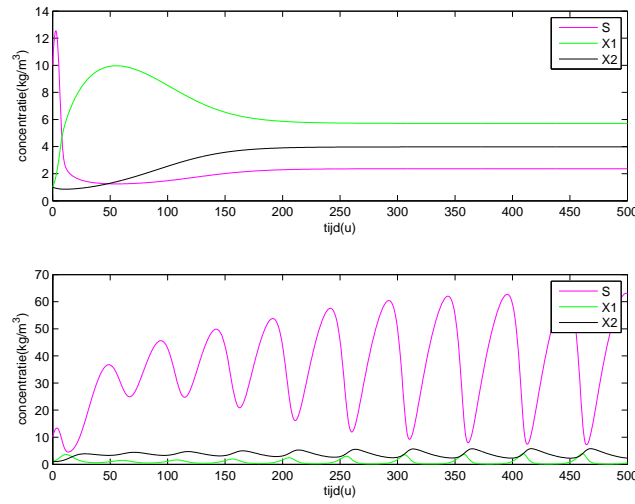
$$\frac{dX_1}{dt} = \mu_1 \cdot X_1 - \frac{\mu_2}{Y_{XS,2}}X_2 - D \cdot X_1$$

$$\frac{dX_2}{dt} = \mu_2 \cdot X_2 - D \cdot X_2$$

De bovenste figuur geeft het verloop van de concentraties weer wanneer we  $\mu_{max,2}=0.11 \text{ h}^{-1}$  nemen en de onderste doet dit voor  $\mu_{max,2}=0.49 \text{ h}^{-1}$ . Op de bovenste figuur zien we een normaal verloop van concentraties voor een continue reactor, aangezien een steady-state toestand wordt bereikt voor alle concentraties. Hieruit kunnen we besluiten dat de parameters voor de fermentatie goed gekozen zijn.

Op de onderste figuur zien we dat de reactie bij toepassing van de gekozen parameters ( $\mu_{max,2}=0.49 \text{ h}^{-1}$ ) uit de hand loopt en dat we te maken heb-

ben met een onstabiele reactor. Het verloop van de concentratie volgt de dynamica van een onstabiel prooi-predator-systeem, aangezien de maximale groeisnelheid van de predator (organisme 2) bij benadering gelijk is aan deze van de prooi (organisme 1 met  $\mu_{max,1}=0.50 \text{ h}^{-1}$ ). Hierdoor neemt de predatorconcentratie te snel toe waardoor de prooiconcentratie snel daalt, waarna bijgevolg de predatorconcentratie zakt en de prooiconcentratie terug kan stijgen. Dit verhaal herhaalt zich en verklaart het periodiek verloop van de concentraties.



**Figuur 6:** Chemostaat met 2 organismen

## 7 Nitrificatie in een actief-slibproces

We berekenen het verloop van de biomassa- en substraatconcentratie gedurende een actief-slibproces (20 uur), zowel voor de reactor (groei mogelijk) als voor de bezinkingstank (geen groei). De biomassa bestaat uit heterotrofe ( $X_h$ ) en nitrificerende biomassa ( $X_n$ ) dewelke zich voeden op respectievelijk het organisch (S) en ammoniumsubstraat (A). We gebruiken volgende kinetische vergelijkingen en massabalansen:

$$q_h = \mu_h X_h = \frac{\mu_{max,1} S X_h}{K_h + S}$$

$$q_n = \mu_n X_n = \frac{\mu_{max,2} A X_n}{K_n + A}$$



• **Reactor (1):**

$$\frac{dS}{dt} = (S_0F_0 - S_1F_1 + S_2F_2)/V_1 - \frac{q_h}{Y_h}$$

$$\frac{dA}{dt} = (A_0F_0 - A_1F_1 + A_2F_2)/V_1 - \frac{q_n}{Y_n}$$

$$\frac{dX_h}{dt} = q_h + (F_2X_{h,2} - F_1X_{h,1})/V_1$$

$$\frac{dX_n}{dt} = q_n + (F_2X_{n,2} - F_1X_{n,1})/V_1$$

• **Bezinkingstank (2):**

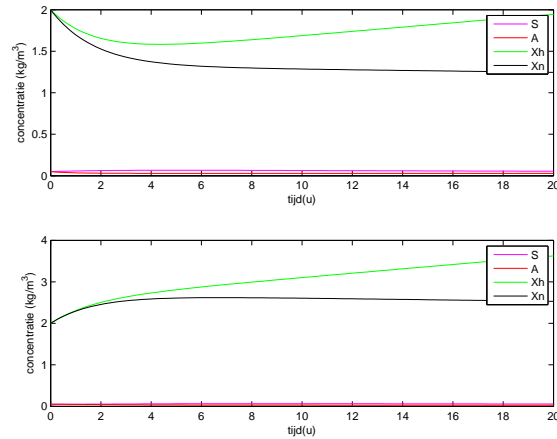
$$\frac{dS}{dt} = (F_1S_1 - F_3S_2 - F_4S_2)/V_2$$

$$\frac{dA}{dt} = (F_1A_1 - F_3A_2 - F_4A_2)/V_2$$

$$\frac{dX_h}{dt} = (F_1X_{h,1} - F_3X_{h,2})/V_2$$

$$\frac{dX_n}{dt} = (F_1X_{n,1} - F_3X_{n,2})/V_2$$

Op figuur 7 stelt de bovenste grafiek het verloop van de concentraties voor in de reactor, de onderste grafiek doet dit voor de bezinkingstank. Wat eerst opvalt is dat de concentratie van zowel het organisch als ammoniumsubstraat zeer laag blijft. Dit wil zeggen dat alle parameters voor het actief-slibproces goed gekozen zijn en dat het systeem goed functioneert. We zien ook dat de concentratie van de heterotrofe biomassa niet al te sterk toeneemt en die van de nitrificerende biomassa niet al te sterk daalt, waaruit we kunnen vaststellen dat het slibuitlaatdebiet ( $F_5=F_2-F_2$ ) goed gekozen is.



**Figuur 7:** Nitrificatie

De concentratie van de heterotrofe biomassa in de reactor zal sneller stijgen dan in de bezinkingstank aangezien er in de reactor groei mogelijk is en in de bezinkingstank niet. Voor de nitrificerende biomassa geeft dit het omgekeerde effect. Aangezien de groei van de nitrificerende bacteriën veel trager is dan die van de heterotrofe, wordt de nitrificerende biomassa langzaam maar zeker uit het systeem gespoeld door de hoge afvaldebieten (vereist bij hoge organische beladingen). Doordat er groei in de reactor plaatsvindt wordt dit effect deels gecompenseerd, waardoor de nitrificerende biomassa minder snel uit de reactor verdwijnt dan uit de bezinkingstank.

## A Broncodes

```
% runoef1.m
clc; clf;
y0=[0.01 10 0];
span=[0 30];
[t y]=ode45(@oef1,span,y0);
plot(t,y(:,1),'g-',t,y(:,2),'m-',t,y(:,3),'b-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie (kg/m^3)')
legend('X','S','P')
print -painters -dpdf -r600 oef1.pdf
```

```
% oef1.m
function ydot=oef1(t,y)
X=y(1);
S=y(2);
P=y(3);
mumax=0.3;
Ks=0.1;
k1=0.03;
k2=0.08;
Yxs=0.8;
mu=mumax*(S/(Ks+S));
ydot=[mu*X
      -(mu*X)/Yxs
      (k1+k2*mu)*X]
```

---

```
%runoef2.m
clc; clf;
y0=[1 0.01 10 0]
span=[0 100]
[t y]=ode45(@oef2,span,y0)
plot(t,y(:,2),'g-',t,y(:,3),'m-',t,y(:,4),'b-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('X','S','P')
print -painters -dpdf -r600 oef2.pdf
```

```
% oef2.m
function ydot=oef2(t,y)
V=y(1);
X=y(2);
S=y(3);
```

```

P=y(4);
mumax=0.3;
Ks=0.1;
k1=0.03;
k2=0.08;
Yxs=0.8;
Sf=10;
if t<22.5
    F=0;
else
    F=1.5;
end
mu=mumax*(S/(Ks+S));
qx=mu*X;
qs=qx/Yxs;
qp=(k1+k2*mu)*X;
ydot=[F
      qx-X*F/V
      Sf*F/V-qs-S*F/V
      qp-P*F/V]

```

---

```

% runoef3.m
clc; clf;
y0=[10 0 1 10 0 1 10 0 1];
span=[0 80];
[t y]=ode45(@oef3,span,y0);
subplot(3,1,1)
plot(t,y(:,1),'m-',t,y(:,2),'b-',t,y(:,3),'g-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S','P','X')
subplot(3,1,2)
plot(t,y(:,4),'m-',t,y(:,5),'b-',t,y(:,6),'g-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S','P','X')
subplot(3,1,3)
plot(t,y(:,7),'m-',t,y(:,8),'b-',t,y(:,9),'g-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S','P','X')
print -painters -dpdf -r600 oef3.pdf

% oef3.m

```

```

function ydot=oef3(t,y)
S=y(1);
P=y(2);
X=y(3);
S1=y(4);
P1=y(5);
X1=y(6);
S2=y(7);
P2=y(8);
X2=y(9);
mumax=0.3;
Ks=0.1;
k1=0.03;
k2=0.08;
Yxs=0.8;
Sf=10;
if t<5
    D=0;
    D1=0;
    D2=0;
else
    D=0.25; %0.3 en 0.35
    D1=0.3;
    D2=0.35;
end
mu=mumax*(S/(Ks+S));
qx=mu*X;
qs=qx/Yxs;
qp=(k1+k2*mu)*X;
mu1=mumax*(S1/(Ks+S1));
qx1=mu1*X1;
qs1=qx1/Yxs;
qp1=(k1+k2*mu1)*X1;
mu2=mumax*(S2/(Ks+S2));
qx2=mu2*X2;
qs2=qx2/Yxs;
qp2=(k1+k2*mu2)*X2;
ydot=[D*(Sf-S)-qs
      -D*P+qp
      -D*X+qx
      D1*(Sf-S1)-qs1
      -D1*P1+qp1
      -D1*X1+qx1
      D2*(Sf-S2)-qs2

```

```

-D2*P2+qp2
-D2*X2+qx2]

```

---

```

%runoef4.m
clc; clf;
y0=[30 0 0.01 0.01 30 0 0 0];
span=[0 40];
[t y]=ode45(@oef4,span,y0);
subplot(2,1,1)
plot(t,y(:,1),'m-',t,y(:,2),'b-',t,y(:,3),'g-',t,y(:,4),'k-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S1','P1','X1','Xt1')
subplot(2,1,2)
plot(t,y(:,5),'m-',t,y(:,6),'b-',t,y(:,7),'g-',t,y(:,8),'k-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S2','P2','X2','Xt2')
print -painters -dpdf -r600 oef4.pdf

% oef4.m
function ydot=oef4(t,y)
S1=y(1);
P1=y(2);
X1=y(3);
Xt1=y(4);
S2=y(5);
P2=y(6);
X2=y(7);
Xt2=y(8);
mumax=1.6;
Ks=0.22;
Kp=9.5;
kd0=0.08;
a=0.0065;
gamma=0.13;
gamma_p=0.2;
delta_tau=0.128;
delta_tau_p=0.04;
V1=1;
V2=V1;
F1=1.5;
F2=F1;
D1=F1/V1;

```

```

D2=F2/V2;
B1=0.3;
B2=B1;
Pf1=0;
Pf2=Pf1;
Sf1=30;
Sf2=Sf1;
mu1=mumax*(S1/(Ks+S1))*(Kp/(Kp+P1));
mu2=mumax*(S2/(Ks+S2))*(Kp/(Kp+P2));
kd1=kd0*(1+a*P1);
kd2=kd0*(1+a*P2);
rs1=mu1/(gammas+mu1*deltas);
rs2=mu2/(gammas+mu2*deltas);
rp1=mu1/(gammap+mu1*deltap);
rp2=mu2/(gammas+mu2*deltap);
ydot=[D1*Sf1-B1*D1*S1-rs1*X1
      D1*Pf1-B1*D1*P1+rp1*X1
      mu1*X1-B1*D1*X1-kd1*X1
      mu1*X1-B1*D1*Xt1
      B1*F1*S1/V2+D2*Sf2-B2*(B1*F1+F2)*S2/V2-rs2*X2
      B1*F1*P1/V2+D2*Pf2-B2*(B1*F1+F2)*P2/V2+rp2*X2
      B1*F1*X1/V2+mu2*X2-B2*(B1*F1+F2)*X2/V2-kd2*X2
      B1*F1*Xt1/V2+mu2*X2-B2*(B1*F1+F2)*Xt2/V2]

%runoef5.m
clc; clf;
y0=[1.0 0.1 0 0];
span=[0 1000];
[t y]=ode45(@oef5,span,y0);
plot(t,y(:,1),'m-',t,y(:,2),'g-',t,y(:,3),'k-',t,y(:,4),'b-')
xlabel('tijd(s)')
ylabel('concentratie(microM)')
legend('S','E','ES','P')
print -painters -dpdf -r600 oef5.pdf

% oef5.m
function ydot=oef5(t,y)
S=y(1);
E=y(2);
ES=y(3);
P=y(4);
k1=0.1;
k_1=0.1;
k2=0.3;

```

```

ydot=[-k1*S*E+k_1*ES
      -k1*S*E+k_1*ES+k2*ES
      k1*S*E-k_1*ES-k2*ES
      k2*ES]

```

---

```

%runoef6.m
clc; clf;
y0=[10 1 1 10 1 1];
span=[0 500];
[t y]=ode45(@oef6,span,y0);
subplot(2,1,1)
plot(t,y(:,1),'m-',t,y(:,2),'g-',t,y(:,3),'k-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S','X1','X2')
subplot(2,1,2)
plot(t,y(:,4),'m-',t,y(:,5),'g-',t,y(:,6),'k-')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie(kg/m^3)')
legend('S','X1','X2')
print -painters -dpdf -r600 oef6.pdf

% oef6.m
function ydot=oef6(t,y)
S=y(1);
X1=y(2);
X2=y(3);
S1=y(4);
X11=y(5);
X21=y(6);
D=0.04;
Sf=100;
Y1=0.14;
Y2=0.5;
K=10;
mumax1=0.5;
mumax2=0.11;%0.49
mumax21=0.49;
mu1=(mumax1*S)/(K+S);
mu11=(mumax1*S1)/(K+S1);
mu2=(mumax2*X1)/(K+X1);
mu21=(mumax21*X11)/(K+X11);
ydot=[D*Sf-(mu1/Y1)*X1-D*S
      mu1*X1-(mu2/Y2)*X2-D*X1

```



```

mu2*X2-D*X2
D*Sf-(mu11/Y1)*X11-D*S1
mu11*X11-(mu21/Y2)*X21-D*X11
mu21*X21-D*X21]

```

---

```

% runoef7.m
clc; clf;
y0=[0.05 0.05 2 2 0.05 0.05 2 2];
span=[0 20];
[t y]=ode45(@oef7,span,y0);
subplot(2,1,1)
plot(t,y(:,1),'m-',t,y(:,2),'r-',t,y(:,3),'g-',t,y(:,4),'k-')
legend('S','A','Xh','Xn')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie (kg/m^3)')
subplot(2,1,2)
plot(t,y(:,5),'m-',t,y(:,6),'r-',t,y(:,7),'g-',t,y(:,8),'k-')
legend('S','A','Xh','Xn')
xlabel('tijd(u)')
ylabel('concentratie (kg/m^3)')
print -painters -dpdf -r600 oef7.pdf

% oef7.m
function ydot=oef7(t,y)
S1=y(1);
A1=y(2);
XH1=y(3);
XN1=y(4);
S2=y(5);
A2=y(6);
XH2=y(7);
XN2=y(8);
V1=100;
V2=100;
R=0.95;
C=2;
F0=20;
S0=1;
A0=0.1;
mumH=0.5;
mumN=0.04;
KH=0.5;
KN=1;
YH=0.5;

```

```

YN=0.1;
F2=F0*R;
F1=F0*R+F0;
F3=F1/C;
F4=F1-F3;
F5=F3-F2;
qH=mumH*S1*XH1/(KH+S1);
qN=mumN*A1*XN1/(KN+A1);
ydot=[F0*S0/V1-qH/YH-F1*S1/V1+F2*S2/V1
      F0*A0/V1-qN/YN-F1*A1/V1+F2*A2/V1
      qH+(F2*XH2-F1*XH1)/V1
      qN+(F2*XN2-F1*XN1)/V1
      (F1*S1-F3*S2-F4*S2)/V2
      (F1*A1-F3*A2-F4*A2)/V2
      (F1*XH1-F3*XH2)/V2
      (F1*XN1-F3*XN2)/V2];

```

---