

**SNOVNE in
ENERGIJSKE
BILANCE**

MODELIRANJE PROCESOV

- Matematični modeli nam med drugim omogočajo spoznavanje procesov ter vpliv parametrov modela na potek procesnih spremenljivk.
- Z modelom poskušamo opisati realno in praviloma zelo kompleksno dogajanje s poenostavljenimi in razumljivimi fizikalnimi analogijami v obliki matematičnih enačb

TEMELJI MODELA

Naravni zakoni

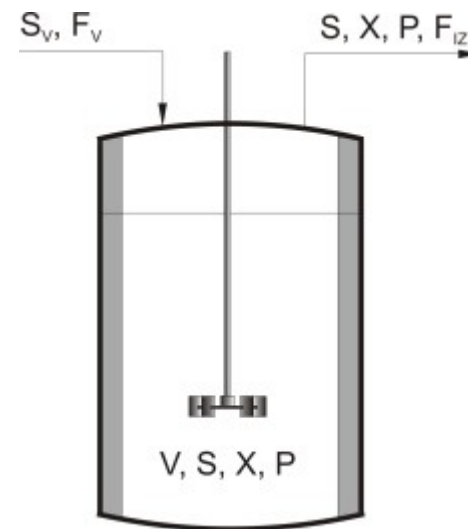
- ohranitvena načela
- termodinamska načela

Konstitutivne zveze

Obratovalni pogoji

MODELIRANJE

- Definiranje sistema
 - meje sistema in okolje
- Določitev odvisnih in neodvisnih spremenljivk



Prikaz procesnih spremenljivk pri idealno pomešanem mešalnem bioreaktorju z vtokom in iztokom.

Načelo ohranitve

Termodinamika temelji na dveh pomembnih načelih, imenovanih prvi in drugi zakon termodinamike.

- Čeprav ju označujemo kot zakona, nista dokazljiva in predstavljata aksioma. Njuna veljavnost temelji na dejstvu, da trditve zakonov ali izpeljav teh zakonov nikoli niso bile eksperimentalno ovržene.

PRVI ZAKON TERMODINAMIKE

→ opredeljuje različne oblike energije ter njihovo pretvarjanje v delo in toploto in obratno

DRUGI ZAKON TERMODINAMIKE

→ se ukvarja s smerjo poteka spontanah sprememb procesa

Prvi zakon torej izraža načelo o ohranitvi energije.

Energija znotraj termodinamsko izoliranega sistema se ohranja, čeprav lahko spreminja svojo obliko. Tudi **masa** in **gibalna količina** v sistemu predstavljata ohranitveni količini v kateremkoli prostoru.

Ekstenzivne in intenzivne količine

- Ekstenzivne količine sistema so tiste, ki so odvisne od velikosti sistema - **prostornina V** in **masa M** (že sami po sebi opredeljujeta velikost sistema), **notranja energija U** , **entalpija H** , **prosta energija A** in **prosta entalpija G** .
- Intenzivne količine niso odvisne od obsega sistema. Tipične intenzivne količine so **temperatura T** , **tlak P** , **gostota ρ** in **sestava x** .
- Medtem ko ima določen sistem neko maso, energijo ali gibalno količino, se lahko vrednosti intenzivnih količin znotraj sistema spreminjajo od točke do točke.

SPREMENLJIVKE

- Neodvisne spremenljivke

- čas,
- dimenzije

- Odvisne spremenljivke (lahko postanejo neodvisne)

T, V, X, S, P, pH, pO₂ itd.

- Pri modeliranju procesov ponavadi obravnavamo **ODPRTE** termodinamske sisteme (**masa, energija in gibalna količina** prosto prehajajo preko mejne površine sistema) pa tudi **ZAPRTE** sisteme (le transport **energije** v obliki dela in toplote preko mej, npr. šaržni reaktor s hladilno kačo).
- Za takšen sistem, ki ga predstavlja neko območje prostornine V in pripadajoče mejne površine, zapišimo z besedami **splošno ohranitveno enačbo za poljubno ekstenzivno spremenljivko**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Akumulacija} \\ \text{ekstenzivne} \\ \text{količine} \\ \text{v sistemu} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Vtok} \\ \text{količine} \\ \text{v sistem} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Iztok} \\ \text{količine} \\ \text{iz sistema} \end{array} \right\} \\
 + \left\{ \begin{array}{l} \text{Tvorba} \\ \text{količine} \\ \text{v sistemu} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Poraba} \\ \text{količine} \\ \text{v sistemu} \end{array} \right\}$$

SPLOŠNA MASNA BILANCA

- Diferencialna oblika:

(hitrost akumulacije) = (hitrost vtoka) – (hitrost iztoka) +
(hitrost nastajanja) – (hitrost porabe)

$$\frac{d(V \cdot C)}{dt} = F_v \cdot C_v - F_{iz} \cdot C_{iz} \pm r(C) \cdot V$$

hitrost
reakcije
(kg/m³h)

VRSTE SNOVNIH BILANC

- Diferencialna snovna bilanca

Temelji na hitrostih (kg/h)

- Integralna masna bilanca

Temelji na količini mase (kg)

Poenostavitev masne bilance:

V primeru stacionarnega stanja je akumulacija = 0

Diferencialna oblika:

hitrost vtoka + hitrost nastajanja = hitrost izstopa + hitrost porabe

Integralna oblika:

masa na vstopu + nastala masa = masa na izstopu + porabljena masa

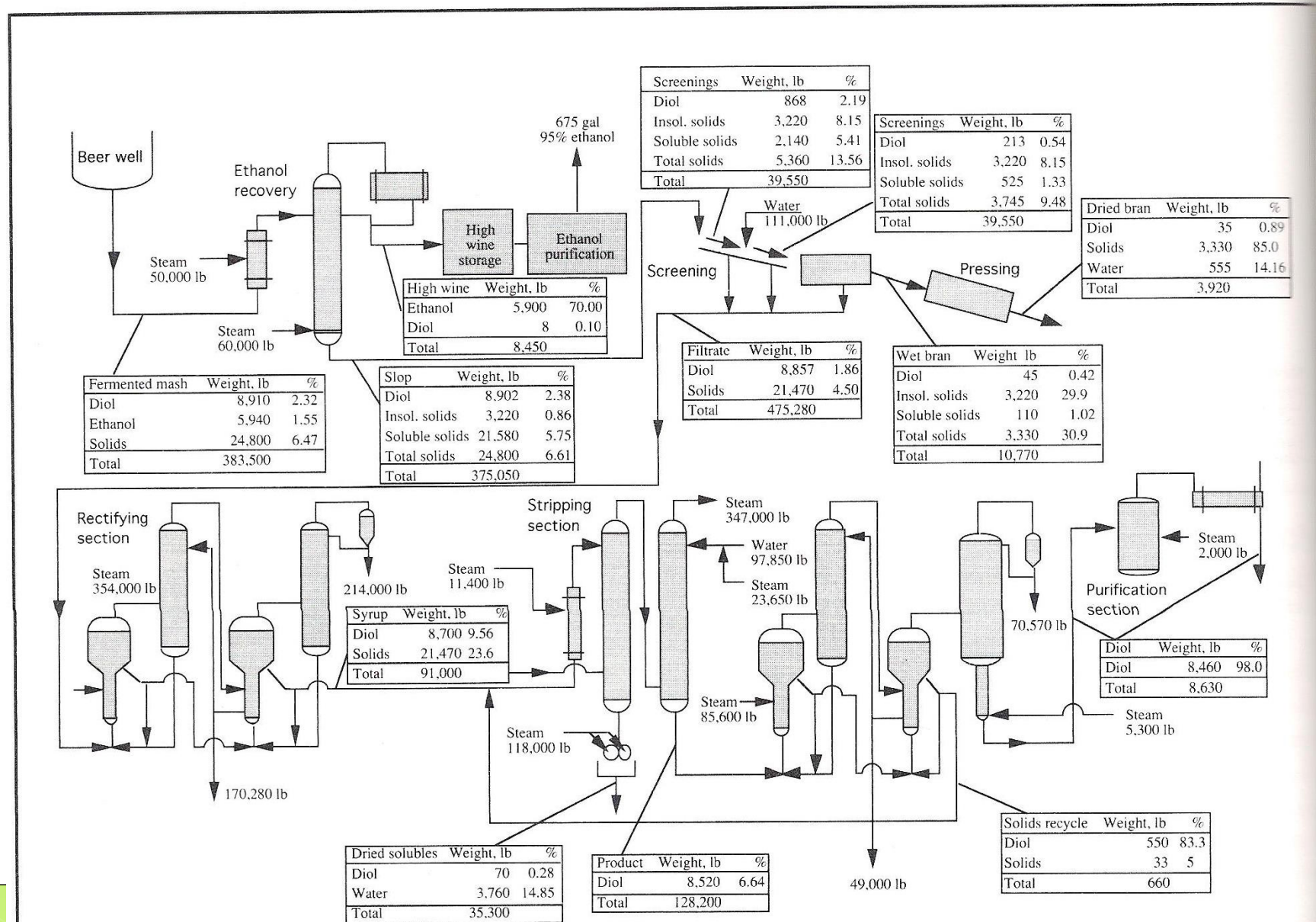
Če ni reakcije:

masa na vstopu = masa na izstopu

Pristop k postavitvi modela

- Izris sheme sistema z vsemi vtoki in iztoki ter ostalimi podatki
- Izbor sistema enot (poenotenje!)
- Izbor vrste bilance (diferencialna, integralna)
- Izbor konstitutivnih zvez
- Izbor predpostavk

Figure 3.14 Quantitative flowsheet for the downstream processing of 2,3-butanediol based on fermentation of 1000 bushels of wheat per day by *Aerobacillus polymyxa*. (From J.A. Wheat, J.D. Leslie, R.V. Tomkins, H.E. Mitton, D.S. Scott and G.A. Ledingham, 1948, Production and properties of 2,3-butanediol, XXVIII: Pilot plant recovery of *levo*-2,3-butanediol from whole wheat mashes fermented by *Aerobacillus polymyxa*, *Can. J. Res.* 26F, 469–496.)



Primer 1

- Kontinuirni proces čiščenja odpadne vode. Vsak dan vstopa 10^5 kg celuloze in 10^3 kg bakterij, izstopa pa 10^4 kg celuloze in $1,5 \cdot 10^4$ kg bakterij. Hitrost porabe celuloze je $7 \cdot 10^4$ kg/dan. Hitrost rasti bakterij je $2 \cdot 10^4$ kg/dan; hitrost odmiranja bakterij je $5 \cdot 10^2$ kg/dan. Zapišite bilanci za celulozo in za bakterije v sistemu.

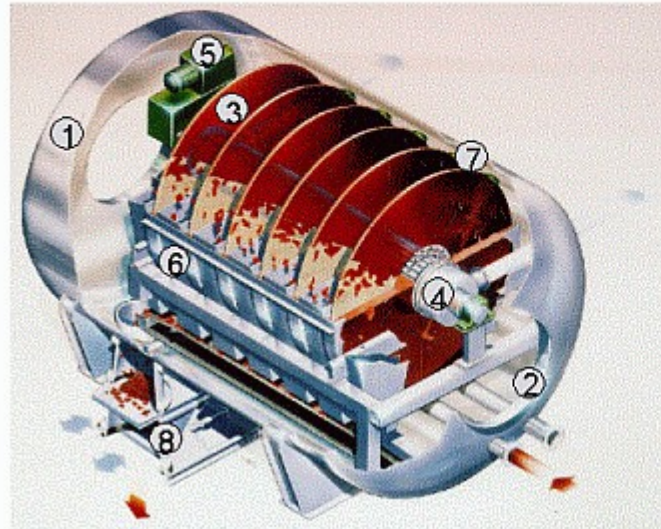
Akumulacija: $2 \cdot 10^4$ kg/dan celuloze, $5,5 \cdot 10^3$ kg/dan bakterij

Primer 2:

Industrijska filtracija – vakuumski filter

vakuumski filtri z rotirajočim bobnom

- notranja sesalna komora razdeljena na več prekatov
- celotna notranjost bobna vakuumska sesalna komora

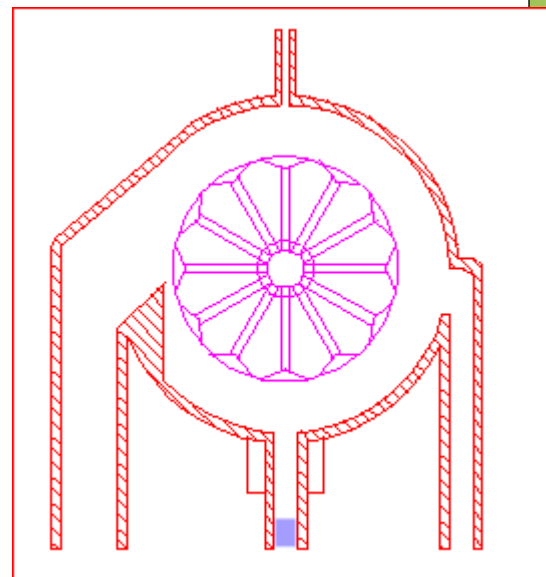
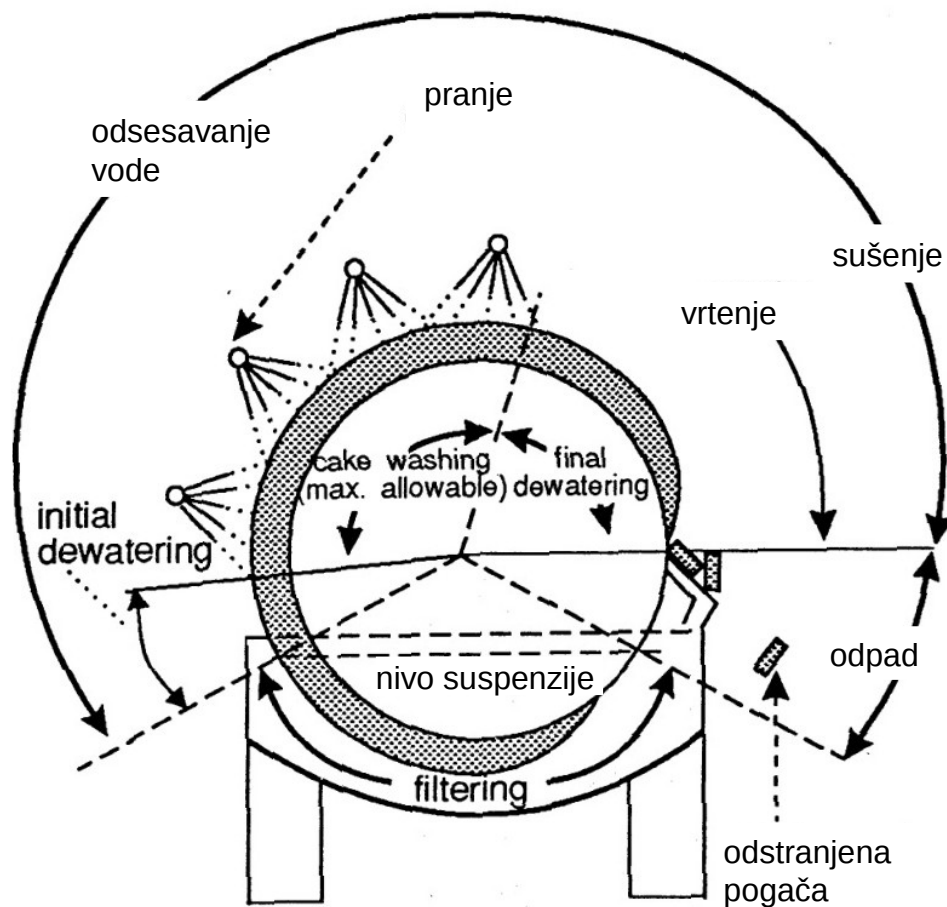


- 1 - Pressure Vessel
- 2 - Manhole
- 3 - Filterdisk
- 4 - Control head
- 5 - Filter drive
- 6 - Filter trough
- 7 - Agitators
- 8 - Discharger

na osnovno filtrirno tkanino pogosto nanesen sloj pomožnega filtrirnega sredstva (perlit, celit, diatomejska zemlja – inertni materiali)
površina filtrne tkanine: 2 - 80 m²

Industrijska filtracija – vakuumski filter

delovanje vakuumskega filtra



hitrost vrtenja bobna:
0,3 do 3 min⁻¹

Primer (Doran, str. 94)

- Fermentacijsko brozgo s celicami *Streptomyces kanamycetus* filtriramo s kontinuirnim rotacijskim vakuumskim filtrom. Na filter napajamo brozgo s pretokom 120 kg/h; 1 kg brozge vsebuje 60 g celic. Za izboljšanje hitrosti filtracije dodajamo delce diatomejske zemlje s hitrostjo 10 kg/h. Koncentracija kanamicina v brozgi je 0,05 ut. %. Filtrat priteka s hitrostjo 112 kg/h; koncentracija kanamicina v filtratu je 0,045 ut. %. Filtrno pogačo s celicami kontinuirno odstranjujemo s filtra.
- A) Kakšen delež kapljevine je v filtrni pogači?
- B) Če je koncentracija kanamicina v filtrni pogači enaka kot v filtratu, koliko kanamicina se adsobira na kg diatomejske zemlje?

Rešitev

Tok	VSTOP (kg/h)					IZSTOP (kg/h)				
	celice	kanamicin	diatomejska zemlja	voda	SKUPAJ	celice	kanamicin	diatomejska zemlja	voda	SKUPAJ
fermentacijska brozga	7,2	0,06	0	112,74	120	–	–	–	–	–
diatomejska zemlja	0	0	10	0	10	–	–	–	–	–
filtrat	–	–	–	–	–	0	0,05	0	111,95	112
filtrna pogača	–	–	–	–	–	7,2	0,01	10	0,79	18
SKUPAJ	7,2	0,06	10	112,74	130	7,2	0,06	10	112,74	130

Odgovor:

A) Vsebnost kapljevine v filtrni pogači je 0,79 kg, kar predstavlja 4,4 %.

B) Količina adsorbiranega kanamicina je $9,6 \cdot 10^{-4}$ kg/kg diatomejske zemlje.