



FKITMCMXIX

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog
inženjerstva i tehnologije



REAKTORI I BIOREAKTORI

- **PODJELA I OSNOVNI TIPOVI KEMIJSKIH REAKTORA**

Vanja Kosar, izv. prof.

- **KEMIJSKI REAKTOR I KEMIJSKO RAKCIJSKO INŽENJERSTVO**
- **PODJELA REAKTORA I OPĆE BILANCE TVARI I TOPLINE**

Kemijski reaktor

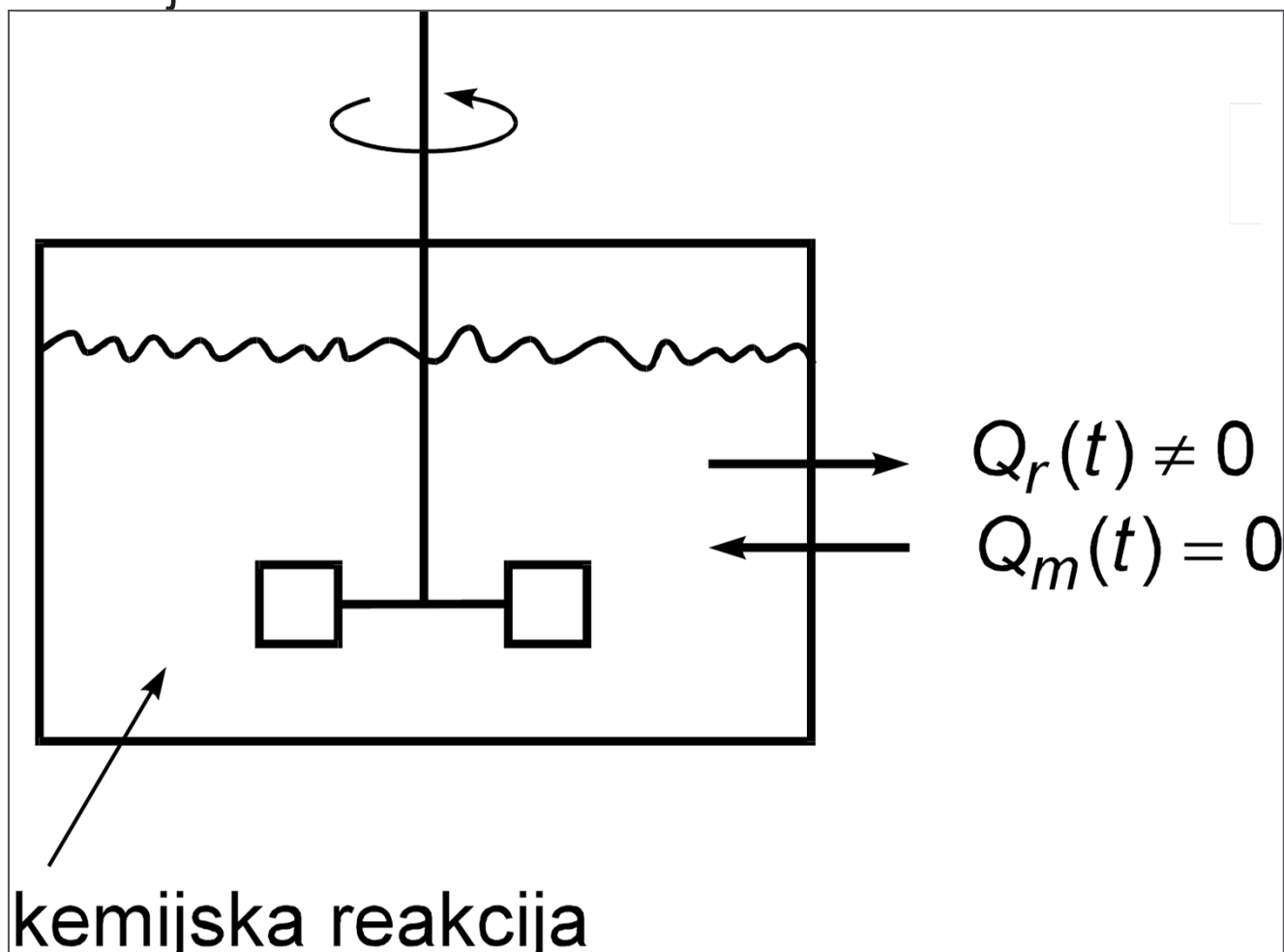
- mjesto ili prostor u kome se odigrava neka kemijska reakcija. Takav ograničeni dio prostora općenito se naziva *procesnim prostorom*.
- sa stajališta kemijskog inženjerstva kao tehničke znanosti, kemijski reaktor je procesni aparat u kome se svrhovito odigrava i vodi kemijska reakcija u cilju dobivanja određenog korisnog produkta.

Kemijsko reakcijsko inženjerstvo

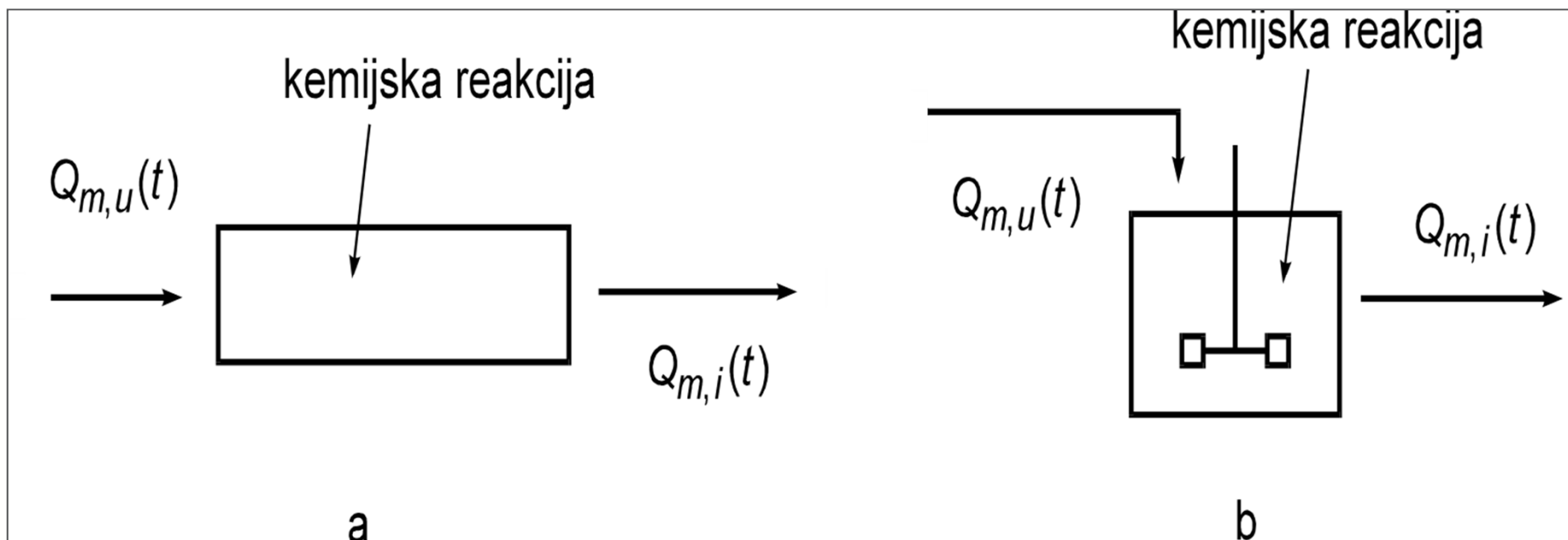
- Sve pojave i svi procesi, bilo kemijski, bilo fizički, koji se odigravaju unutar reaktora ili kojima reaktor izmjenjuje masu i energiju s okolinom
- Nalaženje veze između brzina fizičkih procesa prijenosa tvari i topline i brzine kemijske reakcije, eksperimentalne metode određivanja ukupne brzine ili metode istraživanja utjecaja pojedinog procesa na ukupnu brzinu itd.

Podjela reaktora

1.) Reaktori koji su zatvoreni sustavi

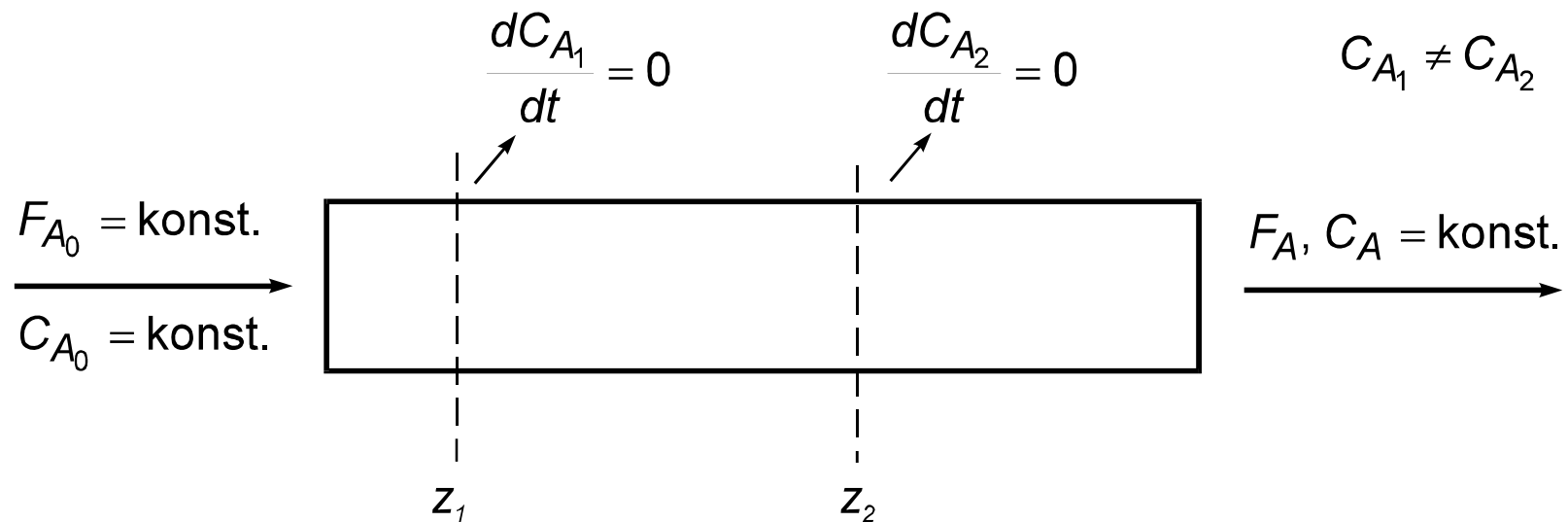


2.) Reaktori koji su otvoreni sustavi



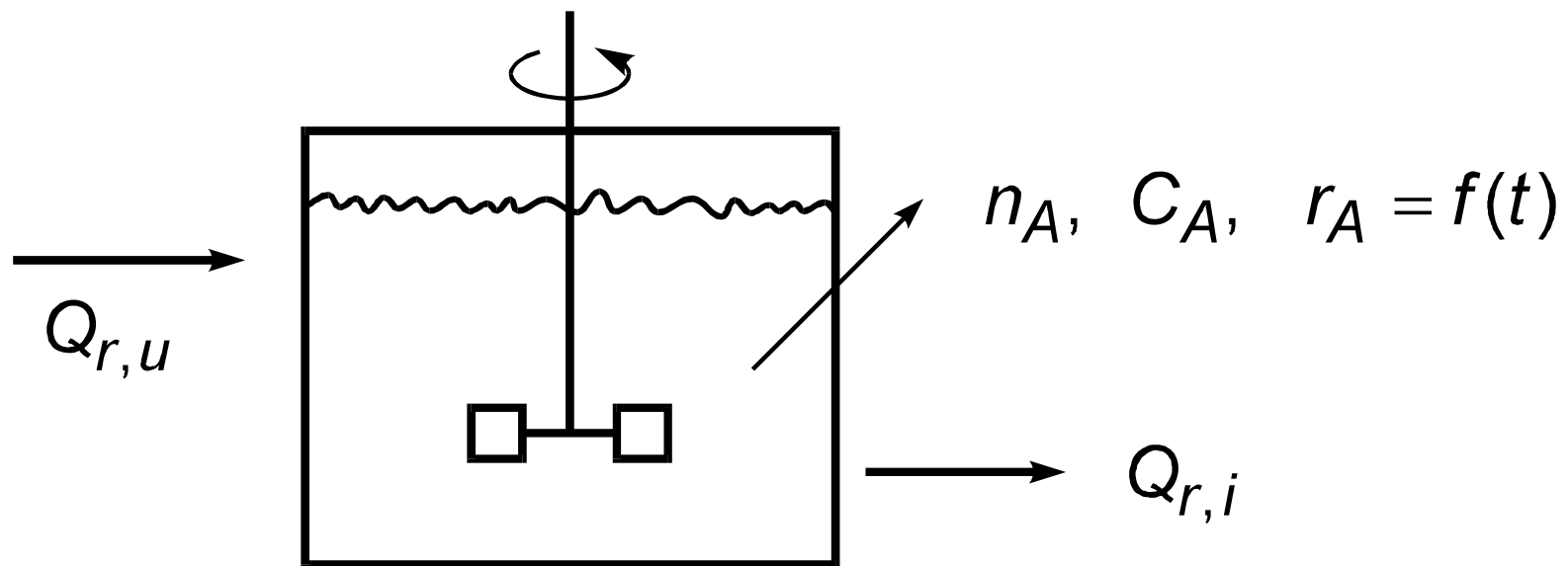
□ Reaktor u stacionarnom stanju

$$\frac{d(\text{vel.})}{dt} = 0$$

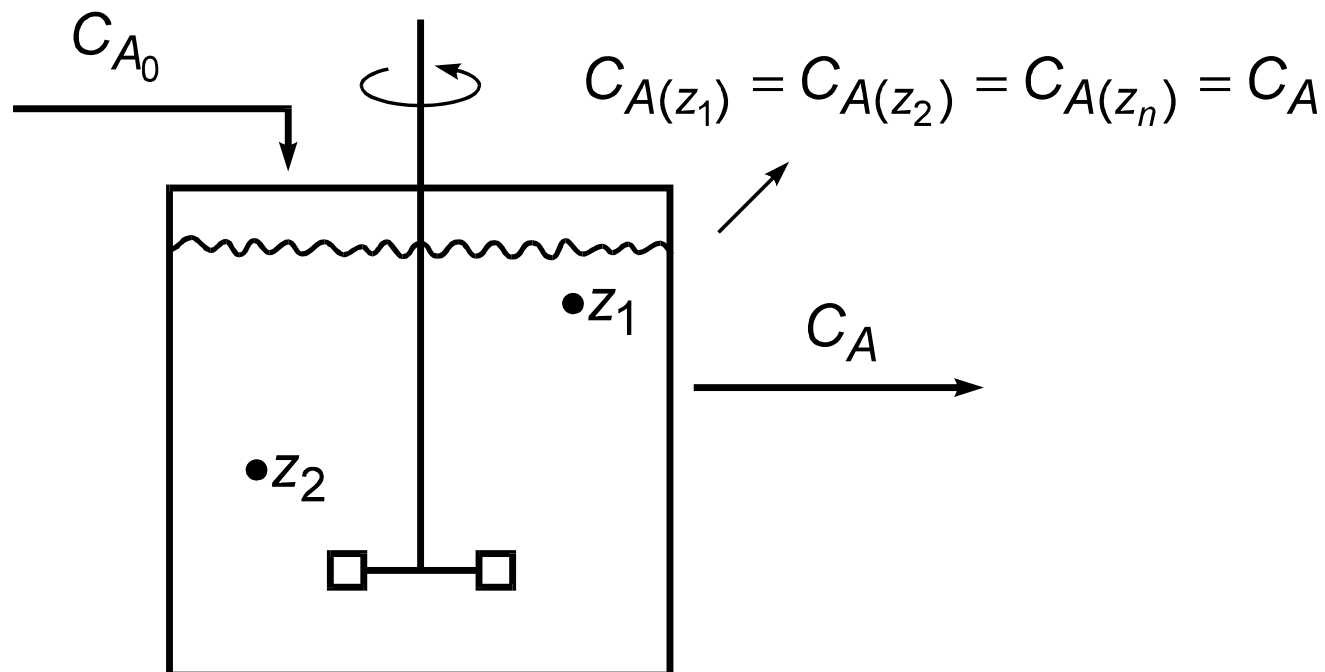


□ Reaktor u nestacionarnom stanju

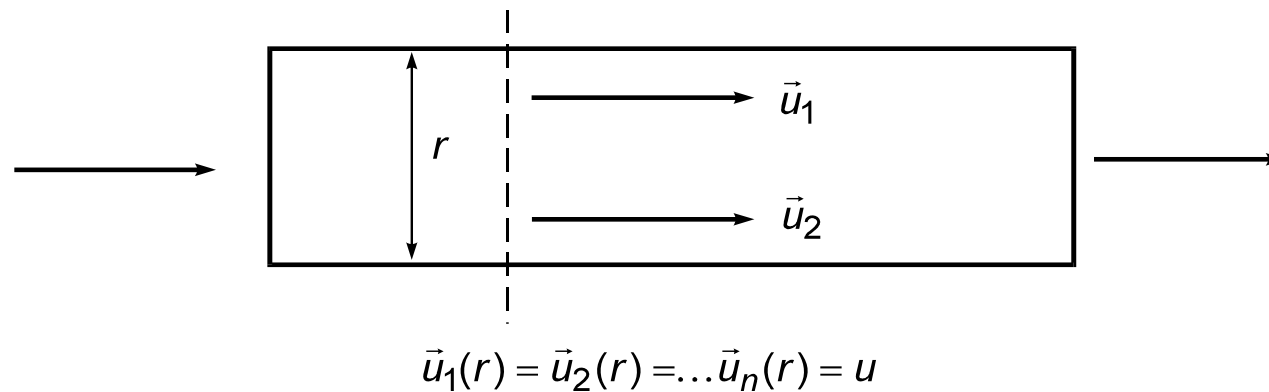
$$\frac{d(\text{vel.})}{dt} \neq 0$$



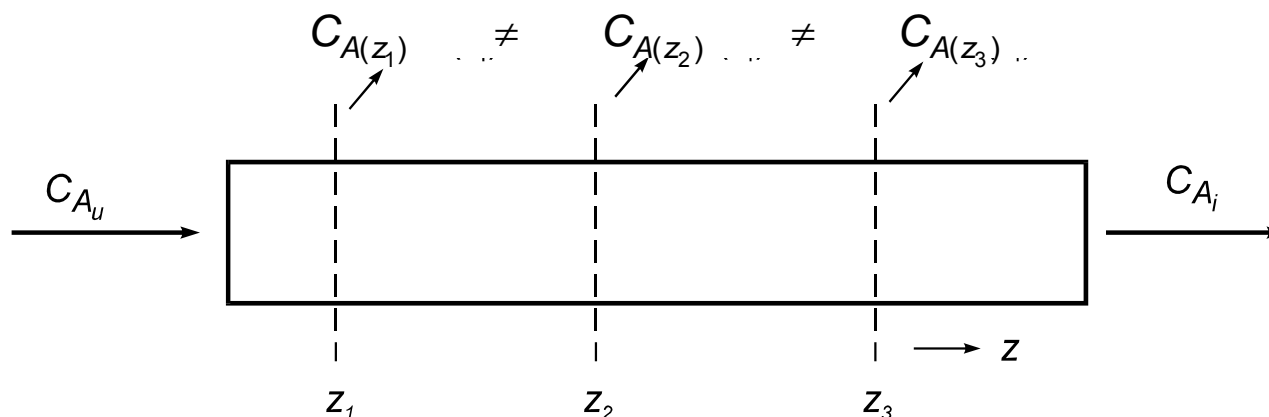
- Reaktor s idealnim miješanjem
- Proces s usredotočenim parametrima

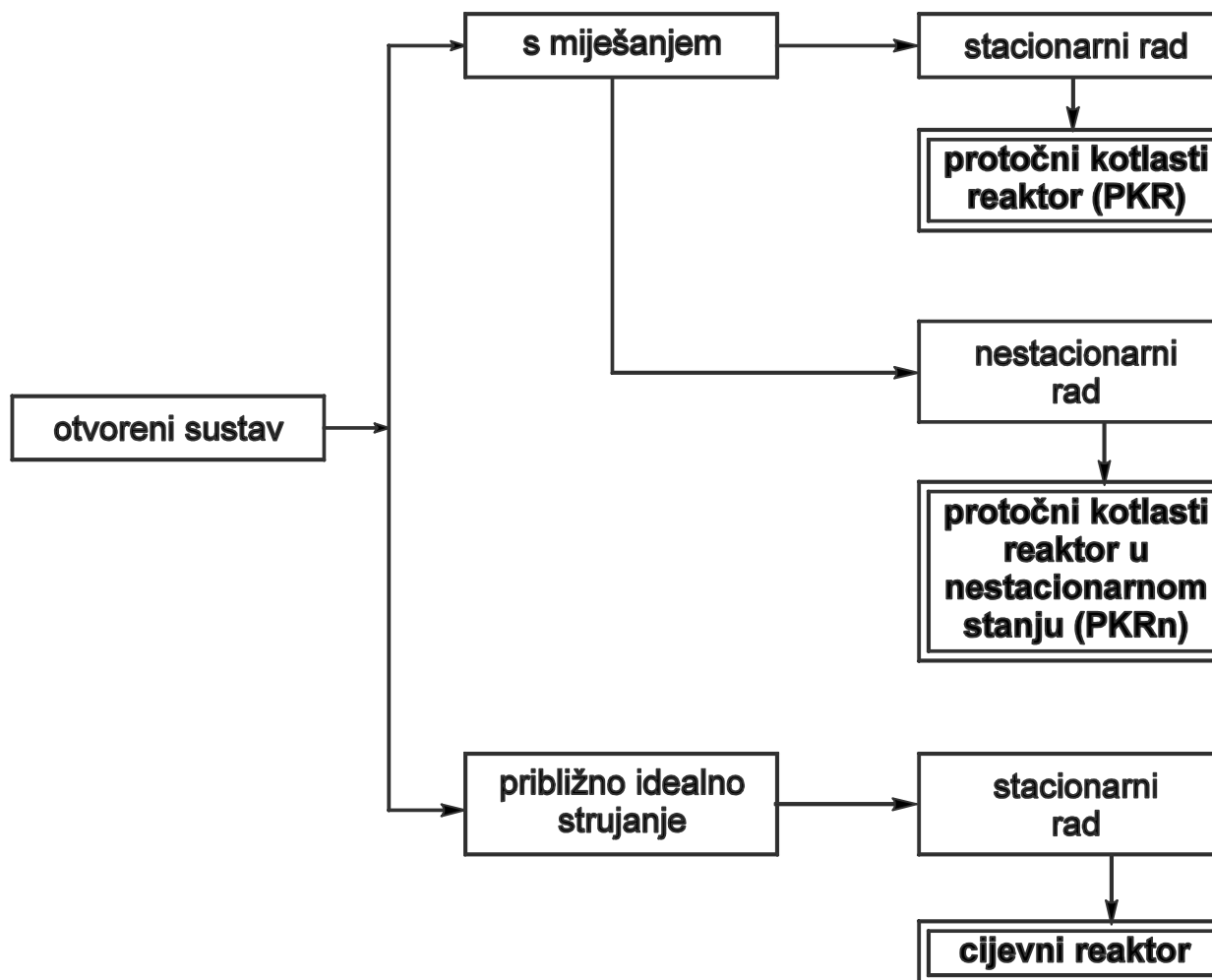


□ Reaktori s idealnim strujanjem



□ Proces s raspodijeljenim parametrima





Protočni kotlasti reaktor u nestacionarnom radu (PKRn)

- razlikuje se od PKR po tome što količina tvari na ulazu nije jednaka količini tvari na izlazu iz reaktora
- vrijednosti barem nekih veličina stanja funkcije vremena
- u reaktoru se može na početku reakcije unijeti određena količina jednog reaktanta, a zatim kontinuirano uvoditi drugi reaktant
- kloriranje benzena u kapljevitoj fazi
- pogodan je za različite reakcije većinom u kapljevitom sustavu na nižim tlakovima i temperaturama.

BILANCE MASE, MNOŽINE TVARI I TOPLINE

Opća bilanca mase

Masa unijeta u reaktor u dif. vremenu u dif. volumen.	–	Masa iznijeta iz reaktora u dif. vremenu iz dif. volumena.	=	Akumulacija mase u dif. vremenu u dif. volumenu.
---	---	--	---	--

Bilanca množine tvari A

Množina tvari A unijeta u dif. vremenu u dif. volumen reaktora.	–	Množina tvari A iznijeta u dif. vremenu iz dif. volumena reaktora.	±	Množina tvari A nastala (nestala) kemijskom reakcijom u dif. vremenu u dif. volumenu reaktora.
			=	Akumulacija tvari A u dif. vremenu i dif. volumenu reaktora.

Bilanca topline

Količina topline dovedena u dif. vremenu u dif. volumen reaktora.

– Količina topline odvedena u dif. vremenu iz dif. volumena reaktora.

± Količina topline nastala (nestala) kemijskom reakcijom u dif. vremenu u dif. volumenu reaktora.

= Akumulacija topline u dif. vremenu i dif. volumenu reaktora.

Matematički opis općih bilanci množine tvari i topline

- Bilanca množine tvari (komponente A)

$$\vec{u} \nabla C_A + \nabla \vec{J}_A + r_A = \frac{\partial C_A}{\partial t}$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t}$$

je član za akumulaciju tvari u sustavu, reaktoru i s njime je izražena nestacionarnost

$$\vec{u} \nabla C_A$$

član kojim se predočuje prijenos tvari kroz reaktor konvektivnim načinom

$$\nabla \vec{J}_A$$

je član kojim se opisuje prijenos tvari difuzijom.

- Bilanca topline

$$\sum M_j C_j c_{pj} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \nabla T \right) = \sum (-\Delta H_i) r_i + \nabla(\lambda \nabla T) - \sum \vec{J}_j \nabla H_j + Q_r$$

$\sum M_j C_j c_{pj} \frac{\partial T}{\partial t}$ je član kojim se definira akumulacija topline

$\sum M_j C_j c_{pj} \vec{u} \nabla T$ označava prijenos topline konvekcijom, odnosno to je toplina koja se unosi ili iznosi prolazom reakcijske mase kroz reaktor.

$\sum (-\Delta H_i) r_i$ je toplinski efekt svih reakcija koje se istovremeno odigravaju unutar reaktora.

- Bilanca topline (nastavak)

$$\sum M_j C_j c_{pj} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \nabla T \right) = \sum (-\Delta H_i) r_i + \nabla(\lambda \nabla T) - \sum \vec{J}_j \nabla H_j + Q_r$$

$$\nabla(\lambda \nabla T)$$

je član kojim se opisuje toplina prenijeta vođenjem (kondukcijom) kroz reakcijsku smjesu ili s okolinom kroz stjenke.

$$\sum \vec{J}_j \nabla H_j$$

je toplina koja se prenosi molekularnom difuzijom pri čemu je H_j parcijalna molnarna entalpija.

$$Q_r$$

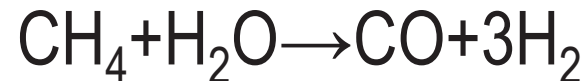
je toplina prenijeta zračenjem (radijacijom).

1.) Hidrolizom metana vodenom parom nastaju CO i H₂ prema jednadžbi:

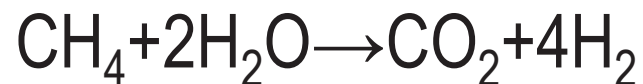


reakcija se vodi u cijevnom katalitičkom reaktoru pri čemu se na izlazu dobiva 600 m³ h⁻¹ vodika, dok je volumni protok na ulazu reaktora 550 m³ h⁻¹ smjese metana i vodene pare u omjeru 3 : 2.5 (vol%).
Izračunajte konverziju metana i sastav izlaznih plinova!

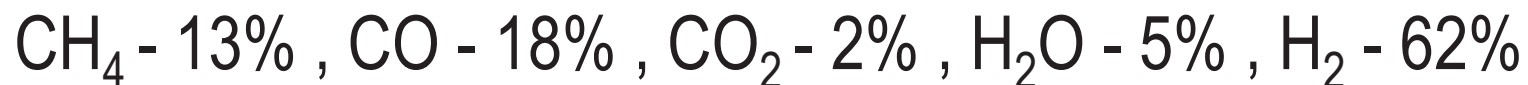
2.) Vodik se dobiva reakcijom metana s vodenom parom na višim temperaturama i uz katalizator prema jednadžbi



Međutim, istovremeno dolazi do usporedne reakcije



Na izlazu iz katalitičkog cijevnog reaktora dobiva se plinska smjesa sastava (u vol%):



Treba odrediti sastav plinske smjese na ulazu u reaktor (koja se sastoji od metana i vode) te konverziju metana.

3.) U nekom reaktoru se nalaze sljedeće komponente

Komponenta	m/kg	M / kg kmol ⁻¹	ρ / kg m ⁻³
Benzen	40	78,1	880
Propen	30	42,1	550
Kumen	0	120,1	862

Ne dolazi do promjene volumena tokom reakcije. Treba odrediti ulaznu koncentraciju reaktanata u reaktoru. Kolika će biti koncentracija reaktanata ako je postignuta 90 % konverzija benzena? Izračunajte konverziju propena.