



FKITMCMXIX

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog  
inženjerstva i tehnologije



# REAKTORI I BIOREAKTORI

- **PODJELA I OSNOVNI TIPOVI KEMIJSKIH REAKTORA**

Vanja Kosar, izv. prof.

- 
- REAKTORSKI MODELI OSNOVNIH ("IDEALNIH") TIPOVA REAKTORA
    - **Pojam "idealnog" reaktora**
  
    - **KOTLASTI REAKTOR**
  
    - **PROTOČNI KOTLASTI REAKTOR**
  
    - **CIJEVNI REAKTOR**



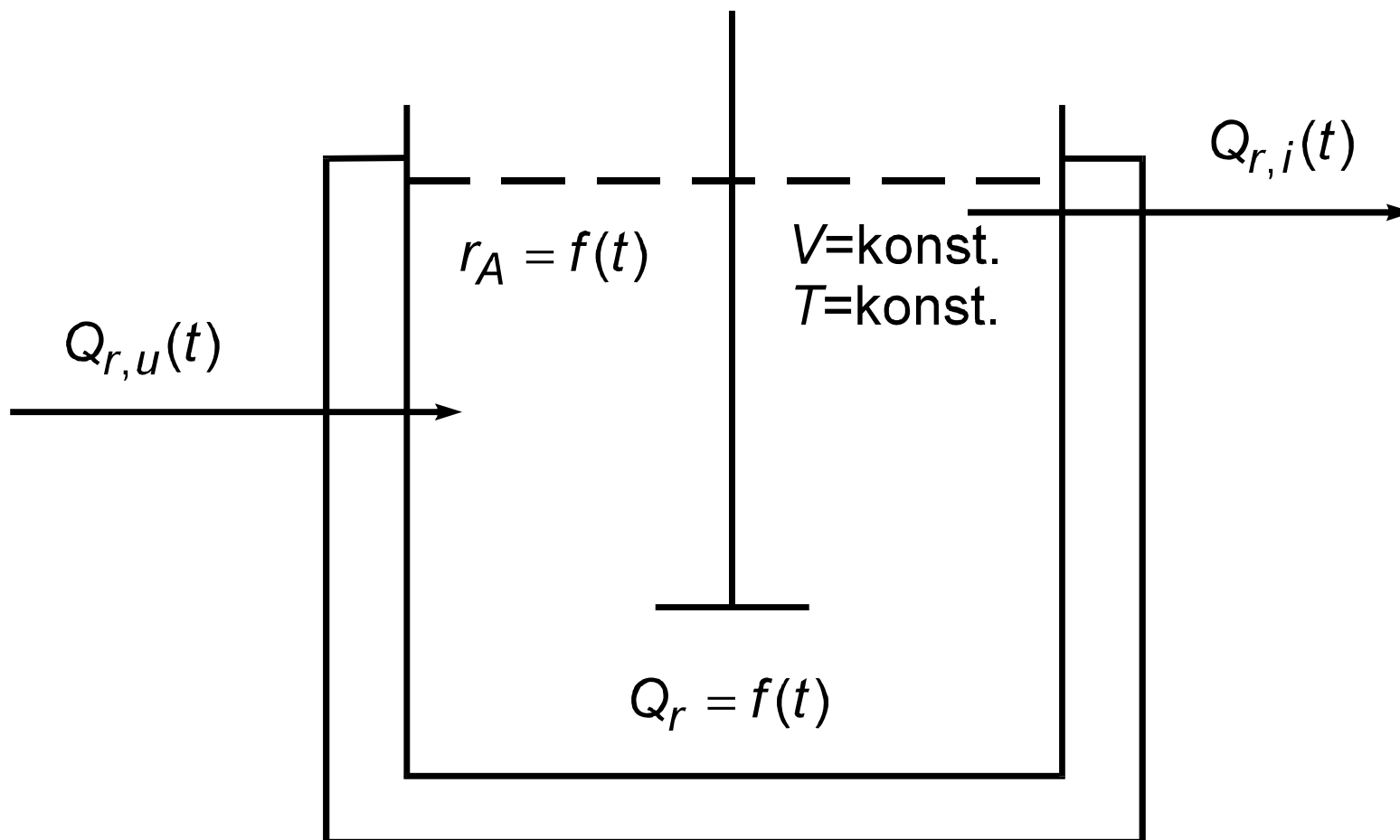
## Pojam "idealnog" reaktora

1. **Pretpostavka o stacionarnom radu**
2. **Pretpostavka o idealnom miješanju**
3. **Pretpostavka o idealnom strujanju**
4. **Pretpostavka o izotermnom radu reaktora**
5. **Pretpostavka o ne postojanju difuzijskog prijenosa tvari i topline**

## KOTLASTI REAKTOR

---

- Sastav reakcijske smjese je u svakoj točki isti, reaktorski prostor je homogen. To se odnosi i na heterogene sustave proširujući pojam točke na elementarni (dovoljno mali) volumen. Prema tome, bilance se mogu postaviti za reaktor kao cjelinu, a ne samo za diferencijalni volumen.
- U kotlastom reaktoru sve veličine stanja zavise o vremenu. Prema tome sastav reakcijske smjese, brzina kemijske reakcije i količina oslobođene (utrošene) topline uslijed kemijske reakcije su vremenski promjenljive veličine. Kod idealnog kotlastog reaktora jedino se temperatura u reaktoru ne mijenja s vremenom jer se pretpostavlja izotermni rad.
- Model "idealnog" kotlastog reaktora sadrži također pretpostavku da je volumen reakcijske smjese stalan i nezavisan o vremenu tj., nema promjene gustoće.



Matematički model kotlastog reaktora uz navedene pretpostavke čine bilance (1) množine tvari i (2) topline.

(1) Bilanca tvari

Količina tvari A nestala kemijskom reakcijom u reaktorskom volumenu	=	Akumulacija tvari A u reaktorskom volumenu
---	---	--

$$r_A V = -\frac{dn_A}{dt}$$

$$V \int_0^t dt = - \int_{n_{A0}}^{n_A} \frac{dn_A}{r_A}$$

$$t = -\frac{1}{V} \int_{n_{A0}}^{n_A} \frac{dn_A}{r_A}$$

$$C_A = n_A / V \text{ i } dn_A = V dC_A$$

$$r_A = - \frac{dC_A}{dt}$$

$$t = - \int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{dC_A}{r_A}$$

$$X_A = \frac{n_{A_0} - n_A}{n_{A_0}} = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_{A_0}} \quad / V = konst. /$$

$$t = C_{A_0} \int_{X_{A_0}}^{X_A} \frac{dX_A}{r_A}$$

(2) Bilanca topline

Količina nastale (nestale) topline kemijskom reakcijom u reaktorskom volumenu i jediničnom vremenu.

=

akumulaciji topline u reaktorskom volumenu i jediničnom vremenu

+

toplina koja se prenese u okolinu u jediničnom vremenu

$$(-\Delta H_r) V r_A = G_t c_p \frac{dT}{dt} + UA_p (T_p - T_r)$$

Izotermni rad  $T = \text{konst.}$  ( $dT/dt = 0$ )

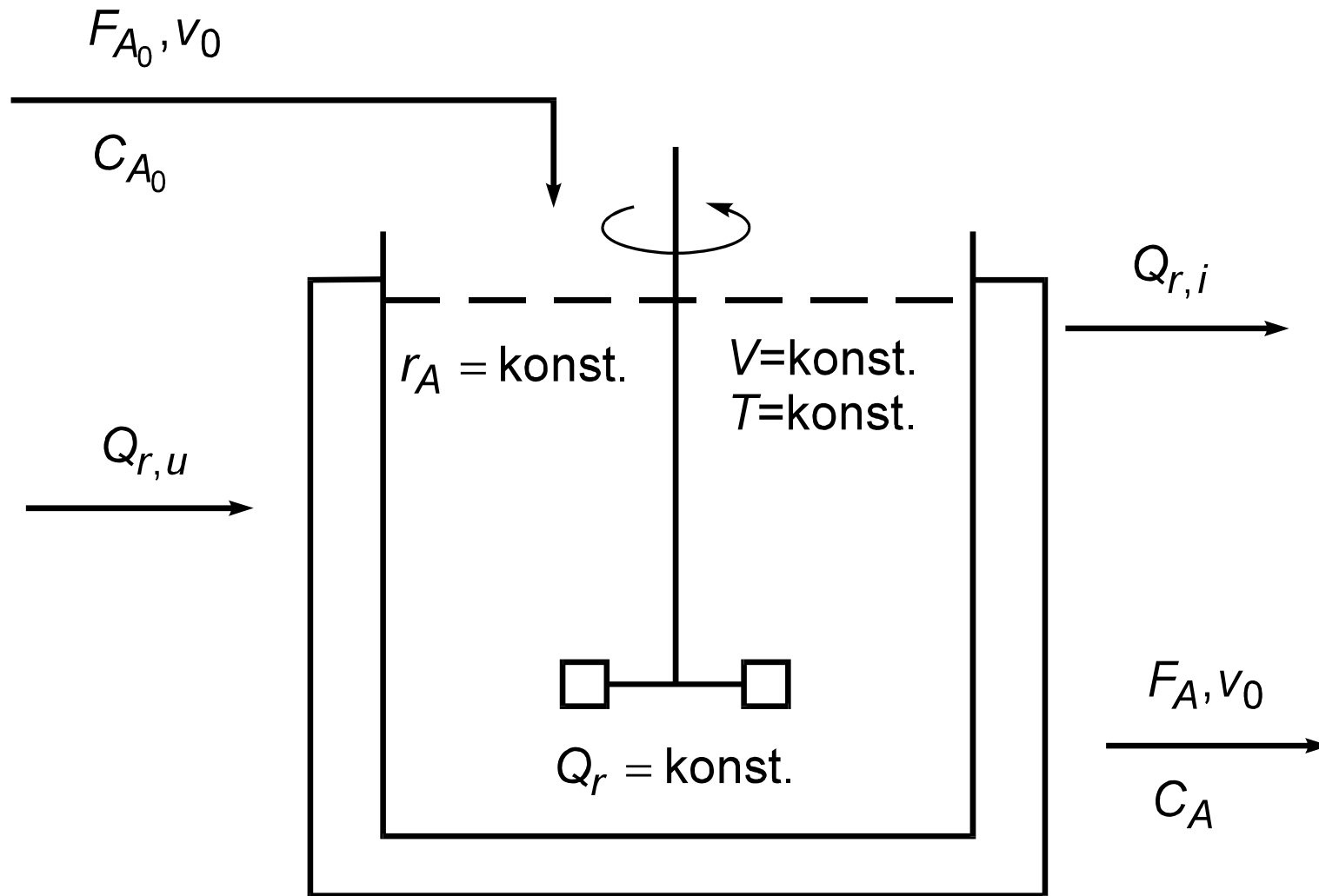
$$(-\Delta H_r) V r_A = UA_s (T_p - T_r)$$



## PROTOČNI KOTLASTI REAKTOR

---

- Reakcijska smjesa je dobro miješana i prema tome je njen sastav u svakoj točki reakcijske smjese isti. Bilance množine tvari i topline mogu se postaviti za čitavi volumen reaktora.
- Reaktor radi u stacionarnom stanju, odnosno nema promjena njegovih svojstava s vremenom.
- Reaktor radi izotermno. Izotermnost se odnosi na jednakost temperature i po reaktorskom prostoru i po vremenu, što je posljedica idealnog miješanja i stacionarnog rada.
- Za vrijeme rada ne dolazi do promjene gustoće reakcijske smjese i prema tome volumen reakcijske smjese ostaje stalan.



(1) Bilanca tvari

Množina tvari A unijeta u reaktorski volumen u jediničnom vremenu

–

Množina tvari A iznijeta iz reaktorskog volumena u jediničnom vremenu.

=

Množina tvari A nestala kemijskom reakcijom u reaktorskom volumenu i jediničnom vremenu.

$$F_{A_0} - F_A = r_A V$$

$$F_A = F_{A_0} (1 - X_A)$$

$$F_A = C_A v_0$$

$$F_{A_0} = C_{A_0} v_0$$

$$C_A = C_{A_0} (1 - X_A)$$

$$\tau = \frac{V}{v_0} = \frac{C_{A_0} X_A}{r_A}$$

(2) Bilanca topline

Toplina unijeta u reaktor u jediničnom vremenu.

+

Toplina oslobođena kemijskom reakcijom u jediničnom vremenu.

=

Toplina iznijeta iz reaktora u jediničnom vremenu.

+

Toplina prenijeta u okolinu u jediničnom vremenu.

$$Q_{m,0} c_p (T_u - T) + \Delta H_r r_A V - UA_s (T_p - T_r) = 0$$

Izotermni rad  $T = \text{konst.}$  ( $dT/dt = 0$ )

$$(-\Delta H_r) r_A V = UA_s (T_p - T_r)$$

## nPKR-izvod

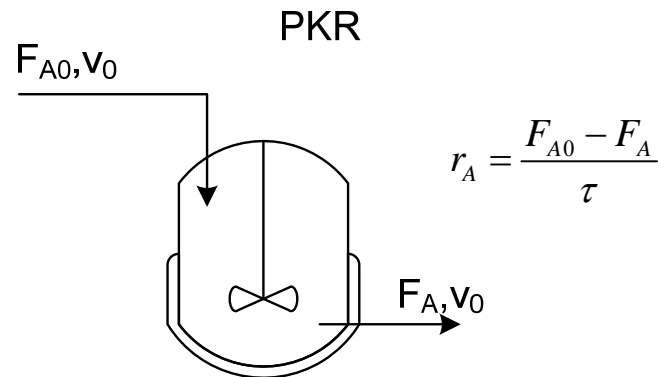
Jedan od problema koji se često susreću u industriji je i nestacionaran rad inače stacionarnih procesa kao što su PKR i CR.

U sljedećem izvodu će biti prikazan nestacionaran rad protočnokotlastog reaktora – nPKR

Opća bilanca tvari:

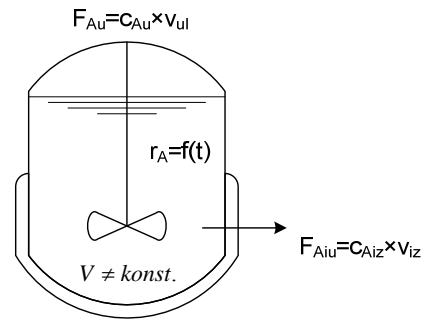
Akumulacija tvari = Količina tvari koja se unese u diferencijalnom volumenu i diferencijalnom vremenu -  
Količina tvari koja se iznese u diferencijalnom volumenu i diferencijalnom vremenu ± količina tvari nastala kemijskom reakcijom

Općenito za PKR u stacionarnom radu vrijedi



## Reaktori i bioreaktori – Podjela i osnovi tipovi kemijskih reaktora

U drugom slučaju možemo zamisliti PKR reaktor kao jednu posudu u koju smo na početku unijeli reakcijsku smjesu i koja se kontinuirano odvodi iz reaktora odnosno volumen se smanjuje. Tada možemo takav reaktor definirati kao nPKR



$$\frac{d(c_A V)}{dt} = c_{Aul} v_{ul} - c_{Aiz} v_{iz} \pm r_A$$

$$V \frac{dc_A}{dt} + c_A \frac{dV}{dt} = c_{Aul} v_{ul} - c_{Aiz} v_{iz} \pm r_A V$$

$\frac{dV}{dt}$  – promjena reakcijskog volumena u vremenu jednaka je razlici protoka

$$\frac{dV}{dt} = v_{ul} - v_{iz}$$

$$V \frac{dc_A}{dt} + c_{Aul} (v_{ul} - v_{iz}) = c_{Aul} v_{ul} - c_{Aiz} v_{iz} \pm r_A V$$

$$V \frac{dc_A}{dt} + c_{Aul} v_{ul} - c_{Aul} v_{iz} = c_{Aul} v_{ul} - c_{Aiz} v_{iz} \pm r_A V$$

Nakon kraćenja ostaje izraz ekvivalentan idealnom kotlastom reaktoru

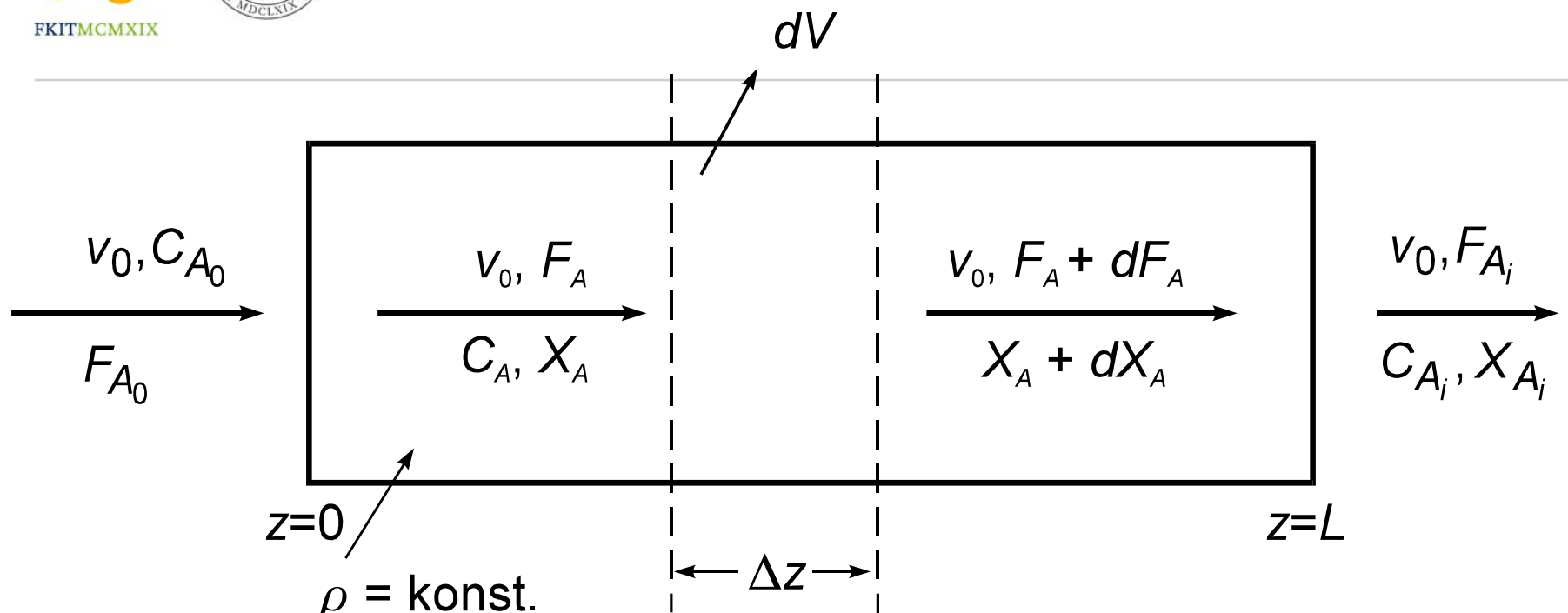
$$r_A = -\frac{dc_A}{dt}$$

## CIJEVNI REAKTOR

---

- Reakcijska smjesa prolazi kroz reaktor idealnim strujanjem.
- Reaktor se promatra u stacionarnom radu.
- Reaktor je izotermni sustav, temperatura se ne mijenja s položajem unutar reaktora, a niti s vremenom.
- Ne postoji promjena gustoće (volumena) reakcijske smjese za vrijeme prolaza kroz reaktor.
- Kako se u cijevnom reaktoru duž osi z (aksijalnom smjeru) mijenjaju veličine stanja (npr. brzina reakcija, koncentracija), to se bilance moraju nužno postavljati za diferencijalni volumen.





(1) Bilanca tvari

Množina tvari A koja uđe u dif. volumen u jediničnom vremenu.

–

Množina tvari A koja iziđe iz dif. volumena u jediničnom vremenu.

=

Množina tvari A koja nestane kem. reakcijom u dif. volumen u jediničnom vremenu.

$$F_A - (F_A + dF_A) - r_A dV = 0$$

$$dF_A + r_A dV = 0$$

$$F_A = F_{A_0} (1 - X_A)$$

$$dF_A = -F_{A_0} dX_A$$

$$\frac{dV}{F_{A_0}} = \frac{dX_A}{r_A}$$

Često se puta nameće potreba za izračunavanjem profila koncentracije ili konverzije po dužini reaktora, pogotovo ako su u pitanju složene reakcije kod kojih je važan neki od međuprodukata.

$$dV = r^2 \pi dz = A_s dz$$

$$\frac{dX_A}{dz} = \frac{A_s r_A}{F_{A_0}} = \frac{r_A}{C_{A_0} u}$$

$$u \frac{dC_A}{dz} + r_A = 0$$

$$V = F_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{r_A}$$

$$F_{A_0} = C_{A_0} v_0$$

$$\tau = \frac{V}{v_0} = \frac{VC_{A_0}}{F_{A_0}}$$

$$\tau = \frac{V}{v_0} = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{r_A} = - \int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{dC_A}{r_A}$$

$$\frac{dC_A}{d\tau} + r_A = 0$$



FKIT MCMXIX  
(2) Bilanca topline

Toplina nastala (nestala) kemijskom reakcijom u dif. volumenu i jediničnom vremenu.

=

akumulaciji topline u dif. volumenu i jediničnom vremenu

+

toplina prenijeta kroz dif. Površinu u okolinu u jediničnom vremenu

$$(-\Delta H_r) r_A dV = Q_{m_0} c_{p_s} \frac{dT}{dt} + U dA_p (T_p - T_r)$$

Izotermni rad  $T = \text{konst.}$  ( $dT/dt = 0$ )

$$(-\Delta H_r) r_A dV = U dA_s (T_p - T_r)$$

$$dV = A_s dz = r^2 \pi dz$$

$$dA_s = 2r \pi dz$$

$$(-\Delta H_r) r_A = \frac{2}{r} U (T_p - T_r)$$

1.) Nepovratna reakcija prvog reda,



odigrava se u kotlastom reaktoru. Ako je konstanta brzine  $k=0,01 \text{ s}^{-1}$ , izračunajte vrijeme potrebno da se dosegne 30% konverzije reaktanta.

Ako se ista reakcija odigrava u cijevnom reaktoru uz volumnu brzinu od  $10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , izračunajte volumen reaktora i vrijeme zadržavanja

Ako se ista reakcija odigrava u PKR reaktoru uz volumnu brzinu od  $10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , izračunajte volumen reaktora i vrijeme zadržavanja

2.) Dva protočna kotlasta reaktora povezana su slijedno. Na izlazu iz prvog reaktora postiže se 40% konverzija reaktanta A. Reakcija je 1. reda,



s konstantom brzine  $k=0.2 \text{ min}^{-1}$ . Početna koncentracija na ulazu u prvi reaktor je  $1 \text{ mol dm}^{-3}$ , molni protok  $F_{A0}=0.867 \text{ mol min}^{-1}$ . Potrebno je izračunati volumen oba reaktora ako je potrebno postići ukupno 80% konverziju reaktanta A na izlazu iz drugog reaktora. Izračunajte i volumen jednog PKR da se postigne konverzija od 80%.

3.) U kotlastom reaktoru vodi se reakcija u kapljevitoj fazi prvog reda, bez promjene gustoće. U početnoj smjesi nema produkata. Za 120 s u korisni produkt pređe 20% početnog reaktanta. Odredite konverziju u vremenu  $\tau = 360$  s u cijevnom i PKR reaktoru.



4.) U protočnom kotlastom rektoru vodi se reakcija drugog reda u kapljevitoj fazi,



pri čemu se postiže konverzija od 80%. Potrebno je izračunati konverziju uz uvjet da se ulazni molni protok poveća 10 puta uz ostale parametra nepromijenjene!