

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**  
**Zavod za reakcijsko inženjerstvo i katalizu**

**Đurđa Vasić-Rački i Bruno Zelić:**  
**"BILANCA TVARI I ENERGIJE"**  
**Seminarski zadatci**

**Zagreb, listopad 2006.**

## Destilacija

**Zadatak 1:** U destilacijskoj koloni se provodi destilacija smjese koja sadrži 50 % metanola, 40 % vode i 10 % metanola. U kolonu se uvodi 100 kg/h smjese, a iz kolone izlazi 60 kg/h destilata koji sadrži 80 % etanola, 5 % vode i 15 % metanola. Treba izračunati masu ostatka  $L$  i njegov sastav. (**R:**  $L = 40$  kg/h,  $w_{\text{EtOH}} = 5$  %,  $w_{\text{H}_2\text{O}} = 92,5$  % i  $w_{\text{MeOH}} = 0,025$  %)

**Zadatak 2:** U destilacijskoj koloni se razdvaja smjesa koja ima sljedeći sastav: 2 % etana, 3 % etana, 5 % propena, 25 % izobutana, 35 % n-butana i 15 % n-pentana. Treba izračunati sastav i količinu destilata i ostatka, ako destilat ne sadrži niti jednu komponentu koja ima više vrelište od propana. (**R:** Ako se pretpostavi da na ulazu ima  $F = 100$  kmol/h smjese, slijedi da je  $D = 25$  kmol/h sastava  $x_{\text{eten}} = 8$  %,  $x_{\text{etan}} = 12$  %,  $x_{\text{propen}} = 20$  % i  $x_{\text{propan}} = 20$  %, te da je  $L = 75$  kmol/h sastava  $x_{\text{I-B}} = 33,3$  %,  $x_{\text{N-B}} = 46,7$  % i  $x_{\text{N-P}} = 20$  %)

## Apsorpcija

**Zadatak 3:** U postrojenju za proizvodnju plina iz naftne bušotine, gorivi plin se proizvodi tako da se iz prirodnog plina uklone svi viši ugljikovodici od etana. Ovaj proces čišćenja se provodi apsorpcijom viših ugljikovodika u nafti u protustrujnom apsorberu. Prirodni plin iz naftne bušotine sadrži: 77,3 %  $\text{CH}_4$ , 14,9 %  $\text{C}_2\text{H}_6$ , 3,6 %  $\text{C}_3\text{H}_8$ , 1,6 % izo- i n- $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , 0,5 %  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  i viših ugljikovodika, te 2,10 %  $\text{N}_2$ . Nakon izlaska iz bušotine se ovaj plin uvodi u protustrujnu apsorpcijsku kolonu u kojoj se otapanjem u nafti uklanjaju svi ugljikovodici osim metana, nešto etana i dušika. Čisti plin koji izlazi iz apsorpcijske kolone sadrži 92 %  $\text{CH}_4$ , 5,5 %  $\text{C}_2\text{H}_6$  i 2,5 %  $\text{N}_2$ . Ako se u apsorpcijsku kolonu uvodi 52000 kmola prirodnog plina iz bušotine na dan, a odvodi 1230 kg obogaćene nafte na minutu, čija je srednja (prosječna) molekularna masa  $M = 140$  kg/kmol, treba izračunati masu metana ( $\text{CH}_4$ ) koja prolazi kroz apsorber u jednom danu, masu etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) koja se apsorbira na dan, te maseni postotak propana koji se nalazi u nafti, koja se u jednom danu odvede iz apsorbera. (**R:**  $m_{\text{CH}_4} = 643$  t/d,  $m_{\text{C}_2\text{H}_6} = 160$  t/d,  $w_{\text{C}_3\text{H}_8} = 4,65$  %)

## Priprema otopina

**Zadatak 4:** Za pripremu 300 kg 28 %-tne sumporne kiseline kojom se pune akumulatori se miješa 95 kg 34 %-tne i 74 kg 15,6 %-tne sumporne kiseline. Treba izračunati koliko je još i koje koncentracije sumporne kiseline potrebno dodati ovoj smjesi dvaju otopina, da se dobije potrebna masa kiseline za punjenje akumulatora. (**R:**  $m_{30,6\% \text{ -tne kiseline}} = 131$  kg)

**Zadatak 5:** 15 %-tna otopina saharoze se dobije razrjeđivanjem 40 %-tne otopine. Gustoća 40 %-tne otopine saharoze je pri 20 °C  $\rho = 1,176$  g/ml, a 15 %-tne otopine pri istoj temperaturi  $\rho = 1,059$  g/ml. Treba izračunati volumen 40 %-tne otopine i volumen vode potrebnih za pripremu 30 dm<sup>3</sup> 15 %-tne otopine saharoze ( $\rho_{\text{voda}} = 0,998$  g/ml pri 20 °C). (**R:**  $V_{40\% \text{ -tna otopina saharoze}} = 10,13$  dm<sup>3</sup>,  $V_{\text{voda}} = 19,90$  dm<sup>3</sup>)

**Zadatak 6:** Otopina natrijevog klorida je zasićena pri 15 °C. Treba izračunati masu NaCl koja se može otopiti u 100 kg ove otopine, ako se ona zagrije na 65 °C. Topljivost NaCl je pri 15 °C 6,12 kmol/1000 kg vode, a topljivost NaCl je pri 65 °C 6,37 kmol/1000 kg vode. (**R:**  $m_{\text{NaCl}} = 1,1$  kg)

## Kristalizacija

**Zadatak 7:** Iz 1000 kg otopine kalij bikromata, koja sadrži 13 % K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ispareno je 640 kg vode, a preostala otopina je ohlađena na 20 °C. Treba izračunati masu nastalih kristala K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, ako je topljivost K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> pri 20 °C 0,390 kmol/1000 kg vode. (**R:**  $m_{\text{kristala}} = 103,6$  kg)

**Zadatak 8:** U kotlastom kristalizatoru se nalazi 10000 kg zasićene otopine NaHCO<sub>3</sub> pri 60 °C iz koje treba iskristalizirati 500 kg NaHCO<sub>3</sub>. Na koju temperaturu otopinu treba ohladiti. Podaci ovisnosti topljivosti NaHCO<sub>3</sub> o temperaturi se nalaze u slijedećoj tablici:

$T$ [°C]	Topljivost [g NaHCO <sub>3</sub> /100 g H <sub>2</sub> O]
60	16,4
50	14,5
40	12,7
30	11,1
20	9,6
10	8,2

(**R:**  $T = 26,8$  °C)

### Sušenje

**Zadatak 9:** Nakon što se ekstrahira ulje, riblji kolač se suši u rotacijskoj sušnici. Sirovi kolač sadrži 80 % vode, a produkt (suhi kolač) 60 % proteina. U toku procesa je uklonjeno 100 kg vode. Treba izračunati masu ribljeg kolača koji se stavlja u sušnicu. (**R:**  $m_{\text{riblji kolač}} = 150$  kg)

**Zadatak 10:** Mokri šećer koji sadrži 20 % vode se suši u sušnici u kojoj se uklanja 75 % vode. Treba izračunati sastav šećera na kraju procesa sušenja i masu uklonjene vode po kg osušenog šećera. (**R:** šećer na kraju procesa sadrži 6 % vode, tijekom procesa ukloni se 0,176 kg H<sub>2</sub>O po kg osušenog šećera)

**Zadatak 11:** Jagode sadrže 15 % krute tvari i 85 % vode. Pri pravljenju marmelade jagode se miješaju sa šećerom u omjeru 44:55. Smjesa jagoda i šećera se zagrijava pri čemu isparava voda. Nastala marmelada sadrži 33,3 % vode. Treba izračunati koliko je jagoda

potrebno za pripremu 1 kg marmelade, te masu otparene vode po kg jagoda. (**R**: 0,488 kg jagoda / kg marmelade, 0,17 kg vode / kg jagoda)

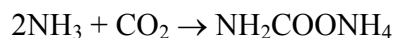
## Kemijske reakcije

**Zadatak 12:** Pri dehidriranju etana dolazi do dvije paralelne reakcije:



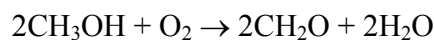
Nastali produkt sadrži: 35 %  $\text{C}_2\text{H}_6$ , 30 %  $\text{C}_2\text{H}_4$ , 28 %  $\text{H}_2$  i 7 %  $\text{CH}_4$ . Treba izračunati selektivnost i iskorištenje. (**R**:  $S = 4,29$  mol/mol,  $I = 89,6$  %)

**Zadatak 13:** Urea se dobiva reakcijom ugljik dioksida s amonijakom u reaktoru pri povišenom tlaku i temperaturi. Oba reaktanta se odvoje u reaktor odvojeno u kapljevitom stanju. Prema reakciji, najprije nastaje amonij karbamat, koji se djelomično raspada u ureu i vodu. Reakcija se može predočiti shematski bruto jednadžbama:



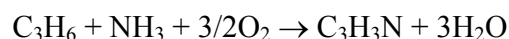
Ako smjesa produkata dobivenih reakcijom sadrži 35 % uree, 8 % amonij karbamata, 10,5 % vode i 46,5 % amonijaka, treba izračunati iskorištenje na urei, suvišak amonijaka i masu potrebnih reaktanata za proizvodnju 500 kg uree. (**R**:  $I = 85$  %, Suvišak = 200 %,  $m_{\text{NH}_3} = 998$  kg,  $m_{\text{CO}_2} = 431$  kg)

**Zadatak 14:** Formaldehid se proizvodi katalitičkom oksidacijom metanola zrakom prema reakciji:



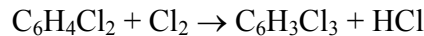
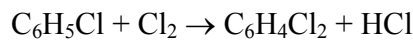
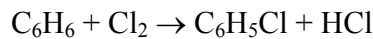
Treba izračunati koliko je kilograma i koje koncentracije metanola, te zraka potrebno za proizvodnju 357 kg 37 %-tne otopine formaldehida, ako se tijekom procesa izgubi 13,2 % otopine formaldehida. (**R**:  $m_{49\% \text{-tne otopine metanola}} = 331$  kg,  $m_{\text{zraka}} = 350$  kg)

**Zadatak 15:** Akrolonitril se proizvodi iz propena i amonijaka prema reakciji:



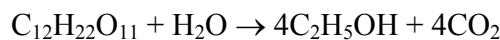
U proces ulazi sirovina koja sadrži 10 % propena, 12 % NH<sub>3</sub> i 78 % zraka. Treba izračunati koliko će se akrilonitrila proizvesti po kmol ulaznog amonijaka, ako je konverzija limitirajućeg reaktanta 30 %, koliki je suvišak dovedenog zraka, te amonijaka. (**R:** 0,25 kmol C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N/kmol NH<sub>3</sub>, suvišak zraka = 9,2 %, suvišak NH<sub>3</sub> = 20 %)

**Zadatak 16:** Klorbenzen, važno otapalo, proizvodi se u reaktoru u kojemu se plinoviti klor upuhuje u kapljevit benzen u prisustvu željeznog klorida kao katalizatora. Nastali monoklorbenzen se u daljnjim neželjenim reakcijama klorira u diklorbenzen, a ovaj u tri-klorbenzen. Proces se shematski može prikazati slijedećim jednažbama:



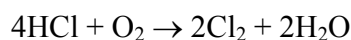
Sirovina koja se uvodi u reaktor sastoji se od čistog benzena i tehničkog klora koji ima 98 % (maseni) Cl<sub>2</sub>, a ostalo su nečistoće koje imaju prosječnu molarnu masu  $M = 25$  kg/kmol. Tekući produkt na izlazu iz reaktora sadrži: 65 % benzena, 32 % C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl, 2,5 % C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> i 0,5 % C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>. Plinoviti produkt sadrži HCl i nečistoće dovedene u reaktor s klorom. Treba izračunati suvišak benzena, njegovu konverziju, iskorištenje na monoklorbenzenu, te maseni omjer ulaznog plina i kapljevine. (**R:**  $X_{\text{C}_6\text{H}_6} = 26,8$  %, Suvišak C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = 273 %,  $I_{\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}} = 93,4$  %,  $r = 0,26$  kg Cl<sub>2</sub>/kg C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

**Zadatak 17:** Etanol se fermentacijski proizvodi iz saharoze. Ukupan biološki proces se može predočiti jednažbom:



Treba izračunati koliko je potrebno m<sup>3</sup> 14 %-tne otopine saharoze pri 20 °C ( $\rho = 1,114$  kg/dm<sup>3</sup>) da se proizvede 550 dm<sup>3</sup> 96 %-tnog etanola ( $\rho = 0,812$  kg/dm<sup>3</sup>) pri 20 °C, ako je iskorištenje na etanolu 90 %-tno. (**R:**  $V = 4,5$  m<sup>3</sup>)

**Zadatak 18:** Klor se prema Deaconovom procesu proizvodi tako da se smjesa klorovodika i zraka uvodi u katalitički reaktor u kojem pri višoj temperaturi dolazi do reakcije



Zrak se uvodi u 25 %-tnom suvišku. U procesu se ostvaruje 60 %-tna konverzija HCl. Treba izračunati masu ulaznih plinova, te molarni i maseni sastav izlaznih plinova, kada se proizvodi 120 kg klora. (**R:**  $m_{\text{ulaznih plinova}} = 448,6$  kg, sastav izlaznog plina:  $x_{\text{Cl}_2} = 12,8$  %,  $x_{\text{H}_2\text{O}} = 12,8$  %,  $x_{\text{HCl}} = 17,1$  %,  $x_{\text{O}_2} = 6,9$  %,  $x_{\text{N}_2} = 50,3$  %;  $w_{\text{Cl}_2} = 26,8$  %,  $w_{\text{H}_2\text{O}} = 6,8$  %,  $w_{\text{HCl}} = 18,4$  %,  $w_{\text{O}_2} = 6,5$  %,  $w_{\text{N}_2} = 41,5$  %)

### Procesi gorenja

**Zadatak 19:** Prirodni plin nepoznatog sastava gori sa zrakom. Analiza je pokazala da u dimnom plinu ima 1,5 % CO, 6 % CO<sub>2</sub>, 8,2 % O<sub>2</sub> i 84,3 % N<sub>2</sub>, te 0,13 mol vode/mol mokrog plina. Treba izračunati omjer vodika i ugljika u gorivom prirodnom plinu, te procijeniti koji bi to plin mogao biti. (**R:**  $n_{\text{C}}/n_{\text{H}} = 1/4$ , CH<sub>4</sub>)

**Zadatak 20:** Kapljevina koja ima 88 % C i 12 % H<sub>2</sub> u svom sastavu, gori u prisustvu katalizatora pri temperaturi 500 – 900 °C. Nastali dimni plin ima 13,4 % CO<sub>2</sub>, 3,6 % O<sub>2</sub> i 83 % N<sub>2</sub>. Treba izračunati količinu dimnog (sagorjevnog) plina koji nastaje iz 100 kg kapljeviteg goriva, nastalu vodu, te suvišak zraka pri gorenju. (**R:**  $n_{\text{dimnog plina}} = 54,7$  kmol,  $m_{\text{voda}} = 108$  kg, suvišak zraka = 19,4 %)

**Zadatak 21:** Etan gori sa 50 %-tnim suviškom zraka. Konverzija etana je 90 %. Od etana koji gori 25 % gori nepotpuno dajući CO. Treba izračunati sastav suhog sagorjevnog (dimnog) plina, te molarni omjer vode i suhog sagorjevnog plina. (**R:** sastav suhog sagorjevnog plina:  $x_{\text{CO}_2} = 6,1$  %,  $x_{\text{CO}} = 2,0$  %,  $x_{\text{C}_2\text{H}_6} = 0,4$  %,  $x_{\text{O}_2} = 10,5$  %,  $x_{\text{N}_2} = 89,1$  %;  $n_{\text{voda}}/n_{\text{suhog dimni plin}} = 0,121$  mol/mol)

### Višestupnjeviti procesi

**Zadatak 22:** Aceton iz zraka apsorbira u vodi. Zrak koji ulazi u apsorpcijsku kolonu sadrži 1,5 % acetona. Voda ulazi u kolonu protustrujno. Po izlazu iz apsorbera smjesa vode

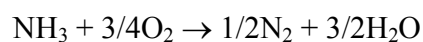
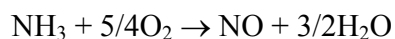
i acetona destilira. Ostatak nakon destilacije sadrži 2 % acetona. Destilat kondenzira i po izlazu iz kondenzatora čisti produkt sadrži 99 % acetona. Treba izračunati koliko se dobi-  
je acetona ako se u proces uvodi 2000 kg/h zraka i 1200 kg/h vode. (**R:**  $m_{AC} = 69,5$  kg)

**Zadatak 23:** Morska voda koja sadrži 3,5 % soli protječe kroz sustav od 10 isparivača. Iste količine vode isparavaju u svakom od isparivača. Isparena voda iz svakog isparivača kondenzira i miješa se s isparenom vodom iz prethodnog isparivača, tvoreći zajednički izlazni tok desalinizirane vode. Ostatak na izlazu iz posljednjeg isparivača sadrži 5,0 % soli. Ako u sustav isparivača ulazi 30000 kg/h morske vode, treba izračunati koliko se proizvede čiste demineralizirane vode iz 1 kg/h morske vode, te postotak soli u morskoj vodi na izlazu iz četvrtog isparivača. (**R:** 0,3 kg vode/kg morske vode,  $w_S = 3,98$  %)

**Zadatak 24:** Kava sadrži komponente koje su topljive u vodi (T) i one koje to nisu (K). Instant kava se proizvodi tako da se topljive komponente iz pržene mljevene kave otope najprije u vrućoj vodi temperature 100 °C na filtru na kojemu se odvoje od netopljivih komponenata. Netopljive komponente koje sadrže 50 % vode se odvoje u isparivač 1 u kojemu se isparava voda, a 1400 kg/h ostatka nakon isparavanja sadrži 70 % netopljivih komponenti. Voda sa 35 % topljivih komponenata kave se s filtra odvodi u isparivač 2 – raspršivač, u kojemu se razdvaja instant kava od vode. Treba izračunati masu potrebne vruće vode i masu pržene mljevene kave koja je potrebna sa se proizvede 500 kg/h instant kave. (**R:**  $m_{vruće\ vode} = 1909$  kg/h,  $m_{pržene\ mljevene\ kave} = 1479$  kg/h)

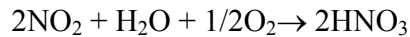
**Zadatak 25:** Ugljen koji sadrži 5 % S gori u peći u koju se uvodi 600 kg ugljena/min. Prije izlaska u atmosferu iz dimnih plinova se uklanja SO<sub>2</sub>. Ako dimni (sagorjevni) plin sadrži 0,018 kg SO<sub>2</sub>/kg spaljenog ugljena, treba izračunati koji je postotak SO<sub>2</sub> uklonjen iz dimnog plina, ako sumpor u ugljenu potpuno izgori u SO<sub>2</sub>. (**R:** uklonjeno je 82 % SO<sub>2</sub>)

**Zadatak 26:** Nitratna kiselina se proizvodi oksidacijom amonijaka zrakom u reaktoru pri čemu dolazi do slijedećih reakcija:





Iskorištenje na dušik(II)oksidu je 96 %. Produkti oksidacije se nakon reaktora uvode u apsorber u koji se dovodi dodatna količina zraka, te voda pri čemu dolazi do nastajanja nitratne kiseline prema reakcijama:

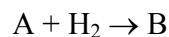


Treba izračunati ukupnu masu potrebnog zraka, te masu nastale 60 %-tne kiseline ako se u proces uvodi 100 kmola (1700 kg) amonijaka. (**R:**  $m_{\text{zrak}} = 26928$  kg,  $m_{60\% \text{ HNO}_3} = 10080$  kg)

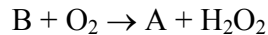
**Zadatak 27:** U kontinuiranom procesu pranje prljavo rublje se pere s deterdžentom koji recirkulira u procesu. Deterdžent koji ulazi u bubanj za pranje sadrži 97 % čistog deterdženta. Nakon pranja se deterdžent odvodi na filter na kojemu se odvajaju nečistoće. Ostatak deterdženta se vraća ponovno u proces pranja. Ako na svakih 100 kg prljavog rublja iz bubnja izlazi 25 kg deterdženta od kojeg se 22 kg ponovo vraća u proces, treba izračunati koliko se detergenta potroši za pranje tih 100 kg rublja i kakav je sastav deterdženta koji recirkulira u procesu. Prljavo rublje sadrži 2 % nečistoća, a u pranju se uklanja 95 % nečistoća. (**R:**  $m_{\text{detergenta u Fs}} = 1,1$  kg, sastav deterdženta u R:  $w_{\text{deterdženta}} = 0,969$ ,  $w_{\text{nečistoće}} = 0,031$ )

**Zadatak 28:** Plin koji sadrži 25 %  $\text{CO}_2$  i 75 %  $\text{CH}_4$  se čisti od  $\text{CO}_2$  tako se  $\text{CO}_2$  apsorbera u metanolu koji sadrži 5 % (mol.)  $\text{CO}_2$  u procesnoj jedinici koja se zove apsorber. Plin koji izlazi iz apsorbera sadrži 1 %  $\text{CO}_2$  i sav metan koji je ušao u apsorber. Metanol obogaćen s  $\text{CO}_2$  se odvodi u kolonu za stripiranje u kojoj se sa strujom dušika uklanja 90 % otopljenog  $\text{CO}_2$ . Tako regenerirani metanol se ponovno vraća u apsorpcijsku kolonu. Treba izračunati količinu sirovog plina koja je potrebna za proizvodnju 1000 kg/h čistog plina, količinu dobivenog  $\text{CO}_2$  i količinu metanola koja recirkulira u procesu. (**R:**  $n_{\text{sirovi plin}} = 81$  kmol/h,  $n_{\text{dobiveni CO}_2} = 19,6$  kmol/h,  $n_{\text{CH}_3\text{OH u povratnom toku}} = 41,8$  kmol/h)

**Zadatak 29:** U industrijskom procesu proizvodnje vodikovog peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) se složena organska tvar A hidrira s vodikom prema reakciji:

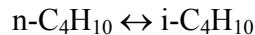


u reaktoru za hidriranje. Nastala tvar B se uvodi u reaktor za oksidaciju gdje se sa zrakom oksidira prema reakciji:



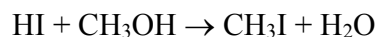
Nastali produkti se odvođe u ekstraktor gdje se vodikov peroksid ekstrahira iz organske tvari A sa vodom pri čemu nastaje 25 %-tna vodena otopina vodikovog peroksida koji izlazi iz ekstraktora. Organska tvar se vraća ponovno u proces za hidriranje. Treba izračunati koliko je potrebno vodika, zraka i vode u kg/h da se proizvede 100 t/d 25 %-tne vodene otopine vodikovog peroksida, te koliko organske tvari A recirkulira u procesu. (**R:**  $m_{H_2} = 613$  kg/h,  $m_{zrak} = 42311$  kg/h,  $m_{voda} = 31250$  kg/h,  $n_{A,recirkulira} = 306,4$  kmol/h)

**Zadatak 30:** U procesu izomerizacije n-butana:



se svježa sirovina koja sadrži 10 % produkta (izobutana) miješa s povratnim tokom i procesna sirovina ulazi u katalitički reaktor u kojemu se ostvaruje 20 %-tna konverzija n-butana. Sirovi produkt nakon reaktora ulazi u destilacijsku kolonu u kojoj se razdvaja izobutan od neproreagiranog n-butana. Destilat sadrži 96 % izobutana. Ako se u obliku destilata dobije 20 kmol/h 96 %-tnog izobutana, pri čemu ukupno nastaje 150 kmol/h ostatka, a omjer povratnog toka i ostatka koji se odvodi iz procesa je 1, treba izračunati koliko n-butana recirkulira u procesu i koliko se svježih sirovina uvodi u proces. (**R:**  $n_{n-butan} = 56,33$  kmol/h,  $F_S = 95$  kmol/h)

**Zadatak 31:** Pri proizvodnji metil-jodida u proces se uvodi 2000 kg/dan jodidne kiseline i metanol u suvišku. Reakcija nastajanja metil-jodida se može predložiti slijedećom stehiometrijskom jednačinom:



Ako čisti produkt sadrži 81,6 %  $CH_3I$  i neproreagirani metanol, a ostatak 82,6 % HI i 17,4 % vode, treba izračunati uz pretpostavku da je konverzija 40 % masu etanola koji se uvodi u proces i masu HI koji kruži u procesu. (**R:**  $m_{EtOH} = 600$  kg/dan,  $m_{HI} = 998$  kg/dan)

## Bilanca tvari i energije

**Zadatak 32:** 50 kmol/s zraka treba ohladiti s temperature 430 °C na temperaturu 100 °C. Koliko je za to potrebno vode za hlađenje ako joj se temperatura smije povećati samo za 10 °C? ( $c_{p,m}^{\text{zrak}} = 30,05 \text{ kJ}/(\text{mol } ^\circ\text{C})$ ) (**R:**  $V_{\text{voda}} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ )

**Zadatak 33:** Zamrzivač za vakuum zamrzavanje pod tlakom, u kojemu se desalinizira morska voda, radi u stacionarnim uvjetima. U zamrzivač dotiče 100 g/s vode s 3,5 % soli pri temperaturi -1 °C, a koncentrirana morska voda s 5,6 % soli, led i 4,7 g/s vodene pare na izlazu iz zamrzivača imaju temperaturu -3 °C. Treba izračunati toplinu koju će zamrzivač izmijeniti s okolinom. (**R:**  $Q = 242 \text{ J/s}$ )

**Zadatak 34:** 731 kg/h amonijačnih para se miješa s 11273 kg/h zraka. Amonijačne pare su pri temperaturi 20 °C a zrak pri 230 °C. Srednji specifični toplinski kapacitet amonijačnih para iznosi  $c_p = 2,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ , a zraka  $c_p = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ . Treba izračunati temperaturu smjese ako nema izmjene topline s okolinom. (**R:**  $T_{\text{smjesa}} = 476,8 \text{ K}$ )

**Zadatak 35:** Čiste pregrijane pare amonijaka pri tlaku 26 bara i temperaturi 60 °C (333 K) kondenziraju i prelaze u zasićenu kapljevину amonijaka. Protok amonijaka je 500 kg/h. Koliko je topline potrebno odvesti ako je specifična entalpija zasićene pare amonijaka pri danom tlaku i temperaturi  $\Delta h = 1710,726 \text{ kJ/kg}$ , a kapljevine  $\Delta h = 710,081 \text{ kJ/kg}$ . Entalpija isparavanja amonijaka pri tom tlaku i temperaturi je  $\Delta h_V = 1000,645 \text{ kJ/kg}$ . (**R:**  $Q = 1,00 \cdot 10^6 \text{ kJ}$ )

**Zadatak 36:** Para koja se upotrebljava za zagrijavanje kotlastog reaktora ulazi u grijač (izmjenjivač topline) pri temperaturi 250 °C. Zasićena je i kroz grijač potpuno kondenzira. Reakcijska smjesa u reaktoru apsorbira toplinu iz grijača, a grijač gubi u okolinu toplinu od 1,5 kJ/s. Reaktanti u reaktoru na početku kemijskog procesa imaju temperaturu 20 °C. Na kraju procesa reakcijska smjesa ima temperaturu 100 °C. Ako jedna šarža reakcijske smjese ima masu 150 kg i srednji specifični toplinski kapacitet  $c_p = 3,26 \text{ J}/(\text{g K})$ , ko-

liko treba kg pare po kg reakcijske šarže za njeno zagrijavanje ako šarža ostaje u reaktoru 1 sat. (**R:**  $m_{\text{para}}/m_{\text{šarža}} = 1,5 \text{ kg/kg}$ )

**Zadatak 37:** 21000 kg/h metanola se grije sa temperature 20 °C na temperaturu 70 °C. Izmjenjivač topline se grije sa 1000000 kg/h vruće vode koja na ulazu u izmjenjivač topline ima temperaturu 90 °C. Treba izračunati temperaturu vode na izlazu iz izmjenjivača. ( $c_{p, \text{voda(l)}} = 4,186 \text{ kJ/(kg K)}$ ;  $c_{p, \text{M(g)}} = 42,93 \text{ kJ/(kg K)}$ ) (**R:**  $T = 344,5 \text{ K}$ )

**Zadatak 38:** U bazene solane se uvodi 20 t/dan morske vode koja sadrži 3,5 % NaCl i ima temperaturu 25 °C. Treba izračunati koliko je sunčeve topline potrebno da bi se proizvela morska sol ako se voda u potpunosti uklanja iz kristala NaCl. Solana radi 100 dana godišnje, a proces je izoterman. Treba izračunati i količinu propana koju je potrebno spaliti da bi se dobila ekvivalentna količina topline ako je toplina nastala gorenjem 1 mola propana  $-\Delta H_{c,m}^{\circ} = 2220 \text{ kJ/mol}$ . (**R:**  $Q = 4,36 \cdot 10^9 \text{ kJ}$ ;  $n = 1963 \text{ kmol}$ )

**Zadatak 39:** U kondenzatoru kondenzira 1000 kg/h n-heptana. Ako se pare n-heptana uvode u kondenzator pri temperaturi 503 K, a kondenzator napuštaju pri temperaturi 303 K treba izračunati količinu vode potrebne za hlađenje. Vodi za hlađenje temperatura se smije povećati za 15 °C. (**R:**  $m_{\text{voda}} = 11,6 \text{ t/h}$ )

**Zadatak 40:** 500 kg/h zasićene vodene pare pri temperaturi 200 °C koristi se za zagrijavanje benzena pri atmosferskom tlaku. Zasićena vodena para po prolazu kroz izmjenjivač topline kondenzira. Kapljeviti benzen ulazi u izmjenjivač topline pri temperaturi 25 °C, a napušta ga pri temperaturi 198 °C. Izračunati količinu benzena koja u 1 satu može proći kroz takav izmjenjivač topline. (**R:**  $n = 18,21 \text{ kmol}$ )

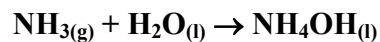
**Zadatak 41:** U destilacijsku kolonu se uvodi 1000 kg/h smjese koja sadrži 10 % acetona, a ostalo je voda. Temperatura smjese na ulazu je 35 °C. Destilat koji sadrži 99 % acetona izlazi iz kolone pri temperaturi 25 °C. Ostatak koji je čista voda izlazi iz destilacijske kolone pri temperaturi 100 °C. Para koja se upotrebljava za grijanje kolone ima tlak 400 kPa i zasićena je. Vodi koja se upotrebljava za hlađenje destilata temperatura se smije povisiti

za 30 °C. Destilacijska kolona radi pri tlaku 1 bar. Treba izračunati potrebnu količinu pare za grijanje kolone i vode za hlađenje destilata. (**R:**  $m_{\text{para}} = 89,2 \text{ kg}$ ;  $m_{\text{voda}} = 1007 \text{ kg}$ )

**Zadatak 42:** U destilacijsku kolonu se uvodi 1000 kg/h 10 %-tnog acetona, a ostalo je voda. Temperatura na ulazu u kolonu je 35 °C. Destilat koji sadrži 99 % acetona izlazi iz kolone pri temperaturi 100 °C. Treba izračunati količinu topline koju je potrebno dovesti u destilacijsku kolonu. (**R:**  $Q = 2,42 \cdot 10^5 \text{ kJ}$ )

**Zadatak 43:** Pri proizvodnji sumporne kiseline se  $\text{SO}_2$  oksidira u  $\text{SO}_3$  u katalitičkom reaktoru 1. Nastali se  $\text{SO}_3$  apsorbira u razrijeđenoj sumpornoj kiselini u reaktoru 2. Plinoviti reaktanti na ulazu u reaktor sadrže 8,7 %  $\text{SO}_2$ , 9,8 %  $\text{O}_2$ , a ostatak je  $\text{N}_2$ . U reakciji se konvertira 80 %  $\text{SO}_2$ . Plinoviti produkti na izlazu iz reaktora 1 imaju temperaturu 625 °C, a pri ulazu u reaktor 2 moraju imati temperaturu 400 °C. Treba izračunati količinu topline po kg sumpora koju je potrebno odvesti u hladilu koje se postavlja između reaktora 1 i 2. (**R:**  $Q = -2883,5 \text{ kJ/kg sumpora}$ )

**Zadatak 44:** Otopina amonijaka se priprema otapanjem plinovitog  $\text{NH}_3$  u vodi prema reakciji:

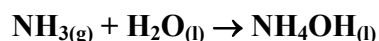


a) Treba izračunati ukupnu toplinu koju je potrebno odvesti kada se priprema 400 dm<sup>3</sup> 32 %-tne otopine amonijaka koja ima temperaturu 25 °C, kao i početne tvari. Standardna molarna entalpija plinovitog amonijaka je  $\Delta H_{s,m} = -34,73 \text{ kJ/mol}$  za 32 %-tnu otopinu amonijaka čija je gustoća  $\rho = 0,889 \text{ kg/dm}^3$ .

b) Koliko je potrebno rashladne vode kojoj se temperatura smije povećati za 5 °C da se odvede ta količina topline.

(**R:** a)  $Q = -2,32 \cdot 10^5 \text{ kJ}$ ; b)  $V_{\text{voda}} = 11 \text{ m}^3$ )

**Zadatak 45:** Otopina amonijaka se priprema otapanjem plinovitog  $\text{NH}_3$  u vodi prema reakciji:

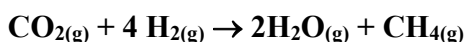


10,5 %-tna otopina amonijaka ima srednji specifični toplinski kapacitet  $c_p = 4,261 \text{ J}/(\text{g } ^\circ\text{C})$  i gustoću  $\rho = 0,955 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Ukupna toplina koja se oslobađa prilikom otapanja amonijaka pri pripravi  $100 \text{ dm}^3$  ove otopine iznosi  $Q = -20069 \text{ kJ}$ . Kako je sustav adijabatski ova toplina se ne izmjenjuje s okolinom. Treba izračunati konačnu temperaturu otopine, ako je temperatura vode i amonijaka na početku procesa otapanja  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . (**R:**  $T = 74,3 \text{ }^\circ\text{C}$ )

**Zadatak 46:** Treba izračunati temperaturu  $30 \text{ kg}$   $30 \%$ -tne otopine  $\text{H}_2\text{SO}_4$  koju je potrebno dovesti u izolirani tank i pomiješati sa  $100 \text{ kg}$   $\text{H}_2\text{O}$  pri temperaturi  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  da se dobije razrijeđena otopina  $\text{H}_2\text{SO}_4$  temperature  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dani su sljedeći toplinski kapaciteti;  $c_{p,\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 4,184 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$  i  $c_{p,\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})} = 2,51 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ . (**R:**  $T = 128,6 \text{ }^\circ\text{C}$ )

**Zadatak 47:** Treba izračunati količinu topline nastale miješanjem  $100 \text{ kg}$   $\text{NaOH}(\text{s})$  pri  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  sa  $1000 \text{ kg}$   $\text{H}_2\text{O}$  pri  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ako je temperatura nastale otopine  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  koliko je vode za hlađenje potrebno ako joj se temperatura smije povisiti za  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . ( $c_{p,\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 4,184 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$  i  $c_{p,\text{NaOH}(\text{s})} = 6,14 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ ) (**R:**  $V = 2,7 \text{ m}^3$ )

**Zadatak 48:** Reakcija u plinskoj fazi



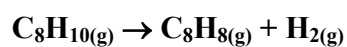
s provodi uz  $100 \%$ -tnu konverziju. U reaktor se uvodi  $1 \text{ mol}$   $\text{CO}_2$ . Treba izračunati količinu topline koja se treba odvesti ili dovesti iz reaktora da temperatura plinova koji ulaze i izlaze iz reaktora bude  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ . (**R:**  $-187,45 \text{ kJ}$ )

**Zadatak 49:** Dehidriranjem etanola se dobiva acetaldehid u adijabatskom kemijskom reaktoru prema reakciji



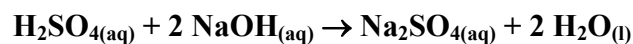
za koju je standardna reakcijska entalpija  $\Delta H_{r,m}^{\circ}$  (25 °C) = 69,31 kJ/mol. Pare etanola se uvode u reaktor pri 300 °C. U reaktoru se ostvaruje 30 %-tna konverzija. Treba izračunati temperaturu nastalih produkata. (**R:**  $T = 91$  °C)

**Zadatak 50:** Etil-benzen se pretvara u stiren katalitičkim dehidriranjem na temperaturi 600 °C. Reakcija se shematski može prikazati slijedećom jednažbom:



Za ovu reakciju je reakcijska entalpija pri 600 °C  $\Delta H_r = 124,5$  kJ/mol. U reaktoru se ostvaruje 35 %-tna konverzija etil-benzena. U reaktor se uvodi etil-benzen pri 25 °C, a izlaze produkti pri 600 °C. Treba izračunati ukupnu toplinu koju će reaktor izmijeniti s okolinom pri proizvodnji 120 kg/h stirena. (**R:**  $Q = 4,89 \cdot 10^8$  J)

**Zadatak 51:** 10 %-tna vodena otopina  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pri 40 °C se neutralizira s 20 %-tnom vodenom otopinom NaOH koja ima temperaturu 25 °C u reaktoru. Reakcija neutralizacije se shematski može predočiti jednažbom:



Treba izračunati toplinu koju je potrebno odvesti iz reaktora da produkt ima temperaturu 35 °C. (**R:**  $Q = 137,2$  kJ/kg otopine  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

**Zadatak 52:** Toluenu se proizvodi iz n-heptana prema reakciji

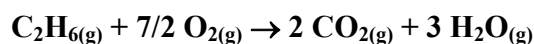
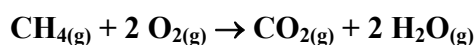


Uz  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  katalizator. Iskorištenje na toluenu je 15 %. Treba izračunati koliko je topline potrebno dovesti ili odvesti iz reaktora po kg heptana da reaktor radi izotermno pri 425 °C. Referentna temperatura je 25 °C. (**R:**  $Q = 2,83 \cdot 10^6$  J/kg n-heptana)

**Zadatak 53:** Prirodni plin koji sadrži 87 % CH<sub>4</sub> i 13 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gori s 20 % suviška zraka u peći. Plin koji ulazi u peć ima temperatura 298 K, a pregrijani zrak 423 K. Uz pretpostavku da je gorenje potpuno, a da pojedine komponente plina imaju toplinske kapacitete stalnih vrijednosti: CO<sub>2</sub> –  $c_{p,m} = 50 \text{ J/(mol K)}$ ; H<sub>2</sub>O(g) –  $c_{p,m} = 38,5 \text{ J/(mol K)}$ ; O<sub>2</sub> –  $c_{p,m} = 33,1 \text{ J/(mol K)}$ ; N<sub>2</sub> –  $c_{p,m} = 31,3 \text{ J/(mol K)}$ . Treba izračunati temperaturu u peći, ako je proces gorenja adijabatski. (**R:**  $T = 2312,8 \text{ K}$ )

**Zadatak 54:** Prirodni plin koji sadrži 85 % CH<sub>4</sub> i 15 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gori sa zrakom u dobro izoliranoj peći. Plin i zrak ulaze u peć pri 10 °C. Uz pretpostavku da je gorenje potpuno treba izračunati temperaturu u peći. (**R:**  $T = 2239 \text{ °C}$ )

**Zadatak 55:** Prirodni plin koji sadrži 85 % CH<sub>4</sub> i 15 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gori sa zrakom. Proces gorenja, koje je potpuno, se može predočiti slijedećim reakcijama:



Treba izračunati kaloričnu vrijednost plina ako je jedan od produkata gorenja vodena para. Poznate su standardne molarne entalpije gorenja pri 25 °C; za reakciju 1 je  $\Delta H_c^\circ = -890 \text{ kJ/mol}$ , a za reakciju 2 je  $\Delta H_c^\circ = -1559,9 \text{ kJ/mol}$ . Molarna entalpija isparavanja vode pri 25 °C je  $\Delta H_V = 40,65 \text{ kJ/mol}$ . (**R:**  $KV = 49,5 \text{ kJ/g}$ )

**Zadatak 56:** Prirodni plin nepoznatog sastava gori sa zrakom. Analiza je pokazala da u 100 mol dimnog plina ima 1,5 % CO, 6 % CO<sub>2</sub>, 8,2 % O<sub>2</sub>, 84,3 % N<sub>2</sub>, te 0,13 mol H<sub>2</sub>O/mol mokrog plina. Treba izračunati omjer vodika i ugljika u gorivom prirodnom plinu, procijeniti koji bi to plin mogao biti, te izračunati količinu topline koju je u sustav potrebno dovesti ili odvesti ako je proces izoterman i provodi se pri 25 °C. Pretpostaviti da se reakcija odvija u plinovitom agregatnom stanju. (**R:**  $Q = -5593 \text{ kJ}$ )



**Zadatak 57:** Prirodni plin koji sadrži 87 % CH<sub>4</sub> i 13 % C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> gori s 20 % suviška zraka u peći koja je potpuno izolirana u odnosu na okoliš. Plin koji ulazi u peć ima temperaturu 298 K, a pregrijani zrak 423 K. Gorenje se odvija uz 80 %-tnu konverziju, a 75 % od izvora ugljika koji gori, potpuno izgara. Vrijednosti srednjih specifičnih toplinskih kapaciteta pojedinih plinova kao i standardne entalpije nastajanja spoja dane su u tablici.

Komponenta	$c_p$ [J/(mol K)]	$\Delta H_f^\circ$ [kJ/mol]
CO <sub>2</sub>	50,0	-393,51
CO	40,0	-110,52
H <sub>2</sub> O	38,5	-241,83
O <sub>2</sub>	33,1	0
N <sub>2</sub>	31,3	0
CH <sub>4</sub>	49,3	-74,84
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	106,5	-84,67

Treba izračunati temperaturu struje izlaznog plina. (**R:**  $T = 406,6$  K)