

Za sežigalnico lahko napišemo masno bilanco, kjer je količina PCB na vstopu enaka količini PCB v izstopnem zraku:

$$[\text{PCB, ki vstopa}] = [\text{PCB, ki izstopa}]$$

$$[\text{PCB, ki vstopa}] = 100 \text{ kg/h} \times 0,22 \times 1.000 \text{ g/kg} = 22.000 \text{ g/h}$$

$$[\text{PCB, ki izstopa}] = 40 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,02 \text{ g/m}^3 \times 60 \text{ min/h} = 48 \text{ g/h}$$

Ker PCB v pepelu ni, je torej sežgana količina PCB v eni uri enaka  $22.000 \text{ g} - 48 \text{ g}$ . to je  $21.952 \text{ g}$ . tako da je učinkovitost sežiga enaka:

$$(21.952/22.000) \times 100 = 99,78\%$$

6. Mesto ima 10.000 gospodinjstev. Vsako napolni tedensko 80 l zabojnik z nekoristnimi odpadki, njihova povprečna gostota je  $120 \text{ kg/m}^3$ . Do kakšne gostote ( $\text{kg/m}^3$ ) mora stisniti pobrane odpadke zbiralni kamion s  $10,3 \text{ m}^3$  velikim zbiralnim prostorom, da bo lahko pobral vse odpadke v 10 vožnjah ?

**Rezultat:** Gostota stisnjenih odpadkov mora biti  $932 \text{ kg/m}^3$ , kar pomeni, da mora stiskalnica v kamionu odpadke stisniti 7,8-krat.



Rešitev:

Biokemijsko potrebo po kisiku lahko modeliramo kot reakcijo prvega reda:

$$BPK_t \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times t \text{ (dan)}}$$

$$BPK_5 \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

$$200 \text{ mg/l} = 300 \text{ mg/l} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

Enačbo uredimo in iz nje izračunamo konstanto hitrosti biokemijske oksidacije:

$$k = 0,22 \text{ dan}^{-1}$$

Biokemijsko potrebo po kisiku lahko izrazimo tudi v obliki z desetiškim logaritmom in konstanto hitrosti izračunamo na enak način:

$$BPK_t \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - 10^{-K(1/\text{dan}) \times t \text{ (dan)}}$$

$$BPK_5 \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - 10^{-K(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

$$200 \text{ mg/l} = 300 \text{ mg/l} \times (1 - 10^{-K(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

$$K = 0,095 \text{ dan}^{-1}$$

Zveza med obema konstantama je:

$$2,303 \times K = K \times \ln 10 = k$$

4. Odpadna voda ima  $BPK_5 = 150 \text{ mg/l}$  pri  $20^\circ\text{C}$ . Pri tej temperaturi smo določili konstanto hitrosti biokemijske razgradnje ( $k$ ), ki je enaka  $0,23 \text{ dan}^{-1}$ .

- Kakšen je končni BPK ( $BPK_x$ ) te odpadne vode?

Rešitev:

Biokemijsko potrebo po kisiku lahko modeliramo kot reakcijo prvega reda:

$$BPK_t \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times t \text{ (dan)}}$$

$$BPK_5 \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

$$150 \text{ mg/l} = BPK_x \times (1 - e^{-0,23(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

Enačbo uredimo in iz nje izračunamo končno biokemijsko potrebo po kisiku ( $BPK_x$ ), ki je enaka  $219 \text{ mg/l}$ .

- Kakšna je konstanta hitrosti razgradnje  $k$  pri  $15^\circ\text{C}$ , če je  $\theta = 1,0477$ ?

Rešitev:

Zvezo med konstantama hitrosti biokemijske oksidacije pri  $20^\circ\text{C}$  (standardna temperatura testa) in pri drugi temperaturi podaja zveza:

$$k_T \text{ (dan}^{-1}) = k_{20} \text{ (dan}^{-1}) \times \theta^{(T(^\circ\text{C}) - 20)}$$

$$k_{15} \text{ (dan}^{-1}) = 0,23 \text{ dan}^{-1} \times 1,047^{(15^\circ\text{C} - 20)}$$

Enačbo uredimo in iz nje izračunamo konstanto hitrosti biokemijske oksidacije  $k$  pri  $15^\circ\text{C}$ , ki je enaka  $0,183 \text{ dan}^{-1}$ .

- Kakšen je  $BPK_5$  te odpadne vode pri  $15^\circ\text{C}$ ?

Rešitev:

$$BPK_t \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times t \text{ (dan)}}$$

$$BPK_5 \text{ (mg/l)} = 219 \text{ mg/l} \times (1 - e^{-0,183(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

Enačbo uredimo in iz nje izračunamo  $BPK_5 = 131 \text{ mg/l}$

5. Odpadna voda ima  $BPK_5 = 180 \text{ mg/l}$  in konstanto hitrosti biokemijske oksidacije ( $k$ )  $0,22 \text{ dan}^{-1}$ . Vsebnost Kjeldahlovega dušika (TKN) je  $30 \text{ mg/l}$ .

- Določite končni BPK ( $BPK_x$ ) odpadne vode!

Rešitev:

Biokemijsko potrebo po kisiku lahko modeliramo kot reakcijo prvega reda:

$$BPK_t \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times t \text{ (dan)}}$$

$$BPK_5 \text{ (mg/l)} = BPK_x \text{ (mg/l)} \times (1 - e^{-k(1/\text{dan}) \times 5 \text{ dni}})$$

$$180 \text{ mg/l} = BPK_x \times (1 - e^{-0,22 \times 1/\text{dan} \times 5 \text{ dni}})$$

Enačbo uredimo in iz nje izračunamo končno biokemijsko potrebo po kisiku ( $BPK_x$ ), ki je enaka  $270 \text{ mg/l}$ .

- Določite celotno porabo kisika ( $BPK_x$  + nitrifikacija) odpadne vode!

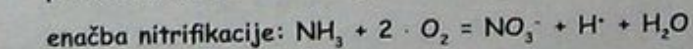
Rešitev:

Kjeldahlov dušik (TKN) zajema celoten organski dušik in amonij v vzorcu. Ob predpostavki, da je v vzorcu potekla nitrifikacija, je zveza med porabo kisika za nitrifikacijo in TKN enaka:

$$\text{poraba kisika za nitrifikacijo (mg/l)} = 4,57 \text{ (mg/mg N)} \times \text{TKN (mg N/l)}$$

$$\text{poraba kisika za nitrifikacijo (mg/l)} = 4,57 \text{ (mg/mg N)} \times 30 \text{ mg N/l}$$

$$\text{poraba kisika za nitrifikacijo} = 137 \text{ mg/l}$$





# 1. Kvaliteta vod

## 2. Tehnološke vode

Ker je izračunana specifična obremenitev ionskega izmenjevalca prevelika, moramo povečati količino ionskega izmenjevalca:

$$V_m = 500 \text{ (l/h)} / 16 \text{ (l/(l_m \cdot h))} = 31,3 \text{ l mase IR 120}$$

Rezultat: Potrebna velikost reaktorja z močno kislim izmenjevalcem: premer 25 cm, višina 65 cm.

Močno bazični izmenjevalec IRA 402:

$$V_m \text{ (l)} = Q \text{ (l/h)} \times L \text{ (h)} \times ST \text{ (g CaO/l)} / KVK \text{ (g CaO/l}_m)$$

$$V_m \text{ (l)} = 500 \text{ (l/h)} \times 12 \text{ (h)} \times 0,14 \text{ (g CaO/l)} / 28,2 \text{ (g CaO/l}_m)$$

$$V_m \text{ (l)} = 29,8 \text{ l anionskega izmenjevalca}$$

Izračun velikosti reaktorja:

Ker je minimalna višina ionske mase v cevi 60 cm, izračunamo premer cevi reaktorja za 29,8 l ionske mase:

$$V \text{ (cm}^3) = \pi \times r^2 \text{ (cm)} \times h \text{ (cm)}$$

$$r = 12,6 \text{ cm}$$

Premer cevi reaktorja je približno 25 cm.

Na razpolago imamo močno bazični ionski izmenjevalec IRA 402 s specifično obremenitvijo do 40 l/(l<sub>m</sub>·h). Zato preverimo izračun specifične obremenitve za zgornji primer:

$$Q \text{ (l/h)} / M \text{ (l)} = 500 \text{ (l/h)} / 29,8 \text{ (l)} = 16,8 \text{ l/(l}_m \cdot \text{h)}$$

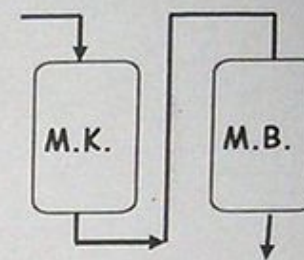
Ker je izračunana specifična obremenitev ionskega izmenjevalca ustrezna, zadostuje 30 l anionskega izmenjevalca IRA 402.

Rezultat: Potrebna velikost reaktorja z močno bazičnim izmenjevalcem: premer 25 cm, višina 61 cm.

2. Industrijska naprava za totalno demineralizacijo surove vode, ki ima skupno trdoto 20 °N, ima dva filtra. Prvi filter je polnjen z močno kislno maso (KVK = 32 g CaO/l<sub>m</sub>) in specifično obremenitvijo mase 28 l/(l<sub>m</sub>·h). Filter regeneriramo s 300 % teoretične vrednosti HCl. Drugi filter je polnjen z močno bazično maso (KVK = 38 g CaO/l<sub>m</sub>) in specifično obremenitvijo mase 23 l/(l<sub>m</sub>·h). Filter regeneriramo s 400 % teoretične vrednosti NaOH. Koliko HCl in koliko NaOH potrebujemo za pripravo 1 m<sup>3</sup> totalno demineralizirane vode?

## 2. Tehno

Schema:



M.K. - močno kislna ionska masa

M.B. - močno bazična ionska masa

Rešitev:

$$20 \text{ }^\circ\text{N} = 20 \text{ mg CaO}/100 \text{ ml} = 200 \text{ mg CaO}/\text{l} = 200 \text{ g CaO}/\text{m}^3$$

CaO	.....	2 HCl
56 g	.....	73 g
200 g	.....	x g

$$x = 260 \text{ g HCl} \times 3 = 780 \text{ g HCl}$$

CaO	.....	2 NaOH
56 g	.....	80 g
200 g	.....	x g

$$x = 286 \text{ g NaOH} \times 4 = 1.144 \text{ g NaOH}$$

Rezultat: Potrebujemo 780 g HCl in 1.144 g NaOH.

3. Industrijska naprava za dealkalizacijo surove vode, ki ima skupno trdoto 15 °N ima dve koloni. Prvo, ki je napolnjena z močno kislim izmenjevalcem v Na<sup>+</sup> obliki, regeneriramo s 300 % teoretične vrednosti NaCl. Druga kolona je napolnjena z močno bazičnim izmenjevalcem v Cl<sup>-</sup> obliki in jo regeneriramo s 300 % teoretične vrednosti NaCl. Koliko kg NaCl potrebujemo za pripravo 1 m<sup>3</sup> dealkalizirane vode?

Rezultat: Potrebujemo 1.880 g NaCl.

4. Izračunajte potrebno količino ionske mase (V<sub>m</sub>) za filter za nevtralno izmenjavo, če imate na razpolago površinsko vodo z naslednjo sestavo:



## 2. Jezero:

$$\text{vtok (mg/dan)} = \text{iztok (mg/dan)} + ((k \text{ (dan}^{-1}) \times V_2 \text{ (l)} \times \text{BPK}_{\text{izstop2}} \text{ (mg/l))})$$

$$\text{BPK}_{\text{izstop1}} \text{ (mg/l)} \times Q \text{ (l/dan)} = \text{BPK}_{\text{izstop2}} \text{ (mg/l)} \times Q \text{ (l/dan)} +$$

$$((k \text{ (dan}^{-1}) \times V_2 \text{ (l)} \times \text{BPK}_{\text{izstop2}} \text{ (mg/l))})$$

$$8,0 \text{ (mg/l)} \times 3,78 \cdot 10^6 \text{ (l/dan)} = \text{BPK}_{\text{izstop2}} \text{ (mg/l)} \times 3,78 \cdot 10^6 \text{ (l/dan)} +$$

$$((0,3 \text{ (dan}^{-1}) \times 11,35 \cdot 10^6 \text{ (l)} \times \text{BPK}_{\text{izstop2}} \text{ (mg/l))})$$

Enačbo uredimo in iz nje izračunamo  $\text{BPK}_{\text{izstop2}}$ , ki je 4,2 mg/l.

3. Pogosto za alge uporabimo naslednjo kemijsko predstavitev:  $\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$ .

- Določite maso (mg) vsakega elementa v 1 g alg!

Rešitev:

$$\text{Molska masa alg} = 3.550 \text{ g/mol}$$

Tako je v vsakem gramu alg naslednja količina elementov:

$$m \text{ (C)} = (106 \text{ mol} \times 12 \text{ g/mol}) / 3.550 \text{ g/mol} = 0,3583 \text{ g} = 358,3 \text{ mg}$$

$$m \text{ (H)} = (263 \text{ mol} \times 1 \text{ g/mol}) / 3.550 \text{ g/mol} = 0,0741 \text{ g} = 74,1 \text{ mg}$$

$$m \text{ (O)} = (110 \text{ mol} \times 16 \text{ g/mol}) / 3.550 \text{ g/mol} = 0,4958 \text{ g} = 495,8 \text{ mg}$$

$$m \text{ (N)} = (16 \text{ mol} \times 14 \text{ g/mol}) / 3.550 \text{ g/mol} = 0,0631 \text{ g} = 63,1 \text{ mg}$$

$$m \text{ (P)} = (1 \text{ mol} \times 31 \text{ g/mol}) / 3.550 \text{ g/mol} = 0,0087 \text{ g} = 8,7 \text{ mg}$$

- Za produkcijo alg je na liter rečne vode na razpolago 0,10 mg N in 0,04 mg P. Kateri je limitni nutrient, če predpostavimo, da je v vodi ustrezna količina drugih nutrientov?

Rešitev:

dušik dovoljuje prirast alg v enem litru:

$$(0,10 \text{ mg/l} \times 1.000 \text{ mg alg}) / 63,1 \text{ mg N} = 1,6 \text{ mg/l}$$

fosfor dovoljuje prirast alg v enem litru:

$$(0,04 \text{ mg/l} \times 1.000 \text{ mg alg}) / 8,7 \text{ mg P} = 4,6 \text{ mg/l}$$

Zato je dušik limitni nutrient.

- Koliko mg alg lahko zraste v enem litru rečne vode?

Rešitev: Zraste lahko 1,6 mg/l alg (glej prejšnje vprašanje!)

- Koliko alg (mg/l) lahko zraste, če vir dušika zmanjšamo za 50 %?

Rešitev: Zraste lahko  $(1,6 \text{ mg/l}) / 2 = 0,8 \text{ mg/l}$  alg.

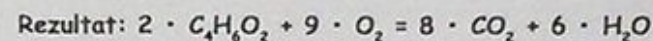
- Koliko alg (mg/l) lahko zraste, če vir fosforja zmanjšamo za 50 %?

Rešitev:

Če koncentracijo fosforja zmanjšamo za 50 %, bi lahko zraslo  $(4,6 \text{ mg/l}) / 2 = 2,3 \text{ mg/l}$  alg. Ker pa v vsakem primeru dušik še vedno ostaja limitni nutrient, prirast alg ostane enak: 1,6 mg/l.

4. Iztok industrijske odpadne vode, ki vsebuje 8 mg/l 1,4-butindiola ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ), je 2,1 m<sup>3</sup>/s.

- Napišite kemijsko reakcijo za oksidacijo 1,4-butindiola ter izračunajte teoretično kemijsko potrebo po kisiku (TKPK) za 1,4-butindiol!



$$\text{TKPK} = 1.674 \text{ mg/g}$$

- Kakšen je KPK reke za izpustom odpadne vode, če je KPK reke pred izpustom 4 mg/l? Pretok reke za izpustom je 45 m<sup>3</sup>/s.

$$\text{Rezultat: KPK} = 4,5 \text{ mg/l}$$

5. BPK<sub>5</sub> odpadne vode, ki s pretokom 4,2 m<sup>3</sup>/s izteka iz biološke čistilne naprave, je 12 mg/l. Pretok reke nad izpustom odpadne vode je 110 m<sup>3</sup>/s, BPK<sub>5</sub> reke nad izpustom je 4,8 mg/l. Koliko je BPK<sub>5</sub> rečne vode za izpustom odpadne vode?

$$\text{Rezultat: BPK}_5 = 5,07 \text{ mg/l}$$

6. Iztok odpadne vode iz proizvodnje fenol-formaldehidnih smol, ki vsebuje 5 mg/l fenola ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) in 1 mg/l formaldehida (HCHO), je 2,1 m<sup>3</sup>/s. Kakšen je KPK reke za izpustom odpadne vode, če je KPK reke pred izpustom 4 mg/l. Pretok reke za izpustom je 58 m<sup>3</sup>/s.

$$\text{Rezultat: KPK} = 4,3 \text{ mg/l}$$

7. Rečna voda s pretokom 25 m<sup>3</sup>/s vsebuje 400 mg/l soli. Vanjo priteka izpust industrijske vode s pretokom 5,0 m<sup>3</sup>/s, ki vsebuje 2.000 mg/l soli. 2 kilometra pod izpustom, ko predpostavimo, da sta vodi že popolnoma premešani, zajemamo rečno vodo za pripravo tehnološke vode. V kakšnem razmerju moramo razredčiti rečno vodo z vodovodno vodo (koncentracija soli = 0 mg/l), da bo tehnološka voda vsebovala največ 500 mg/l soli?



- Kakšen je zadrževalni čas ( $t_z$ ) odpadne vode v čistilni napravi?

Rešitev:

$$t_z \text{ (h)} = V_p \text{ (l)} / Q_3 \text{ (l/h)}$$

$$t_z \text{ (h)} = (43.000 \text{ l}) / (4.750 \text{ l/h}) = 9,05 \text{ h}$$

- Industrijska čistilna naprava odstranjuje obarvanost vode v terciarnem čiščenju z adsorpcijo na aktivno oglje. Barva se iz odpadne vode adsorbira po reakciji 1. reda v šaržnem sistemu s predpostavko popolnega premešanja. Če je konstanta hitrosti reakcije ( $k_1$ )  $0,35 \text{ dan}^{-1}$ , v kolikem času se bo odstranilo 90 % barve?

Rešitev:

Če s  $c_0$  označimo začetno koncentracijo barve in je  $c$  koncentracija barve ob času  $t$ , se mora med čiščenjem koncentracija barve zmanjšati na  $0,1 \times c_0$ :

$$\ln(c_0/c) = k_1 \text{ (dan}^{-1}\text{)} \times t \text{ (dan)}$$

$$\ln(c_0/(0,1 \times c_0)) = 0,35 \text{ dan}^{-1} \times t \text{ (dan)}$$

Enačbo uredimo in izračunamo  $t = 6,57$  dni.

- Na biološki čistilni napravi smo izmerili pri  $22^\circ\text{C}$ : celotna hitrost porabe kisika je ( $R_t$ )  $0,22 \text{ gO}_2/(\text{g}_{\text{blata}} \cdot \text{dan})$ , volumen prezračevalnika je  $20 \text{ m}^3$ , koncentracija aktivnega blata v prezračevalniku je  $3,5 \text{ g/l}$ , pretok odpadne vode je  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , BPK<sub>5</sub> vtoka je  $250 \text{ mg/l}$ , učinek čiščenja je 97 %.

- Koliko litrov zraka na dan moramo vpihati v prezračevalnik naprave, če je izkoristek zraka 5 %?

Rešitev:

Izračunamo maso aktivnega blata:

$$m \text{ (kg)} = V_p \text{ (m}^3\text{)} \times X \text{ (g/l)} = 20 \text{ m}^3 \times 3,5 \text{ g/l} \times 1000 \text{ l/m}^3 = 70.000 \text{ g} = 70 \text{ kg}$$

To aktivno blato porablja kisik:

$$\begin{aligned} \text{Dnevna poraba kisika} &= m \text{ (g)} \times R_t \text{ (g O}_2/(\text{g}_{\text{blata}} \cdot \text{dan})) = \\ &= 70.000 \text{ g} \times 0,22 \text{ g O}_2/(\text{g}_{\text{blata}} \cdot \text{dan}) = 15.400 \text{ g} \end{aligned}$$

Volumen kisika pri teh pogojih izračunamo iz mase kisika in plinske enačbe:

$$P \text{ (Pa)} \times V \text{ (m}^3\text{)} \times M \text{ (kg/mol)} = m \text{ (kg)} \times R \text{ (J/(mol} \cdot \text{K))} \times T \text{ (K)}$$

$$101,3 \cdot 10^3 \text{ Pa} \times V \text{ (m}^3\text{)} \times 32 \text{ g/mol} = 15.400 \text{ g} \times 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \times 295 \text{ K}$$

Enačbo preuredimo in izračunamo volumen kisika =  $11.649 \text{ l}$ .

Če je v zraku 21 vol. % kisika, je dnevna poraba zraka  $11.649 \text{ l} / 0,21 = 55.433 \text{ l}$ .

Ker je izkoristek zraka 5 %, je potrebno vpihati  $55.433 \text{ l} / 0,05 = 1.108.660 \text{ l} = 1.108 \text{ m}^3$  zraka.

Rezultat: V prezračevalnik moramo vsak dan vpihati  $1.108 \text{ m}^3$  zraka.

- Kolikšen je zadrževalni čas?

Rešitev:

$$t_z \text{ (h)} = V_p \text{ (l)} / Q_3 \text{ (l/h)}$$

$$t_z \text{ (h)} = 20.000 \text{ l} / 2.500 \text{ l/h} = 8 \text{ h}$$

- Kolikšna je volumska obremenitev prezračevalnika?

Rešitev:

$$O_v \text{ (gO}_2/(\text{l}_{\text{blata}} \cdot \text{dan}))} = (\text{BPK}_3 \text{ (g/l)} \times Q \text{ (l/dan)}) / V_p \text{ (l)}$$

$$O_v \text{ (gO}_2/(\text{l}_{\text{blata}} \cdot \text{dan}))} = (0,250 \text{ g/l} \times 2.500 \text{ l/h} \times 24 \text{ h/dan}) / (20.000 \text{ l})$$

$$O_v = 0,75 \text{ gO}_2/(\text{l}_{\text{blata}} \cdot \text{dan})$$

- Kolikšna je obremenitev blata?

Rešitev:

$$O_b = O_v \text{ (gO}_2/(\text{l}_{\text{blata}} \cdot \text{dan}))} / X \text{ (g}_{\text{blata}}/\text{l}_{\text{blata}})}$$

$$O_b = (0,75 \text{ gO}_2/(\text{l}_{\text{blata}} \cdot \text{dan})) / (3,5 \text{ g}_{\text{blata}}/\text{l}_{\text{blata}})}$$

$$O_b = 0,214 \text{ gO}_2/(\text{g}_{\text{blata}} \cdot \text{dan})$$

- Primerjajte površini, ki sta potrebni za precejalnik ( $0,1 \text{ kg BPK}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ) in konvencionalno čistilno napravo z aktivnim blatom ( $0,56 \text{ kg BPK}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ) za čiščenje komunalne odpadne vode iz mesta z 28.000 prebivalci s povprečno porabo vode  $200 \text{ l}/(\text{osebo} \cdot \text{dan})$  in vrednostjo BPK  $250 \text{ mg/l}$ . Predpostavimo precejalnik z globino 2 m in prezračevalni bazen z globino 3 m. V primarnem usedalniku se odstrani 35 % BPK dotekajoče odpadne vode.

Rešitev:

$$\begin{aligned} \text{Dotok odpadne vode na čistilno napravo} &= 28.000 \text{ oseb} \times 200 \text{ l}/(\text{osebo} \cdot \text{dan}) = \\ &= 56 \cdot 10^5 \text{ l/dan} = 5.600 \text{ m}^3/\text{dan} \end{aligned}$$

Ker se v primarnem usedalniku odstrani 35 % dotekajočega BPK, ga je v odpadni vodi, ki teče na biološki del, le  $250 \text{ mg/l} \times 0,65 = 162,5 \text{ mg/l}$ .



$$dm_{SO_2}/dt = k$$

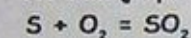
Kar lahko prevedemo v integrirano obliko:

$$m_{SO_2}(t) = m_{SO_2}(0) + k(t/\text{dan}) \times t(\text{dan})$$

Emitirana količina žvepla v 7 dneh pa je enaka:

$$m_S(t) = m_{\text{premoaga}}(t) \times \text{utežni delež žvepla} = 25.000 \text{ t}^3 \times 0,04 = 1.000 \text{ t}$$

Pri tem je po kemijski reakciji nastal  $SO_2$ :



Maso nastalega  $SO_2(t)$  izračunamo iz razmerja atomskih in molskih mas S in  $SO_2$ :

$$m_{SO_2}(t) = m_S(t) \times (64/32) = 1.000 \text{ t} \times 2 = 2.000 \text{ t}$$

V enem dnevu je tako nastalo  $2.000 \text{ t} / (7 \text{ dni}) = 285,7 \text{ t}$  žveplovega dioksida.

Ker predpostavimo, da je začetna koncentracija  $SO_2$  v zraku  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , potem lahko integrirano obliko enačbe masne bilance prevedemo v:

$$m_{SO_2}(t) = k(t/\text{dan}) \times t(\text{dan})$$

in izračunamo količino  $SO_2$ , ki se je sprostila v 14 dneh taplatne inverzije:

$$m_{SO_2}(t) = 285,7 \text{ t/dan} \times 14 \text{ dni} = 4.000 \text{ t} = 4 \cdot 10^{15} \mu\text{g}$$

Volumen inverzijske cone je enak  $150 \text{ m} \times 1.200 \text{ km}^2 = 180.000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

To pomeni, da je koncentracija  $SO_2$  po 14 dneh enaka:

$$c(\mu\text{g}/\text{m}^3) = m(\mu\text{g})/V(\text{m}^3) = 4 \cdot 10^{15} \mu\text{g} / 1,8 \cdot 10^{11} \text{ m}^3 = 22.222 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

3. V tovarniški kadi kadi v povprečju minimalno ena oseba. Kadilnica ima dimenzije  $3 \times 3 \times 4 \text{ m}$ , emisija ene cigarete pa je  $86 \text{ mg/h}$  ogljikovega monoksida ( $CO$ ). Soba se prezračuje, v eni uri se zamenja 20% zraka. Kakšna je minimalna koncentracija  $CO$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) v tej sobi?

Rešitev:

Najprej izračunamo volumen kadi:

$$V(\text{m}^3) = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 36 \text{ m}^3$$

Koncentracija  $CO$  je tako enaka:

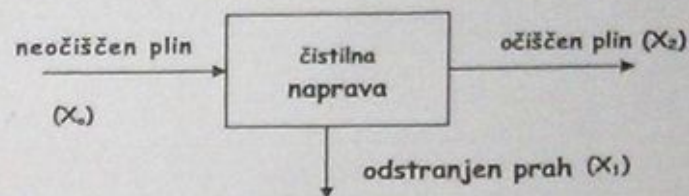
$$c(\text{mg}/\text{m}^3) = (86 \text{ mg/h}) / (36 \text{ m}^3) \times 0,8 \text{ h}^{-1} = 1,91 \text{ mg}/\text{m}^3$$

4. Naprava za čiščenje zraka odstranjuje prašne delce iz toka zraka. S prahom onesnažen zrak ( $c = 125.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) zapušča vir nastanka s pretokom  $180 \text{ m}^3/\text{s}$ . Čistilna naprava odstrani  $0,48 \text{ t}^3$  prahu na dan.

- Kakšna je koncentracija prahu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v emitiranem zraku po čiščenju?

Rešitev:

Dogajanje v sistemu (čistilni napravi) lahko opišemo z masno bilanco:



$$[\text{hitrost akumulacije prahu}] = [\text{prah na vstopu } (X_0)] - [\text{prah na izstopu } (X_2)] + [\text{prah, ki nastaja}] + [\text{prah, ki se porablja}]$$

Ker je v sistemu stacionarno stanje, v čistilni napravi prah ne nastaja niti ne izgineva, in lahko zgoranje enačbo poenostavimo v:

$$[\text{prah na vstopu } (X_0)] = [\text{prah na izstopu } (X_2)]$$

Najprej izračunamo hitrost vstopa prašnih delcev v čistilna napravo ( $X_0$ ):

$$180 \text{ m}^3/\text{s} \times 125.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{g} = 22,5 \text{ g/s}$$

Prah, ki zapušča sistem, je vsota dveh masnih tokov: delci v očiščenem plinu in odstranjen prah. Količina odstranjenega prahu je enaka:

$$0,48 \text{ t/dan} \times 10^6 \text{ g/t} \times (1/3.600 \text{ h/s}) \times (1/24 \text{ dni/h}) = 5,5 \text{ g/s}$$

Tako lahko poenostavljeno masno bilanco zapišemo kot:

$$22,5 \text{ g/s} = 5,5 \text{ g/s} + X_2(\text{g/s})$$

$$X_2 = 17 \text{ g/s}$$

Emitirana koncentracija prahu je tako enaka:

$$(17 \text{ g/s} \times 10^6 \mu\text{g}/\text{g}) / (180 \text{ m}^3/\text{s}) = 94.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- Izračunajte izkoristek čistilne naprave!



Tipična kurilna vrednost trdnih odpadkov je 12.900 kJ/kg. Del te energije se izgubi zaradi v odpadkih prisotne vlage. To izgubo lahko opišemo z empirično enačbo:  $Q_c$  (kJ) =  $2.440 \times (W$  (kg vlage v odpadku) +  $9 \times H$  (kg H v suhi masi odpadka)). Izračunajte kurilno vrednost 1 kg komunalnega trdnega odpadka!

Rešitev:

V 1 kg trdnih komunalnih odpadkov imamo tako 0,2 kg vlage in 0,8 kg suhega trdnega odpadka. V tem suhem odpadku bo  $0,8 \times 0,06 = 0,048$  kg vodika. Energetske izgube zaradi vsebnosti vlage lahko izračunamo po navedeni empirični enačbi:

$$\begin{aligned} Q_c \text{ (kJ)} &= 2.440 \times (W \text{ (kg vlage v odpadku)} + 9 \times H \text{ (kg H v suhi masi odpadka)}) = \\ &= 2.440 \times (W \text{ (kg vlage v odpadku)} + 9 \times H \text{ (kg H v suhi masi odpadka)}) = \\ &= 2.440 \times (0,2 \text{ kg} + 9 \times 0,048 \text{ kg}) = 1.540 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Ta energija je izgubljena, zato je kurilna vrednost 1 kg odpadkov enaka:  
12.900 kJ/kg - 1.540 kJ = 11.360 kJ/kg

3. Izračunajte potrebno površino ( $m^2$ ) za deponiranje komunalnih odpadkov, ki nastanejo v enem letu v mestu s 100.000 prebivalci! Povprečna gostota odpadkov na deponiji je 600 kg/ $m^3$ , s povprečno višino 3 m. 20% volumna predstavlja zemlja, s katero prekrivajo plast odpadkov. 1 človek odloži letno približno 560 kg komunalnih odpadkov.

Rešitev:

Volumen odpadkov, ki jih letno proizvede mesto s 100.000 prebivalci, je enak:  
[560 kg/osebo  $\times$  100.000 oseb]/600 kg/ $m^3$  = 93.333  $m^3$

Ker odpadki tvorijo le 80% končnega volumna deponije, je celoten volumen torej enak:

$$93.333 \text{ m}^3 / 0,8 = 116.666 \text{ m}^3$$

Površina deponije debeline 3 m je torej enaka:

$$116.666 \text{ m}^3 / 3 \text{ m} = 38.889 \text{ m}^2$$

4. Izračunajte energijo, ki se sprosti v obliki metana ( $CH_4$ ) iz 1 kg biološko razgradljivih komunalnih trdnih odpadkov na deponiji! Kurilna vrednost metana je 890 kJ/mol. Komunalni trdni odpadki vsebujejo običajno 67,3% biološko razgradljivih snovi, kot so papir, vrtna biomasa, ostanki hrane in ostanki vejevja. Vlaga predstavlja 32,2% celotne mase odpadkov. Masni deleži elementov v suhih odpadkih so zbrani v naslednji tabeli:

element	C	H	O	N	ostalo	celota
masni delež (%)	44,17	5,91	42,50	0,73	6,69	100,00

Rešitev:

V 1.000 g komunalnih odpadkov je 67,3% (673 g) biorazgradljivih, od tega je 32,2% vlage, kar pomeni, da je v 1kg komunalnih odpadkov 456,3 g suhih biorazgradljivih komponent:

$$(1 - 0,322) \times 673 \text{ g} = 456,3 \text{ g/kg odpadkov}$$

Količino metana lahko izračunamo na osnovi urejene reakcije:



Splošno kemijsko formulo odpadka lahko izračunamo na osnovi podatkov v tabeli, tako da izračunamo maso posameznega elementa v zmesi odpadkov:

$$C: 0,4417 \times 456,3 \text{ g} = 201,5 \text{ g}$$

$$H: 0,0591 \times 456,3 \text{ g} = 27,0 \text{ g}$$

$$O: 0,4250 \times 456,3 \text{ g} = 193,9 \text{ g}$$

$$N: 0,0073 \times 456,3 \text{ g} = 3,3 \text{ g}$$

Tako je molska masa  $C_xH_yO_zN_n$  enaka vsoti izračunanih mas:

$$M(C_xH_yO_zN_n) = 201,5 \text{ g} + 27,0 \text{ g} + 193,9 \text{ g} + 3,3 \text{ g} = 425,7 \text{ g/mol}$$

Ob upoštevanju atomskih mas posameznega elementa, lahko izračunamo število posameznih atomov v molu:

$$C: 201,5 \text{ g} / (12 \text{ g/mol}) = 16,8 \text{ mol}$$

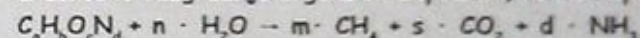
$$H: 27,0 \text{ g} / (1 \text{ g/mol}) = 27,0 \text{ mol}$$

$$O: 193,9 \text{ g} / (16 \text{ g/mol}) = 12,1 \text{ mol}$$

$$N: 3,3 \text{ g} / (14 \text{ g/mol}) = 0,24 \text{ mol}$$

Tako je kemijska formula biorazgradljivega odpadka enaka  $C_{16,8}H_{27,0}O_{12,1}N_{0,24}$ .

Če predpostavimo, da so  $CO_2$ ,  $CH_4$  in  $NH_3$  osnovni plini, ki se sprostijo med anaerobno razgradnjo organskih odpadkov, lahko napišemo reakcijo:



V tej reakciji za n, m in s velja:

$$n = (4 \times a - b - 2 \times c + 3 \times d) / 4$$

$$m = (4 \times a + b - 2 \times c - 3 \times d) / 8$$

$$s = (4 \times a - b + 2 \times c + 3 \times d) / 8$$

Zato lahko izračunamo koeficiente n, m in s ter reakcijo razgradnje odpadka uredimo:

$$n = (4 \times 16,8 - 27,0 - 2 \times 12,1 + 3 \times 0,24) / 4 = 4,17$$

$$m = (4 \times 16,8 + 27,0 - 2 \times 12,1 - 3 \times 0,24) / 8 = 8,65$$

$$s = (4 \times 16,8 - 27,0 + 2 \times 12,1 + 3 \times 0,24) / 8 = 8,14$$

