

1 Kvalita vody

1. Objemová koncentrácia kyslíka vo vzduchu je približne 21 %. Nájdite rovnovážnu koncentráciu O_2 vo vode pri $20^\circ C$ a tlaku $10^5 Pa$. Henryho konštanta pre kyslík je $k_H = 2.22 \times 10^{-10} Pa^{-1}$.

Riešenie

Použijeme Henryho zákon, pričom ale musíme zohľadniť, že v ňom vystupuje nie celkový tlak, ale parciálny tlak konkrétneho plynu, v tomto prípade kyslíka:

$$[O_2] = 55.56 \times k_H \times p = 55.56 \times 2.22 \times 10^{-10} \times 0.21 \times 10^5 = 2.59 \times 10^{-4} \text{mól/l}$$

Molárna hmotnosť kyslíka je približne 32 g/mól, takže:

$$[O_2] = 32 \times 2.59 \times 10^{-4} \text{mól/l} = 8.29 \text{mg/l}$$

2. Vypočítajte túto koncentráciu vo vode na Štrbskom plese v nadmorskej výške 1300 m.

Riešenie

Použijeme opäť Henryho zákon, pričom ale musíme zohľadniť pokles tlaku s nadmorskou výškou podľa vzťahu:

$$p(h) = p_0 - 11.5h$$

kde $p(h)$ je atmosférický tlak v nadmorskej výške h v Pa, h je nadmorská výška v m a p_0 je atmosférický tlak na hladine mora v Pa. V nadmorskej výške 1300m bude tlak vzduchu:

$$p(h) = p_0 - 11.5h = 10^5 - 11.5 \times 1300 = 85050 Pa$$

Rovnovážna koncentrácia rozpusteného kyslíka potom bude:

$$[O_2] = 55.56 \times k_H \times p = 55.56 \times 2.22 \times 10^{-10} \times 0.21 \times 85050 = 2.2 \times 10^{-4} \text{mól/l}$$

Molárna hmotnosť kyslíka je približne 32 g/mól, takže:

$$[O_2] = 32 \times 2.2 \times 10^{-4} \text{ mól/l} = 7.05 \text{ mg/l}$$

3. Voda je dezinfikovaná chlóróm, pričom vzniká kyselina chlórna HOCl, ktorá disociuje na ióny H^+ a OCl^- . Rovnovážna konštanta je 2.9×10^{-8} . Nájdite koncentráciu OCl^- iónov, ak pH vody po dezinfekcii má hodnotu 6.

Riešenie

Definičný vzťah pre rovnovážnu konštantu je:

$$[H^+][OCl^-] = 2.9 \times 10^{-8}$$

Látková koncentrácia vodíkových iónov $[H^+]$ súvisí s hodnotou pH podľa vzťahu:

$$pH = -\log[H^+]$$

Z toho vyjadríme látkovú koncentráciu vodíkových $[H^+]$ ako:

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

a dosadíme do prvej rovnice:

$$[H^+][OCl^-] = 2.9 \times 10^{-8}$$

$$[OCl^-] = \frac{2.9 \times 10^{-8}}{[H^+]} = \frac{2.9 \times 10^{-8}}{10^{-pH}} = \frac{2.9 \times 10^{-8}}{10^{-6}} = 2.9 \times 10^{-2} \text{ mól/liter}$$

Molárna hmotnosť OCl^- je približne $16+35=51$ g/mól. Výsledná koncentrácie OCl^- iónov potom bude:

$$[OCl^-] = 2.9 \times 10^{-2} \text{ mól/liter} = 51 \times 2.9 \times 10^{-2} = 1.479 \text{ g/liter}$$

4. Vzorka odpadovej vody o objeme 10ml je zriedená čistou vodou doplnením do meracej fľaše s objemom 300ml. Počiatočná hodnota rozpusteného kyslíka, DO_i , je 9mg/liter. Koncová hodnota rozpusteného kyslíka, DO_f , je 2mg/liter. Aký je výsledok 5-dňového BOD_5 testu?

Riešenie

5-dňový BOD_5 test je definovaný ako:

$$BOD_5 = \frac{DO_i - DO_f}{P}$$

kde P je korekcia na zriedenie definovaná ako podiel objemu znečistenej vody k celkovému objemu zriedenej vody. Po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$BOD_5 = \frac{9 - 2}{\frac{10}{300}} = 210\text{mg/liter}$$

5. Rozpustený kyslík vo vzorke znečistenej vody má počiatočnú hodnotu 9.0 mg/l a po piatich dňoch 3.0 mg/l. Korekcia na zriedenie je 0.03 a reakčná konštanta pri 20°C je $k = 0.22/\text{deň}$.
- Aká je päťdňová BOD_5 hodnota odpadovej vody?
 - Aká by bola hraničná hodnota L_0 ?
 - Koľko by zostalo kyslíka po piatich dňoch?
 - Koľko by bolo BOD_5 pri 25°C pri vypočítanej hodnote L_0 ?

Riešenie

5-dňový BOD_5 test je definovaný ako:

$$BOD_5 = \frac{DO_i - DO_f}{P}$$

Po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$BOD_5 = \frac{9 - 3}{0.03} = 200 \text{mg/liter}$$

Pre už spotrebovaný kyslík v čase t platí:

$$BOD_t = L_0 \times (1 - e^{-kt})$$

Pre výpočet hodnoty L_0 použijeme známy bod tejto závislosti v čase $t = 5$ dní:

$$L_0 = \frac{BOD_5}{(1 - e^{-5k})} = \frac{200}{(1 - e^{-5k})} = 299.8 \text{mg/liter}$$

Po piatich dňoch zostane kyslíka:

$$L = L_0 - BOD_5 = 299.8 - 200 = 99.8 \text{mg/liter}$$

Pre teplotnú závislosť reakčnej konštanty platí vzťah:

$$k = k_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

kde k_{20} je reakčná konštantka pri 20°C, k je reakčná konštantka pri teplote T a θ je teplotný koeficient, približne 1.047.

Pri 25°C bude teda hodnota reakčnej konštanty:

$$k = k_{20} \times \theta^{(T-20)} = 0.22 \times 1.047^{(25-20)} = 0.2768 / \text{deň}$$

$$BOD_5 = 299.8 \times (1 - e^{-0.2768 \times 5}) = 224.678 \text{mg/liter}$$

Komentár

- Vidieť teda, že pri zvýšenej teplote prebieha rozkladný proces rýchlejšie a za to isté obdobie (5 dní) sa spotrebuje viac kyslíka.

6. Nájdite reakčnú konštantu, k , ak hodnota BOD_5 odpadovej vody je 400mg/liter a hraničná hodnota L_0 je 500mg/liter.

Riešenie

Pre už spotrebovaný kyslík v čase t platí:

$$BOD_t = L_0 \times (1 - e^{-kt})$$

Použijeme známy bod tejto závislosti pre $t = 5$ dní a vyjadríme z nej reakčnú konštantu k :

$$e^{-kt} = 1 - \frac{BOD_t}{L_0}$$

$$kt = \ln \left(1 - \frac{BOD_t}{L_0} \right)^{-1}$$

Po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$k = \frac{1}{t} \ln \left(1 - \frac{BOD_t}{L_0} \right)^{-1} = \frac{1}{5} \ln \left(1 - \frac{400}{500} \right)^{-1} = 0.322/\text{deň}$$

7. Odpadová voda obsahuje 30mg/liter dusíka vo forme amoniaku, ktorý sa oxidáciou rozkladá. Nájdite hraničnú spotrebu kyslíka.

Riešenie

Rozklad amoniaku oxidáciou popisuje reakcia:



Molekulová hmotnosť amoniaku je $14 \text{ (N)} + 3 \times 1 \text{ (H)} = 17$, resp. molárna hmotnosť amoniaku je 17g/mól. Molárna hmotnosť molekulárneho kyslíka je $2 \times 16 = 32$ g/mól. Podľa vyššie uvedenej reakcie, na rozklad jedného mólu amoniaku sú potrebné dva móly kyslíka, resp. na rozklad 17mg amoniaku je potrebných 64mg kyslíka. Ak voda obsahuje 30mg/liter dusíka vo forme amoniaku, musí obsahovať $30 \times 17/14 = 36.43$ mg/liter amoniaku. Na jeho

rozklad je teda potrebné $36.43/17 \times 64 = 137.143 \text{mg/liter}$ kyslíka, čo je hľadaná hraničná spotreba kyslíka.

Komentár

- Uvedený postup je správny z didaktického hľadiska, možno ho však zjednodušiť. Stačí uvažovať, že na rozklad takého množstva amoniaku, ktoré obsahuje 14mg dusíka (nemusíme teda množstvo amoniaku číselne poznať) je potrebných 64mg kyslíka. Na 30mg dusíka bude preto potrebných $30/14 \times 64 = 137.143 \text{mg}$ kyslíka.

- 8. Zo zariadenia na úpravu odpadovej vody tečie odpad s prietokom $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ a hraničnou hodnotou spotreby kyslíka 50 mg/l do rieky s prietokom $8.7 \text{ m}^3/\text{s}$ a vlastnou hraničnou hodnotou spotreby kyslíka 6.0 mg/l . Zistite hraničnú hodnotu L_0 v mieste vyústenia odpadu do rieky, ak predpokladáme dokonalé premiešanie.**

Riešenie

Hraničná hodnota má fyzikálny význam koncentrácie, o čom svedčí aj jej jednotka, napríklad mg/liter. Použijeme preto známu rovnicu hmotnostnej rovnováhy:

$$Q_{odpad} \times L_{odpad} + Q_{rieka} \times L_{rieka} = (Q_{odpad} + Q_{rieka}) \times L$$

Z nej vyjadríme hľadanú hodnotu L ako:

$$L = \frac{Q_{odpad} \times L_{odpad} + Q_{rieka} \times L_{rieka}}{Q_{odpad} + Q_{rieka}} = \frac{1.1 \times 50 + 8.7 \times 6}{1.1 + 8.7} = 10.94 \text{mg/liter}$$

Komentár

- Hraničná hodnota je úmerná koncentrácii odpadových látok vo vode. Zmiešaním dvoch zdrojov sa podľa hmotnostnej rovnováhy vytvorí určitá rovnovážna koncentrácia odpadových látok, a tomu úmerne sa prispôsobí aj hraničná hodnota spotreby kyslíka.

9. Určte hraničnú hodnotu z predchádzajúceho príkladu vo vzdialenosti 30km od ústia, ak rieka tečie rýchlosťou 0.3m/s a reakčná konštanta je 0.2/deň.

Riešenie

Hraničná hodnota v ústí s časom exponenciálne klesá, keďže dochádza k rozkladu odpadových látok. Rýchlosť tohto rozkladu je charakterizovaná obecnou reakčnou (v tomto prípade deoxidačnou) konštantou. Potrebujeme vypočítať čas, za ktorý voda prejde vzdialenosť 30km a dosadiť ho do rovnice exponenciálneho poklesu. Pozor na jednotky! Rýchlosť toku rieky je v m/s, ale deoxidačná konštanta je za jeden deň.

$$L\left(t = \frac{30\text{km}}{0.3\text{m/s}}\right) = L_0 e^{-kt} = 10.94 \times e^{-\frac{0.2}{24 \times 3600} \times \frac{30000}{0.3}} = 8.68\text{mg/liter}$$

10. Odpadová voda má BOD_5 150mg/liter a reakčnú konštantu 0.23/deň pri 20°C. Nájdite hraničnú hodnotu pri 20°C a reakčný koeficient pri 15°C.

Riešenie

Hraničnú hodnotu určíme zo vzťahu:

$$BOD_5 = L_0 \times (1 - e^{-5k})$$

$$L_0 = \frac{BOD_5}{1 - e^{-5k}} = \frac{150}{1 - e^{-5k}} = 219.5\text{mg/liter}$$

Pre teplotnú závislosť reakčnej konštanty použijeme vzťah:

$$k = k_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

kde k_{20} je reakčná konštanta pri 20°C, k je reakčná konštanta pri teplote T a θ je teplotný koeficient, približne 1.047. Po dosadení číselných hodnôt:

$$k = k_{20} \times 1.047^{(15-20)} = 0.183/\text{deň}$$

11. Odpadová voda z továrne je vypúšťaná do rieky s prietokom $1\text{m}^3/\text{s}$ a hraničnou spotrebou kyslíka $40\text{mg}/\text{liter}$. Rieka má prietok $10\text{m}^3/\text{s}$ a hraničnú hodnotu $3\text{mg}/\text{liter}$. Deoxidačná konštanta je $0.22/\text{deň}$. Zistite hraničnú hodnotu po zmiešaní odpadu a rieky. Aká bude hraničná hodnota vo vzdialenosti 10km od ústia odpadu, ak prierez rieky je 55m^2 ?

Riešenie

Hraničná hodnota má fyzikálny význam koncentrácie, o čom svedčí aj jej jednotka, napríklad mg/liter . Použijeme preto známú rovnicu hmotnostnej rovnováhy:

$$Q_{\text{odpad}} \times L_{\text{odpad}} + Q_{\text{riecka}} \times L_{\text{riecka}} = (Q_{\text{odpad}} + Q_{\text{riecka}}) \times L$$

Z nej vyjadríme hľadanú hodnotu L ako:

$$L = \frac{Q_{\text{odpad}} \times L_{\text{odpad}} + Q_{\text{riecka}} \times L_{\text{riecka}}}{Q_{\text{odpad}} + Q_{\text{riecka}}} = \frac{1.0 \times 40 + 10 \times 3}{1 + 10} = 6.36 \text{mg}/\text{liter}$$

Rýchlosť toku rieky je v tomto prípade udaná nepriamo cez prietok vody a prierez koryta rieky. Prietok $11\text{m}^3/\text{s}$ zodpovedá rýchlosti $11/55 = 0.2\text{m}/\text{s}$. Pomocou tejto rýchlosti vypočítame čas, za ktorý sa voda dostane do vzdialenosti 10km a dosadíme ho do rovnice pre exponenciálny pokles hraničnej hodnoty:

$$L\left(t = \frac{10\text{km}}{0.2\text{m}/\text{s}}\right) = L_0 e^{-kt} = 6.36 \times e^{-\frac{0.22}{24 \times 3600} \times \frac{10000}{0.2}} = 5.6 \text{mg}/\text{liter}$$

12. Mesto sa rozprestiera na ploche približne $10 \times 10\text{km}^2$ a jeho atmosféra siaha do výšky 1km . Mesto produkuje spolu 20kg SO_2 za sekundu a vietor fúka rýchlosťou $4\text{m}/\text{s}$. Vypočítajte stacionárnu koncentráciu kyslíčnika siričitého v ovzduší mesta.

Riešenie

Rovnica hmotnostnej rovnováhy bude mať tvar:

$$S = Qc \Rightarrow c = \frac{S}{Q} = \frac{20\text{kg}/\text{s}}{10000 \times 1000 \times 4} = 5 \times 10^{-7} \text{kg}/\text{m}^3 = 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$$