

**T7.** Aké bude pH roztoku po zmiešaní 0,5 litra 0,5 % vodného roztoku kyseliny octovej s ekvimólovým množstvom 0,5 % vodného roztoku hydroxidu sodného? (Ekvimólový = obsahujúci rovnaké látkové množstvo látky.)

Pre zjednodušenie budeme označovať kyselinu octovú symbolom A (= *acid*), hydroxid sodný symbolom B (= *base*) a v reakcii vznikajúci octan sodný symbolom P (= *product*).

Pomocou chemických tabuliek zistíme lineárnou interpoláciou hustoty 0,5 % roztokov A a B, pričom pre  $w = 0$  uvažujeme hustotu čistej vody ( $\rho = 0,997 \text{ g cm}^{-3}$ ). Dostaneme  $\rho'(A) = 0,9983 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $\rho'(B) = 1,00325 \text{ g cm}^{-3}$ . Potom

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)} = \frac{\rho'(A) V(A) w(A)}{M(A)} = \frac{0,9983 \text{ g cm}^{-3} \cdot 500 \text{ cm}^3 \cdot 0,005}{60,05 \text{ g mol}^{-1}} = 0,04156 \text{ mol}$$

z čoho pre hmotnosť A vychádza

$$m(A) = n(A) M(A) = 0,04156 \text{ mol} \cdot 60,05 \text{ g mol}^{-1} = 2,496 \text{ g}$$

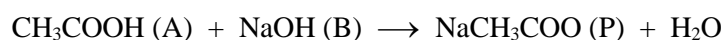
a pre hmotnosť vody v 0,5 % roztoku A vychádza  $m(\text{H}_2\text{O}, A) = 496,6 \text{ g}$ .

Pretože množstvo B je ekvimólové, tj.  $n(A) = n(B)$ , môžeme pre hmotnosť B písať

$$m(B) = n(B) M(B) = 0,04156 \text{ mol} \cdot 39,9971 \text{ g mol}^{-1} = 1,662 \text{ g}$$

a pre hmotnosť vody v 0,5 % roztoku B vychádza  $m(\text{H}_2\text{O}, B) = 330,8 \text{ g}$ .

Zo zápisu chemickej reakcie neutralizácie



vyplýva, že  $n(P) = n(A) = n(B)$ , z čoho ľahko zistíme hmotnosť vznikajúceho P

$$m(P) = n(P) M(P) = 0,04156 \text{ mol} \cdot 82,0338 \text{ g mol}^{-1} = 3,409 \text{ g}$$

Nakoniec zistíme hmotnosť  $m'(P)$  výsledného roztoku po reakcii

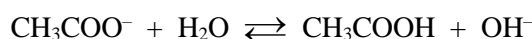
$$m'(P) = m'(A) + m'(B) = \{m(A) + m(\text{H}_2\text{O}, A)\} + \{m(B) + m(\text{H}_2\text{O}, B)\} = (2,496 + 496,6 + 1,662 + 330,8) \text{ g} = 831,6 \text{ g}$$

z čoho hmotnostný zlomok P vo výslednom roztoku

$$w(P) = \frac{m(P)}{V'(P)} = \frac{3,409 \text{ g}}{831,6 \text{ g}} = 0,004099 = 0,4099 \%$$

Pomocou chemických tabuliek lineárnou interpoláciou získame koncentráciu  $c = 0,0500 \text{ mol dm}^{-3}$ , ktorá sa zároveň rovná koncentrácii octanového aniónu.

Pretože octan sodný je soľ slabšej kyseliny octovej a silného hydroxidu sodného, stačí uvažovať len hydrolyzu octanového aniónu



V chemických tabuľkách nájdeme konštantu kyslosti kyseliny octovej  $\text{p}K_k = 4,76$ , z ktorej vypočítame potrebnú konštantu zásaditosti  $K_z$  octanového aniónu

$$\text{p}K_k = 4,76 \Leftrightarrow \text{p}K_z = \text{p}K_v - \text{p}K_k = 14 - 4,76 = 9,24 \Leftrightarrow K_z = 10^{-9,24} = 5,754 \cdot 10^{-10}$$

Nakoniec vypočítame koncentráciu hydroxidového aniónu vo výslednom roztoku

$$[\text{OH}^-] = \frac{-K_z + \sqrt{K_z^2 + 4K_z c_r}}{2} = \frac{-5,754 \cdot 10^{-10} + \sqrt{(5,754 \cdot 10^{-10})^2 + 4 \cdot 5,754 \cdot 10^{-10} \cdot 0,0500}}{2} = 5,3635 \cdot 10^{-6}$$

z čoho

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - (-\log 5,3635 \cdot 10^{-6}) = \boxed{8,73}$$

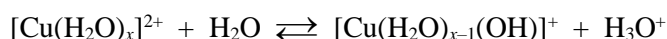
**★T8.** Koľko „ $\text{CuSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ” treba pridať k 0,5 litru 0,5 % vodného roztoku síranu meďnatého, aby sa jeho pH zmenilo o 0,5?

*Poznámka:* Síran meďnatý nevytvára hemihydrát, preto je zápis „ $\text{CuSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ” uvedený v úvodzovkách. V zadaní príkladu sa použil len preto, aby aj v ňom bolo uvedené číslo 0,5. Samotný „ $\text{CuSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ” si však možno predstaviť ako zmes pentahydrátu a bezvodého síranu meďnatého v mólovom pomere 1 : 9.

Najprv vypočítame, aké je pH 0,5 % roztoku síranu meďnatého. Síran meďnatý sa pri rozpúšťaní vo vode štiepi na ióny,



pričom vieme, že meďnatý kation existuje vo vodnom roztoku v hydratovanej podobe  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_x]^{2+}$ . Pretože síran meďnatý je soľ silnej kyseliny sírovej a slabého hydroxidu meďnatého, stačí uvažovať len hydrolyzu hydratovaného meďnatého kationu do prvého stupňa.



Príslušnú konštantu kyslosti akvatovaných meďnatých katiónov  $K_k = 2,9 \cdot 10^{-8}$  nájdeme v chemických tabuľkách. Pre výpočet  $[H_3O^+]$  potrebujeme poznať koncentráciu 0,5 % roztoku síranu meďnatého, ktorú zistíme lineárnou interpoláciou pomocou chemických tabuliek, pričom vieme, že pre  $w = 0$  je  $c = 0$ . Vyjde nám  $c = 0,0315 \text{ mol dm}^{-3}$ , čo je zároveň aj koncentrácia hydratovaných meďnatých katiónov. Potom

$$[H_3O^+] = \frac{-K_k + \sqrt{K_k^2 + 4K_k c_r}}{2} = \frac{-2,9 \cdot 10^{-10} + \sqrt{(2,9 \cdot 10^{-10})^2 + 4 \cdot 2,9 \cdot 10^{-10} \cdot 0,0315}}{2} = 3,021 \cdot 10^{-5}$$

z čoho  $\text{pH} = -\log 3,021 \cdot 10^{-5} = 4,52$ . Zo zadania vyplýva, že pH sa má zmeniť o 0,5. Pridaním „hemihydrátu“ k tomuto roztoku dôjde zrejme k zvýšeniu koncentrácie meďnatých katiónov a teda k poklesu pH, preto požadované pH vo výslednom roztoku musí byť 4,02. Presne opačným postupom teraz zistíme „novú“ koncentráciu meďnatých katiónov vo výslednom roztoku.

$$\text{pH} = 4,02 \Leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-4,02} = 9,550 \cdot 10^{-5}$$

$$c_r = \frac{(2[H_3O^+] + K_k)^2 - K_k^2}{4K_k} = \frac{(2 \cdot 9,550 \cdot 10^{-5} + 2,9 \cdot 10^{-8})^2 - (2,9 \cdot 10^{-8})^2}{4 \cdot 2,9 \cdot 10^{-8}} = 0,3146$$

z čoho opäť lineárnou interpoláciou získame hmotnostný zlomok  $w = 0,0478$ .

K výpočtu hmotnosti potrebného „hemihydrátu“ (1) potrebujeme poznať hmotnosť 0,5 litra 0,5 % roztoku (2) síranu meďnatého. Lineárnou interpoláciou pomocou chemických tabuliek zistíme jeho hustotu, pričom pre  $w = 0$  uvažujeme hustotu čistej vody ( $\rho = 0,997 \text{ g cm}^{-3}$ ). Vyjde nám  $\rho_1 = 1,00275 \text{ g cm}^{-3}$ , z čoho

$$m_1 = \rho_1 V_1 = 1,00275 \text{ g cm}^{-3} \cdot 500 \text{ cm}^3 = 501,4 \text{ g}$$

K výpočtu hmotnosti potrebného „hemihydrátu“ (1) potrebujeme tiež poznať hmotnostný zlomok síranu meďnatého v ňom

$$w_1 = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O})} = \frac{159,609 \text{ g mol}^{-1}}{168,6166 \text{ g mol}^{-1}} = 0,9466$$

Teraz už len vyriešime jednoduchú materiálovú bilanciu zmiešavania „hemihydrátu“ (1) s 0,5 % roztokom (2) za vzniku požadovaného roztoku (3) s  $\text{pH} = 4,02$ .

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = (m_1 + m_2) w_3$$

z čoho hmotnosť „hemihydrátu“

$$m_1 = m_2 \frac{w_3 - w_2}{w_1 - w_3} = 501,4 \text{ g} \cdot \frac{0,0478 - 0,005}{0,9466 - 0,0478} = \boxed{23,9 \text{ g}}$$