

Příklady pH solí a tlumivých roztoků – společná hodina

Vypočítejte pH 0,25 M roztoku Na₂CO₃. K_a pro ion HCO₃⁻ je 5,61.10⁻¹¹. [11,8]

Postup:

1. Na₂CO₃ bude disociovat ve vodném prostředí následujícím způsobem
$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{NaHCO}_3 + \text{NaOH}$$
2. Vyjádří se a spočítá pH soli slabé kyseliny a silné báze
$$\text{pH}(\text{roztok Na}_2\text{CO}_3) = 0,5 \times (14 + \text{pK}_a + \log c(\text{roztok Na}_2\text{CO}_3))$$
$$\text{pH}(\text{roztok Na}_2\text{CO}_3) = 0,5 \times (14 + 10,3 + \log 0,25 \text{ M}) = 11,8$$

Jaké pH má 0,01 M roztok chloridu amonného? Disociační konstanta amoniaku K_b je 1,8.10⁻⁵. [5,63]

Postup:

1. Chlorid amonný bude disociovat ve vodném prostředí následujícím způsobem
$$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 + \text{Cl}^- + \text{H}_3\text{O}^+$$
2. Vyjádří se a spočítá pH soli silné kyseliny a slabé báze
$$\text{pH}(\text{roztok NH}_4\text{Cl}) = 0,5 \times (14 - \text{pK}_b - \log c(\text{roztok NH}_4\text{Cl}))$$
$$\text{pH}(\text{roztok NH}_4\text{Cl}) = 0,5 \times (14 - 4,74 - \log 0,01 \text{ M}) = 5,63$$

Ke 40 cm³ 0,01 M kyseliny octové bylo přidáno 20 cm³ 0,02 M NaOH. Vypočítejte pH vzniklého roztoku. Pro kyselinu octovou K_a je 1,8.10⁻⁵. [8,28]

Postup:

1. Kyselina octová bude reagovat s hydroxidem sodným následujícím způsobem
$$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$$
2. Vyjádří se a spočítají se látková množství kyseliny octové a hydroxidu sodného
$$n(\text{KO}) = c(\text{roztok KO}) \times V(\text{roztok KO})$$
$$n(\text{NaOH}) = c(\text{roztok NaOH}) \times V(\text{roztok NaOH})$$
$$n(\text{KO}) = 0,04 \text{ dm}^3 \times 0,01 \text{ M} = 0,0004 \text{ mol}$$
$$n(\text{NaOH}) = 0,02 \text{ dm}^3 \times 0,02 \text{ M} = 0,0004 \text{ mol}$$
3. V případě, že dojde k úplné neutralizaci, bude vznikat stejné látkové množství octanu sodného jako vstupujících reaktantů a následně bude ve vodném prostředí disociovat následujícím způsobem
$$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH}$$
4. Vyjádří se a spočítá koncentrace vzniklého octanu sodného
$$c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = n(\text{KO nebo NaOH}) / (V(\text{roztok KO}) + V(\text{roztok NaOH}))$$
$$c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 0,0004 \text{ mol} / (0,04 \text{ dm}^3 + 0,02 \text{ dm}^3) = 0,0067 \text{ M}$$
5. Vyjádří se a spočítá pH soli slabé kyseliny a silné báze v daném roztoku
$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 0,5 \times (14 + \text{pK}_a + \log c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}))$$
$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 0,5 \times (14 + 4,74 + \log 0,0067 \text{ M}) = 8,28$$

Tlumivý roztok obsahuje v 1 dm³ 0,5 molu kyseliny octové (K_a = 1,8.10⁻⁵) a 2,5 molu octanu sodného. Jaké je pH? [5,4]

Postup:

1. V roztoku je současně směs slabé kyseliny a její soli, a tedy pH se bude počítat dle Henderson-Hasselbachova vztahu
2. Vyjádří se a spočítá koncentrace kyseliny octové a octanu sodného po smíchání

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) / V(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa})$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COOH}) = 0,5 \text{ mol} / 1 \text{ dm}^3 = 0,5 \text{ M}$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = n(\text{CH}_3\text{COONa}) / V(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa})$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 2,5 \text{ mol} / 1 \text{ dm}^3 = 2,5 \text{ M}$$
3. Vyjádří se a spočítá pH dané směsi

$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{roztok CH}_3\text{COONa}) = \text{pK}_a + \log (c(\text{roztok CH}_3\text{COONa})/c(\text{roztok CH}_3\text{COOH}))$$

$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 4,7 + \log (2,5 \text{ M}/0,5 \text{ M}) = 5,4$$

V jakém poměru musíme smísit kyselinu octovou a octan sodný, abychom získali tlumivý roztok o pH 5,70? Disociační konstanta kyseliny octové K_a je $1,8 \cdot 10^{-5}$. [0,11]

Postup:

1. V roztoku je současně směs slabé kyseliny a její soli, a tedy pH se bude počítat dle Henderson-Hasselbachova vztahu, který se vyjádří

$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{roztok CH}_3\text{COONa}) = \text{pK}_a + \log (c(\text{roztok CH}_3\text{COONa})/c(\text{roztok CH}_3\text{COOH}))$$
2. Vyjádříme a z rovnice spočítáme poměr kyseliny octové k octanu sodnému

$$\log (c(\text{roztok CH}_3\text{COONa})/c(\text{roztok CH}_3\text{COOH})) = \text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{roztok CH}_3\text{COONa}) - \text{pK}_a$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COONa})/c(\text{roztok CH}_3\text{COOH}) = 10^{(\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{roztok CH}_3\text{COONa}) - \text{pK}_a)}$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COOH})/c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 1 / 10^{(\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{COOH} + \text{roztok CH}_3\text{COONa}) - \text{pK}_a)}$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{COOH})/c(\text{roztok CH}_3\text{COONa}) = 1 / 10^{(5,70-4,74)} = 0,11$$

Tlumivý roztok byl připraven smísením 6 objemových dílů 1,40 M roztoku NaH_2PO_4 a 4 objemových dílů 1,40 M roztoku Na_2HPO_4 . Určete pH roztoku, jestliže disociační konstanty kyseliny trihydrogenfosforečné pro jednotlivé disociační stupně jsou $K_{a1} = 7,1 \cdot 10^{-3}$, $K_{a2} = 6,2 \cdot 10^{-8}$, $K_{a3} = 4,4 \cdot 10^{-13}$. [7,06]

Postup:

1. Určí se, která složka ve směsi je sůl, H_3PO_4 disociuje s rostoucí koncentrací NaOH následně

$$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH} = \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaOH} = \text{Na}_3\text{PO}_4$$
2. Slabou kyselinou je tedy NaH_2PO_4 a její solí Na_2HPO_4
3. Jelikož nebyl zadán celkový objem směsi, můžeme si jej zvolit, např. 1 dm^3
4. Vyjádříme si a spočítáme dílčí objemy roztoků před smísením

$$V(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4) = V_{\text{celk}} \times 6 / 10$$

$$V(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4) = 1 \text{ dm}^3 \times 6 / 10 = 0,6 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{roztok Na}_2\text{HPO}_4) = V_{\text{celk}} \times 4 / 10$$

$$V(\text{roztok Na}_2\text{HPO}_4) = 1 \text{ dm}^3 \times 4 / 10 = 0,4 \text{ dm}^3$$
5. Vyjádříme a spočítáme látková množství NaH_2PO_4 a Na_2HPO_4

$$n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = c(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4) \times V(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4)$$

$$n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 1,4 \text{ M} \times 0,6 \text{ dm}^3 = 0,84 \text{ mol}$$

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = c(\text{roztok Na}_2\text{HPO}_4) \times V(\text{roztok Na}_2\text{HPO}_4)$$

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1,4 \text{ M} \times 0,4 \text{ dm}^3 = 0,56 \text{ mol}$$
6. pK_a se spočítá pro vícesytné kyseliny z průměrné hodnoty pK_a pro jednotlivé disociační stupně

7. V roztoku je současně směs slabé kyseliny a její soli, a tedy pH se bude počítat dle Henderson-Hasselbachova vztahu, který se vyjádří
- $$\text{pH}(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4 + \text{roztok Na}_2\text{HPO}_4) = ((\text{pK}_{a1} + \text{pK}_{a2} + \text{pK}_{a3})/3) + \log (c(\text{roztok Na}_2\text{HPO}_4)/c(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4))$$
8. Spočítá se pH výsledného tlumivého roztoku s tím, že koncentrace jsou stejné jako látková množství pro dané komponenty, jelikož je objem směsi 1 dm³
- $$\text{pH}(\text{roztok NaH}_2\text{PO}_4 + \text{roztok Na}_2\text{HPO}_4) = ((2,15 + 7,21 + 12,36)/3) + \log (0,56 \text{ M}/0,84\text{M}) = 7,06$$

Při titraci 20,0 cm³ 1 M roztoku kyseliny propionové 0,5 M roztokem KOH byla k identifikaci ekvivalenčního bodu použita methyloaranž. Disociační konstanta kyseliny propionové je 1,32.10⁻⁵. Vypočítejte spotřebu roztoku hydroxidu draselného, leží-li barevný přechod methyloaranže při pH = 4. [4,66 cm³]

Postup:

- Kyselina propionová bude reagovat s hydroxidem draselným následujícím způsobem

$$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{KOH} = \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK} + \text{H}_2\text{O}$$
 a v případě, že KOH nebude v přebytku nebo alespoň v ekvimolárním poměru ke kyselině, bude se počítat pH směsi dle Henderson-Hasselbachova vztahu pro slabou kyselinu a její sůl, jelikož se veškerý KOH mění na vodu a sůl
- Jelikož má methyloaranž barevný přechod při pH 4, přestane se přidávat roztok KOH při tomto pH, tedy směs bude mít pH 4
- Vyjádří se pH této směsi

$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) = \text{pK}_a + \log (c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) / c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}))$$
- Následně můžeme vyjádřit koncentrace soli a kyseliny

$$c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) / (V(\text{roztok KOH}) + V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}))$$

$$c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) / (V(\text{roztok KOH}) + V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}))$$
- Látkové množství kyseliny a soli lze vyjádřit

$$n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) = n(\text{KOH}) = c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH}),$$
 jelikož jaké látkové množství KOH se přidá do směsi, tolik vznikne soli až do úplné neutralizace

$$n_{\text{po}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) - n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) - n(\text{KOH}) = (c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) \times V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})) - c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH})$$
- Do vztahu pro výpočet pH lze dosadit přímo látková množství, jelikož objem je stejný, je v něm sůl i kyselina

$$\text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}) = \text{pK}_a + \log ((c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH})) / (c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) \times V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})) - (c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH})))$$
- Následně můžeme z rovnice vyjádřit přímo objem přidaného KOH pro dané pH

$$10^{(\text{pK}_a - \text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}))} = (c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) \times V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})) - (c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH})) / (c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH}))$$

$$1 + 10^{(\text{pK}_a - \text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}))} = (c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) \times V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})) / (c(\text{roztok KOH}) \times V(\text{roztok KOH}))$$

$$V(\text{roztok KOH}) = (c(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) \times V(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})) / ((c(\text{roztok KOH}) \times (1 + 10^{(\text{pK}_a - \text{pH}(\text{roztok CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOK}))}))$$
- Dosadíme konkrétní hodnoty

$$V(\text{roztok KOH}) = (1 \text{ M} \times 0,02 \text{ dm}^3) / (0,5 \text{ M} \times (1 + 10^{(4,88 - 4)})) = 4,66$$