

## 3 Acidobazické reakce

### Brønstedova teorie

1. Uveďte explicitní definice podle Brønstedovy teorie.

Kyselina je .....

Báze je .....

Konjugovaný pár je .....

2. Doplňte tabulku a pojmenujte všechny sloučeniny.

Kyselina	Konjugovaná báze	Báze	Konjugovaná kyselina
H <sub>2</sub> O	.....	H <sub>2</sub> O	.....
H <sub>2</sub> S	.....	OH <sup>-</sup>	.....
HCl	.....	O <sup>2-</sup>	.....
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	.....	HS <sup>-</sup>	.....
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	.....	NH <sub>3</sub>	.....
HClO	.....	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	.....
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	.....	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	.....
R <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> <sup>+</sup>	.....	R-NH <sub>2</sub>	.....
[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup>	.....	CH <sub>3</sub> -COO <sup>-</sup>	.....
R-SO <sub>3</sub> H	.....	(●) guanidin <sup>a</sup>	.....
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -OH	.....	(●) imidazol <sup>a</sup>	.....
mléčná kyselina <sup>a</sup>	.....	(●) pyrrolidin <sup>a</sup>	.....
salicylová kyselina <sup>a</sup>	.....	(●) pyridin <sup>a</sup>	.....

<sup>a</sup> Vyjádřete strukturním vzorcem.

### Příklady silných kyselin

HCl, HBr, HI, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>, R-SO<sub>3</sub>H, R-O-SO<sub>3</sub>H

3. Pojmenujte uvedené silné kyseliny.

4. Zapište rovnici, která vystihuje chování silné kyseliny HA ve vodě.

5. (\*) Může být silnou kyselinou i karboxylová kyselina?

### Příklady slabých anorganických a organických kyselin a jejich $pK_A$ hodnot (25 °C)

Kyselina	$pK_A$	Kyselina	$pK_A$
HOOC-COOH	1,25; 4,29	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6,35; 10,33
HNO <sub>2</sub>	3,35	H <sub>2</sub> S	7,07; 12,20
HCOOH	3,75	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	9,25
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2,16; 7,20; 12,29	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -OH	9,98
CH <sub>3</sub> COOH	4,76	HOOC-CH <sub>2</sub> -NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	2,35; 10,00
[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup>	5,00	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> C=NH <sub>2</sub> <sup>+</sup>	13,50

- Zapište rovnici, která vystihuje chování slabé kyseliny HA ve vodě.
- Které jsou tři nejslabší kyseliny v tabulce? Zvažte i různé stupně disociace.
- (\*) Vypočtěte  $pK_A$  vody.
- (●) Některé organické kyseliny nemají karboxylovou skupinu a přesto jsou zřetelně kyselé (viz tabulka). Popište jejich strukturu a vysvětlete, co je příčinou jejich kyselého charakteru.

Kyselina	Chemický název	$pK_A$
Pikrová	.....	0,40
L-Askorbová	.....	4,17; 11,57
Močová	.....	5,40; 10,30

### Příklady silných hydroxidů

NaOH, KOH, Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, Ba(OH)<sub>2</sub>, NR<sub>4</sub><sup>+</sup> OH<sup>-</sup>

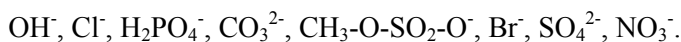
- Zapište rovnici, která vystihuje chování silného hydroxidu ve vodě.
- Tvrzení „Hydroxid sodný je silná báze“ není správné z hlediska Brønstedovy teorie. Vysvětlete a uveďte korektní formulaci.

### Příklady slabých dusíkatých bází a jejich $pK_B$ hodnot (25 °C)

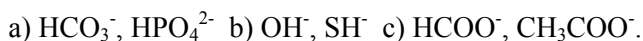
Báze	$pK_B$	Báze	$pK_B$
Guanidin	0,50	Imidazol	6,90
Pyrrolidin	2,70	Papaverin	8,00
Methylamin	3,36	Pyridin	8,82
Efedrin	4,64	Anilin	9,38
Amoniak	4,75	Difenylamin	13,20
Kodein	6,05	Kofein	13,40

- Zapište rovnici, která vystihuje chování slabé báze B ve vodě. Uveďte konkrétní reakce pro methylamin a pyridin.

13. Které z uvedených aniontů prakticky nemají bazické vlastnosti? Vysvětlete proč.



14. Z uvedených dvojic vyberte silnější bázi (využijte hodnot  $\text{p}K_A$  na předchozí straně)



### Výpočty pH

15. Doplňte chybějící vztahy:

$K_v = \dots\dots\dots (20^\circ\text{C})$	$\text{p}K_A + \text{p}K_B \text{ (konjug. pár)} = 14$
$\text{p}K_v = 14 \quad (20^\circ\text{C})$	$\text{pH (silná kyselina)} = -\log c_A$
$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$	$\text{pH (silný hydroxid)} = \dots\dots\dots$
$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$	$\text{pH (slabá kyselina)} = \frac{1}{2} \text{p}K_A - \frac{1}{2} \log c_A$
$\text{pH} + \text{pOH} = 14$	$\text{pH (slabá báze)} = \dots\dots\dots$

**Příklad.** Vypočtete pH roztoku  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,001 mol/l).

Kyselina sírová je dvojsytná kyselina a silný elektrolyt. Za předpokladu úplné disociace do obou stupňů platí, že jeden mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  poskytne dva moly protonů.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (2 c_A) = -\log (2 \cdot 0,001) = 2,7$$

**Příklad.** Vypočtete koncentraci roztoku NaOH, jestliže  $\text{pH} = 11$ .

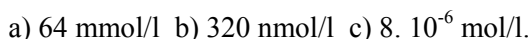
NaOH je silný hydroxid (elektrolyt) a proto  $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log [\text{NaOH}]$ .

Z toho plyne:  $[\text{NaOH}] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-3} = 0,001 \text{ mol/l} = 1 \text{ mmol/l}$ .

**Příklad.** Jaké je pH roztoku octové kyseliny o koncentraci 0,1 mol/l?

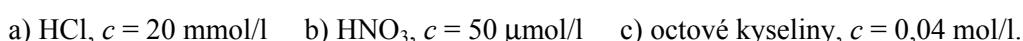
$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_A - \frac{1}{2} \log c_A = \frac{1}{2} 4,76 - \frac{1}{2} \log 0,1 = 2,38 - (-0,5) = 2,88$$

16. Vypočtete pH roztoku, jestliže koncentrace vodíkových iontů je:



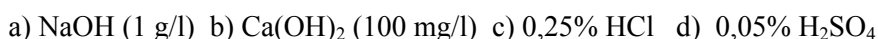
17. Jaká je koncentrace hydroxidových iontů, jestliže pH roztoku je a) 8,3 b) 10,8 c) 12,7 ?

18. Vypočtete pH roztoku:



19. Roztok kyseliny dusité (0,01 mol/l) má pH 2,65. Vypočtete disociační konstantu.

20. Vypočtete pH roztoku:



21. Vypočtete koncentraci kyseliny (hydroxidu) v roztoku:  
 a) HCl, pH = 3,5 b) NaOH, pH = 12 c) Ca(OH)<sub>2</sub>, pH = 12 d) HNO<sub>3</sub>, pH = 1,7  
 e) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH = 3 f) CH<sub>3</sub>COOH, pH = 3,7
22. Vypočtete koncentraci roztoku amoniaku o pH = 11.

### Hydrolyza solí

23. Vysvětlete pojmy: a) disociace soli b) hydrolyza iontu
24. Proč některé soli podléhají ve vodném roztoku hydrolyze a jiné nikoliv?
25. Vyberte správnou odpověď: při hydrolyze kationtu vzniká vždy a) H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> b) OH<sup>-</sup>.
26. Jakou reakci budou mít vodné roztoky těchto solí: CuCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KHCO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>Cl, NaCN, BaCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, FeSO<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COONa, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>ONa.
27. Která z uvedených solí bude mít neutrální reakci ve vodném roztoku: NaNO<sub>3</sub>, NaNO<sub>2</sub>, KCl, KCN, CaCl<sub>2</sub>, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, KClO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-COONa, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>Na.

### Pufry

28. Uveďte obecnou definici pufru.
29. Uveďte příklady běžně používaných pufrů.
30. Vysvětlete vztah na výpočet pH pufru.
31. Co je to kapacita pufru a na čem závisí?
32. Z uvedených dvojic vyberte ty, které mohou tvořit pufr:
- a) HCl + NaOH b) HCl + NaCl c) H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + KHCO<sub>3</sub> d) NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>Cl  
 e) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + NaHCO<sub>3</sub> f) HCOOH + HCOONa g) CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> + CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>Cl  
 h) Ca(OH)<sub>2</sub> + Ca(ClO)<sub>2</sub> i) NaNO<sub>3</sub> + NaCl k) HOOC-CH<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub>Cl + NaOOC-CH<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub>Cl
33. Která složka pufru NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> bude reagovat s přidanou kyselinou chlorovodíkovou? Vyjádřete děj rovnicí.
34. Vyjádřete rovnicí reakci, která nastane po přidání NaOH do octanového pufru.
35. Jak byste připravili roztok pufru o pH = pK<sub>A</sub>, máte-li k dispozici roztok slabé kyseliny (R-COOH) o známé koncentraci, pevný KOH, odměrné nádoby a váhy?
36. Pro určitou úlohu v praktickém cvičení potřebujete upravit pH vzorku vody na hodnotu pH = 4. Který z následujících pufrů můžete použít:
- a) borátový (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, pK<sub>A</sub> = 9,24)  
 b) acetátový (CH<sub>3</sub>COOH + CH<sub>3</sub>COONa, pK<sub>A</sub> = 4,76)  
 c) fosfátový (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, pK<sub>A</sub> = 7,20)
- Jak daný pufr připravíte?
37. Vypočtete pH roztoku, který vznikne smícháním 2 ml roztoku octové kyseliny (0,1 mol/l) a 6 ml roztoku octanu sodného (0,1 mol/l).

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \frac{[\text{pufr. báze}]}{[\text{pufr. kyselina}]}$$

38. Vypočtete pH pufru, který byl připraven smícháním stejných objemů roztoků  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (0,2 mol/l) a  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (0,6 mol/l).
39. Vypočtete poměr objemů roztoků  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  a  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (koncentrace obou je 0,25 mol/l), který je třeba zvolit na přípravu pufru o  $\text{pH} = 10,9$ .

### Pufrační systémy v krvi

Pufrační systém	Zastoupení	Pufrační báze	Pufrační kyselina	$\text{pK}_A$ pufr. kyseliny
Hydrogenuhlíčitánový	50 %	$\text{HCO}_3^-$	$\text{H}_2\text{CO}_3, \text{CO}_2$	6,1
Proteiny <sup>a</sup>	45 %	Protein-His	Protein-His- $\text{H}^+$	6,0-8,0 <sup>b</sup>
Hydrogenfosfátový	5 %	$\text{HPO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	6,8

<sup>a</sup> V krevní plazmě hlavně albumin, v erythrocytech hemoglobin. <sup>b</sup> Výrazně závisí na typu bílkoviny.

40. Vysvětlete, jakou funkci mají pufrační systémy v živém organismu.
41. Uveďte nejdůležitější pufr v extracelulární tekutině.

### Hydrogenuhlíčitánový pufr



42. Vysvětlete rovnováhy mezi složkami hydrogenuhlíčitánového pufru.  
Který děj v lidském těle je největším producentem  $\text{CO}_2$  ?
43. Která složka hydrogenuhlíčitánového pufru je pufrační báze?
44. Které dvě sloučeniny představují kyselou složku pufru?
45. Napište Hendersonovu-Hasselbalchovu rovnici pro hydrogenuhlíčitánový pufr.
46. Jakým způsobem se v praxi vyjadřuje koncentrace kyselé složky hydrogenuhlíčitánového pufru?

### (●) Bílkoviny jako pufr [viz také kapitola 13]

47. Vysvětlete, proč mohou molekuly bílkovin působit jako pufr (při různých hodnotách pH).
48. Doplňte kyselá a protonizovaná bazická skupina v postranních řetězcích aminokyselin:

Aminokyselina:	Asp	Glu	His	Cys	Tyr	Lys	Arg
Název skupiny:	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Vzorec skupiny:	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$\text{pK}_A$ skupiny:	3,9	4,3	6,0	8,3	10,1	10,5	12,5

49. Které aminokyseliny se mohou podílet na pufračním účinku bílkovin při  $\text{pH} 7,4$  ?

### Příklady – Pufrační systémy v organismu

50. Jakému parciálnímu tlaku  $\text{CO}_2$  odpovídá  $\text{pH}$  krve 7,30 při koncentraci  $\text{HCO}_3^-$  20 mmol/l?
51. Vypočítejte poměr obou složek hydrogenuhlíčitánového pufru při  $\text{pH}$  krve 7,40.
52. Vypočítejte, jaký je poměr koncentrace hydrogenfosfátů [ $\text{pK}_A(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 6,8$ ]  
a) v krevní plazmě při  $\text{pH} 7,40$     b) v moči při  $\text{pH} 4,8$ .

### (\*) Kyseliny v lidském organismu

53. Doplňte názvy kyselin v následujících tvrzeních.

- Při práci „na kyslíkový dluh“ se ve svalové tkáni hromadí ..... kyselina.
- Při dlouhodobém hladovění se v těle zvyšuje produkce kyseliny ..... a kyseliny .....
- Při otravě methanolem vzniká závažná metabolická acidóza způsobená relativně silnou kyselinou .....
- Užívání vysokých dávek vitamínu C není zdraví prospěšné, protože je v těle zvýšeně odbouráván na nežádoucí kyselinu .....
- Při těžkých katabolických stavech (nadměrném rozpadu velkého množství buněk) se zvyšuje endogenní tvorba omezeně rozpustné kyseliny .....
- Vysoký příjem bílkovin v potravě vede k okyselování extracelulární tekutiny a moče v důsledku zvýšené produkce  $H^+$  disociovaných ze silné kyseliny ....., která vzniká katabolismem .....kyseliny .....

### 3 Acidobazické reakce

$$8. K_A (H_2O) = 10^{-14} / 55,55 = 1,8 \cdot 10^{-16} \Rightarrow pK_A (H_2O) = 15,75$$

*Výpočty pH*

16. a) 1,2 b) 6,5 c) 5,1 17. a) 2  $\mu\text{mol/l}$  b) 0,63 mmol/l c) 50 mmol/l

18. a) 1,7 b) 4,3 c) 3,08 19.  $5 \cdot 10^{-4}$  20. a) 12,4 b) 11,4 c) 1,2 d) 2 21. a)  $3,2 \cdot 10^{-4}$  mol/l

b) 10 mmol/l c) 5 mmol/l d) 20 mmol/l e)  $5 \cdot 10^{-4}$  mol/l f) 2 mmol/l 22. 56 mmol/l

*Pufry*

37. 5,24 38. 7,68 39. 1:25

*Pufrační systémy v organismu*

50. 5,5 kPa 51.  $[\text{HCO}_3^-] : [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2] = 20:1$

52. a)  $[\text{HPO}_4^{2-}] : [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = 4:1$  b)  $[\text{HPO}_4^{2-}] : [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = 1:100$