

Acidobazické rovnováhy

Stupeň disociace

Martin Krejčí

Výstup RVP: experiment umožňuje žákům pochopit problematiku disociace kyselin a zásad ve vodných roztocích, žáci si ověří poznatky z teoretické výuky, kde se dozvídají informace o rozdílech v disociační schopnosti mezi protolyty, kde se snaží pochopit termíny silný, slabý protolyt (míra disociace kyselin a zásad závisí jednak na konstantě acidity respektive bazicity příslušného protolytu, dále však i na míře zředění příslušné kyseliny či zásady); žáci se naučí posoudit chování kyselin či zásad ve vodných roztocích, důležitým přínosem je schopnost pracovat s veličinou stupeň disociace, která přímo vyjadřuje míru disociace slabých protolytů; zajímavou možností je zjištění průběhu závislosti změny stupně disociace na molární koncentraci $\alpha = f(c_{\text{HA}})$, resp. $\alpha = f(c_{\text{B}})$, případně na změnách hodnot pH $\alpha = f(\text{pH})$ vodných roztoků kyselin či zásad.

Klíčová slova: slabá kyselina, stupeň disociace, konstanta acidity

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

15 min

Doba na realizaci:

30–35 min

Doba na zprac. dat:

30–35 min

Obtížnost:

střední

Studium změny stupně disociace α slabých protolytů v závislosti na změně molární koncentrace

Úkol pH-metricky ověřte míru elektrolytické disociace slabých kyselin či zásad v závislosti na míře zředění.

- Cíl**
- Pomocí pH-metrické měřicí techniky sledovat změnu disociační schopnosti zvoleného slabého protolytu.
 - Variující hodnoty pH přepočítat na rovnovážné koncentrace oxoniového kationtu a z nich následně dopočítat hodnoty stupně disociace zvoleného protolytu pro dané molární koncentrace.
 - Z naměřených měnicích se hodnot pH respektive c (kyselin či zásad) sestrojit graf závislosti $\alpha = f(\text{pH})$ nebo $\alpha = f(c)$.
 - Umět používat vztah pro výpočet α a jeho souvislost s konstantami acidity respektive bazicity slabých protolytů.

Pomůcky **Přístrojové vybavení:** datalogger LABQUEST, počítač s nainstalovaným programem Logger Pro, senzor pH Vernier, magnetická míchačka + magnetické míchadlo

Laboratorní technika: laboratorní stojan, držák na byrety, byreta ($V = 50 \text{ ml}$), odměrná pipeta ($V = 50 \text{ ml}$), titrační baňka ($V = 250 \text{ ml}$), odměrná baňka ($V = 100 \text{ ml}$), držák pH-metrické elektrody (není podmínkou), stříčka, pipetovací balonek

Chemikálie: roztok kyseliny octové $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ $c = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, destilovaná H_2O

Informace o nebezpečnosti použitých chemikálií

CH_3COOH : **H-věty** **H314** Způsobuje těžké poleptání kůže a poškození očí.

H226 Hořlavá kapalina a páry.

R-věty **R10** Hořlavý.

R35 Způsobuje těžké poleptání.

S-věty **S1/2** Uchovávejte uzamčené a mimo dosah dětí.

S23 Nevdechujte plyny/dýmy/páry/aerosoly (příslušný výraz specifikuje výrobce).

S26 Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc.

S45 V případě nehody nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení).



Sledování hydrolyzy u vodných roztoků různých solí

P-věty **P260** Nevdechujte páry.**P280** Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ochranné brýle/obličejový štít.**P305+P351+P338** Při zasažení očí: několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.**P301+P330+P331** Při požití: Vypláchněte ústa. Nevyvolávejte zvracení.**P310** Okamžitě volejte toxikologické informační středisko nebo lékaře.

Teoretický úvod Kyseliny či zásady mají schopnost ve vodném roztoku disociovat. Při elektrolytické disociaci se do roztoku uvolňují ionty, které ovlivňují pH daných roztoků. Je zřejmé, že disociační schopnost nebude u všech stejná. Dokonce lze s jistotou tvrdit, že neexistují ani dva protolyty, které by se v roztocích chovaly stejným způsobem.

Veličina, která nám alespoň částečně naznačuje disociační schopnost, se nazývá konstanta acidity pro kyseliny, respektive konstanta bazicity platná pro zásady. Z jejich hodnot jsme schopni vyslovit jednoznačný závěr, zda se jedná o silný či slabý protolyt. Obtížnější už je vyslovit závěr o míře reálné disociace námi zvoleného protolytu.

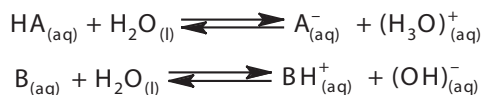
O nezbytnosti znalosti této míry svědčí už samotný definiční vztah pro výpočet pH vodných roztoků kyselin či zásad $pH = -\log[(H_3O)^+]$. Je jasné patrné, že v mnoha případech je nezbytností zjistit přesnou rovnovážnou koncentraci oxoniových kationtů v roztoku, která nebude v žádném případě rovna počáteční analytické koncentraci kyseliny či zásady.

Abychom mohli spolehlivě vynést závěr o hodnotě rovnovážné koncentrace oxoniového kationtu, musíme přesně vědět, jaké množství molekul kyseliny či zásady podle elektrolytické disociace neboli kolik molekul se reálně podílí na výsledné hodnotě pH našeho roztoku. Veličina, která nám tuto skutečnost jednoznačně prozrazuje, se nazývá stupeň disociace. Značí se α a pro názornost se uvádí v %. Jedná se o poměr látkového množství disociovaných molekul ku celkovému množství molekul kyseliny či zásady vloženému na počátku.

$$\alpha = \frac{n_{A^-}}{n_{HA}^0} \cdot 100[\%] \quad \alpha = \frac{n_{BH^+}}{n_B^0} \cdot 100[\%]$$

Problém nastává ve chvíli, kdy si uvědomíme, že hodnota čitatele ve výše uvedených vztazích je právě námi hledaná disociační schopnost kyselin a zásad! Je tedy nezbytné najít jinou cestu pro odhalení reálné disociační schopnosti.

Vyjdeme z klasických disociačních rovnováh kyselin a zásad ve vodném prostředí.



Pro každou z nich lze zapsat příslušnou konstantu acidity či bazicity.

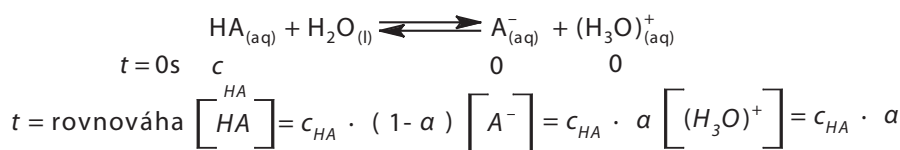
$$K_{HA} = \frac{[A^-] \cdot [(H_3O)^+]}{[HA]} \quad K_B = \frac{[(BH)^+] \cdot [(OH)^-]}{[B]}$$

Nyní se můžeme podívat na disociace podrobněji a pokusit se zachytit dva stěžejní časové úseky probíhajících disociací. Blíže se podíváme na počátek disociace a na okamžik dosažení rovnovážného stavu při disociaci kyseliny i zásady.

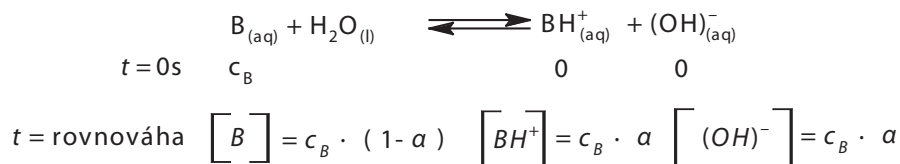
Sledování hydrolyzy u vodných roztoků různých solí

úloha
10

kyselina:



zásada:



Nyní si lze, za rovnovážné koncentrace, dosadit výše uvedené výrazy do příslušných konstant acidity či bazicity.

$$K_{\text{HA}} = \frac{c_{\text{HA}} \cdot \alpha \cdot c_{\text{HA}} \cdot \alpha}{c_{\text{HA}} \cdot (1 - \alpha)} = \frac{c_{\text{HA}} \cdot \alpha^2}{(1 - \alpha)} \Rightarrow K_{\text{HA}} \cdot (1 - \alpha) = c_{\text{HA}} \cdot \alpha^2 \Rightarrow K_{\text{HA}} - K_{\text{HA}} \cdot \alpha = c_{\text{HA}} \cdot \alpha^2$$

$$K_{\text{B}} = \frac{c_{\text{B}} \cdot \alpha \cdot c_{\text{B}} \cdot \alpha}{c_{\text{B}} \cdot (1 - \alpha)} = \frac{c_{\text{B}} \cdot \alpha^2}{(1 - \alpha)} \Rightarrow K_{\text{B}} \cdot (1 - \alpha) = c_{\text{B}} \cdot \alpha^2 \Rightarrow K_{\text{B}} - K_{\text{B}} \cdot \alpha = c_{\text{B}} \cdot \alpha^2$$

Finální tvar rovnic vyjadřujících souvislost konstant acidity či bazicity se stupněm disociace je následující:

$$c_{\text{HA}} \cdot \alpha^2 + K_{\text{HA}} \cdot \alpha - K_{\text{HA}} = 0 \quad \quad c_{\text{B}} \cdot \alpha^2 + K_{\text{B}} \cdot \alpha - K_{\text{B}} = 0$$

Řešením kvadratických rovnic získáme dvojici kořenů, z nichž jeden má hodnotu pozitivní a jeden má hodnotu negativní. Logicky ten s negativní hodnotou nedává smysl, poněvadž negativní disociace je samozřejmě nesmysl. Pro další práci využijeme pozitivní hodnotu stupně disociace α , která přesně kvantifikuje míru disociace kyseliny či zásady.

Lze se ještě zamyslet nad výrazem $(1 - \alpha)$ ve jmenovateli výrazů po dosazení rovnovážných koncentrací s použitím stupně disociace do konstant acidit respektive bazicit. Pro slabé protolyty, při běžně používaných koncentracích, platí, že míra disociace je velice nízká, a proto lze výraz $(1 - \alpha)$ považovat za jednotkový. Tím se výraz zásadně zjednoduší na tvar

kyselina:

$$K_{\text{HA}} = \frac{c_{\text{HA}} \cdot \alpha \cdot c_{\text{HA}} \cdot \alpha}{c_{\text{HA}}} = c_{\text{HA}} \cdot \alpha^2 \Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{HA}}}{c_{\text{HA}}}}$$

zásada:

$$K_{\text{B}} = \frac{c_{\text{B}} \cdot \alpha \cdot c_{\text{B}} \cdot \alpha}{c_{\text{B}}} = c_{\text{B}} \cdot \alpha^2 \Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{B}}}{c_{\text{B}}}}$$

Krom základního vztahu mezi stupněm disociace a konstantami acidit či bazicit stojí za to si povšimnout vztahu mezi stupněm disociace α a pH respektive rovnovážnou koncentrací oxoniového kationtu $[(\text{H}_3\text{O})^{+}]$. Pro pH v obecné rovině platí

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= -\log a_{(\text{H}_3\text{O})^{+}} \approx -\log[(\text{H}_3\text{O})^{+}] \\
 [(\text{H}_3\text{O})^{+}] &= c_{\text{HA}} \cdot \alpha
 \end{aligned}$$

Sledování hydrolyzy u vodných roztoků různých solí

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{HA(B)}}{c_{HA(B)}}} \Rightarrow \alpha^2 = \frac{K_{HA(B)}}{c_{HA(B)}} \Rightarrow c_{HA(B)} = \frac{K_{HA(B)}}{\alpha^2}$$

Spojením obou výrazů získáme následující rovnici, kde jsou ve vzájemném vztahu všechny tři klíčové veličiny pro výpočet pH slabých, málo disociujících kyselin:

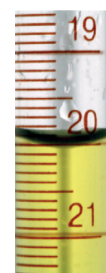
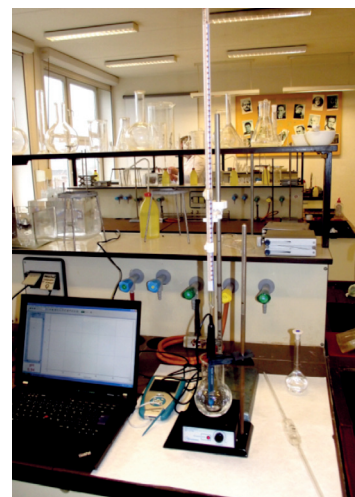
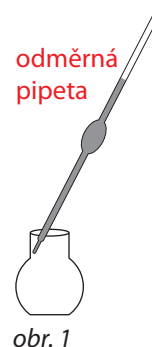
$$[(H_3O)^+] = \frac{K_{HA}}{\alpha^2} \cdot \alpha = \frac{K_{HA}}{\alpha} \Rightarrow \alpha = \frac{K_{HA}}{[(H_3O)^+]}$$

Pro slabé zásady by platila následující varianta

$$[(H_3O)^+] = \frac{K_v}{[(OH)^-]} = \frac{K_v}{c_b \cdot \alpha} = \frac{K_v}{\frac{K_b}{\alpha^2} \cdot \alpha} = \frac{K_v}{\frac{K_b}{\alpha}} = \frac{K_v \cdot \alpha}{K_b} \Rightarrow \alpha = \frac{K_v \cdot K_b}{K_v \cdot [(OH)^-]} = \frac{K_b}{[(OH)^-]}$$

Postup práce

- 1 Do čisté titrační baňky (250 ml) odpipetujeme (**obr. 1**) odměrnou pipetou 100 ml destilované vody.
- 2 Sestavíme aparaturu pro titraci (**obr. 2 a 3**).
- 3 Přes nálevku naplníme byretu studovaným roztokem $CH_3COOH_{(aq)}$ $c = 1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$. Před vlastním plněním byretu pečlivě propláchneme destilovanou vodou a následně zbytek vody spláchneme malým množstvím připraveného roztoku kyseliny octové. Důvodem je minimalizace chyby stanovení způsobené pozměněním počáteční koncentrace $c^0(CH_3COOH)$ roztoku destilovanou vodou pocházející z počátečního výplachu byrety.
- 4 Meniskus, vytvořený hladinou roztoku kyseliny, nastavíme na nulovou hodnotu odpuštěním přebytečného množství bokem do kádinky (**obr. 4**).
- 5 Do titrační baňky s destilovanou vodou vložíme magnetické míchadlo.
- 6 Následně do titrační baňky s destilovanou vodou ponoříme senzor pH Vernier. Otáčky magnetické míchačky nastavíme tak, aby míchadlo nenaráželo do měřicí části pH elektrody.
- 7 pH elektrodu je nezbytné před experimentem kalibrovat. Kalibraci provádíme dvoubodově za pomoci pufrů s definovanou hodnotou pH. Používáme roztoky $pH = 4$ a $pH = 7$. Pro kalibraci hodnoty vzdálenější od pH neutrality lze použít i pufr o $pH = 10$. Při větší toleranci odchylky měření lze využít i kalibraci přednastavenou v dataloggeru.
- 8 Nyní nastavíme režim měření pro sběr dat. Nastavení lze provést jak v dataloggeru LABQUEST, tak i v programu LoggerPro. Na obrázcích níže (**obr. 5, 6, 7**) je naznačeno nastavení v programu Logger Pro. V rozbalovacím seznamu **Experiment** zvolíme nabídku **Sběr dat**. Objeví se dialogové okno pro nastavení. Zde nahradíme nabídku **Časová závislost** režimem **Události se vstupy**. Následně doplníme informace o názvu sloupce, značce a jednotce manuálně zadávané veličiny. V našem případě bude manuálně zadávanou veličninou objem studovaného roztoku kyseliny octové. Po zadání všech požadovaných hodnot potvrdíme volbu tlačítkem **Hotovo**. Tím je základní



Sledování hydrolýzy u vodných roztoků různých solí

Sběr dat

Trigger

Mód: časová závislost

☐ Opak.

Délka: 10 sekundy

☒ Měřit ihned

Trigger je vypnutý

☐ Nepřerušovaný sběr dat

Vzorkovací frekvence

1 vzorků/sekunda 1 sekundy/vzorek

☐ Průměrování Celkem bude měřeno: 11

Nápověda Hotovo Zrušit

obr. 5

nastavení režimu měření ukončeno
a můžeme přistoupit k vlastní realizaci
měření.

- 9 Ještě před měřením lze nastavit parametry grafu, není to však nezbytné, úpravy grafu lze provádět i po ukončení měření.
- 10 Nyní začneme vlastní titraci. Klikem na ikonu **Sběr dat** (zelená šipka na monitoru počítače) zahájíme měření. Současně se zahájením sběru dat se vedle zelené šipky objeví symbol modrého kroužku, příkaz **Zachovat**, který se využívá k manuálnímu zadávání přidaného objemu roztoku kyseliny octové. Během

Sběr dat

Mód: **události se vstupy** Počet sloupců: 1

Název sloupce:

Značka: Jedno

Název sloupce:

Značka: Jedno

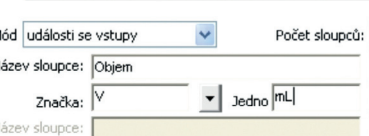
Název sloupce:

Značka: Jedno

☐ Použít 10 s průměr (způsobí příslušnou prodlevu)

Nápověda Hotovo Zrušit

obr. 6



Sběr dat

Mód: **události se vstupy** Počet sloupců: **1**

Název sloupce:	Objem	
Značka:	V	Jedno ml
Název sloupce:		
Značka:		Jedno
Název sloupce:		
Značka:		Jedno

☐ Použít 10 s průměr (způsobí příslušnou prodlevu)

Nápověda Hotovo Zrušit

obr. 7

měření volíme objem kyseliny přidávané z byrety co nejmenší. Ideální by bylo po 0,1 ml nebo 0,2 ml. Při nízkých koncentracích, kterých tak malými přídávky dosáhneme, získáme i velmi zásadní, nebývale vysoké hodnoty stupně disociace. To přesně koresponduje se závislostí stupně disociace na molární koncentraci slabých protolytů (viz teoretický úvod). Tak nízké objemy přídávky je dobré držet hlavně v počátku měření, postupně lze přídávky zvyšovat až na 0,5 ml či 1 ml. Po každém přídávku je nutné počkat, až se nová hodnota změněného pH ustálí. Klikem na příkaz **Zachovat** naměřenou hodnotu uložíme a zároveň získáme možnost zadat objem přídávky. Zadanou hodnotu potvrdíme tlačítkem **OK**. Celou operaci opakujeme tak dlouho, až získáme dostatek hodnot pro vykreslení celého grafu $\alpha = f(\text{pH})$ respektive $\alpha = f(c_{\text{HAc}})$.

- 11 Po naměření dostatečného počtu hodnot ukončíme sběr dat klikem na tlačítko **Ukončit**. Tím je experimentální část měření hotova. Následuje analytická část, ve které je třeba zpracovat naměřená data.

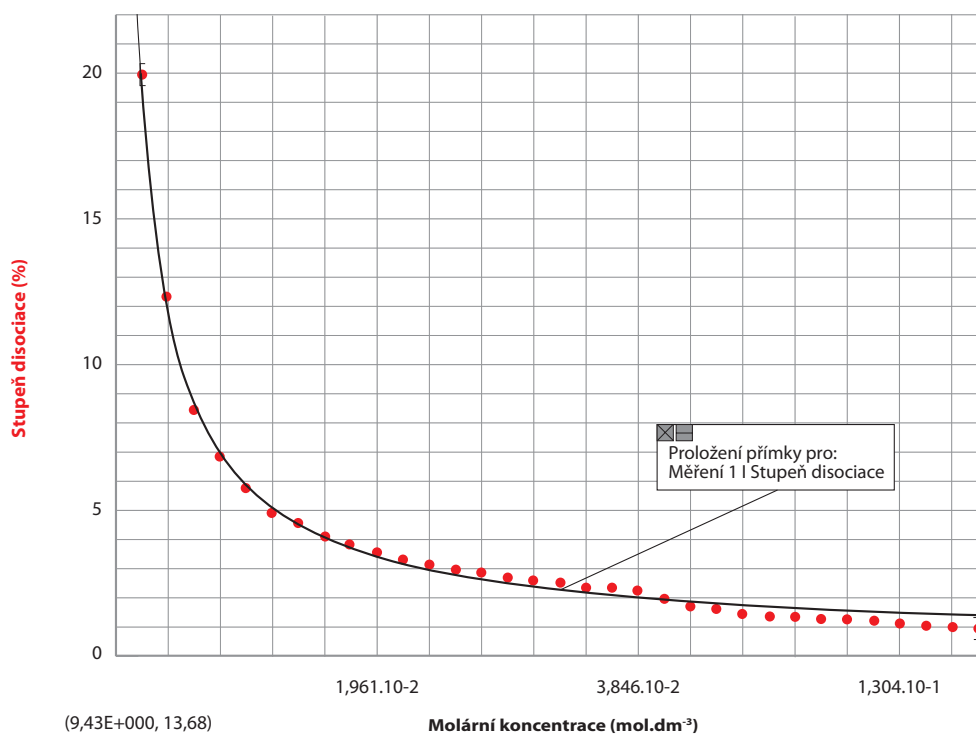
Zpracování dat

- 1 Na následující straně je zobrazen graf $\alpha = f(c_{\text{HAC}})$ jako výsledek sběru dat pomocí dataloggeru LABQUEST ve spolupráci se programem Logger Pro. Dále je zde zobrazena tabulka hodnot získaných experimentálně v průběhu měření. Je patrná měnící se disociační schopnost kyseliny octové v závislosti na molární koncentraci kyseliny. Stupeň disociace α , který její míru přesně kvantifikuje, strmě klesá s narůstající molární koncentrací kyseliny.



Sledování hydrolyzy u vodných roztoků různých solí

V_{HAC} [ml]	pH	c_{HAC} [mol.dm ⁻³]	α [%]
0,20	3,40	1,996.10-3	19,95
0,40	3,31	3,984.10-3	12,29
0,60	3,30	5,964.10-3	8,41
0,80	3,27	7,937.10-3	6,77
1,00	3,25	9,901.10-3	5,68
1,20	3,24	1,186.10-2	4,85
1,40	3,21	1,381.10-2	4,47
1,60	3,20	1,575.10-2	4,01
1,80	3,18	1,768.10-2	3,74
2,00	3,17	1,961.10-2	3,45
2,20	3,16	2,153.10-2	3,21
2,40	3,15	2,344.10-2	3,02
2,60	3,14	2,534.10-2	2,86
2,80	3,12	2,724.10-2	2,79
3,00	3,12	2,913.10-2	2,61
3,20	3,11	3,101.10-2	2,50
3,40	3,10	3,288.10-2	2,42
3,60	3,10	3,475.10-2	2,29
3,80	3,09	3,661.10-2	2,22
4,00	3,08	3,846.10-2	2,16
5,00	3,05	4,762.10-2	1,87
6,00	3,03	5,660.10-2	1,65
7,00	3,01	6,542.10-2	1,49
8,00	2,99	7,407.10-2	1,38
9,00	2,97	8,257.10-2	1,30
10,00	2,95	9,091.10-2	1,23
11,00	2,93	9,910.10-2	1,19
12,00	2,91	1,072.10-1	1,15
13,00	2,89	1,151.10-1	1,12
15,00	2,87	1,304.10-1	1,03
19,00	2,82	1,597.10-1	0,95
23,00	2,78	1,870.10-1	0,89
27,00	2,75	2,126.10-1	0,84

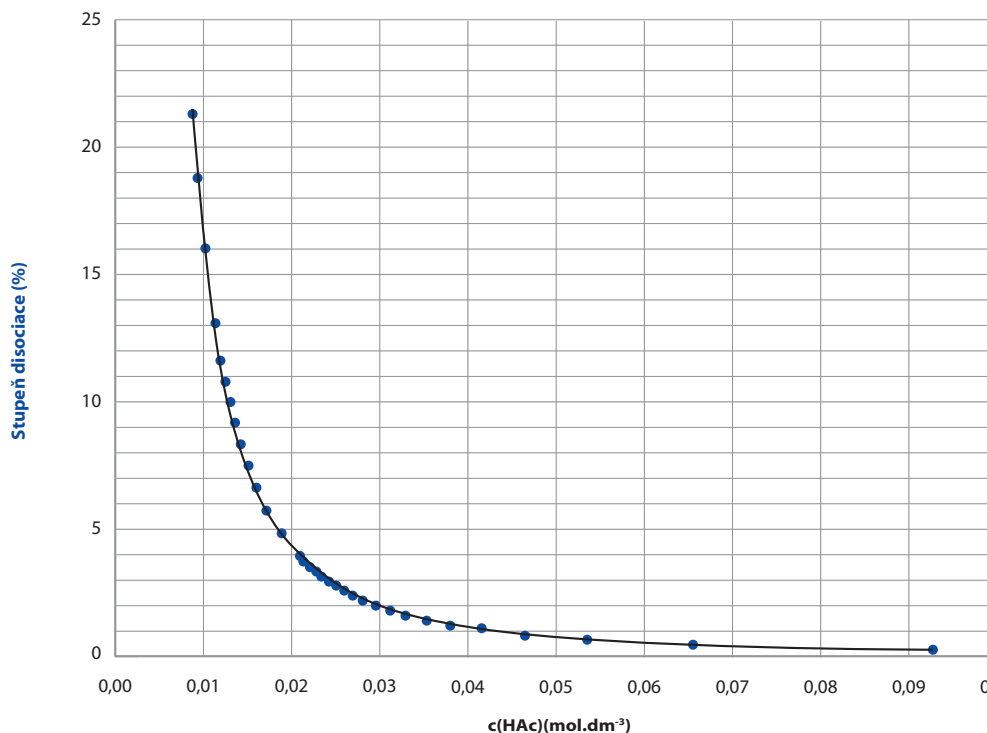
 $\Delta \alpha / \Delta c(\text{CH}_3\text{COOH})$ 

Sledování hydrolýzy u vodných roztoků různých solí

- 2 Na následujícím grafu spolu s tabulkou hodnot je možno provést srovnání s teoreticky spočítanými hodnotami stupně disociace. Je přiložena i tabulka hodnot. Jak je vidět, experimentálně zjištěná data přesně odpovídají teoretickému očekávání.

c/[mol.L ⁻¹]	α	%	K_{HA}	[H ₃ O ⁺]	pH
0,49539	7,000E-05	0,007%	1,71791E-05	3,468E-05	4,46
0,46340	8,000E-05	0,008%	1,71791E-05	3,707E-05	4,43
0,43690	9,000E-05	0,009%	1,71791E-05	3,932E-05	4,41
0,41448	1,000E-04	0,010%	1,71791E-05	4,145E-05	4,38
0,29308	2,000E-04	0,020%	1,71791E-05	5,862E-05	4,23
0,23930	3,000E-04	0,030%	1,71791E-05	7,179E-05	4,14
0,18536	5,000E-04	0,050%	1,71791E-05	9,268E-05	4,03
0,15666	7,000E-04	0,070%	1,71791E-05	1,097E-04	3,96
0,09277	1,996E-03	0,200%	1,71791E-05	1,852E-04	3,73
0,06567	3,984E-03	0,398%	1,71791E-05	2,616E-04	3,58
0,05367	5,964E-03	0,596%	1,71791E-05	3,201E-04	3,49
0,04652	7,937E-03	0,794%	1,71791E-05	3,693E-04	3,43
0,04165	9,901E-03	0,990%	1,71791E-05	4,124E-04	3,38
0,03806	1,186E-02	1,186%	1,71791E-05	4,514E-04	3,35
0,03527	1,381E-02	1,381%	1,71791E-05	4,871E-04	3,31
0,03303	1,575E-02	1,575%	1,71791E-05	5,202E-04	3,28
0,03117	1,768E-02	1,768%	1,71791E-05	5,511E-04	3,26
0,02960	1,961E-02	1,961%	1,71791E-05	5,804E-04	3,24
0,02825	2,153E-02	2,153%	1,71791E-05	6,082E-04	3,22
0,02707	2,344E-02	2,344%	1,71791E-05	6,346E-04	3,20
0,02604	2,534E-02	2,534%	1,71791E-05	6,598E-04	3,18
0,02511	2,724E-02	2,724%	1,71791E-05	6,841E-04	3,16
0,02428	2,913E-02	2,913%	1,71791E-05	7,074E-04	3,15
0,02354	3,101E-02	3,101%	1,71791E-05	7,299E-04	3,14
0,02286	3,288E-02	3,288%	1,71791E-05	7,516E-04	3,12
0,02223	3,475E-02	3,475%	1,71791E-05	7,726E-04	3,11
0,02166	3,661E-02	3,661%	1,71791E-05	7,930E-04	3,10
0,02113	3,846E-02	3,846%	1,71791E-05	8,128E-04	3,09
0,01899	4,762E-02	4,762%	1,71791E-05	9,045E-04	3,04
0,01742	5,660E-02	5,660%	1,71791E-05	9,861E-04	3,01
0,01620	6,542E-02	6,542%	1,71791E-05	1,060E-03	2,97
0,01523	7,407E-02	7,407%	1,71791E-05	1,128E-03	2,95
0,01442	8,257E-02	8,257%	1,71791E-05	1,191E-03	2,92
0,01375	9,091E-02	9,091%	1,71791E-05	1,250E-03	2,90
0,01317	9,910E-02	9,910%	1,71791E-05	1,305E-03	2,88
0,01266	1,072E-01	10,720%	1,71791E-05	1,357E-03	2,87
0,01222	1,151E-01	11,510%	1,71791E-05	1,406E-03	2,85
0,01148	1,304E-01	13,040%	1,71791E-05	1,497E-03	2,82
0,01037	1,597E-01	15,970%	1,71791E-05	1,656E-03	2,78
0,00958	1,870E-01	18,700%	1,71791E-05	1,792E-03	2,75
0,00899	2,126E-01	21,260%	1,71791E-05	1,911E-03	2,72

Sledování hydrolyzy u vodných roztoků různých solí

**Výpočty Příprava roztoků pro realizaci experimentu**

Výpočet $V(\text{CH}_3\text{COOH})$, který je třeba odpipetovat pro přípravu roztoku o přibližné koncentraci $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ a objemu 100 ml

$$V_{(\text{CH}_3\text{COOH})_{99\%}} = \frac{c_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot V_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot M_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{w_{(\text{CH}_3\text{COOH})_{99\%}} \cdot \rho_{(\text{CH}_3\text{COOH})_{99\%}}}$$

Po dosazení:

$$V_{(\text{CH}_3\text{COOH})_{99\%}} = \frac{1 \cdot 0,1 \cdot 60,05}{0,99 \cdot 1,07} = \underline{\underline{5,67 \text{ mL} \approx 5,7 \text{ mL}}}$$

Výpočty stupňů disociace pro různé koncentrace CH_3COOH uvedené žáky do protokolu o měření

Pro názornost měnící se míry disociace a upevnění vztahu pro výpočet stupně disociace lze žáky nechat vypočítat α pro různé koncentrace CH_3COOH . Jako dobrá se jeví škála koncentrací s narůstajícím stupněm zředění kyseliny. Volíme tedy následující molární koncentrace:

1M $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$

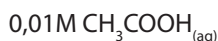
$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{HAc}}}{c_{\text{HAc}}}} = \sqrt{\frac{10^{-4,756}}{1}} = \sqrt{1,754 \cdot 10^{-5}} = 4,19 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \underline{\underline{0,42\%}}$$

0,5M $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{HAc}}}{c_{\text{HAc}}}} = \sqrt{\frac{10^{-4,756}}{0,5}} = \sqrt{\frac{1,754 \cdot 10^{-5}}{0,5}} = \sqrt{3,508 \cdot 10^{-5}} = 5,92 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \underline{\underline{0,59\%}}$$

0,1M $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{HAc}}}{c_{\text{HAc}}}} = \sqrt{\frac{10^{-4,756}}{0,1}} = \sqrt{\frac{1,754 \cdot 10^{-5}}{0,1}} = \sqrt{1,754 \cdot 10^{-4}} = 1,324 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \underline{\underline{1,324\%}}$$



$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{HAc}}{c_{HAc}}} = \sqrt{\frac{10^{-4,756}}{0,01}} = \sqrt{\frac{1,754 \cdot 10^{-5}}{0,01}} = \sqrt{1,754 \cdot 10^{-3}} = 4,188 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \underline{\underline{4,188\%}}$$



$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{HAc}}{c_{HAc}}} = \sqrt{\frac{10^{-4,756}}{0,001}} = \sqrt{\frac{1,754 \cdot 10^{-5}}{0,001}} = \sqrt{1,754 \cdot 10^{-2}} = 1,324 \cdot 10^{-1} \Rightarrow \underline{\underline{13,24\%}}$$



$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{HAc}}{c_{HAc}}} = \sqrt{\frac{10^{-4,756}}{0,0001}} = \sqrt{\frac{1,754 \cdot 10^{-5}}{0,0001}} = \sqrt{1,754 \cdot 10^{-1}} = 4,188 \cdot 10^{-1} \Rightarrow \underline{\underline{41,88\%}}$$

Závěr V laboratorním cvičení si žáci ověřili znalosti o chování slabých kyselin ve vodných roztocích. Jednak z naměřené závislosti a jednak z výpočtu je jednoznačně patrný růst elektrolytické disociace slabých kyselin v závislosti na stupni zředění. Teoreticky lze vyslovit závěr, že při vysokém stupni zředění by se i slabá kyselina chovala jako silná, tedy 100% disociující. Stejná závislost by samozřejmě platila i pro slabé zásady. I tu by bylo možné stejným způsobem ověřit. Jako ideální pro tuto modifikaci laboratorní práce se jeví snadno dostupný amoniak NH_{3(aq)}, který patří mezi slabé zásady.