

IONTY V PITNÉ VODĚ

Voda vyskytující se v přírodě obsahuje směs rozpuštěných solí a sloučenin. Pitnou vodou se rozumí taková voda, jejíž fyzikálně-chemické vlastnosti nepředstavují ohrožení zdraví. Ukazatelé zdravotní nezávadnosti a čistoty pitné vody jsou podrobně specifikovány ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví ČR 252/2004 Sb.

Hodnota ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení obvykle nepředstavuje *akutní* zdravotní riziko, se označuje jako **mezní hodnota**. **Nejvyšší mezní hodnotou** se rozumí hodnota ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné.

Řada iontů přítomných ve vodě je pro lidský organismus velmi důležitá, některé jsou však nežádoucí, při vyšších koncentracích toxické. Z iontů se sledují v pitné vodě např. ionty Ca^{2+} (samotně nebo spolu s ionty Mg^{2+}), Fe^{3+} , NH_4^+ , NO_2^- a NO_3^- .

Dusičnany nejsou samy o sobě toxické, zčásti jsou však mikroflórou ústní dutiny, při některých infekcích i střevní mikroflórou, redukovány na toxické dusitany. U kojenců konverze dusičnanů na dusitany probíhá téměř v celém trávicím traktu, proto bývá daleko účinnější. Tato skutečnost může být významná při požití většího množství dusičnanů. Přijatelný denní příjem je 4–5 mg NO_3^-/kg tělesné hmotnosti, přitom podíl příjmu pitnou vodou by měl být průměrně 30 %.

Nejvyšší mezní hodnota NO_3^- pro pitnou vodu je **50 mg/l**. **Voda pro kojence** z pohledu prevence vzniku dusičnanové alimentární methemoglobinaemie může obsahovat jen do **15 mg NO_3^-/l** .

V potravě je nejvyšší obsah dusičnanů v některých druzích zeleniny (zvláště kořenové), kde často přesahuje hodnotu 1000 mg/kg.

Vysoká koncentrace dusičnanů ve vodním zdroji je důsledek používání vysokých dávek dusíkatých hnojiv v zemědělství nebo signalizace průniku vody vrstvami se značnou úrovní biologických dějů a tedy i značná pravděpodobnost bakteriální kontaminace.

Dusitany jsou toxické (pro člověka od několika desítek miligramů), způsobují kromě jiného oxidaci hemoglobinu na hemoglobin (methemoglobin) nebo reagují v trávicím traktu, především v žaludku, se sekundárními aminy, resp. amidy přijatými potravou za vzniku *N*-nitrosoaminů (nitrosaminů), resp. *N*-nitrosoamidů (nitrosamidů), z nichž řada je silně karcinogenní. Vznik nitrosaminů/nitrosamidů je silně potlačen při současném podání vitamínu C *per os*.

Dle vyhlášky nejvyšší mezní hodnota NO_2^- pro pitnou vodu je **0,5 mg/l**. Obsah NO_2^- v pitné vodě na výstupu z úpravny vody však musí být nižší než 0,1 mg/l.

Přítomnost dusitanů ve vodě znamená zpravidla značné znečištění vody při jejím prostupu vysoce biologicky aktivními vrstvami (žumpy, kanalizace, hnojiště).

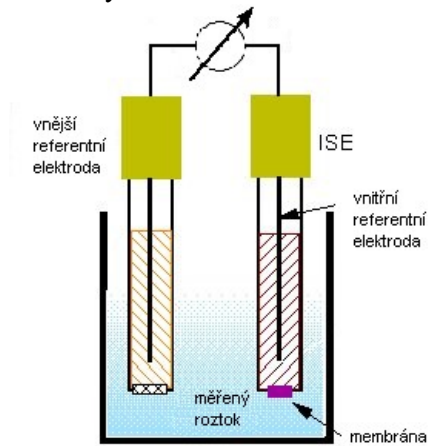
Amoniak je toxický, jeho obsah závisí na hodnotě pH. Při hraniční hodnotě pH 8,5 pro pitnou vodu je poměr mezi $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ přibližně 1/10. Přítomnost kationtů NH_4^+ (nebo amoniaku v alkalických vodách) je většinou ukazatelem hrubého znečištění pitné vody produkty rozkladu dusíkatých organických látek, hlavně proteinů a močoviny (průsaky z kanalizace, žump, silážních jam, aj.). Koncentrace NH_4^+ v pitné vodě nesmí přesahovat 0,5 mg/l, volného amoniaku 0,01 mg/l.

Mezní hodnota NH_4^+ pro pitnou vodu je **0,5 mg/l**.

IONOVĚ SELEKTIVNÍ ELEKTRODY

Iontově selektivní elektrody (ISE) slouží k měření aktivity, popřípadě koncentrace iontů v roztoku. Jedná se o membránové elektrody s velmi dobrou selektivitou pro specifický ion. Membrána je obvykle umístěna na konci trubice, v které je zabudována vnitřní referentní elektroda. ISE spolu s vnější referentní elektrodou, které jsou ponořeny do měřeného roztoku, vytváří elektrochemický článek.

Protože potenciál vnitřní a vnější referentní elektrody je za daných experimentálních podmínek nezávislý na složení měřeného roztoku, jakákoliv změna elektromotorického napětí článku (EMN) je



dána změnou membránového potenciálu ISE. Membránový potenciál vzniká na membráně propustné pouze pro daný typ iontu, která odděluje dva roztoky s rozdílnou iontovou aktivitou. Poněvadž aktivita daného iontu na jedné straně membrány (uvnitř elektrody) je konstantní, výsledný potenciál ISE závisí lineárně na logaritmu aktivity daného iontu a_i (s nábojovým číslem z_i) v analyzovaném roztoku. Tuto závislost popisuje Nernstova rovnice:

$$E_{\text{ISE}} \approx \text{konst.} + \frac{RT}{z_i F} \ln a_i$$

Elektrochemický článek tvořený ISE

Pro teplotu 25 °C a po převodu přirozeného logaritmu na dekadický, lze uvedený vztah pro potenciál ISE v milivoltech zjednodušit:

$$E_{\text{ISE}} \approx \text{konst.} + \frac{59,16}{z_i} \log a_i$$

Měření EMN probíhá za rovnovážných podmínek, tj. za situace, kdy článkem neprotéká žádný proud (proto se pro měření EMN používá voltmetr s vysokým vstupním odporem, vyšším než $10^9 \Omega$). Rovnovážné podmínky znamenají, že rychlost přestupu daného iontu z membrány do roztoku je stejná jako rychlost jeho přestupu z roztoku na membránu.

Ionty, pro které je daná membrána nepropustná (neselektivní), nemají žádný vliv na membránový potenciál elektrody. Ve skutečnosti neexistuje taková membrána, která by byla 100% selektivní pro jeden typ iontů a pro ostatní typy iontů neselektivní. Membránový potenciál je dán především aktivitou tzv. primárního iontu, ale do jisté míry též ostatními (sekundárními) ionty přítomnými v roztoku.

Vliv interferujících iontů na výsledný potenciál ISE popisuje Nicolského rovnice, pro teplotu 25 °C platí:

$$E_{\text{ISE}} \approx \text{konst.} + \frac{59,16}{z_i} \log(a_i + \sum k_{iy} a_y)$$

kde z_i je nábojové číslo stanovovaného iontu, $k_{i,y}$ je koeficient selektivity pro ionty i a y , a_i je aktivita stanovovaného iontu, a_y je aktivita interferujícího iontu.

Koeficient selektivity k_{iy} je jednou ze základních charakteristik ISE. Čím nižší je hodnota koeficientu selektivity, tím méně příslušný ion interferuje.

Typy iontově selektivních membrán

- *Sklo speciálního složení* (tzv. *skleněná membrána* reagující na aktivitu H^+ , Na^+ , NH_4^+ , Cl^-);
- *Nerozpustná anorganická sůl* vykazující určitou vodivost (tzv. *pevná membrána*, např. LaF_3 reagující na aktivitu F^-);
- *Iontoměnič imobilizovaný do polymeru* – často PVC nebo PE (tzv. *matriční membrána*, např. ISE reagující na Ca^{2+} , NO_3^-);
- *Iontoměnič rozpuštěný v rozpouštědle nemísitelném s vodou* a adsorbovaný na speciální filtr (tzv. *tekutá membrána*).

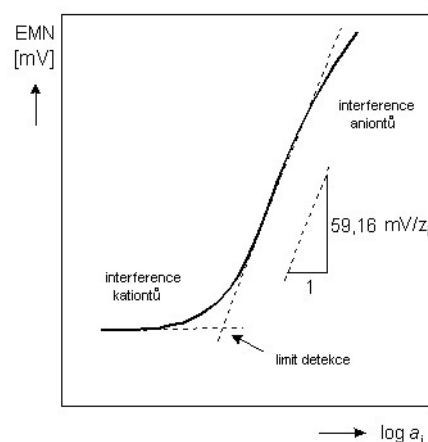
Pomocí ISE lze stanovit i sloučeniny neiontové povahy: mezi elektrodu a analyzovaný roztok je umístěn elektrolyt, ve kterém probíhá chemická reakce nebo se mění chemická rovnováha, které se účastní ion měřený ISE. Na tomto principu jsou založeny *plynocitlivé kombinované elektrody* (plynové elektrody, plynové sensory), které jsou citlivé na koncentraci plynu rozpuštěného ve vodném prostředí. ISE je v kontaktu s elektrolytem, který je od měřeného roztoku oddělen membránou propustnou pro daný plyn. Pokud analyzovaný plyn v elektrolytu kombinované elektrody vyvolává změny pH (např. NH_3 nebo CO_2), používá se pro detekci změny pH skleněná elektroda. U *elektrody pro amoniak* je mezi plynopropustnou membránou a skleněnou elektrodou roztok NH_4Cl . Při ponoření elektrody do analyzovaného roztoku s amoniakem dochází v elektrolytu k posunu rovnováhy, která se projeví změnou hodnoty pH: $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$. Podobně u *elektrody pro oxid uhličitý*, kde elektrolytem je hydrogenuhličitan sodný, dochází v závislosti na koncentraci CO_2 v analyzovaném roztoku, ke změně pH v elektrolytu: $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$.

Jiným příkladem kombinované ISE jsou *enzymové elektrody (biosensory)*, které obsahují enzym imobilizovaný na povrchu ISE. ISE je volena tak, aby byla citlivá na produkt enzymové reakce. Selektivita je zajištěna samotným enzymem. Příkladem je použití ureasy pro selektivní detekci močoviny. Produktem enzymové reakce je amoniak, který může být detekován pomocí kombinované elektrody pro amoniak nebo pomocí amonium selektivní elektrody.

Způsoby použití ISE

• *Přímá potenciometrie (odečtení z kalibračního grafu)*

Je jeden z nejčastějších a nejjednodušších postupů použití ISE. Nejdříve je pomocí kalibračních roztoků zjištěna odezva ISE a sestaven kalibrační graf závislosti EMN článku na aktivitě daného iontu. Lineární rozsah kalibrační křivky bývá použit pro stanovení aktivity daného iontu v analyzovaném roztoku. Pouze za podmínek konstantní iontové síly roztoku platí lineární závislost mezi koncentrací analytu a měřeným signálem. Na obrázku je uvedena závislost potenciálu kationtové ISE elektrody v závislosti na logaritmu koncentrace daného kationtu. U aniontové ISE potenciál klesá s rostoucí koncentrací aniontu (z_i je záporné číslo).



Závislost ISE na aktivitě kationtu i

Kalibrační graf se nemusí sestavovat, pokud se zjistí směrnice elektrody S dle vztahu:

$$S = (EMN_{STD1} - EMN_{STD2}) \times \log(c_{STD2} / c_{STD1})$$

Koncentrace měřeného iontu lze pak vypočítat podle vztahu odvozeného z Nernstovy rovnice:

$$c_{VZORKU} = c_{STD} \times 10^{(EMN_{VZORKU} - EMN_{STD}) / S}$$

Tento postup zvládá **ionometr**, který po kalibraci exponenciálně přepočítává měřené napětí přímo na požadované jednotky (mg/l nebo mmol/l).

· *Přídavkové metody*

Používají se v případech, že vzorky obsahují významně interferující ionty, které nelze odstranit. Nejčastěji se jedná o *metodu standardního (známého) přídavku*, kdy k analyzovanému roztoku vzorku se vnáší koncentrovanější standardní roztok soli téhož iontu. Méně se užívá opačného řešení, *metody analytického přídavku*, kdy se roztok standardní soli obohacuje koncentrovanějším roztokem vzorku. Pro zjištění koncentrace je třeba vždy dvojího měření. Nejdříve se změří odezva ISE v relativně velkém objemu vzorku (nebo standardu) a poté se opakuje měření odezvy ISE po přidání mnohem menšího objemu standardu (nebo vzorku).

· *Potenciometrická titrace*

Tato metoda je využívána pro detekci bodu ekvivalence při titracích, kdy v blízkosti bodu ekvivalence dochází k velké změně elektrodového potenciálu. Tyto metody jsou mnohem přesnější než ostatní ISE metody, protože více závisí na správnosti měření objemu než elektrodového potenciálu. Příkladem je titrace roztoku, obsahujícím vápenaté ionty, pomocí roztoku Na₂EDTA až do bodu úplného odstranění volných Ca²⁺ iontů z roztoku.

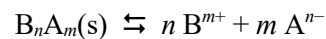
Desatero hlavních zásad při měření ISE

1. Během měření EMN je nutné **plynule míchat** analyzovaným roztokem, aby se zabezpečil dokonalý přísun iontů k membráně ISE.
Rychlost difuze iontů závisí na jejich velikosti. Anionty, které bývají větší, difundují pomaleji než kationty.
2. Použitím tzv. **adjustorů iontové síly** (roztoky s vysokou iontovou silou indiferentního elektrolytu) eliminovat rozdíly v iontové síle kalibračního standardu a měřených roztoků.
Odezva ISE závisí na aktivitě daného iontu. Celková iontová síla měřeného roztoku ovlivňuje aktivitní koeficienty.
3. Udržovat **konstantní teplotu** měřených roztoků.
Na teplotě závisí velikost směrnice kalibrační přímky. Změna o jeden stupeň Celsia vede k chybě větší než 4 %.
4. Pomocí **adjustorů pH** eliminovat rozdíly v hodnotě pH měřených roztoků.
Některé vzorky vyžadují konverzi analytu pouze na jednu formu pomocí změny pH roztoku, např. NH₃/NH₄⁺. Některé ionty vykazují rozdílnou aktivitu při různé koncentraci vodíkových iontů v roztoku.
5. Eliminovat **interferující látky**.
Matrice vzorku může ovlivňovat správnost měření, interferující látky mohou být před vlastní analýzou odstraněny vhodnou reakcí – vysrážením, převedením na stabilní komplex.
6. Před kalibrací je třeba nechat elektrodu nejméně 15 minut ponořenou do kalibračního roztoku (**kondicionace elektrody**), aby došlo k ustavení rovnováhy a k ustálení membránového potenciálu.

7. Při kalibraci ISE je třeba použít **nejméně tři kalibrační roztoky** o různé koncentraci, pokud možno tak, aby koncentrace analytu v analyzovaných vzorcích byla uprostřed kalibračního rozsahu.
8. Mezi jednotlivými měřeními je nutno elektrodu oplachovat proudem destilované nebo deionizované vody. Membránu elektrody **nikdy neotírat** látkou nebo buničinou. Nejlepší je kapku vody opatrně setřást, příp. opatrně tampónem odsát.
9. Membrána elektrody musí zůstat **vlhká**, i když není zrovna používána. Uchovává se na sucho nad roztokem vody v uzavřené zkumavce. Kombinované ISE lze skladovat ponořené do uchovávacího roztoku.
10. Membrána elektrody nesmí přijít do kontaktu s organickým rozpouštědlem.

ROZPUSTNOST LÁTEK

Rozpustnost tuhých látek závisí na typu rozpouštědla a na teplotě, rozpustnost plynů závisí též na tlaku. Dobře se rozpouští látky v rozpouštědlech přibližně stejné polaritě (*similia similibus solvuntur*). Pokud látky při rozpouštění uvolňují/pohlcují teplo, tak se rozpustnost v daném rozpouštědle s rostoucí teplotou snižuje/zvyšuje a naopak. Pokud rozpouštění není doprovázeno tepelnými změnami, tak se rozpustnost látek s teplotou výrazně nemění. Rozpustnost solí vícesytných kyselin je navíc ovlivněna hodnotou pH roztoku. Rozpustnost látek se udává nejčastěji jako maximální množství látky, které se při dané teplotě rozpustí v určitém množství rozpouštědla za vzniku **nasyčeného roztoku**, kdy mezi nerozpuštěnou a rozpuštěnou látkou se ustavuje rovnováha:



Naprostá většina solí při rozpouštění ve vodě úplně disociuje na ionty. Rozpustnost málo rozpustných látek je dána tzv. **součinem rozpustnosti K_s** , který udává maximální hodnotu, jaké může dosáhnout součin koncentrací obou iontů rozpuštěné látky v roztoku při dané teplotě:

$$K_s = [B^{m+}]^n [A^{n-}]^m$$

Je-li součin aktuálních koncentrací iontů vyšší, z roztoku se vylučuje sraženina soli. Na základě tabelovaných hodnot součinu rozpustnosti lze vypočítat maximální rozpustnost soli v daném rozpouštědle při dané teplotě. Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že změnou koncentrace i jednoho z iontů soli lze ovlivnit tvorbu sraženiny.

PRAKTICKÁ ČÁST

Úkol 9.1 Důkaz a stanovení dusičnanů, dusitanů a amonných iontů ve vodě

a) Důkaz přítomnosti dusičnanů ve vodě

Dusičnany oxidují v prostředí koncentrované H_2SO_4 difenylamin na modře zbarvený produkt. Stejnou reakci poskytují i dusitany (a to i v prostředí zředěné H_2SO_4), ty však lze prokázat specifickou diazotační reakcí (viz úkol 9.1d).

Materiál: Roztok difenylaminu v kyselině sírové (10 g/l, ŽÍRAVINA), konc. kyselina sírová p. a. (ŽÍRAVINA).
Vzorek pitné vody. Plastové pipetky, zkumavky.

Provedení:

- K přibližně 3 ml vzorku vodovodní vody přidejte 1–3 kapky roztoku difenylaminu a opatrně podvrstvěte asi 1 ml koncentrované H_2SO_4 . Pracujte v digestoři. Pozorujte vznik modrého zbarvení na rozhraní obou kapalin.
- Stejný pokus zopakujte s deionizovanou vodou. Výsledky porovnejte.

b) Orientační stanovení dusičnanů ve vodě pomocí průkazných proužků

Dusičnany jsou pomocí redukčního činidla, obsaženého v indikační zóně proužku, redukovány na dusitany. Z dusitanů je silně kyselým pufrem vytěsněna kyselina dusitá, která diazotuje aromatický amin. Jeho kopulací s *N*-(1-naftyl)-ethylendiaminem vzniká červenofialově zbarvená azosloučenina. Intenzita zbarvení zóny je úměrná koncentraci dusičnanů přítomných ve vzorku. Jsou-li ve vzorku přítomny vedle dusičnanů i dusitany, zbarvení zóny odpovídá jejich součtu.

Materiál: Proužky na průkaz dusičnanů, např. Nitrotest. Vzorek pitné vody, zkumavky.

Provedení:

- Proužek smočte ve vzorku analyzované vody a zbarvení indikační zóny porovnejte po 2 minutách s barevnou stupnicí na obalu.

c) Stanovení dusičnanů ve vodě pomocí dusičnanové iontově selektivní elektrody

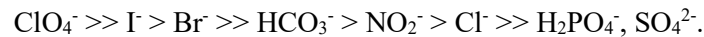
Měrnou částí dusičnanové iontově selektivní elektrody (ISE) je pevná plastová membrána, ve které je jako změkčovadlo rozpuštěn ionofor citlivý na NO_3^- ionty. ISE mění svůj membránový potenciál podle Nicolského rovnice, tzn. úměrně logaritmu aktivity dusičnanových iontů $a_{\text{NO}_3^-}$ v roztoku v rozmezí 10^{-6} – 10^{-1} mol/l, pro teplotu 25 °C platí:

$$E_{\text{ISE}} \approx \text{konst.} - 59,16 \log(a_{\text{NO}_3^-} + k_{\text{NO}_3^-;y} \cdot a_y)$$

Při použití přímé potenciometrie musí pro dostatečnou přesnost měření platit:

$$a_{\text{NO}_3^-} \gg (k_{\text{NO}_3^-;y} a_y).$$

Pokud není splněna výše uvedená podmínka, je nutno interferující ionty odstranit, např. vysrážením nebo maskováním v komplexu. Interferující ionty pro dusičnanovou ISE klesají v řadě:



Interferující ion <i>y</i>	$k_{\text{NO}_3^-, y}$	Interferující ion <i>y</i>	$k_{\text{NO}_3^-, y}$
ClO_4^-	10^3	Cl^-	$5,0 \cdot 10^{-3}$
HCO_3^-	$4,1 \cdot 10^{-2}$	SO_4^{2-}	$< 10^{-5}$
NO_2^-	$3,6 \cdot 10^{-2}$	H_2PO_4^-	$< 10^{-5}$

Membrána je velmi citlivá na lipofilní látky, které membránu nenávratně poškozují.

Měří se elektromotorické napětí EMN nezatíženého galvanického článku tvořeného kombinovanou dusičnanovou elektrodou, kdy vnější referentní argentschloridová elektroda s dvojitým solným můstkem s roztokem K_2SO_4 jako můstkovým elektrolytem (síranové ionty neovlivňují potenciál dusičnanové ISE) tvoří jeden celek.

Materiál: Série kalibračních roztoků KNO_3 s upravenou iontovou silou a pH (pro stanovení ve vodovodní vodě je vhodné rozpětí $1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ mol/l). Ionometr, dusičnanová iontově selektivní elektroda - před měřením ponořena asi 1 h do roztoku NaNO_3 ($1 \cdot 10^{-3}$ mol/l). Uchovávání elektrod do dalšího dne: opláchnutou ISE uchovávat ve svislé poloze v uzavřené plastové zkumavce nad hladinou deionizované vody. Vzorek vody. Fosfátový pufr (0,1 mol/l KH_2PO_4 , pH 4,0). Dávkovač (10 ml), plastové kádinky.

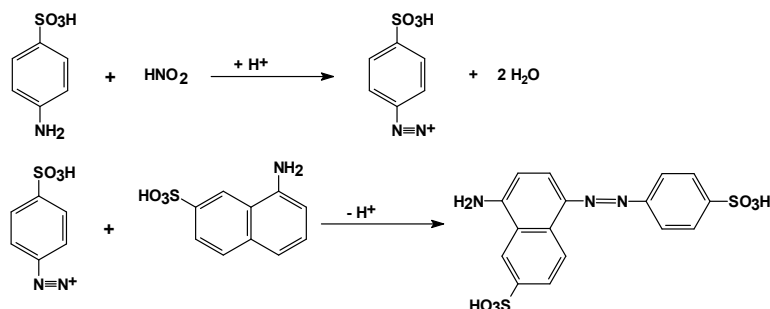
Provedení: ÚKOL SE PROVÁDÍ POUZE DEMONSTRČNĚ

- Změřte elektromotorické napětí kalibračního roztoku NO_3^- a potenciometrem CALIBRATION nastavte na displeji hodnotu shodnou s hodnotou v kalibračním grafu.
- Opláchněte elektrody deionizovanou destilovanou vodou.
- Analyzované vzorky vody zředěte fosfátovým pufrém v poměru 1:1.
Ředění vzorků vody je nutné pro úpravu iontové síly a zároveň pH (odstranění interferujících HCO_3^-).
- Proměřte elektromotorické napětí analyzovaného vzorku vody.
- Po skončení měření opláchněte elektrody a ponořte je do kalibračního roztoku.

1. Z kalibračního grafu odečtete hodnotu $\log c(\text{NO}_3^-)$ a přepočtete obsah NO_3^- iontů na hmotnostní koncentraci ($M(\text{NO}_3^-) = 62$ g/mol). Hodnotu srovnajte s hodnotami přípustnými.
2. Jaká je teoretická odezva dusičnanové ISE při teplotě 25 °C, pokud se zvýší koncentrace dusičnanových iontů z hodnoty 0,01 mmol/l na 0,1 mmol/l?
3. Jaká je teoretická odezva vápenaté ISE při teplotě 25 °C, pokud se zvýší koncentrace iontů Ca^{2+} z hodnoty 0,01 mmol/l na 0,1 mmol/l?

d) Důkaz dusitanů

Specifickou a velmi citlivou reakcí na důkaz dusitanů je diazotační reakce, při níž reaguje dusitan se sulfanilovou kyselinou v prostředí octové kyseliny za vzniku diazoniové soli, která kopuluje s 1-naftylamin-7-sulfonátem za vzniku červenofialového azobarviva:



Metodu lze využít i ke kvantitativnímu fotometrickému stanovení dusitanů.

Materiál: Roztok dusitanu (0,01 mol/l), roztok sulfanilové kyseliny (20 mmol/l v octové kyselině 2 mol/l), roztok 1-naftylamin-7-sulfonátu (5 mmol/l v octové kyselině 2 mol/l). Vzorek vyšetřované vody. Plastové pipetky, zkumavky.

Provedení:

- Do zkumavky odměřte cca 1 ml testovaného roztoku.
- Poté přidejte stejný objem roztoku sulfanilové kyseliny, obsah zkumavky promíchejte.
- Po 1–2 minutách přidejte přibližně 1 ml roztoku 1-naftylamin-7-sulfonátu, promíchejte.
- Vyhodnoťte zbarvení roztoku.
- Jako testovaný roztok použijte: a) roztok dusitanu; b) demi-vodu; c) vodu z vodovodu.

Testovaný roztok	Zbarvení	Hodnocení testu
Roztok dusitanu		Pozitivní test
Demi-voda		
Vodovodní voda		

e) Vlastnosti a důkaz amonných iontů

Na důkaz iontů NH₄⁺ lze použít Nesslerovo činidlo (alkalický roztok K₂[HgI₄]). Reakce je využívána i k fotometrickému stanovení amoniaku a amonných solí.

Materiál: Nesslerovo činidlo (50 g KI a 150 g NaOH rozpuštěno v nasyceném roztoku HgCl₂ a doplněno na 1 litr). Roztoky NH₄Cl, NaOH (2 mol/l). Červený lakmusový papírek. Vzorek vyšetřované vody. Plastové pipetky, zkumavky.

Provedení:

Vytěsnění NH₃ z amonné soli silným hydroxidem

- Odměříte do zkumavky přibližně 1 ml roztoku NH₄Cl a přidejte stejný objem roztoku NaOH.
- K ústí zkumavky vložte lakmusový papírek navlhčený demi-vodou.
- Obsah zkumavky zahřívejte v dlani.
- Pozorujte změnu zabarvení lakmusového papírku.

Důkaz amonných iontů Nesslerovým činidlem

- Do zkumavky odměřte cca 1 ml testovaného roztoku.
- Poté přidejte několik kapek Nesslerova činidla, obsah zkumavky promíchejte.
- Popište vzhled roztoku ve zkumavce.
- Jako testovaný roztok použijte: a) roztok NH₄Cl; b) demi-vodu; c) vodu z vodovodu.

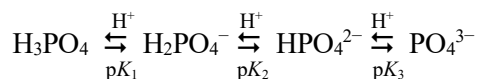
Testovaný roztok	Výsledek testu	Hodnocení testu
Roztok NH ₄ Cl		Pozitivní test
Demi-voda		
Vodovodní voda		

✎

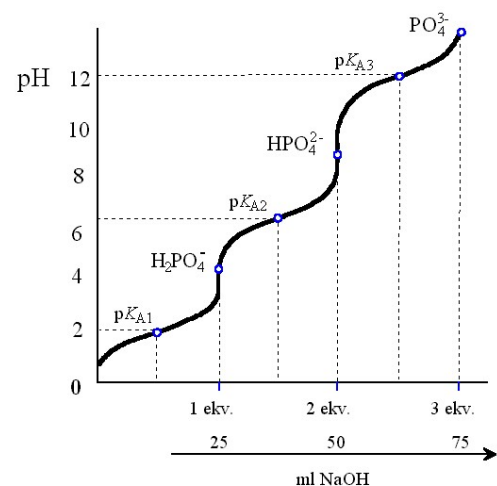
4. Doplňte rovnici reakce: NH₄Cl + NaOH → + +

Úkol 9.2 Vlastnosti a reakce aniontů kyseliny fosforečné

Kyselina trihydrogenfosforečná je trojsytná kyselina ($pK_{A1} = 2,1$; $pK_{A2} = 7,2$; $pK_{A3} = 12,3$). Z hodnot pK_A vyplývá, že do 1. stupně disociuje jako středně silná, do 2. stupně jako slabá a 3. stupně jako velmi slabá kyselina. Je stálá, nemá oxidační vlastnosti. V roztocích fosforečnanů existují v závislosti na pH ionty H₂PO₄⁻ jen za kyselé a neutrální reakce, ionty HPO₄²⁻ v roztocích mírně kyselých až alkalických a ionty PO₄³⁻ pouze ve značně alkalických roztocích. Okyselením roztoků přechází fosforečnany na hydrogenfosforečnany a dihydrogenfosforečnany, alkalizací se posunuje rovnovážný stav až k fosforečnanům PO₄³⁻:



Změny probíhající v roztocích fosforečnanů v závislosti na pH vystihuje titrační křivka kyseliny fosforečné.



Titrace 0,1M-H₃PO₄ (25 ml) pomocí 0,1M-NaOH

Materiál: Roztoky Na₃PO₄, CaCl₂ (cca 0,1 mol/l), roztok NaOH (2 mol/l), roztok CH₃COOH (2 mol/l). Univerzální indikátorové papírky pH 0–12, plastové pipetky, zkumavky.

Provedení:

- K přibližně 1 ml roztoku Na₃PO₄ přidejte asi 1/3 objemu (~0,3 ml) roztoku CaCl₂. Obsah zkumavky protřepejte. Změřte papírkem pH.
- Ke vzniklé sraženině přidejte po kapkách roztok octové kyseliny tak, aby pH roztoku bylo přibližně 9 (kontrola indikátorovým papírkem). Po každém přidavku kyseliny promíchejte obsah zkumavky. Sledujte změny vzhledu sraženiny.
- Pokračujte po kapkách v přidávání roztoku octové kyseliny do doby, až se sraženina rozpustí. Po každém přidavku kyseliny promíchejte obsah zkumavky. Změřte pH roztoku.
- Nyní roztok zalkalizujte přidáním roztoku NaOH, ověřte pomocí pH papírku. Pozorujte změny ve zkumavce.

5. Doplňte a vyčíslíte iontovou rovnicí reakce, která ve zkumavce proběhla. Uveďte pH suspenze.

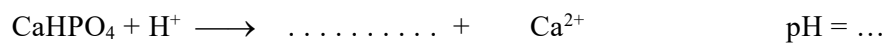


6. Který typ aniontu kyseliny fosforečné bude převažovat v roztoku při pH = 9?

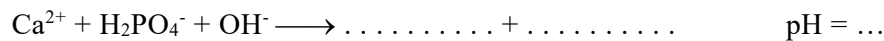
7. Doplňte a vyčíslíte rovnicí reakce, která ve zkumavce proběhla:



8. Zaznamenejte děj rovnicí a uveďte pH roztoku, při němž došlo k rozpuštění sraženiny:



9. Uveďte rovnici děje a hodnotu pH suspenze:



10. Které anionty od kyseliny fosforečné budou přítomny v moči při pH 5,8; který z nich bude převládat?

Úkol 9.3 Vlastnosti a reakce aniontů kyseliny uhličitě

Kyselina uhličitá je velmi nestálá, slabá kyselina ($pK_{A1}' = 6,4$; $pK_{A2}' = 10,3$). Z roztoku ji lze úplně vypudit zahřáním ve formě CO₂.

Materiál: Roztoky NaHCO₃, Na₂CO₃, CaCl₂ (cca 0,1 mol/l), roztoky HCl, CH₃COOH (2 mol/l). Plastové pipetky, zkumavky.

Provedení:

- K přibližně 1 ml roztoku CaCl₂ ve zkumavce přidejte stejný objem roztoku: a) Na₂CO₃
b) NaHCO₃
- Promíchejte a pozorujte změny ve zkumavkách.
- Do obou zkumavek přidejte několik kapek zředěné kyseliny chlorovodíkové. Pozorujte průběh reakce ve zkumavce.

- ✍ 11. Vyčíslete a doplňte iontové rovnice reakcí: a) $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \dots \quad \text{pH} = \dots$
 b) $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \longrightarrow \dots + \dots \quad \text{pH} = \dots$
 c) $\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+ \longrightarrow \dots \longrightarrow \dots + \text{H}_2\text{O}$
 d) $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \longrightarrow \dots \longrightarrow \dots + \text{H}_2\text{O}$
- ✍ 12. Z výsledků odvoďte poznatky o rozpustnosti uhličitanu a hydrogenuhličitanu vápenatého.
- ✍ 13. Na základě Brønstedovy teorie vysvětlete, proč lze slabší kyselinu vytěsnit z její soli pomocí silnější kyseliny.

Úkol 9.4 Rozpustnost iontových sloučenin

- ✍ 14. Doplňte tabulku rozpustnosti iontových sloučenin ve vodě za pokojové teploty:

Sloučeniny	Rozpustné ve vodě	Nerozpustné ve vodě
Soli alkalických kovů	všechny	žádné
Dusičnany
Chloridy	ostatní	AgCl, Hg ₂ Cl ₂ , PbCl ₂
Sírany	ostatní	...
Hydrogenuhličitaný a dihydrogenfosforečnaný
Uhličitaný, hydrogenfosforečnaný, fosforečnaný	...	ostatní
Hydroxidy a sulfidy	...	ostatní

Termin „rozpustný“ / „nerozpustný“ odpovídá rozpustnosti větší než 0,1 mol/l / menší než 0,01 mol/l.