

Cíle

Seznámení s problematikou koloběhu dusíku. Stanovení obsahu dusičnanů a amonných iontů jako indikátorů znečištění vodních zdrojů.

Podrobnější rozbor cílů

- Základní seznámení s koloběhem dusíku (atmosféra – bakterie – rostliny – živočichové).
- Pochopení principu stanovení iontů v roztoku s využitím iontově selektivních elektrod (ISE).
- Zvládnutí stanovení obsahu dusičnanových a amonných iontů ve vodě.
- Vyhodnocení naměřených hodnot z hlediska požadavků na pitnou vodu.
- Použití naměřených hodnot (zvýšené hodnoty) jako indikátoru určitého typu znečištění.

Zadání úlohy

Seznamte se se základním pohledem na koloběh dusíku. Stanovte koncentraci dusíkatých látek v několika vzorcích povrchové vody.

Technická úskalí, tipy a triky

Provedení úlohy je experimentálně náročnější. Jedním z důvodů je práce s poměrně nízkými koncentracemi (na naše školní prostředí), druhým pak samotná práce s ISE. Zvýšené nároky jsou tak kladeny také na čistotu chemického nádobí a destilované/deionizované vody. Je třeba bedlivě dbát instrukcí uvedených v rámci manuálu ke konkrétní elektrodě. V této úloze použijeme elektrody dodávané přímo firmou PASCO.

Pomůcky

PASCO ISE: NO_3^- (CI-6735), NH_4^+ (CI-6717), PASCO rozhraní pro připojení elektrody s teplotním čidlem (PS-2147), datalogger PASCO SPARK či Xplorer GLX, popř. USBlink a počítač se SW SPARKvue, odměrný válec 50 ml, pipeta (1–10 ml), mikropipeta (100 μl), kádinka 150 ml, kádinka 400 ml na odpad, odměrná baňka 100 ml (4 \times), odměrná baňka 50 ml, stojan, svorka pro uchycení elektrody, buničitá vata, stříčka s destilovanou vodou, chemikálie (dest. voda, 0,1 M NaNO_3 (8,7 g na 1 l), 2 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (264 g na 1 l), 0,1 M NH_4Cl (5,34 g na 1 l), 4 M KCl (298 g na 1 l)), několik vzorků vody (ideálně tři vzorky: potok před obcí, potok za obcí, rybník, popř. „kohoutková voda“), popisovač (lihový fix), pracovní návod, pracovní list

Zařazení do výuky

Experiment je vhodné zařadit v rámci učiva „chemie a společnost – průmyslová hnojiva“. Dále pak u témat jako: p-prvky a jejich sloučeniny, chemie dusíku, hnojiva s obsahem dusíku, ale také u metabolismu dusíkatých látek a dalších. Začlenění je možné také u kapitol z analytické chemie (elektroanalytické metody – měření s iontově selektivními elektrodami).
ZŠ: demonstrace; SŠ: lab. cvičení

Časová náročnost

Dvě vyučovací hodiny (2 \times 45 min).

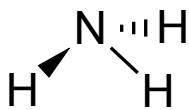
Návaznost experimentů

Vzhledem k použité metodě je metodickou obdobou úlohy č. 12 (Stanovení obsahu vápenatých iontů v minerální vodě) a č. 13 (Stanovení částečné přechodné tvrdosti vody).
Předem je vhodné absolvovat některou z úloh využívající ISE. Vhodná je např. úloha č. 7 (Měření pH elektrolytů, hydrolyza solí).

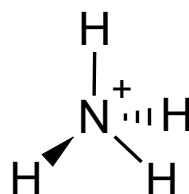
Mezipředmětové vztahy

biologie (fyziologie a metabolismus, živočichové, rostliny, mikroorganismy – bakterie; výživa organismů; ekologie)

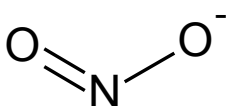
Anorganicky vázaný dusík



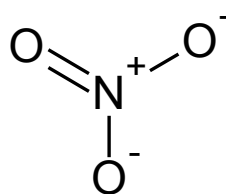
amoniak



amonný kationt



dusitanový aniont



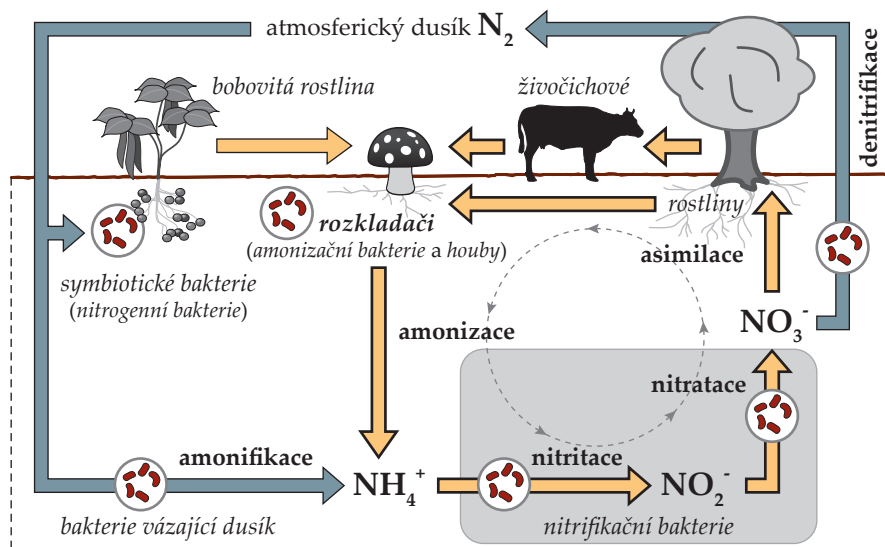
dusičnanový aniont

Teoretický úvod

Dusík je nedílnou součástí **živých organizmů**. Některé organizmy, jako např. **rostliny**, dokáží využívat anorganickou formu dusíku, jiné potřebují dusík vázaný ve sloučeninách organických. U všech ale nakonec najdeme dusík vázaný v aminokyselinách, což jsou základní stavební kameny **bílkovin** neboli **proteinů**. Vedle proteinů se dusík vyskytuje v celé řadě dalších, pro život nezbytných, organických sloučeninách. Za všechny jmenujme alespoň **nukleové kyseliny**, **vitamíny** a **hormony**.

Pojďme se nyní podívat, v jakých anorganických sloučeninách se dusík v přírodě vyskytuje a jak ho živé organizmy získávají.

Přeměna dusíku a jeho sloučenin v přírodě kolem nás se označuje jako tzv. **biogeochemický cyklus dusíku**. Někdy o něm hovoříme také jako o „koloběhu dusíku“ (obr. 1).



Obr. 1: Schéma koloběhu dusíku

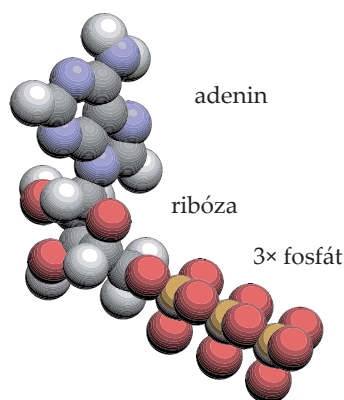
Na schématu je vidět, že dusík je v rámci koloběhu dusíku vázán pouze v několika málo **anorganických sloučeninách**. Je to především **dusičnanový aniont** a **amonný kationt**. Z **organických sloučenin** jsou to pak dusíkaté odpadní metabolity jako **močovina** a **kyselina močová** (obr. 2). Důležitou roli hrají samozřejmě aminokyseliny jako stavební jednotky proteinů.

Atmosferický dusík (78% v atmosféře) jsou schopny vázat některé symbiotické bakterie (např. rod *Azotobacter*), které žijí v kořenovém systému některých rostlin (např. z čeledi bobovitých). Bakterie jsou u těchto rostlin často ve speciálních kořenových hlízkách. Proto se někdy označují jako **hlízkové bakterie** (např. rod *Rhizobium*). Řada těchto bakterií ale žije v půdě samostatně bez symbiotického vztahu s vyššími rostlinami. Tyto bakterie mají speciální enzym, **nitrogenázu**, který je schopný redukovat atmosferický dusík na amoniak, resp. **amonný kationt**. K reakci je třeba energie z ATP (obr. 3). Souhrnně můžeme reakci zapsat:

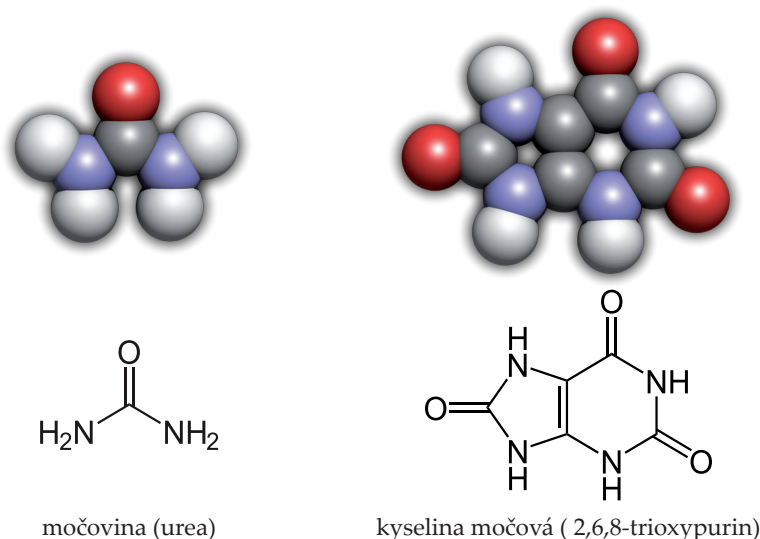


P_i – fosforečnanový aniont (fosfát) uvolněný při štěpení ATP

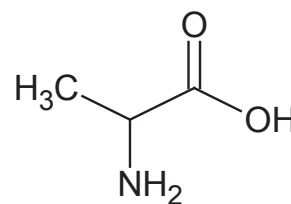
Takovýto způsob biologické fixace dusíku se označuje jako **diazotrofie**. Amoniak je pro živé organizmy ve vyšších koncentracích toxický, a tak je nejčastěji co nejdříve spotřebován při stavbě aminokyselin, nebo vyloučen do okolního prostředí. Amoniak ale může mít původ také v rozkladu



Obr. 3: Molekula ATP



Jedna aminokyselina za všechny



alanin

Obr. 2: Modely a strukturální vzorce dusíkatých odpadních metabolitů

odumřelých těl živých organismů, při kterém se uplatní nejen **amonizační bakterie**, ale také **houby** (rozkladači).

Pokud se amoniak dostane do půdy, zpracovávají ho dále tzv. **nitrifikační bakterie** (např. rody *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* a *Nitrospira*). Ty nejdříve zoxidují amonný iont na iont **dusitanový** (NO_2^-) a v dalším kroku až na **dusičnanový** (NO_3^-). Při této reakci vznikají také ionty H^+ , a tak dochází k **okyselení půdy**. Dusičnany pak jsou schopny využít jako zdroj dusíku především rostliny (a díky nim zprostředkovaně i živočichové), nebo je další specializovaný typ organismů přemění zpět na plynný dusík (N_2) – tzv. **biologická denitrifikace** (např. bakterie rodu *Pseudomonas*). Tím je koloběh dusíku uzavřen.

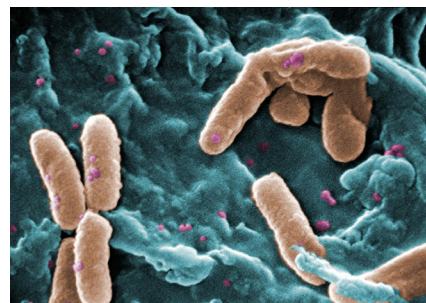
Víme již, jakou cestou se mohou do půdy, a tím pádem i do vody, dostat amonné a dusičnanové ionty. Nesmíme ale zapomenout ani na „umělé“ vnášení těchto látek do prostředí, především v rámci hnojení. Přehnojování je významným faktorem, který v důsledku vede ke zvýšení koncentrace dusíkatých látek jak v povrchových, tak v podzemních vodách. Nejen, že jsou pro nás tyto látky toxické, ale navíc hrají významnou roli při procesu **eutrofizace**. Důsledkem nadměrného množství živin v povrchových vodách je pak přemnožení planktonu (vodní květ) a posléze masové vymírání všeho živého na základě nedostatku kyslíku (popř. působením toxických látek produkovaných přemnoženými sinicemi).

V našem experimentu použijeme ke stanovení inkriminovaných iontů **iontově selektivní elektrody (ISE)**.

Iontově selektivní elektrody jsou takové elektrody, které jsou citlivé na ionty a jsou více či méně selektivní pro jejich určité druhy. Většina jich je založena na vzniku **membránového potenciálu**. Princip konstrukce a funkce těchto elektrod si přiblížíme s využitím **obr. 4**.

Když od sebe oddělíme **dva roztoky** 1 a 2, obsahující ionty o různé koncentraci, pórovitou přepážkou (membránou), budou ionty touto přepážkou procházet z jednoho roztoku do druhého tak, aby se pro všechny ionty postupně ustavila rovnováha a roztoky přitom zůstaly elektroneutrální. Protože rychlost průchodu různých iontů přepážkou je různá, na přepážce se vytvoří potenciálový spád. Mezi rozhraními s roztoky 1 a 2 vznikne potenciálový rozdíl zvaný **membránový potenciál**. Když je membrána polopropustná, tj. mohou-li skrze ni procházet jen některé druhy iontů, nazývá se vzniklý potenciálový rozdíl **Donnanův potenciál**.

Bakterie rodu *Pseudomonas*

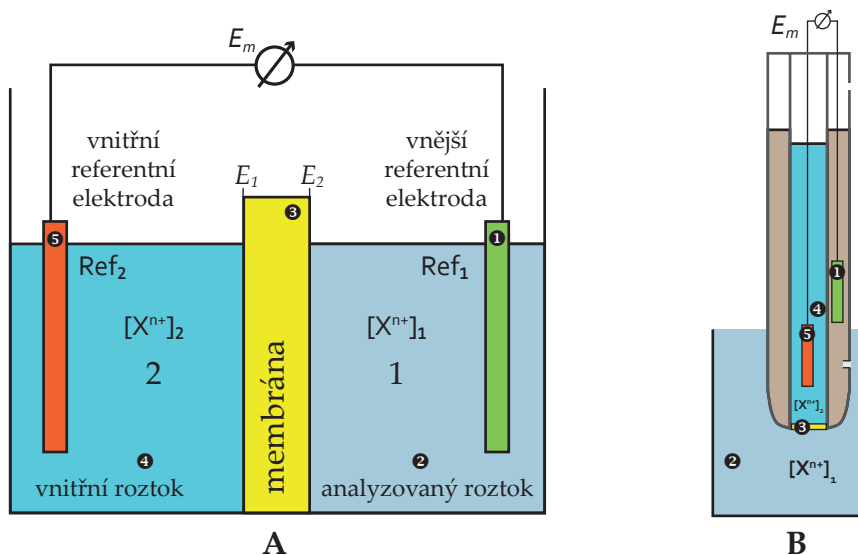


Technická úskalí, tipy a triky

Více informací o měření s ISE naleznete v příručce PASCO – Iontově selektivní elektrody (ISE), souhrnný přehled. Publikace je k dispozici na stránkách www.pasco.cz

Konstrukce ISE

V našem případě používáme tzv. kombinovanou elektrodu (ukázka možného řešení je na obr. 4B). Referentní elektroda je zde tvořena pláštěm vnitřní měřicí elektrody. Vodivé spojení vnější elektrody s měřeným roztokem zajišťuje fritta ve stěně pláště elektrody.



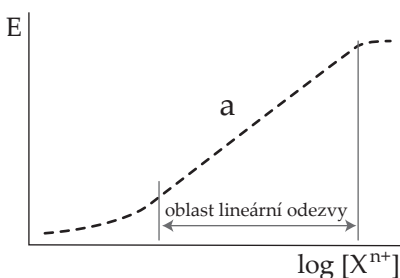
Obr. 4: Schéma konstrukce iontově selektivní elektrody (ISE). Schematické znázornění (A) následuje možné provedení kombinované elektrody (B).

Pokud bychom měli v ideálním případě membránu propustnou jen pro jediný druh iontů, odpovídal by **potenciálový rozdíl** poměru **koncentrací** tohoto iontu v roztocích 1 a 2. V takovém případě by se při známé koncentraci v roztoku 2 mohla změřením membránového potenciálu specificky stanovit koncentrace v roztoku 1. Jsou-li koncentrace iontu na obou stranách membrány stejné, jsou stejné i potenciály E_1 a E_2 a $E_m = 0$.

V ISE je vždy jedna strana membrány v kontaktu s referentním (vnitřním) roztokem o konstantní koncentraci stanovovaného iontu, v němž je ponořena vnitřní referentní elektroda. Druhá strana membrány je v kontaktu s analyzovaným roztokem se stanovovanou koncentrací, v němž je ponořena vnější referentní elektroda. Pro iont pak platí, že:

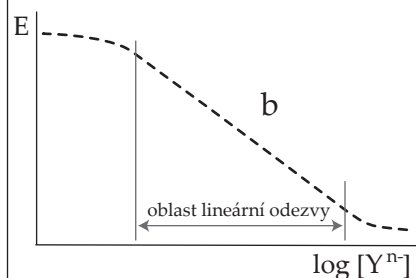
pro kationtovou ISE

$$E_m = K + \frac{0,059}{n} \log [X^{n+}]_1$$



pro aniontovou ISE

$$E_m = K' - \frac{0,059}{n} \log [Y^{n-}]_1$$



Obr. 5: Vztah pro výpočet membránového potenciálu (E_m) u kationtové a aniontové ISE (K, K' – konstanty, $[X]$ – koncentrace sledovaného iontu, n – náboj).

U kationtové ISE s rostoucí koncentrací potenciál roste (a), u aniontové ISE naopak klesá (b).

Závislost potenciálu na logaritmu koncentrace bývá lineární přes několik koncentračních řádů (typicky asi od 10^{-5} do 10^{-1} mol/l), analyticky lze ISE využít pro stanovení iontů typicky v koncentracích od asi 10^{-6} do 1 mol/l. V praxi ovšem do naší teorie vstupuje řada faktorů, které výsledný změřený potenciál ovlivňují. Některé je možné eliminovat pouze tzv. **kalibrací elektrody**, kdy proměříme potenciály roztoků o známé koncentraci sledovaného iontu. Jiné, jako třeba **interferující ionty**, na které elektroda také reaguje, je třeba z měřeného roztoku předem odstranit nebo maskovat.

Motivace

Motivaci v této úloze můžeme založit na „**koloběhu dusíku**“ nebo na použité **metodě stanovení koncentrace** (ISE).

V **prvním případě** je možné donést **květináč s rostlinou**, postavit ji na lavici a rozvinout diskuzi o tom, co všechno rostlina potřebuje ke svému životu, jak rychle roste a jak můžeme její růst ovlivnit. S žáky bychom se měli postupně propracovat až k minerální výživě, a tím pádem i k dusíkatým látkám. Nyní můžeme položit otázku, v jakých sloučeninách se dusík kolem nás vlastně objevuje a jak souvisí obecně s životem kolem nás.

Pokud zaměříme motivační část na vlastní **metodu stanovení koncentrace**, kterou budeme používat, je jednou z možností vyjít z obecného povědomí žáků o **elektrochemických článcích** – elektrických bateriích v nejrůznějších zařízeních. Můžeme např. vyjmout baterii z mobilního telefonu a zeptat se na její „výdrž“. A co taková baterie v osobním automobilu v porovnání s nákladním? Co se bude dít s napětím baterie, když bude téměř vybitá? Žáci by měli dospět k faktu, že větší baterie bude mít delší „výdrž“, a to bude patrně souviset s množstvím látek, které mezi sebou mohou reagovat. A před úplným vybitím bude asi docházet k poklesu napětí, které baterie poskytuje...

Nyní můžeme náš příklad otočit a zeptat se, zda bychom nemohli měření napětí (správně potenciálu) využít ke stanovení koncentrace látek. Tím se dostaneme k problematice ISE.

Elektrochemické články

Uvedený příklad není z hlediska ISE korektní, nicméně přibližuje žákům problematiku práce s ISE coby známou otázkou měření napětí.

Bezpečnost práce

Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. Dbejte zvýšené opatrnosti a s chemikáliemi zacházejte vždy v souladu s instrukcemi na obalu. Nikdy nepipetujte ústy. V laboratoři používejte ochranné brýle, plášť, a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí.

NaNO_3 (Xi, R 8-36)

NH_4Cl (Xn, R 22-36, S 22)

Příprava úlohy

Vzhledem k nárokům na přesnost, které experiment klade na experimentátory, je vhodné, aby zásobní roztok NaNO_3 a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ připravil pedagog předem.

Elektrody je třeba předem naplnit příloženým plnicím roztokem (viz manuál k elektrodě).

Na své dataloggery PASCO SPARK nejprve nahrajte připravené soubory **ch09-kolobeh_N-NO3.spk** a **ch09-kolobeh_N-NH4.spk** (soubory jsou dostupné na portálu www.expoz.cz). Protože se při konstrukci kalibrační přímky a výpočtech koncentrace používá dekadický logaritmus, mohou studenti pro usnadnění práce využít připravenou tabulku, kterou naleznou v souboru **ch09-kolobehN-kalibrace_a_vypocty.xlsx** (soubor je dostupný na portálu www.expoz.cz).

Úloha umožňuje pracovat paralelně na několika částech. Pokud pracují žáci s ISE poprvé, je vhodné ponechat jednu skupinu pracovat pouze s jednou elektrodou. Jedna ze skupin bude zjišťovat koncentraci dusičnanových iontů, druhá skupina koncentraci iontů amonných.

Ideální jsou tříčlenné pracovní skupiny. První žák pracuje na bodu č. 1 – **Příprava kalibračních roztoků**. Druhý žák připraví **roztok pro úpravu iontové síly** – bod č. 2. Třetí žák se věnuje problematice **zapojení HW a nastavení SW** – bod č. 3. Další body (4, 5 a 6) realizují žáci společně.

Postup práce

Snažte se pracovat co nejpřesněji. Velice důležitá je čistota chemického nádobí.

Úlohu můžeme rozdělit do několika kroků:

Pozor na membránu elektrody!



A) Práce s dusičnanovou ISE (stanovení koncentrace dusičnanů)

1) Příprava kalibračních roztoků

- a) Připravte si čtyři 100 ml odměrné baňky a označte si je čísly 1–4. Postupně do jednotlivých baněk napipetujte následující objemy 0,1 M zásobního roztoku NaNO_3 a baňky č. 1–3 doplňte do 100 ml (po rysku) destilovanou vodou:

| | | | | |
|---|--|------|--|--------|
| Odm. baňka č. | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Výsledná koncentrace NO_3^- [mol/l] | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 |
| V (zás. roztok) [ml] | 100 | 10 | 1 | 0,1 |
| Doplnění dest. H_2O po rysku [ml] | Pracujte přímo se 100 ml zásobního roztoku | | Doplňte dest. H_2O po rysku. | |

2) Příprava roztoku pro úpravu iontové síly (ISA)

- a) Pro úpravu iontové síly všech měřených roztoků budete potřebovat roztok 2 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Spočítejte, jakou hmotnost $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ budete potřebovat k přípravě 50 ml 2 M roztoku, je-li $M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 132,14$ g/mol.
- b) Připravte výše uvedený roztok. (K jeho přípravě použijte 50 ml odměrnou baňku.)

3) Zapojení elektrody a nastavení

- a) Ověřte si u vyučujícího, že je vaše elektroda připravena k použití. (Musí být řádně naplněna plnicím roztokem, nikde na rozhraní nesmí být bublinky, membrána ve spodní části nesmí být viditelně poškozená.)
- b) Přejděte na část návodu „Nastavení HW a SW“.

4) Proměření kalibračních roztoků a vzorku povrchové vody

- a) Přejděte na následující část „Vlastní měření“.

5) Sestavení kalibrační přímky a výpočet neznámé koncentrace

B) Práce s amonnou ISE (stanovení koncentrace amonných iontů)

1) Příprava kalibračních roztoků

- a) Připravte si čtyři 100 ml odměrné baňky a označte si je čísly 1–4. Postupně do jednotlivých baněk napipetujte následující objemy 0,1 M zásobního roztoku NH_4Cl a baňky č. 1–3 doplňte do 100 ml (po rysku) destilovanou vodou:

| | | | | |
|---|--|------|--|--------|
| Odm. baňka č. | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Výsledná koncentrace NH_4^+ [mol/l] | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 |
| V (zás. roztok) [ml] | 100 | 10 | 1 | 0,1 |
| Doplnění dest. H_2O po rysku [ml] | Pracujte přímo se 100 ml zásobního roztoku | | Doplňte dest. H_2O po rysku. | |

2) Příprava roztoku pro úpravu iontové síly (ISA)

- a) Pro úpravu iontové síly všech měřených roztoků budete potřebovat roztok 4 M KCl. Spočítejte, jakou hmotnost KCl budete potřebovat k přípravě 50 ml 4 M roztoku, je-li $M(\text{KCl}) = 74,6$ g/mol.

- b) Připravte výše uvedený roztok. (K jeho přípravě použijte 50 ml odměrnou baňku.)
- 3) **Zapojení elektrody a nastavení**
- a) Ověřte si u vyučujícího, že je vaše elektroda připravena k použití. (Musí být řádně naplněna plnicím roztokem, nikde na rozhraní nesmí být bublinky, membrána ve spodní části nesmí být viditelně poškozená.)
- b) Přejděte na část návodu „Nastavení HW a SW“.
- 4) **Proměření kalibračních roztoků a vzorku povrchové vody**
- a) Přejděte na následující část „Vlastní měření“.
- 5) **Sestavení kalibrační přímký a výpočet neznámé koncentrace**



Obr. 6: Sestavená aparatura a připravené roztoky na pracovním místě



Obr. 7: Detail připojení elektrody

Nastavení HW a SW

- 1) S dataloggerem PASCO SPARK propojte rozhraní pro připojení elektrody („Precision pH and Temperature plus ORP/ISE Amplifier“, PS-2147).
- 2) Pomocí BNC konektoru připojte elektrodu. Po nasunutí konektoru pootočením objímky konektor zajistěte (obr. 7).
- 3) Na dataloggeru SPARK si otevřete soubor **ch03-kolobeh_N-NO3.spk** nebo **ch09-kolobeh_N-NH4.spk** podle toho, se kterou elektrodou budete pracovat.

Vlastní měření a záznam dat

- 1) Spustíte měření kliknutím na tlačítko *Start*. (Protože zaznamenáváme časový průběh v mV do grafu, můžeme spustit měření již nyní a vypnout ho až v úplném závěru této části.)
- 2) Vyměňte elektrodu ze skladovacího roztoku.
- 3) Měření začnete s kalibračním roztokem o nejnižší koncentraci (roztok č. 1).
- 4) Do čisté 150 ml kádinky přelijte kalibrační roztok a přidejte 2 ml roztoku pro úpravu iontové síly (ISA).
- 5) Pečlivě elektrodu opláchněte destilovanou vodou. Tělo elektrody, nikoli však membránu dole (!), osušte kouskem buničité vaty.
- 6) Ponořte elektrodu do kalibračního roztoku tak, aby se nedotýkala dna (Pozor na poškození membrány!). Lehce elektrodou roztok promíchejte, a pak ji upněte do držáku. Zkontrolujte, zda na membráně nezůstaly bublinky – pokud ano, lehce elektrodou znovu roztok promíchejte. Následně vyčkejte ustálení měřené hodnoty.
- 7) Po ustálení hodnoty si přímo v dataloggeru, v pravé dolní části, naměřený potenciál poznamenejte. (Nepřerušujte přitom záznam dat, ten je stále spuštěn.)

Způsob záznamu dat

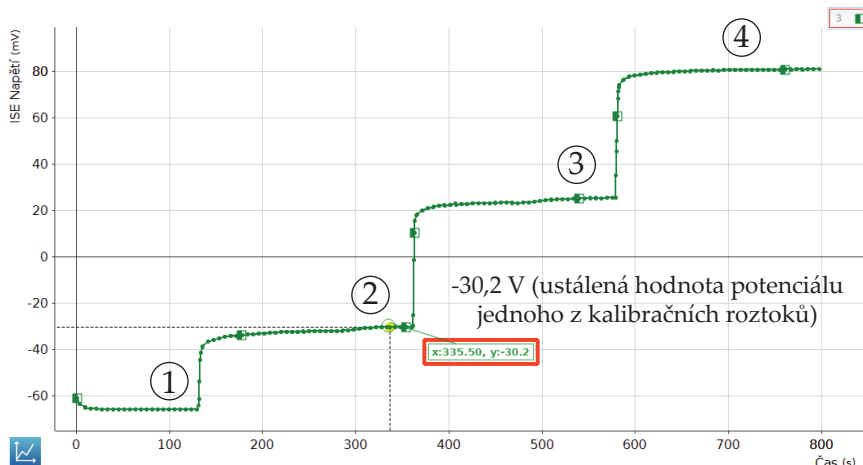
Vzhledem k potřebě ustálení měřené hodnoty je vhodné používat **časový záznam formou grafu**. Doba ustálení hodnoty se u nové elektrody pohybuje kolem 2 minut.

Dlouhé ustalování hodnoty

Starší či nevhodně skladované elektrody mohou mít velice pomalou odezvu. V takovém případě nemusí vůbec dojít k ustálení měřené hodnoty. V manuálu k elektrodě pak bývá uveden postup k „oživení“ elektrody. To zahrnuje především mechanické očištění membrány přiloženým nástrojem (speciální čistící proužek) a ponechání elektrody nějakou dobu v určitém roztoku. Konkrétní kroky prostudujte v manuálu k elektrodě. Pokud tento postup nepomůže, je třeba pořídit elektrodu novou.

Interferující ionty, pH, teplota

- Pozor na interferující ionty, které mohou výsledky výrazně ovlivnit. V případě naší NO_3^- elektrody je kritická především přítomnost iontů ClO_4^- , I^- , ClO_3^- a CN^- . Pozor! Ve vzorku nesmí být organická rozpouštědla! V případě NH_4^+ elektrody je kritická především přítomnost iontů Cs^+ , K^+ , Tl^+ , H^+ (pH!).
- Vedle přítomnosti interferujících iontů je při měření kritická také teplota a hodnota pH. Změna těchto parametrů může vést k velké chybě měření! (Již změna teploty o 1°C vnáší cca 4% chybu!)



Obr. 8: Ukázka časového záznamu z průběhu kalibrace ISE. Každý „skok“ odpovídá jednomu kalibračnímu roztoku (1-4).

- 8) Vyměňte elektrodu z roztoku a postup od bodu č. 4 zopakujte postupně s kalibračními roztoky 2, 3, 4.
- 9) Nepřerušujte záznam měření. Všechny hodnoty tak budou zaznamenány v jednom grafu (viz obr. 8).
- 10) Obdobným způsobem změřte postupně **vzorky povrchové vody**. (V případě hrubých nečistot či řas a sinic ve vodě je nutné vodu předem přefiltrovat!)
 - a) Do čisté kádinky odměřte ve válci 50 ml vzorku povrchové vody a přidejte 1 ml roztoku ISA. (Oproti kalibraci pracujeme s polovičním množstvím.)
 - b) Vyčkejte ustálení hodnoty a poznamenejte si ji do **tabulky v pracovním listě**. Vyměňte elektrodu z roztoku, opláchněte ji a osušte.
 - c) Postup opakujte s dalším vzorkem povrchové vody. Nezapomeňte si poznamennat, v jakém pořadí jste neznámé vzorky povrchových vod proměřovali.
 - d) Pokud vám zbývá dostatek času, proveďte ještě stejný postup s „kohoutkovou vodou“ ve vaší laboratoři.
 - e) Všechna měření je dobré provést alespoň dvakrát.
- 11) Na dataloggeru PASCO SPARK stiskněte tlačítko *Stop*.
- 12) Soubor, ve kterém jsou všechna provedená měření, si uložte pod vlastním názvem pro další analýzu a případný tisk protokolu.

Hodnocení výsledků

Základem pro vyhodnocení našeho experimentu je porovnání zjištěné hodnoty s hodnotou uvedenou v normě pro pitnou vodu. Do našich úvah bychom měli zapojit jak případné zdroje znečištění (potok před vsí vs. za vsí), tak i vizuální stav vzorku (např. sinicemi zeleně zarostlá voda z rybníku). V případě „kohoutkové vody“ bychom se měli každopádně do rozmezí uváděného normou pro pitnou vodu dostat. Podstatným kritériem je provedená kalibrace elektrody. Kalibrační body by měly skutečně ležet na přímce. K posouzení kvality provedení kalibrace můžeme použít hodnotu korelačního koeficientu, která by měla být v ideálním případě 1.

Analýza naměřených dat

- Již v průběhu jednotlivých měření jste si zaznamenávali jednotlivé ustálené hodnoty. Nyní sestavte z naměřených hodnot u roztoků o známé koncentraci (kalibrační roztoky) kalibrační přímku.
- Následně z kalibrační přímky dopočítejte koncentrace v odebraných vzorcích povrchové vody, a případně v „kohoutkové vodě“.
- K sestavení kalibrační přímky a výpočtům koncentrací je vhodné využít soubor **ch09-kolobehN-kalibrace_a_vypocty.xlsx**. (Soubor je dostupný na portálu www.expoz.cz.)

Hodnocení práce žáků

- Nastudovali si žáci teorii předem?
- Sestavili a použili žáci měřicí aparaturu správně?
- Postupovali žáci korektně podle pracovního návodu?

- Porozuměli žáci uvedené problematice?
- Vypracovali žáci správně své pracovní listy?
- Získali žáci předpokládané výsledky?
- Interpretovali žáci výsledky správně?
- Shrnuli žáci nové poznatky v závěru?

Informační zdroje

- http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_cycle
- PROCHÁZKA, Stanislav a Klaus-Heinrich RÖHM. *Fyziologie rostlin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1998, 484 s. Thieme flexibook. ISBN 80-200-0586-2.
- http://www.wikiskripta.eu/index.php/Ionty_v_pitn%C3%A9_vod%C4%B9
- GREENWOOD, N a Alan EARNSHAW. *Chemie prvků*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
- Vyhláška č. 252/2004 Sb
(dostupná např. na adrese <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-252-2004-sb-kterou-se-stanovi-hygienicke-pozadavky-na-pitnou-a-teplou-vodu-a-cetnost-a-rozsah-kontroly-pitne-vody>)

Syntéza a závěr

Na závěr je vhodné žákům shrnout:

- Problematiku koloběhu dusíku.
- Co jsou to ISE elektrody a na jakém principu pracují.
- Proč musíme vždy provést kalibraci ISE a jak při tom postupujeme.
- Jaké jsou přípustné koncentrace sledovaných iontů v pitné vodě.
- Co indikuje zvýšená koncentrace sledovaných iontů.
- Hodnocení použitelnosti/náročnosti metody při měření přímo v terénu.