

Stanovení kovů ve vzorcích vod a sedimentů

Úvod:

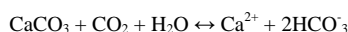
Kovy patří mezi hygienicky i vodo hospodářsky významné ukazatele. Stále se zpřísňují kritéria vymezující jejich obsahy v pitných a užitkových, povrchových i odpadních vodách. Ve vodách se mohou vyskytovat ve formě jednoduchých kationtů nebo aniontů, komplexních aniontů nebo neutrálních molekul (komplexy s huminovými látkami, aminokyselinami a iontové asociáty s ionty uhličitany, hydrogenuhličitanovými, síranovými a fosforečnanovými). Toxicita je závislá na formách výskytu příslušného kovu. Je zřejmé, že podstatně vyšší toxicita přísluší iontové formě kovu než formě komplexní. Za toxické je považována většina tzv. těžkých kovů (Pb, Cd, Hg, atd.), naproti tomu alkalické kovy a kovy alkalických zemin (Ca, Mg, Na, atd.) jsou často důležitými biogenními prvky a běžnou a důležitou součástí všech typů vod.

Definice parametrů

Vápník (Ca), hořčík (Mg), sodík (Na) a draslík (K)

Tyto kovy jsou běžnou součástí všech typů vod jako přirozené makro-složky. Ve vodním prostředí se vyskytují ve formě iontů - vápenatých (Ca^{2+}), hořečnatých (Mg^{2+}), sodných (Na^+) a draselných (K^+). Všechny patří mezi biogenní prvky (jsou nezbytné pro stavbu a funkci organismů). Velká množství těchto kovů se vyskytují především v minerálních vodách.

Koncentrace vápníku a hořčíku je závislá na přítomnosti dostatečného množství rozpuštěného oxidu uhličitého (CO_2), aby byl zajištěn rovnovážný stav reakce:



Hořčík se v přírodních vodách vyskytuje obvykle v nižších koncentracích než vápník. Hořčík se může stát limitujícím prvkem růstu planktonních řas ve vodách s mimořádně vysokým obsahem sodíku (sodík nahrazuje hořčík v chemických vazbách buněk).

Vysoké koncentrace Ca^{2+} a Mg^{2+} mohou způsobit velké technické problémy, neboť způsobují vysokou **tvrdost vody**. Celková tvrdost vody je důležitým ukazatelem kvality pitné vody. Celkovou tvrdost můžeme rozdělit na přechodnou (uhličitánovou) a na stálou. Přechodnou tvrdost vody způsobují především rozpustné hydrogenuhličitanové (HCO_3^-) a lze ji odstranit převařením. Trvalou tvrdost vody převařením neodstraníme a jsou za ni odpovědné především sírany (SO_4^{2-} ; především síran vápenatý - CaSO_4 a hořečnatý - MgSO_4). K jejich odstranění se používá srážení působením hydroxidu vápenatého ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) a uhličitanu sodného (Na_2CO_3). Hodnota tvrdosti vody se uvádí v mmol/l.

„Těžké kovy“

Většina těžkých kovů patří mezi látky, které jsou toxické, některé již ve velmi nízkých koncentracích. Působí nepříznivě na člověka, ale jejich toxicita se může daleko více projevit u nižších organismů, jak terestrických tak vodních. Jejich specifickou vlastností je, na rozdíl od kontaminantů organického charakteru, že nepodléhají rozkladným procesům. Jsou perzistentní, v životním prostředí zůstávají, pouze mění formy, ve kterých jsou v prostředí přítomny. Značný podíl těžkých kovů, které přicházejí do prostředí z různých zdrojů přechází dříve či později do ekosystému povrchových vod. Zde jsou z vodního prostředí odčerpávány vodními rostlinami a živočichy (významnou vlastností těžkých kovů je jejich bioakumulační schopnost v biomase některých vodních organismů), jejich největší podíl se však ukládá v sedimentech vodních toků a nádrží, kde se hromadí. Zdrojem těchto kovů jsou především různá průmyslová odvětví (těžba rud, barevná metalurgie, povrchová úprava kovů, sklářský průmysl, tiskárny, fotografický průmysl aj.). K menším zdrojům se řadí exhalace. Kovy se dostávají do organismů a pokud je tento nedokáže vyloučit, mohou působit toxicky. Některé prvky nejsou organismy vůbec schopny vylučovat. Jde většinou o prvky, které se vyskytují v zemské kůře a v mořské vodě v poměrně nízké koncentraci (Sn, Ge, Be, Se, As, Mo, Sb, Hg, Bi, Cd, Ag, Au, Te), takže živé organismy nevyvinuly během své evoluce mechanismy k jejich zpracování. Tyto prvky se v tkáních akumulují, a mohou být proto obzvláště nebezpečné. Nejzávažnější kovové kontaminanty životního prostředí jsou Pb, Cd, Hg.

Olovo (Pb) dříve se do vod dostávalo hlavně splachy z komunikací a vegetací z nejbližšího okolí frekventovaných silnic. Výfukové plyny obsahovaly olovo jako rozkladné produkty tetraalkylolova, které bylo běžnou antidetonací přísadou benzínů. V menší míře přispívají ke kontaminaci i závody na zpracování olova a olověných slitin. Do vody se dostává také z olověného potrubí. Převládající formou bývá rozpuštěný ion Pb^{2+} , ale vzhledem ke schopnosti tvořit organometalické sloučeniny, vyskytují se ve vodě hlavně ionty $\text{Et}_3\text{Pb}^{2+}$, Et_2Pb^+ . Sloučeniny tetraalkylolova jsou velmi těkavé a při provzdušňování vody snadno přecházejí do atmosféry. Akumuluje se v kostech a jiných tkáních s věkem. Interferuje s enzymy červených krvinek a při vyšších dávkách může způsobit smrt, při menších dávkách způsobuje mentální retardaci. V trávě podél dálnic mohlo být často tolik olova (200 mg.kg⁻¹), že mohlo usmrtit dobytek.

Normy a standardizace analýz

Stanovení a obsah kovů ve vodách je součástí „Rámcové vodní směrnice“ 2000/60/ES z 23. října 2000. Další normy jsou svázány s předpisy pro pitnou vodu (podrobněji viz. metodický návod „Stanovení obsahu dusíkatých látek ve vodě“). Ve vodním prostředí obsah sodíku obvykle převládá nad obsahem draslíku. Jejich přítomnost není ve vodách hygienicky významná a proto není stanovení sodíku a draslíku nutnou součástí rozboru vody (stanovení se provádí jen výjimečně pro konkrétní účel). Výjimkou jsou vody minerální, u nichž je stanovení alkalických kovů běžné. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanovují požadavky na kvalitu pitné vody, doporučuje obsah vápníku 80 mg/l a hořčíku 30 mg/l. V mnoha vodních nádržích se nachází množství Ca^{2+} ku Mg^{2+} v poměru 2(4):1.

Z důvodu významné bioakumulační schopnosti, toxicity a perzistence těžkých kovů jsou minimalizovány jejich mezní koncentrace v tocích vodárenských i ostatních. Limitní hodnoty pro jednotlivé těžké kovy jsou většinou velmi přísné a liší se podle typu vod (pitné, povrchové, odpadní, přečištěné, apod.). Například u olova (Pb) udává vyhláška MZd č. 252/2004 Sb., pro pitnou vodu NMH (nejvyšší možnou hodnotu) = 10µg/l⁻¹. Stanovení důležitých kovů je standardizováno normami ČSN a technickými normami pro Jakost vod.

Pozn. především kvůli emisím olova je od 1. 1. 2001 zakázáno používat v České republice olovnaté benzíny (Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 244/199 Sb.). Tato změna souvisí s celoevropskou strategií snižování emisí škodlivin z provozování motorových vozidel.

Princip analytických metod

Stanovení obsahu Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ a K^+ iontů ve vodách

1) Chelatometrické stanovení vápníku a hořčíku

- vápník a hořčík lze společně stanovit chelatometrickou titrací na eriochromovou čern T v prostředí pH 10. Za těchto podmínek tvoří komplex s chelatonem 3 především Ca^{2+} a následně i Mg^{2+} . Vymizení iontů Mg^{2+} z roztoku se projeví změnou barvy, kterou tento iont tvoří s eriochromovou černí T. Vínově červené zbarvení tohoto barviva s Mg^{2+} se změní na blankytně modré zbarvení samotného barviva.

- vápník lze samostatně stanovit chelatometricky při pH 12 – 13 na směsný indikátor-murexid tvořící Ca^{2+} červené zbarvení, které se při dosažení ekvivalentního bodu mění ve fialové zbarvení samotného barviva (jako směsný indikátor lze použít i fluorexon a thymolftalexon).

- obsah hořčíku se vypočítá z rozdílu obou stanovení

- metoda vhodná pro koncentrace nad $0,05 \text{ mmol.l}^{-1}$

2) Stanovení sodíku a draslíku plamenovou emisní spektrometrií (AES)

- vzorek vody je zmlžen do plamene směsi acetylen-vzduch. Zde je prvek atomizován a excitován. Rezonanční spektrální čára pro sodík má vlnovou délku 589nm, pro draslík 770 nm, ta se izoluje ze spektra oxidačního plamene směsi acetylen-vzduch a změř se emise (tok vysílaného záření). Tok je úměrný koncentraci sodíku nebo draslíku ve vzorku.

3) Stanovení vápníku a hořčíku atomovou absorpční spektrometrií (AAS)

- vzorek vody je zmlžen do plamene směsi acetylen-oxid dusný, kde se roztok okamžitě odpaří a rozruší se chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Plamenem prochází paprsek světla ze speciální výbojky, jehož fotony jsou při setkání s atomy analyzovaného prvku absorbovány a atom prvku přechází do příslušného vzbuzeného (excitovaného) stavu. Vyhodnocení výsledků se provede ze tří hodnot absorbance pro každou koncentraci prvku.

Stanovení obsahu těžkých kovů ve vodách

Ke stanovení těžkých kovů je možno použít celou řadu metod, které se liší mezí detekce, náročností na provedení a přístrojové vybavení. Běžně se aplikují dvě skupiny stanovení (metody atomové spektrometrie a metody voltametrické), výjimečně se používají i metody další.

1) Metody atomové spektrometrie

a) Absorpční (AAS) - atomizace plamenem, výbojky s dutou katodou, pro koncentrace 10^{-5} g.l^{-1} až 10^{-6} g.l^{-1} . Nižší nároky na koncentraci a na objem potřebného roztoku má elektrotermická atomizace v grafitové nebo wolframové kyvetě.

b) Emisní (AES) - vyhodnocováno je záření emitované atomy nebo ionty v plazmatu, jiskrový nebo obloukový výboj mezi grafitovými elektrodami, na které byl předem nanesen vzorek a vysušen. Moderní přístroje využívají indukčně vázané plazma.

c) Fluorescenční - méně používané metody, pro stanovení rtuti ve vodě a ovzduší byl vyvinut fluorescenční detektor, který měří fluorescenci par rtuti.

2) Voltametrické metody

a) Polarografie se rtuťovou kapkovou elektrodou - vedle sebe se provádí stanovení několika kovů v koncentracích $10^{-5} \text{ mol.l}^{-1}$.

b) Diferenční pulsní metoda - nižší mez detekce $10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$ až $10^{-8} \text{ mol.l}^{-1}$, další snížení meze detekce umožňuje anodická rozpouštěcí voltametrie, při níž se kovy nejprve elektrolyticky zkoncentrují na pracovní elektrodě (rotující uhlíková elektroda nebo visící rtuťová kapka) a sleduje se jejich zpětné rozpouštění.

3) Ostatní metody

a) Neutronová aktivační analýza - přístrojově nejnáročnější metoda, upravený vzorek se ozáří tokem neutronů, kterými se vytvoří ve vzorku radioaktivní izotopy. Obsah jednotlivých prvků se určí rozborem radioaktivního záření, které vzorek vysílá a které je pro příslušné izotopy charakteristické. Mez detekce je 10^{-9} až 10^{-10} g . Je to velmi citlivá metoda, stanovení není ovlivněno chemickou formou prvků.

b) Plynová chromatografie - používá se pro organometalické sloučeniny.

c) Spektrofotometrie UV - s dithizonem (difenylthiokarbazon) vzniká barevná komplexní sloučenina.

Chelatometrie

Chelatometrické titrace využívají schopnosti některých aminopolykarboxylových kyselin tvořit s některými kationty kovů komplexy, které jsou sice ve vodě rozpustné, ale jsou velmi málo disociované. Jednou z nejužívanějších sloučenin používaných k chelatometrickým stanovením je disodná sůl kyseliny ethylendiaminotetraoctové nazývaná chelaton III. Protože při reakcích kationtů s chelatonem se uvolňují protony a navíc stálost komplexů chelatonu s kovovými ionty závisí na hodnotě pH, je nutné chelatometrické titrace uskutečňovat při určitém pH titrovaného roztoku. Udržování definovaného pH během titrace zajišťují tzv. tlumivé roztoky (pufry).

Provedení chelatometrické titrace spočívá v tom, že se k roztoku kationtů ve vzorku vody přidává z byrety roztok Chelatonu III o známé koncentraci. Bod ekvivalence (okamžik, kdy jsou právě všechny kationty v roztoku převedeny do komplexu s Chelatonem) se zjišťuje pomocí chelatometrických indikátorů (nejčastěji používané jsou murexid pro Ca^{2+} a eriochromčern T pro Mg^{2+}). Tyto indikátory vytvářejí se stanovovanými kationty rovněž komplexy které jsou však méně stabilní než komplexy těchto kationtů s Chelatonem III a jsou jinak zbarveny než volný indikátor (murexid – změna zbarvení modrofialová → červená, eriochromčern T - změna zbarvení modrá → červená).

Emisní spektrometrie

Spektrální analýza určující kvalitativní i kvantitativní složení látek podle emisního spektra těchto látek v plazmatickém stavu. Záření plazmatu je vytvářeno emisí atomů, iontů, molekul a částic tuhých látek. Spektrum je výsledkem diskretních přechodů elektronů z hladin s vyšší energií na hladiny s nižší energií. Emisní plamenová spektrometrie je tedy metoda založená na excitaci a zpětné deexcitaci atomů, při které se přebytečná energie vyzařuje jako charakteristické záření o vlnové délce odpovídající rozdílu energií excitovaného a základního stavu a jehož intenzita je přes mnoho řádů lineárně úměrná koncentraci prvku ve vzorku. Koncentraci prvků ve vzorku je nutné stanovit pomocí kalibrační křivky. Pro stanovení prvků alkalických kovů je použit plamen acetylén-vzduch.

Atomová absorpční spektrometrie (atomová absorpční spektroskopie, AAS)

Atomová absorpční spektrometrie je jednou z nejrozšířenějších analytických metod. Tato spektrometrická analytická metoda slouží ke stanovení obsahu stopových i významných koncentrací jednotlivých prvků v analyzovaném roztoku. Metodou lze analyzovat přes 60 prvků periodické tabulky (převážně kovových) s citlivostí od setin do stovek ppm.

Princip této metody spočívá v tom, že roztok analyzovaného vzorku je zmlžen a vzniklý aerosol zaveden do plamene nebo grafitového atomizátoru. Zde se roztok okamžitě odpaří a rozruší se chemické vazby v molekulách přítomných sloučenin. Podmínky atomizace jsou přitom voleny tak aby co největší množství měřených atomů zůstala v neutrálním stavu a nedocházelo k ionizaci za vzniku nabitých částic typu Me^+ . Plamenem prochází paprsek světla ze speciální výbojky, jehož fotony jsou při setkání s atomy analyzovaného prvku absorbovány a atom prvku přechází do příslušného vzbuzeného stavu. Dochází tak k úbytku intenzity procházejícího světla a tento úbytek je dán Lambert-Beerovým zákonem:

$$I = I_0 \cdot e^{-(\kappa \cdot n \cdot l)}$$

I_0 ...intenzita budícího záření

I ... intenzita záření po průchodu absorbujícím prostředím (plamenem)

κ ... atomový absorpční koeficient pro danou absorpční čáru

n ... počet atomů analyzovaného prvku v jednotce objemu

l ... délka absorpční vrstvy

V praxi se pak jako měřená veličina používá logaritmus úbytku světelné energie nazvaný absorbance A , pro niž platí vztah:

$$A = \log(\Phi_0 / \Phi) = 2,303 \cdot \kappa \cdot n \cdot l$$

Φ_0 ... tok světla (intenzita záření) na látku dopadající

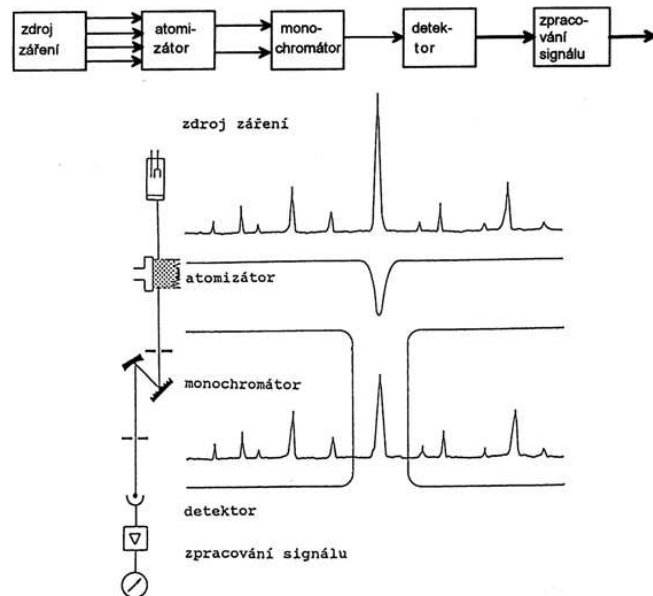
Φ ... tok světla (intenzita záření) látkou prošlý

Pro roztoky o známé koncentraci se změří odpovídající absorbance a graficky se zobrazí závislosti absorbancí (osa y) na koncentraci (osa x), platí velmi jednoduchá lineární závislost absorbance na koncentraci atomů měřeného prvku. Proměřením absorbance v roztoku o neznámé koncentraci absorbující látky se pak tato

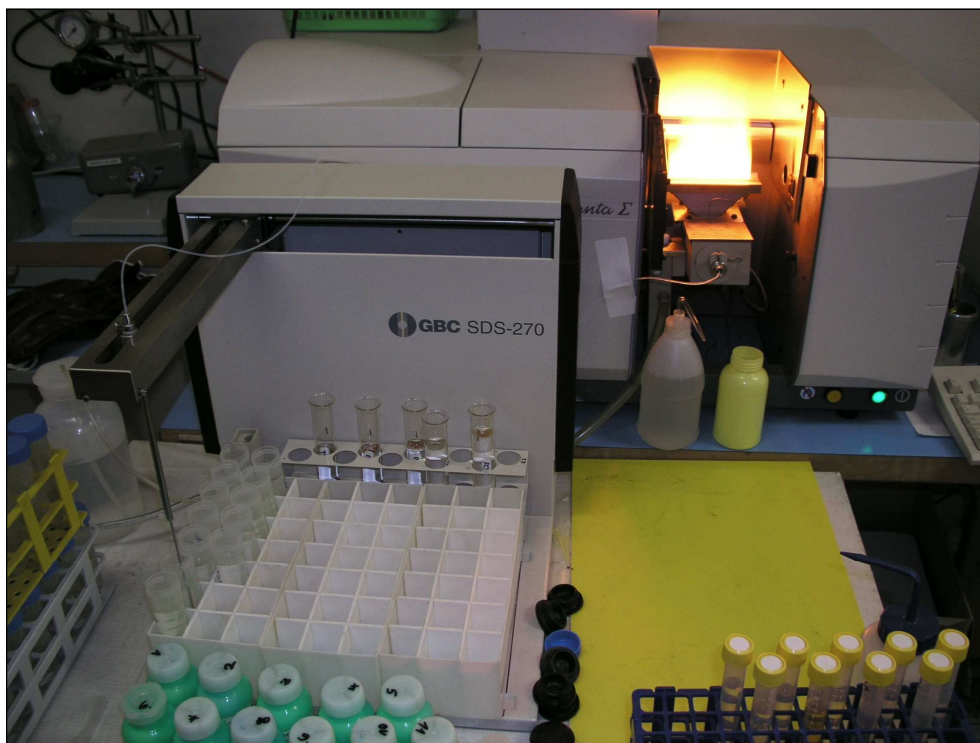
odečte z grafu. Všechny AAS spektrometry proto udávají měřený signál v jednotkách absorbance po matematickém zpracování skutečně měřených intenzit procházejícího světla.

Při atomové absorpční spektrometrii záření vycházející z vhodného zdroje prochází absorpčním prostředím a atomizovaným vzorkem. Vycházející záření se spektrálně rozkládá a vymezený monochromatický paprsek se detekuje a zaznamenává (**Obr.1**). Atomový absorpční spektrometr se skládá z následujících částí :

- zdroje primárního záření
- atomizátoru vytvářejícího absorpční prostředí
- monochromátoru
- detektoru záření
- systému zpracování signálu



Obr.1: Blokové schéma atomového absorpčního spektrometru.



Obr.2: Plamenový spektrometr AVANTA Σ fy. GBC.
(foto P. Hekera)

Provedení:

Vzorkování vod pro stanovení Pb, Cd a Hg je jednodušší v tom, že tyto analyty jsou prakticky stálé a s výjimkou organometalických sloučenin nedochází k jejich těkání a ztrátám. Problém v oblasti stopových koncentrací přináší materiál nádob, do kterých se vzorky odebírají. Běžné sklo uvolňuje do odebraného vzorku velká množství celé řady iontů podle svého složení. Nejlépe proto vyhovují plastové láhve z teflonu nebo polyethylenu, které byly předem louženy zředěnými minerálními kyselinami (HCl, HNO₃) vysoké čistoty. Výjimkou je stanovení rtuti, kde se používá skleněná vzorkovnice.

Úprava a konzervace vzorku před analýzou se liší podle typu plánované analýzy.

a) Stanovení celkového obsahu kovů

Bezprostředně po odběru musí být vzorek konzervován kyselinou dusičnou na pH 1-2 (obvykle stačí 2 ml kyseliny na 1 l vzorku). Čistota použité kyseliny musí být minimálně p.a.. V případě zákalu vzorku (eutrofní vody, odpadní vody) je většinou nutné podrobit vzorek mineralizaci postupem obvyklým v laboratoři. Nejčastěji používanými způsoby jsou mineralizace na mokré cestě – var pod zpětným chladičem s kyselinou dusičnou a peroxidem vodíku nebo mikrovlnná mineralizace. Pracovní postupy mineralizace je třeba modifikovat s ohledem na charakter vzorku.

b) Stanovení rozpuštěného obsahu kovů

Co nejdříve po odběru se vzorek zfiltruje přes membránový filtr (velikost pórů 0,45 μm) a bezprostředně poté se zakonzervuje kyselinou dusičnou na pH 1-2 (obvykle stačí 2 ml kyseliny na 1 l vzorku). Čistota použité kyseliny musí být minimálně p.a.. Membránové filtry se musí před použitím důkladně vyloužit v ředěné kyselině dusičné a opláchnout destilovanou vodou.

Slepý pokus (Sample Blank): spolu se vzorky se připravuje slepý vzorek, který musí obsahovat stejný přírůstek konzervačního činidla, tedy kyseliny dusičné.

Konzervované vzorky můžeme skladovat při 4°C, při delším skladování až -20°C, zvláště mají-li být stanoveny organometalické sloučeniny.

V případě analýzy sedimentu se odběr vzorku provádí různými způsoby podle charakteru sedimentu (jádrový vzorkovač, drapákový vzorkovač, mrazící vzorkovač, shrabovací vzorkovač) podle různých metodik (ČSN ISO, ZVHS).

Po odběru se odstraní hrubé částice, jako jsou větve, kameny, listy. Následně se odebraný materiál homogenizuje (mokrý homogenizace a sítování přes plastové síto – možno přímo v terénu) a odebere adekvátní podíl vzorku (cca 3 kg). Odebraný materiál se po dobu 14 dnů suší volně na vzduchu za laboratorní teploty ve vhodné ploché nádobě, pak se rozmělní a sítuje na frakci 0 – 2 mm. Kvartací se odebere potřebné množství pro analýzu.

Celkový obsah kovů v sedimentech se po úpravě vzorku (sušení, homogenizace) stanoví ve výluhu lučavkou královskou – směsí koncentrovaných kyselin HNO₃ a HCl v poměru 3:1 (případně v mineralizátu jiných doporučených kyselin). Výluh se provádí za varu dle různých metodik (LUFA, ÚKZÚZ, DIN, tlakové a mikrovlnné mineralizace, ...). Kyseliny se používají čistoty minimálně p.a..

V případě stanovení obsahu těkavých kovů, se doporučuje skladování před úpravou ve zmraženém stavu a sušení lyofylizací.

Laboratorní zpracování dále pokračuje podle standardní metodiky (viz. *Použitá a doporučená literatura*) používané laboratoří Katedry ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci na plamenovém spektrometru AVANTA Σ fy. GBC (**Obr.2**).

Vyhodnocení výsledků

Datový výstup ze spektrometru AVANTA má podobu textového souboru (**Obr.3**) (naměřená data můžeme vyexportovat do souboru s příponou *.txt, nebo vytisknout).

Při zpracování dat do databáze měření můžeme použít postup importu dat detailně zmiňovaný v části *Vyhodnocení výsledků* v metodickém návodu *Stanovení obsahu organického uhlíku (TOC) a chlorofylu a*.

Z vlastních zkušeností můžeme říci, že pokud sledujeme obsah kovů jako pozadový parametr běžných lokalit, nedochází většinou u těchto parametrů (na rozdíl od naprosté většiny ostatních stanovovaných parametrů) k přílišnému kolísání hodnot v čase (obsah kovů je poměrně stabilní). Jedinou výjimkou snad může být disturbance lokality povodní (hlavně u sedimentů), kdy může dojít k výrazné změně.

Sample Label	Conc. (mg/l)	%RSD	Mean Abs.
Cal Blank	6.87	-0.0111	
Standard 1	10.000	0.1051	
Standard 2	50.000	0.6527	
Standard 3	100.000	1.2215	
Sample Blank	9.26	-0.0098	
Sample 1	84.778	0.05	1.0488
Sample 2	77.824	1.49	0.9627
Sample 3	79.198	1.24	0.9797
Sample 4	80.504	1.64	0.9959
Sample 5	51.231	1.18	0.6338
Sample 6	54.404	2.61	0.6730
Sample 7	47.161	1.67	0.5834
Sample 8	52.317	0.66	0.6472
Sample 9	49.711	1.46	0.6150
Sample 10	51.839	0.28	0.6413
Sample 11	76.457	2.12	0.9458
Sample 12	79.058	0.96	0.9780
Sample 13	77.474	2.61	0.9584
Sample 14	43.798	1.77	0.5418
Sample 15	48.099	3.57	0.5950
Sample 16	48.947	2.58	0.6055
Sample 17	48.606	1.92	0.6013
Sample 18	76.192	1.98	0.9425
Sample 19	74.830	1.15	0.9257
Sample 20	79.155	1.61	0.9792
Sample 21	47.199	1.31	0.5839
Sample 22	46.615	1.14	0.5767
Sample 23	49.162	1.40	0.6082
Sample 24	49.980	0.68	0.6183
Sample 25	48.344	2.08	0.5980
Sample 26	72.234	2.66	0.8936
Sample 27	74.172	2.91	0.9176
Sample 28	78.613	2.33	0.9725
Sample 29	41.451	0.73	0.5128
Sample 30	40.222	2.36	0.4976
Sample 31	48.228	1.71	0.5966
Sample 32	47.915	1.32	0.5927
Sample 33	48.720	1.17	0.6027
Sample 34	60.206	1.13	0.7466

Obr.3: Ukázka textového výstupu analýzy obsahu kovů.

Použitá a doporučená literatura:

- Aplikační zpráva Hach Lange – Laboratorní analýza: Těžké kovy v praxi
- Horáková M., Lischke P. & Grünwald A. (1986): Chemické a fyzikální metody analýzy vod
- Kalavská D. & Holoubek I. (1989): Analýza vód
- Malý Josef & Malá Jitka: Chemie a technologie vod – laboratorní cvičení
- Černohorský T., Jandera P. (1997): Atomová spektroskopie
- Kolektiv (2001): Systém provozu monitoringu Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS), metodické zásady, ZVHS OSI, Brno
- Kaličinská J. (2006): Monitorování životního prostředí
- T. R. E. Southwood & P. A. Henderson (1999): Ecological Methods
- postup analytického stanovení vzorku dle návodu k použití plamenového spektrometru AVANTA Σ fy. GBC
- http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ (Encyklopedie hydrobiologie)
- <http://analytika.upol.cz/electromigrace/docs/navody/ACHSB/pdf/07.pdf>
- http://cheminfo.chemi.muni.cz/chem_sekce/predmety/C7300/AAS/aas.doc

Tento studijní materiál byl vytvořen díky finanční podpoře projektu **FRVŠ/G4/1506/2009** „Aplikace analytických metod do výuky hydrobiologie“.