

BOR – INDIKÁTOR ANTROPOGENNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ VOD

ZUZANA NOVÁKOVÁ

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
hladikoz@vscht.cz

Došlo 22.1.20, přijato 15.2.20.

Klíčová slova: bor, povrchové vody, antropogenní znečištění, limitní hodnoty pro pitnou vodu

Úvod

Voda je jednou z nejdůležitějších složek životního prostředí, ve kterém žije značná část všech organismů. Znečištění vodního prostředí způsobuje řadu významných změn, které jsou pro člověka obecně nepříznivé a mohou způsobovat zdravotní rizika. Významná rizika pro lidské zdraví mohou vyplývat z expozice nepatogenním toxickým kontaminantům, které jsou často celosvětově všudypřítomné ve vodách, z nichž je pitná voda získávána¹. Z důvodu prevence před znečištěním je důležité identifikovat kontaminanty zdrojů vod, které mohou být významným indikátorem antropogenního znečištění. Tyto kontaminanty jsou dostupnými technologiemi většinou velmi obtížně odstranitelné a v konečném důsledku mohou mít ve vyšších koncentracích v pitné vodě nepříznivé účinky na zdraví konzumentů. Jedním z takových kontaminantů může být bor, který má při vyšších koncentracích prokazatelně negativní účinek na lidské zdraví a obecně má toxický účinek ve vodním prostředí. Vyšší koncentrace boru v povrchových vodách jsou převážně antropogenního původu.

Bor je všudypřítomný prvek, který se vyskytuje v horninách, půdách i vodách. Nachází se většinou v nízkých koncentracích a v přírodě se nikdy neobjevuje v elementární formě. Jeho reaktivita je ovlivněna především malým rozměrem atomu, vysokou ionizační energií a také elektronovou deficiencí tohoto prvku. Další významnou vlastností je velká afinita ke kyslíku, která tvoří základ především pro sloučeniny boritanů^{2,3}. Výjimečně je bor přímo vázán k jinému prvku než ke kyslíku⁴. Termínem bor uváděným v textu se rozumí obsah boru ve sloučeninách obsahujících bor. Chemické, biologické a biochemické charakteristiky anorganických sloučenin boru jsou závislé na jeho formě výskytu ve sloučeninách³.

Ve vodách se bor vyskytuje ve formě nedisociované kyseliny trihydrogenborité a ve formě boritanů. V přírodních a užitkových vodách (hodnoty pH 6 až 8) převažuje kyselina trihydrogenboritá. Obecně pak v málo koncentrovaných vodních roztocích jsou přítomné jen monomerní boritany. V alkalickém prostředí a při vyšší koncentraci

boru vznikají různé polyboritany⁵.

Boritany se snadno adsorbují v půdách a sedimentech. Adsorpce boru závisí na hodnotě pH vody a koncentraci boru v roztoku. Nejúčinnější adsorpce je dosahováno při hodnotách pH 7,5–9,0 (cit.⁶). Množství boru ve vodách závisí na geochemické povaze povodí, blízkosti mořských pobřežních oblastí a významně pak i na event. zaústění průmyslových a komunálních odpadních vod. Obsah boru v povrchové vodě je nejčastěji ovlivněn vypouštěním odpadních vod. Důvodem je přítomnost sloučenin boru v přísadách pracích prostředků (bor pochází především z peroxoboritanů používaných jako bělicí složky pracích prostředků). Dalším zdrojem jsou pak vody z různých průmyslových odvětví, jako je sklářský, keramický a fotografický průmysl, výroba kosmetiky, léčiv, pracích prostředků, agrochemikálií. Je třeba uvést i jadernou energetiku^{4,7}.

Přirozený obsah boritanů v podzemních a povrchových vodách je obvykle malý a je důsledkem vyluhování hornin a zvětrávání hornin obsahujících boritany a borosilikáty. Koncentrace boru v podzemních a povrchových vodách v setinách mg l⁻¹ jsou považovány za přirozené pozadí. Průměrný obsah boru v zemské kůře je 10 mg kg⁻¹. V půdách se jeho množství pohybuje od 10 do 20 mg kg⁻¹. Mořské vody obsahují od 0,5 do 9,6 mg l⁻¹ a nitrozemské obvykle od 0,01 do 1,5 mg l⁻¹. V minerálních vodách se nachází bor v desetinách mg l⁻¹, ale v některých případech v desítkách až stovkách mg l⁻¹, např. Vincentka obsahuje 75,5 mg l⁻¹ boru. Vysoké koncentrace lze také nalézt ve vulkanických vodách, většinou v desítkách mg l⁻¹. V atmosféře není bor přítomen ve významných koncentracích. Emise boritanů a kyseliny borité do atmosféry se vyskytují pouze v důsledku přítomnosti těkavých látek v mořské vodě, ze sopečné nebo antropogenní činnosti⁵⁻⁸.

Do pitné vody se může bor dostávat stejně tak, jako jiné látky přímo z vypouštění odpadních vod nebo nepřímo z rozptýlených zdrojů vznikajících při používání a likvidaci materiálů a produktů obsahujících jeho sloučeniny⁸. Pro pitné vody je platným právním předpisem v ČR vyhláška č. 252/2004 Sb. v platném znění, kterou jsou dány hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, a která odráží Směrnici Rady 98/83/ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě. Limitní hodnota boru v pitných vodách je stanovena na 1 mg l⁻¹. U boru jde o tzv. nejvyšší mezní hodnotu (NMH), při jejímž překročení je vyloučeno použití vody jako vody pitné⁹. Bor je limitován i u vod, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody a to vyhláškou č. 448/2017 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu v platném znění. Mezní hodnota limitující zařazení do příslušné kategorie jakosti (A1, A2, A3) je pro bor 1 mg l⁻¹. Dále je bor zařazen mezi prvky, které musí být sledovány v rámci úplného rozboru surové vody, tedy vody využívající se jako zdroj vody pitné¹⁰.

Koncentraci boru v povrchových vodách upravuje zákon č. 254/2001 Sb. o vodách (vodní zákon) v platném znění. Účelem vodního zákona je i regulace vypouštění nebezpečných látek do vodního prostředí¹¹. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného

znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostí povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech v platném znění je v rámci České republiky prováděcím předpisem k vodnímu zákonu a týká se určení imisních standardů pro bor. Toto nařízení v souladu s právem Evropského společenství pro bor upravuje imisní standardy včetně požadovaného stavu jakosti vody ve vodním toku. Norma environmentální kvality (NEK) povrchových vod pro bor (vyjádřená jako celoroční průměrná hodnota) činí $300 \mu\text{g l}^{-1}$. Pro každý daný útvar povrchových vod by tak aritmetický průměr koncentrací naměřených v různých časech průběhu roku neměl překračovat tuto hodnotu v žádném reprezentativním monitorovacím místě ve vodním útvaru¹².

Bor je také jedním z prvků limitovaných dokumentem Guidelines for Drinking-water Quality vydaným WHO (World Health Organization)⁸, přičemž je zahrnut mezi přirozeně se vyskytující anorganické chemikálie, které jsou zdravotně významné v pitné vodě. Směrná hodnota boru v povrchových vodách byla stanovena na $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ a je označena jako prozatímní, protože je ať již ochranou zdroje či dostupnými technologiemi celosvětově obtížně dosažitelná⁸. K odstranění boru běžnými konvenčními způsoby úpravy vody (např. koagulace, sedimentace, filtrace) v podstatě nedochází. V případech, kdy je bor přítomen ve vodách ve vyšších koncentracích, by tudíž bylo nezbytné použít speciální technologie. Vhodnými způsoby jsou iontová výměna a případně reverzní osmóza. Výměna iontů zahrnuje selektivní odstranění nabitých anorganických látek z vody pomocí iontově specifického nosiče, přičemž kontaminanty jsou vyměňovány za ionty nosiče a po vyčerpání musí být tento vyměněn či regenerován. Reverzní osmóza využívá semipermeabilní membrány a hydraulického tlaku proti osmotickému. Většina anorganických a mnoho organických kontaminantů membránou neprochází a zůstává v permeátu. Je uváděno, že kombinace těchto metod představuje možnost snížení koncentrace boru až pod $0,3 \text{ mg l}^{-1}$. Jejich použití je však neúměrně drahé. Pro mnoho případů je jediným ekonomicky dostupným řešením vedoucím ke snížení koncentrací boru v pitných vodách míchání, resp. ředění vod se zdroji, kde koncentrace boru nejsou vysoké^{6,8,13}.

Studie ukazují, že bor ovlivňuje i některé biologické funkce živočichů a člověka, ale je i esenciálním prvkem pro rostliny. Je nezbytným prvkem pro normální růst a biologické funkce vyšších rostlin. Tvoří složku buněčných stěn a membrán, kde vazby bor–pektin pomáhají stabilizovat buněčné membrány. Pro člověka a živočichy je důležitým mikronutrientem přijímaným ve stravě, ale jeho funkce není tak jednoznačná jako u rostlin. Hlavními zdroji boru je zelenina, ovoce a pitná voda. Biodostupnost rozpustných anorganických forem boru je velká, organicky vázané formy boru jsou pro člověka nedostupné^{1,7,13}.

Celosvětově je koncentrace boru v pitné vodě uváděna v intervalu $0,1$ až $0,3 \text{ mg l}^{-1}$. Průměrný denní příjem boru pro člověka ve stravě je přibližně $1,2 \text{ mg/den}$. Spotřební výrobky přispívají průměrně $0,1 \text{ mg/den}$ k celkové expozici boru. Příspěvek příjmu boru ze vzduchu je zanedbatelný. Celkový denní příjem boru lze tedy odhadnout

na $1,5$ až 2 mg . Maximální denní dávka boru byla stanovena Světovou zdravotnickou organizací od 1 do 13 mg v závislosti na zdravotním stavu organismu^{8,14}.

Experimentální část

Při stanovení boru ve vodách je možné využít řadu analytických metod od základních (titrace) až po moderní metody, např. optická emisní spektrometrie, hmotnostní spektrometrie, atomová absorpční spektrometrie nebo nukleární magnetická rezonance. Široce používanou metodou pro analýzu boru v kostech, plazmě a potravě je atomová emisní spektroskopie s indukčně vázanou plazmou. Tato metoda se také používá pro vodu a odpadní vody. Detekční limity ve vodě se pohybují od 6 do $10 \mu\text{g}$ boru na litr. Mezi nejčastěji a nejběžněji používané patří spektrofotometrická stanovení⁸.

Pro níže získané výsledky byla použita spektrofotometrická metoda s azomethinem-H (cit.¹⁴). Norma ČSN ISO 9390 specifikuje spektrofotometrické stanovení boritanů ve vodě. Azomethin-H se salicylaldehydem reaguje s rozpuštěnými formami boritanů při hodnotě pH cca 6 . Vzniká žlutý komplex, který je vhodný k spektrofotometrickému měření v oblasti od 410 nm do 420 nm . Tato metoda je aplikovatelná pro pitnou a málo znečištěnou podzemní, povrchovou a mineralizovanou vodu a je vhodná pro stanovení koncentrace boritanů od $0,01 \text{ mg}$ do 1 mg boru v litru (pracovní rozsah lze rozšířit zředěním vzorku). Pro rozsah měření do $0,2 \text{ mg l}^{-1}$ je využíváno měření absorbance v kyvetách optické dráhy 50 mm a při koncentracích do 1 mg l^{-1} je měřena absorbance v kyvetách optické dráhy 10 mm (cit.¹⁴).

Rušivý vliv při stanovení boru mohou způsobit ionty Mn, Zr, Cr, Ti, Cu, V, Al, Be a Fe nebo může být rušivým vlivem zbarvení vzorku např. huminovými látkami nebo látkami nerozpuštěnými (pravděpodobně u vod povrchových)¹⁴. Důležité je poznamenat, že výsledek stanovení boru může být ovlivněn borosilikátovým sklem. Z toho důvodu by vzorky vod neměly být odebírány do vzorkovnic z borosilikátového skla a pro stanovení je doporučeno používat pouze laboratorní materiál z plastu nebo polytetrafluorethylenu³. Vzhledem k rozsáhlému použití boru a k nízkým stanovovaným koncentracím by stanovení mohlo být dále ovlivněno např. detergenty či mýdly používanými k mytí nádobí, papírovými ubrousky používanými k otírání, kosmetickými prostředky používanými personálem apod.^{8,14}

Spektrofotometrická metoda s azomethinem-H dle ČSN ISO 9390 specifikuje spektrofotometrické stanovení boritanů ve vodě. Při využití spektrofotometrické metody s azomethinem-H dle ČSN ISO 9390 bylo při stanovení postupováno s 25 ml vzorku a s 10 ml směsného činidla. Vzhledem k velké spotřebě činidla byla snaha vyšší koncentrace $0,2$ – 1 mg l^{-1} (absorbance je měřena v kyvetách optické dráhy 10 mm) měřit zkumavkovou metodou ve stejných poměrech vzorku a směsného činidla, tj. 5 ml vzorku a 2 ml činidla. Proměření spektra (zkumavky mají optickou dráhu $1,6 \text{ mm}$) získaného zbarvení roztoku

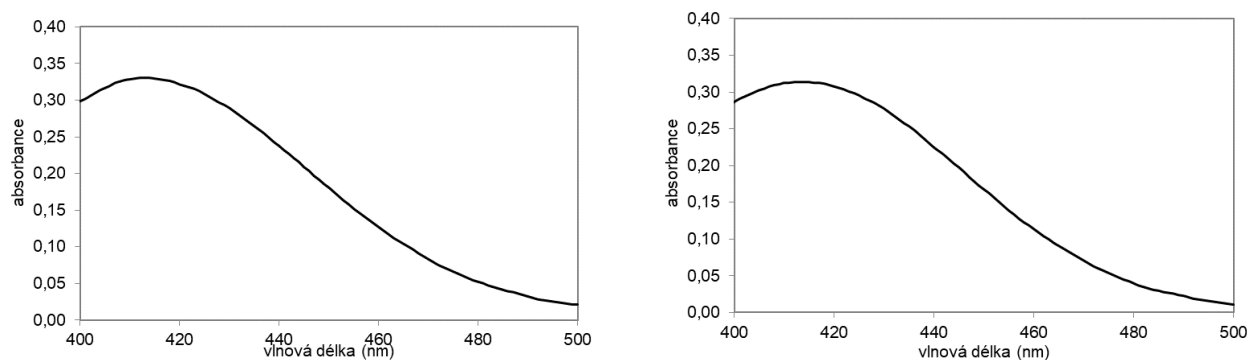
o koncentraci $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ byla dosažena maximální shoda vlnové délky (415–417 nm), při které je patrné absorpční maximum na křivce (v normě je uváděn interval 410–420 nm pro 25 ml vzorku). Nejvyšší hodnotou absorbance byla hodnota 415 nm pro stanovení v polyethylenových vzorkovnicích a hodnota 417 nm pro stanovení ve skleněných zkumavkách (viz obr. 1).

Na základě výše uvedeného byly proměřeny různé koncentrační roztoky boru jak v polyethylenových, tak ve skleněných zkumavkách (viz obr. 2). Je patrné, že odchylka ve skleněných zkumavkách byla vždy pozitivní (tj. koncentrace měřená ve skleněných zkumavkách byla vždy vyšší) od očekávané koncentrace vzorku a jednalo se o rozptyl hodnot od 0 do 25 %. Zatímco v polyethylenových vzorkovnicích byl rozdíl hodnot pouze od 0 do 8 % a byly měřeny i nižší koncentrace, než které byly očekávané.

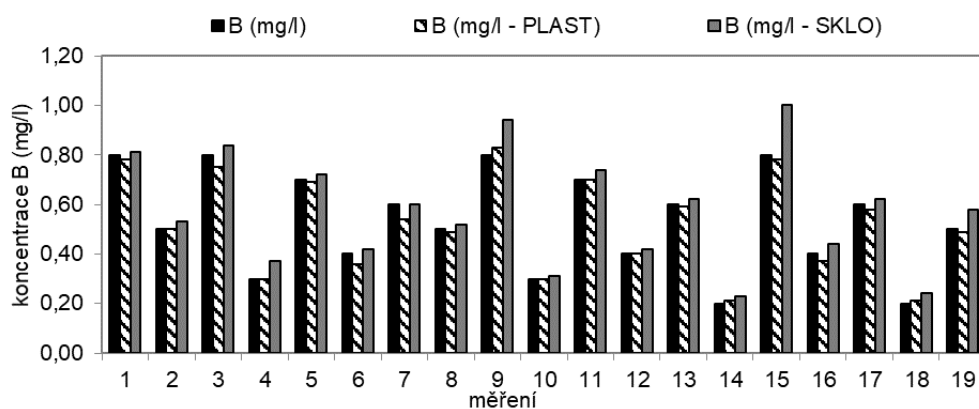
Výsledky a diskuse

Metoda spektrofotometrického stanovení boritanů ve vodě s azomethinem-H byla využita pro vyhodnocení antropogenního znečištění povrchových vod pomocí zjištěné koncentrace boru v testovaných vzorcích. Mez stanovení byla $0,01 \text{ mg l}^{-1}$. Pozornost byla věnována dvěma vybraným lokalitám. První lokalita zahrnovala čtyři významné toky Krkonošského národního parku, druhá pak přítoky do vodárenské nádrže Švihov. Přestože se v Krkonošském národním parku jedná o jedno z nejchráněnějších území, i zde je patrná změna v kvalitě vody. Níže uvedené výsledky (tab. I) statisticky zpracovávají všechny naměřené koncentrace boru v povrchových vodách řeky Úpy, Jizery, Jizerky a Labe. Vzorky byly odebrány jak na profilech jmenovaných toků, tak i na jejich významných přítocích, aby mohl být posouzen jejich vliv po jejich zaústění.

Celkem bylo analyzováno 666 vzorků vod, přičemž se jednalo o 120 odběrných míst. Měření probíhalo v letech 2015–2018. Ve sledovaných profilech nebyla překro-



Obr. 1. Absorpční spektrum stanovení boru s azomethinem-H; plast (vlevo), sklo (vpravo)



Obr. 2. Spektrofotometrické stanovení boru s azomethinem-H ve skleněných zkumavkách a v polyethylenových vzorkovnicích

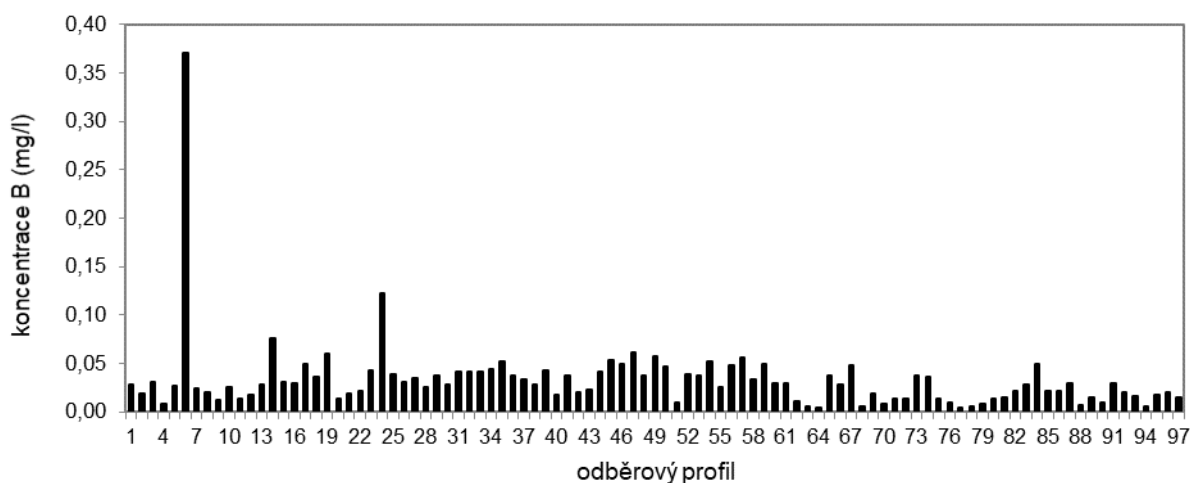
čena hodnota $0,5 \text{ mg l}^{-1}$. Nad tuto mez by mohly být zvýšené koncentrace boru v povrchových vodách považovány za indikátor antropogenního znečištění vody⁸. V případech, kdy byly stanoveny vyšší koncentrace boru než $0,3 \text{ mg l}^{-1}$ byly tyto hodnoty ovlivněny zvýšenou koncentrací huminových látek během odběrů při deštivém období. V případě řeky Úpy, Jizerky i Labe se právě výše uvedené odrazilo na maximálních získaných hodnotách. Naopak v případě řeky Jizery, kde byla naměřena maximální koncentrace boru $0,25 \text{ mg l}^{-1}$, se jednalo o Ponikelský potok, který je jejím významným přítokem a to především z pohledu přinášeného znečištění. Důležité je zmínit, že je do něj zaústěn i odtok z čistírny odpadních vod z obce Poniklé. Během listopadového odběru byly v tomto profilu naměřeny i významně zvýšené koncentrace amonných iontů, dusičnanů a chloridů ($4,99 \text{ mg l}^{-1}$; $7,87 \text{ mg l}^{-1}$ a $30,89 \text{ mg l}^{-1}$).

Další lokalitou, ve které byla sledována koncentrace boru, bylo povodí vodárenské nádrže Švihov. Koncentrace boru byly sledovány v roce 2015 i na vybraných profilech přítoků do vodárenské nádrže Švihov (obr. 3). Celkem se jednalo o 97 vzorků povrchových vod (97 odběrných míst).

Důležité je poznamenat, že ani v těchto profilech nebyla překročena hodnota koncentrace boru $0,5 \text{ mg l}^{-1}$, která je považována za indikátor antropogenního znečištění vody⁸. Koncentrace boru ve vybraných profilech nepřekračovala hodnotu $0,1 \text{ mg l}^{-1}$. Koncentrace $<0,02 \text{ mg l}^{-1}$ byla stanovena u cca jedné třetiny analyzovaných vzorků. Nejvyšší naměřená koncentrace boru byla $0,37 \text{ mg l}^{-1}$ (tab. II). Jednalo se o profil Vodického potoka, který je v dané oblasti významně ovlivňován nakládáním se splaškovými vodami. V tomto profilu byly současně stanoveny i zvýšené koncentrace ostatních iontů, především dusičnanů ($20,4 \text{ mg l}^{-1}$).

Na základě provedených analýz stanovení boru v povrchových vodách jak v Krkonošském národním parku, tak v oblasti vodárenské nádrže Švihov nebylo prokázáno antropogenní znečištění vody. Důležité je ale poznamenat, že maximální naměřené koncentrace boru korespondovaly nejen se zvýšenými hodnotami koncentrace dusičnanů, ale i chloridů a amonných iontů a odrážely vliv hospodaření se splaškovými vodami v dané oblasti.

Obdobná studie zaměřená na stanovení koncentrací boru byla provedena v severním Polsku v letech 2009 až



Obr. 3. Profily přítoků vodárenské nádrže Švihov – koncentrace boru v mg l^{-1}

Tabulka I
Koncentrace boru v povrchových vodách v Krkonošském národním parku

	Průměr [mg l^{-1}]	Minimum [mg l^{-1}]	Maximum [mg l^{-1}]	Medián [mg l^{-1}]
Úpa	0,03	<0,02	0,29	0,03
Jizera	0,04	<0,02	0,25	0,03
Jizerka	0,06	<0,02	0,20	0,06
Labe	0,12	0,06	0,20	0,11

Tabulka II
Koncentrace boru v povrchových vodách v povodí vodárenské nádrže Švihov

	Průměr [mg l^{-1}]	Minimum [mg l^{-1}]	Maximum [mg l^{-1}]	Medián [mg l^{-1}]
Povodí VN Švihov	0,03	<0,02	0,37	0,028

2011. Celkem bylo odebráno 57 vzorků podzemní vody využívané pro vodárenské účely. Nejhlubší vrty byly hluboké až 180 m. Bylo zjištěno, že 24 testovaných vzorků vody nepřekročilo mez stanovení. Naopak 17 vzorků z testovaných vzorků vod překročilo koncentraci boru $1,0 \text{ mg l}^{-1}$ (limitní koncentrace pro pitnou vodu). Vyšší koncentrace boru byly detegovány ve vodě v křídových útvarcích a bylo potvrzeno, že obsah boru v podzemní vodě závisí na povaze geologických vrstev, ze kterých byly odebrány testované vzorky vody. I přes tuto skutečnost by tyto vody musely být dále upravovány, aby byla koncentrace boru snížena na přípustné limity pro pitnou vodu¹⁵. Další studie, která se věnovala vzorkům povrchových vod v okolí Berlína (jednalo se o povrchové vody, které jsou po přirozené břehové infiltraci dále využívány jako zdroje pitných vod), poukazuje na koncentrace boru od $<0,05$ do $0,56 \text{ mg l}^{-1}$. Nutné je poznamenat, že tyto povrchové zdroje mohou být kontaminovány komunální odpadní vodou¹⁶. Vysoké koncentrace v podzemních zdrojích pitných vod, překračující limitní hodnotu pro pitnou vodu 1 mg l^{-1} , byly naměřeny i v Rumunsku (od $<0,05$ do $1,55 \text{ mg l}^{-1}$). Ve vodě s vysokou koncentrací boru byly objeveny i dusičnany antropogenního původu pocházející ze zemědělské činnosti v této oblasti a chloridy, jejichž zvýšené koncentrace jsou obecně považovány za antropogenní znečištění. V rámci poslední zmiňované studie byla zpracována i korelační analýza boru s ostatními prvky, která prokázala souvislost především mezi borem a dusičnany¹.

Závěr

V rámci studie byly odebrány vzorky povrchových vod v oblasti Krkonošského národního parku a povodí vodárenské nádrže Švihov. Pro měření koncentrace boru bylo použito spektrofotometrického stanovení s azomethinem-H (ČSN ISO 9390), které se ukázalo jako vhodné pro stanovení koncentrací boru v povrchových vodách. Pozornost byla věnována i možnosti spektrofotometrického stanovení s azomethinem-H ve skleněných zkumavkách, která byla porovnána s měřením v polyethylenových vzorkovnicích, dle výše uvedené normy. Bylo prokázáno, že měření ve skleněných zkumavkách není vhodné a vždy je dosahováno pozitivního navýšení sledované koncentrace boru.

Na vybraných profilech, jak v povodí Krkonošského národního parku, tak v povodí vodárenské nádrže Švihov nebyla překročena hodnota $0,5 \text{ mg l}^{-1}$, která je uváděna jako hodnota indikující antropogenní znečištění vody. Maximální koncentrace boru $0,37 \text{ mg l}^{-1}$ a $0,25 \text{ mg l}^{-1}$ (v profilech Vodického potoka a Ponikelského potoka), korespondovaly se zvýšenými hodnotami dalších sledovaných ukazatelů (dusičnanů, případně amonných iontů a chloridů) a odrážely hospodaření s odpadními vodami v dané oblasti. Povrchové, ale i podzemní vody jsou velmi zranitelné a jejich využívání, především pro výrobu pitné vody, je ovlivněno jejich kvalitou. Bor společně s dalšími prvky, jako je dusík a fosfor, by mohl být zařazen mezi indikátory hodnotící kvalitu povrchových vod a to i z dů-

vodu, že bor není běžně dostupnými technologiemi při úpravě vody odstraňován.

LITERATURA

1. Diaconu D., Nastase V., Nănu M. M., Nechifor O., Nechifor E.: *J. Prev. Med.* 16, 77 (2008).
2. Drinking Water Health Advisory for Boron, EPA (2008).
3. Greenwood N. N., Earnshaw A.: *Chemie prvků*, svazek I. Informatorium, Praha 1993.
4. Pitter P.: *Hydrochemie*, 2. vyd., Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2009.
5. World Health Organization: Boron in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality, Geneva (2009). Benderdour M., Bui-van T., Dicko A., Belleville F.: *JTEBFO* 12, 2 (1998).
6. Šípková H.: *Diplomová práce*, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2013.
7. World Health Organization: *Guidelines for drinking-water quality*, 4. vyd., Geneva 2017.
8. Vyhláška č. 252/2004 Sb. v platném znění, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Sbirka zákonů 2004, částka 82.
9. Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů. Sbirka zákonů 2001, částka 161.
10. Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách v platném znění.
11. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Sbirka zákonů 2006, částka 166.
12. Weinthal E., Parag Y., Vengosh A., Muti A., Kloppmann W.: *InterScience* 10.1002, 369 (2005).
13. Michio Z., Kazukon N., Kyoji T.: *Anal. Chem.* 334, 238 (1989).
14. ČSN ISO 9390: *Jakost vod. Stanovení boritanů. Spektrofotometrické stanovení s azomethinem-H* (1995).
15. Wons M., Koc J., Szymczyk S.: *Jelem* 10.5601, 845 (2014).
16. Heberer T., Schmidt-Bäumler K., Stan H.-J.: *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 26, 272 (1998).

Z. Nováková (*University of Chemistry and Technology, Prague*): **Boron – Indicator of Anthropogenic Pollution of Waters**

Satisfactory quality of drinking water is one of the basic requirements of modern society. It is important to identify the water source contaminants that may represent a relevant indicator of anthropogenic pollution. One of such contaminants may be boron. At higher concentra-

tions, it is known to have a negative effect on human health and generally has a toxic effect on the aquatic environment. Higher concentrations of boron in surface waters are predominantly of anthropogenic origin. Concentrations above 0.5 mg L^{-1} may indicate anthropogenic water pollution. Anthropogenic sources of boron compounds are mainly municipal waste water (boron comes mainly from perborates used as bleaching components of detergents), industrial waste water and soil washes (boron is a part of some agricultural fertilizers). Boron concentrations were

monitored at two localities of surface water and determined using Azomethin-H. The results obtained did not exceed the limit value (0.5 mg L^{-1}). It was shown that higher boron concentrations in surface waters were of anthropogenic origin from municipal waste water and were accompanied by higher concentrations of the nitrate, ammonium, and chloride ions.

Keywords: boron, surface water, anthropogenic pollution, limit values for drinking water