

# VYUŽITÍ BÓRU PŘI MONITORINGU STARÝCH EKOLOGICKÝCH ZÁTĚŽÍ

**Jan Bartoň, Slavomír Mikita**

*GEOtest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, e-mail: barton@geotest.cz*

## ÚVOD

Při řešení problematiky starých ekologických zátěží se ukázalo, že bór je významným indikátorem šíření znečištění, jelikož jeho obsahy při zdroji znečištění (zejména skládky komunálního odpadu a odkaliště elektrárenského popílku) a ve směru šíření jsou vysoce anomální oproti pozadovým koncentracím. Jeho inertní vlastnosti umožňují jeho využití jako stopovače kontaminace.

## PŮVOD A VÝZNAM BÓRU VE VODÁCH

Přírodní původ bóru ve vodách je závislý na lokálních geologických podmínkách. V Českém masívu jsou hlavním přirozeným zdrojem bóru ve vodách borosilikáty (turmalín) a minerály s příměsí bóru (biotit, amfiboly). Pro některé lokality jsou významným zdrojem bóru ve vodách soli kyseliny borité – boritany. Nejznámějším boritanem je borax či tinkal ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Mezi další patří boracit, pandemit, colemanit či kernit.

Antropogenní původ bóru ve vodách souvisí lokálně s hornickou činností a širokým použitím kyseliny borité a jejích solí v průmyslu i běžném životě. Kyselina boritá a boritany jsou používány při výrobě skla a porcelánu, koberců, kůže, kosmetiky, jako chemikálie ve fotografii, hnojivo, při výrobě polovodičů, sváření a povrchové úpravě kovů. Nejvíce se používá v podobě peroxoboritanu (tetraboritanu) sodného ( $\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaBO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) jako oxidační činidlo v pracích prostředcích. Peroxoboritany při praní hydrolyzují a uvolňují peroxid vodíku, přitom se mění na  $\text{NaBO}_2$ , z toho důvodu nejsou peroxoboritany v odpadních vodách z praní prádla přítomny. Do povrchových vod se dostává prostřednictvím komunálních a průmyslových (důlních) odpadních vod.

Bór je ve vodách významný především pro výživu rostlin, kdy v koncentracích do 0,5 mg/l figuruje jako významný stopový prvek, při vyšších koncentracích se uplatňuje negativně jako inhibitor růstu. Maximální toleranci vůči bóru mají cukrová řepa, cibule, zelí či mrkev (2–4 mg/l), nejméně tolerantní jsou jabloně, švestky a broskve (0,5–1 mg/l). Ryby jsou vůči extrémně vysokým koncentracím bóru tolerantní (až 5 000 mg/l).

Bór se považuje za důležitý mikronutrient a jeho toxicita je velmi nízká. Hlavním zdrojem bóru pro člověka je ovoce a zelenina, případně minerální vody (např. Vincentka). Geneze bóru ve vodách se dá odhadnout podle poměru izotopů  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ .

## PRŮMĚRNÉ OBSAHY BÓRU VE VODÁCH

Bór není běžnou součástí chemického rozboru vod, a proto je údajů o jeho koncentracích poměrně málo. Důvodem pro jeho častější analytické stanovení jsou rostoucí koncentrace ve vodách v důsledku aplikace peroxoboritanů v pracích prostředcích od 60. let 20. století. V povrchových vodách v USA se nachází bór v koncentracích 0,01–0,4 mg/l (Pitter 2009). Za přírodní pozadí se dají považovat koncentrace v setinách mg/l.

Matthews (1973) uvádí průměrný obsah bóru pro říční toky 0,013 mg/l. Pro proplyněné minerální vody v podmínkách intenzivní hydrolyzy aluminosilikátů vlivem zvýšeného parciálního tlaku  $\text{CO}_2$  hlubinného původu a vysoké teploty mohou mít obsahy bóru až několik stovek mg/l. Freatické podzemní vody kolektorů s rychlejší vodní výměnou a s průběžnou dotací půdního  $\text{CO}_2$  mají obsahy bóru jen několik desetin mg/l.

Pro povrchové vody v okolí ložisek bóru (zejména Kalifornie, Německo, Turecko) jsou typické obsahy bóru 4 mg/l, v období sucha až 7 mg/l. V podzemní vodě z přímořských oblastí jsou typické koncentrace bóru 4–5 mg/l. Koncentrace bóru v mořské vodě jsou průměrně 4,5 mg/l (Baltické moře cca 0,5 mg/l, Středozemní moře cca 9,6 mg/l).

Podzemní vody Českého masívu, používané pro pitné účely, mají průměrný obsah bóru < 0,05 mg/l (detekční limit analytického stanovení) až 0,059 mg/l. V oblastech ložiskových akumulací až jednotky mg/l. U hlubinných vod (cca 1 km v granitech a granodioritech) při střední době zdržení 19 tis. let byly ověřené koncentrace bóru 0,08–0,72 mg/l.

V minerálních vodách se bór nachází běžně v koncentracích desetin mg/l, někdy až 4 mg/l (Mariánské Lázně), 10 mg/l (Lázně Darkov a Karviná) či 57 mg/l (Vincentka – minerální voda z okolí Luhačovic).

Matthews (1973) uvádí průměrný obsah bóru v komunálních odpadních vodách 1–2 mg/l, Vengosh et al. (1994) až 4,1 mg/l. Pitter (2007) uvádí koncentrace ve splaškových vodách z velkoměst s vysokou spotřebou pracích prostředků až 5 mg/l. Zvýšené obsahy bóru uvádí ve skládkových vodách v okolí deponií komunálního odpadu. Jezerský (1997) uvádí průměrné obsahy bóru ze skládek TKO 15,5 mg/l.

Limit koncentrace bóru pro povrchovou vodu v ČR je 0,3 mg/l. (vodárenské toky) a 0,5 mg/l (ostatní povrchové toky). Limity indikátorů znečištění podle Metodického pokynu MŽP ČR z roku 2013 je 3,1 mg/l. Všeobecně se koncentrace nad 0,5 mg/l dají považovat za indikátor antropogenního znečištění vody (Pitter 2007).

V pitné vodě je bór limitovaný nejvyšší mezní hodnotou 1 mg/l. Pro závlahovou vodu je doporučený limit 1 mg/l, v aridních oblastech s vysokým výparem jsou nevhodné obsahy v desetinách mg/l.

Z hygienického hlediska je bór ve vodách nevýznamný. Jeho význam roste jako indikátor vlivu skládek na hydrologický a hydrogeologický systém.

## VÝSLEDKY Z VYUŽITÍ BÓRU PŘI PRŮZKUMU KONTAMINOVANÝCH LOKALIT

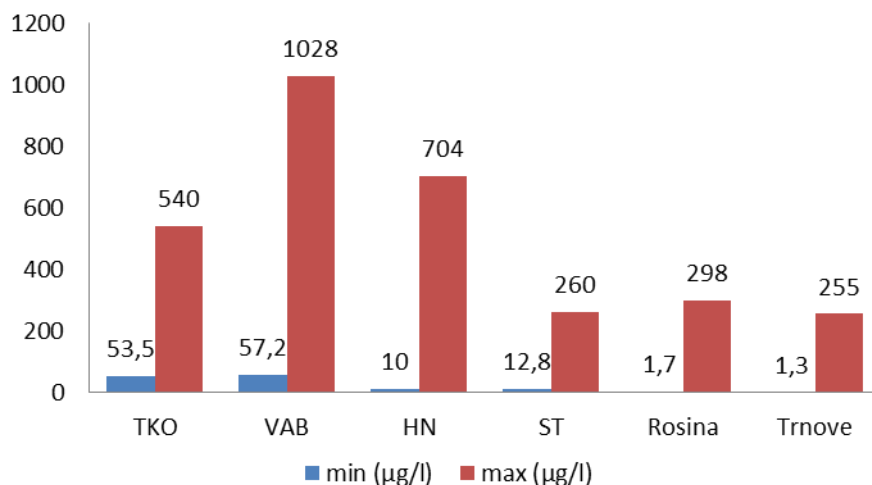
Při řešení problematiky environmentálních zátěží je důležité objektivně vyhodnotit vliv zdroje znečištění na kvalitu podzemní (nebo povrchové) vody jako jednoho z nejcitlivějších geofaktorů životního prostředí. Je nutné zvážit množství aspektů, které podmiňují míru a dosah ovlivnění přirozených parametrů vody. Způsob vyhodnocení je v principu založený na porovnávání vstupních hodnot – neovlivněných ukazatelů typických pro vodu v prostředí s hodnotami ve výstupní oblasti, přičemž samotný zdroj znečištění se nachází mezi těmito dvěma oblastmi. Při mapování rozsahu znečištění mají z množství ukazatelů vysokou výpovědní hodnotu zejména takové, které jsou pro hodnocení zdroj znečištění charakteristické, kontrastní vůči přirozeným hodnotám daného prostředí a jsou chemicky inertní, tj. co nejméně podléhají změnám při interakci proudící vody s horninovým prostředím.

Z průzkumů kontaminovaných lokalit se z množství sledovaných ukazatelů velmi dobře osvědčil bór. Zvýšené obsahy tohoto metaloidu jsme registrovali zejména v průsakových vodách ze skládek odpadů, a to jak komunálního, tak průmyslného. A také v úložištích popílku (odkalištích).

Na následujícím grafu jsou prezentovány naměřené minimální (pozadí) a maximální (zdroj znečištění) hodnoty bóru ve vodě a v zemině. Údaje byly získány při řešení geologické úlohy: Pravděpodobné EZ – průzkum na vybraných lokalitách Slovenské republiky, část 7.1 až 7.6.

V Tab. 1 jsou prezentovány typické max. a min. hodnoty bóru ve vymezených oblastech monitorovací sítě na dané monitorované lokalitě v ČR a SR.

*Obrázek č. 1: Příklady lokalit s obsahy bóru typickými pro pozadí (min) a pro zdrojovou oblast (max) ve vodě*



Poznámky:

TKO – starší skládka komunálního odpadu v Dežericích

VAB – bývalá skládka průmyslného odpadu v Dežericích, na skládku byl ukládaný kal z brusného skla, neutralizační kal s obsahem šestimocného chrómu a odpadové koncentráty a roztoky s obsahem solí kovů

HN – bývalé odkaliště popílku a škváry s nelegálně ukládaným organickým odpadem v Horných Našticích

ST – opuštěná skládka průmyslného odpadu s galvanickými kaly ve Staré Turé

Rosina – provozované odkaliště popílku v Žiline – část Rosina

Trnove – bývalé odkaliště popílku v Žiline – část Trnove

**Tab. 1: Typické hodnoty bóru v mg/l na vybraných monitorovaných lokalitách**

Lokalita	pozadí – podzemní voda	zdroj – průsaky	zdroj – podzemní voda	indikační oblast – podzemní voda	indikační oblast – povrchová voda
Skládka TKO Bláto	0,44	265,2	33,13	11,01	0,15
Skládka TKO Borek	0,05	12,63	0,25	0,11	0,05
Skládka TKO Lišov	0,05	14,36	0,09	0,05	3,29
Skládka TKO + NO Lodín	1,72	53,64	1,96	0,35	2,84
Skládka TKO Ďáblice	0,05	17,19	0,29	0,12	0,1
Skládka TKO Úholičky	0,05	14,85	1,73	0,08	2,15
Skládka TKO Uhy	0,05	3,66	0,16	0,08	-
Skládka TKO + NO Únanov	0,05	40,52	2,83	0,05	-
Skládka TKO Žabčice	0,08	8,29	0,13	0,08	-
Skládka TKO Ledce	0,05	17,62	9,81	0,33	0,05
Skládka TKO Nedaničky	0,05	8,99	0,65	0,05	0,05
Skládka TKO Valtice	0,05	-	28,2	-	-
Skládka gudronů Kamenolom Srdce	0,05	-	5,16	-	-
Skládka TKO Bošany – Babica	0,03	-	0,73	0,62	0,11
Skládka TKO Dunajská Streda	0,02	-	0,26	0,19	-
Skládka průmyslového odpadu Kalinovo	0,2	-	2,08	0,89	0,11
Skládka TKO Šulekovo	0,083	-	0,31	0,2	-
Skládka TKO Uzovská Panica	0,02	2,23	-	-	1,37
Skládka TKO Kropachy Halňa	0,014	-	0,48	0,18	-

## ZÁVĚR

Výsledky monitoringu skládek a odkališť (resp. průmyslných skládek) prokázaly řádově zvýšené obsahy bóru naměřené v indikačních oblastech v porovnání s obsahy reprezentujícími neovlivněné pozadí. Výsledky odpovídají dosud publikovaným pracím o významu bóru při identifikaci šíření znečištění.

Při šíření kontaminovaných průsaků v horninovém prostředí často dochází v důsledku atenuačních procesů k redukci signalizace znečištění kontrastujícího s hodnotami pozadí. Ze získaných informací o distribuci bóru na zkoumaných lokalitách vyplynulo, že schopnost indikovat znečištění má vzhledem k jeho vlastnostem především bór.

Kromě bóru je při daném typu znečištění důležité identifikovat určitou asociaci kontaminantů. Například skládky s komunálním odpadem často produkují zvýšené koncentrace Cl<sup>-</sup> a NH<sub>4</sub>. Na základě chování jednotlivých kontaminantů při transportních procesech v horninovém prostředí se potom dají komplexněji charakterizovat vlastnosti zkoumaného prostředí jako geobariéry.

Domníváme se, že bór se do prostředí dostává z odpadového materiálu po interakci s vodou primárně v důsledku rozpouštěcích procesů. Avšak tento mechanismus by si vyžadoval komplexnější charakteristiku, aby bylo možné určit reálný podíl bóru z předmětného odpadového materiálu.

## LITERATURA

JEZERSKÝ, Z. 1997: Význam bóru při monitorování antropogenních deponií. Vodní hospodářství 6/97, str. 195–197.

KLUKANOVÁ, A., IGLÁROVÁ, L., WAGNER, P., HRAŠNA, M., CIPCIAR, A., FRANKOVSKÁ, J., MIKITA, S., BAJTOŠ, P., SMOLÁROVÁ, H., GLUCH, A., VLČKO, J., BODIŠ, D., ONDRÁŠIK, M., ONDREJKA, P., LIŠČÁK, P., PAUDITŠ, P., PETRO, L., DANANAJ, I., HAGARA, R., MOCZO, P., LABÁK, P., KRISTEKOVÁ, M., FERIANC, D., VANKO, J., KOVÁČIKOVÁ, M., ZÁHOROVÁ, E., MATYS, M., GAJDOŠ, V., MASAROVICOVÁ, M., SLÁVIK, I., VYBÍRAL, V., RAPANT, S., GREIF, V., BRČEK, M., KORDÍK, J., SLANINKA, I., 2011: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory, správa za obdobie 2002 – 2009, čiastková záverečná správa. MŽP SR, ŠGÚDŠ, Bratislava

MATTHEWS, P.J. 1974: A Survey of the Boron Content of Certain Waters of the Greater London Area Using a Novel Analytical Method. Water Research, Vol. 8, pp. 1021–1028

OKAY, O. et al. 1985: Boron Pollution In the Simav River, Turkey And Various Methods of Boron Removal. Water Research, Vol. 7, pp. 857–862.

PITTER, P. 2009: Hydrochemie, 4. aktualizované vydání. VŠCHT Praha.

VENGOSH, A. et al. 1994: Boron Isotope Application for Tracing Sources of Contamination in Groundwater. Environ. Sci. Technol. Vol. 28, No. 11, pp. 1968–1974

VYBÍRAL, V., GAJDOŠ, V., MATYS, M., NÉMETHYOVÁ, M. 2005: Monitorovanie vplyvu environmentálnych záťaží na geologické činitele životného prostredia vo vybraných regiónoch Západných Karpát. SENSOR spol. s r.o. Bratislava.

WAGGOTT, A. 1969: An Investigation of the Potential Problem of Increasing Boron Concentrations In Rivers And Water Courses. Water Research, Vol. 3, pp. 749–765..