

# SROVNÁNÍ ZMĚN KVALITY VODY V POVRCHOVÉM TOKU A PRŮTOKU JESKYNNÍM SYSTÉMEM

Comparison of the water quality of surface flow and karst conduit flow

Kateřina Schrimpelová

Ústav chemie FAST VUT v Brně, Žižkova 511/17, Brno; e-mail: SchrimpelovaK@study.fce.vutbr.cz

(24-41 Vyškov)

**Key words:** Moravian-Silesian Paleozoic Basin, Moravian Karst, Jedovnice Brook, water quality

## Abstract

Karst rivers are special types of watercourses due to their hydrography characteristics. When rivers enter the karst, they usually disappear underground and flow through karst cavities. A self-purification of karst rivers is typically poor, because of cave conditions, e.g. absence of light and low temperature. The aim of this study is to compare surface and karst conduit flows via water quality measurement. For this purpose, two sections of the Jedovnice Brook in the Moravian Karst were chosen. First section was a part of an open channel, while the other one was a cave system Rudické propadání – Býčí skála. Measurements of water quality were provided every two weeks during 6 months at surface sampling points. Additional one-off samples were collected in the cave system. Flow rate, temperature, conductivity, dissolved oxygen concentration and pH were measured in-situ. Afterwards, content of solids, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand,  $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_2^-$ ,  $N-NO_3^-$ ,  $P-PO_4^{3-}$  and  $P_{total}$  were determined in the laboratory. According to the results of this study, quality of water in Jedovnice brook is already poor when it enters the Moravian Karst. In the surface section, the self-purification process is running well. Situation in the cave section is complicated due to underground tributaries with unknown water quality. Water leaving the cave system contains lower concentrations of the pollutants, however, overall mass flows are larger, which is evidence of pollution increase.

## Úvod

Krasové toky jsou specifické svými hydrografickými poměry a z hlediska znečištění velice zranitelné. Obvykle dochází k jejich propadání do podzemí a část toku probíhá v jeskynních dutinách, a to průtokem s volnou hladinou, nebo v tlakovém režimu. Podzemní tok většinou přibírá další přítoky a na vývěru vytéká voda v jiné kvantitě a kvalitě. Průtok podzemím je velmi rychlý, což krasovou oblast zcela odlišuje od jiných hydrogeologických rajónů podzemních vod. Povrchové vody, které se propadají do podzemí bez infiltrace přes půdní vrstvy, s sebou nesou veškeré znečištění.

Prostředí v jeskyních se značně liší od povrchových vod. Při průtoku podzemím je zejména z důvodu absence světla, a tím i fotosyntetizujících organismů, a nízké teploty ovlivněna jejich samočisticí schopnost. Odstraňování znečišťujících látek na bázi filtrace je v krasových dutinách, v porovnání s běžným průtokem horninovým prostředím, zanedbatelné (Taraba 1976). Jestli však dochází v jeskynním prostředí k samočisticím procesům a k jakým, nebylo dosud podrobně zkoumáno.

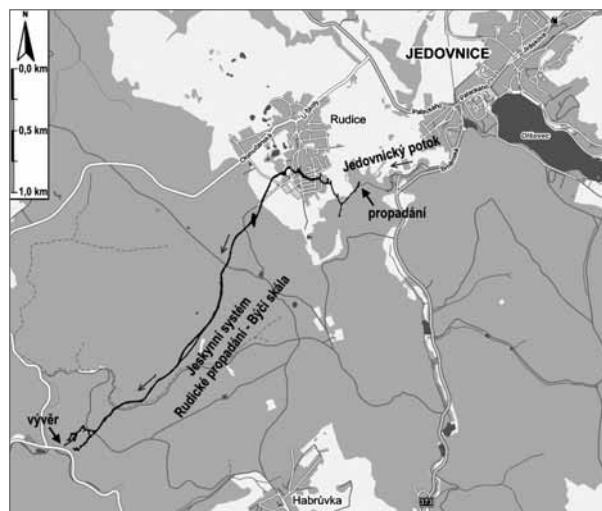
Cílem práce bylo porovnat průběh samočisticích procesů v povrchovém a podzemním úseku krasového toku, zejména se zaměřením na odstraňování nerozpuštěných látek, organických látek a živin. To bylo studováno na případu Jedovnického potoka na území CHKO Moravský kras.

## Zájmové území

Pro účely srovnání povrchového a podzemního toku byl vybrán Jedovnický potok na území Moravského krasu (obr. 1). Jedovnický potok pramení v oblasti kulmu Drahanské vrchoviny a protéká zde několika rybníky. Následně

u obce Jedovnice přitéká do střední části Moravského krasu, kde se propadá do podzemí a vytváří jeskynní systém Rudické propadání – Býčí skála. Před propadáním se do něj vlévá Rudický potok, který je antropogenním tokem, tvořeným převážně vodami z místní ČOV. Po průtoku podzemím Jedovnický potok vyvěrá na povrch skupinou vyvěraček u osady Josefov.

Jeskynní systém je vyvinut v devonských vápencích macošského souvrství. Má celkovou délku zhruba 13 km a jedná se o druhý nejdelší jeskynní systém v ČR. První část systému začíná ponorem, označovaným jako Rudické



Obr. 1: Mapa Jedovnického potoka a jeskynního systému Rudické propadání – Býčí skála v Moravském krasu.

Fig. 1: Map of the Jedovnice brook and the cave system Rudické propadání – Býčí skála in the Moravian Karst.

propadání, za nímž je vertikální vodopádová kaskáda o celkové hloubce cca 90 m. Dále je vytvořen horizontální jeskynní koridor, kde se nachází řada drobných i větších přítoků (Zeman – Bruthans 2007). Druhá část jeskynního systému, Býčí skála, je od Rudického propadání oddělena Srbským sifonem. Je výrazně méně členitá s chudší krápníkovou výzdobou a s podzemními přítoky vod.

Přítoky v jeskynním systému jsou obtížně monitorovatelné, jak z důvodu rozdílné a v čase se měnící kvantity a kvality, ale i samotného vytipování míst přítoků. Zeman a Bruthans (2007) prováděli monitoring 15 přítoků Jedovnického potoka v Rudickém propadání a jednoho významného přítoku v Býčí skále. Vydátnost přítoků byla zhruba 11–52 l s<sup>-1</sup> v závislosti na vodním stavu. Nejvýznamnější je přítok Stará řeka, u které byl zjištěn průtok až 401 s<sup>-1</sup>, takže může převyšovat průtok Jedovnického potoka. I chemické složení se u jednotlivých přítoků liší. U tří přítoků v Rudickém propadání byl zjištěn nízký obsah dusičnanů (1,1–5,6 mg l<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Všechny ostatní byly vyhodnoceny jako přítoky s vysokým obsahem znečištění, u kterých se obsah dusičnanů pohybuje v rozmezích 3,8–36,0 mg l<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Obsah dusičnanů ve Staré řece se pohyboval v rozmezí 13–20 mg l<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Hlavními zdroji znečištění Jedovnického potoka jsou komunální odpadní vody nebo splachy ze zemědělsky využívané půdy. Odpadní vody jsou zde sice čištěny na dvou čistírnách odpadních vod (ČOV Jedovnice a ČOV Rudice), může však docházet k nedostatečnému čištění, přepadům nařazených odpadních vod odlehčovacími komorami, případně k nelegálnímu vypouštění odpadních vod obyvateli obcí. K přínosům znečištění ze zemědělské půdy, které se vyznačují vysokým obsahem dusičnanů z hnojiv, může docházet nejen přímým splachem do vodního toku, ale i skrze závrtý nebo průsaky puklinami z plošiny nad jeskynním systémem. Zdrojem znečištění mohou být také rybníky výše po toku, postižené eutrofizací a výskytem vodního květu v letních měsících.

**Metodika**

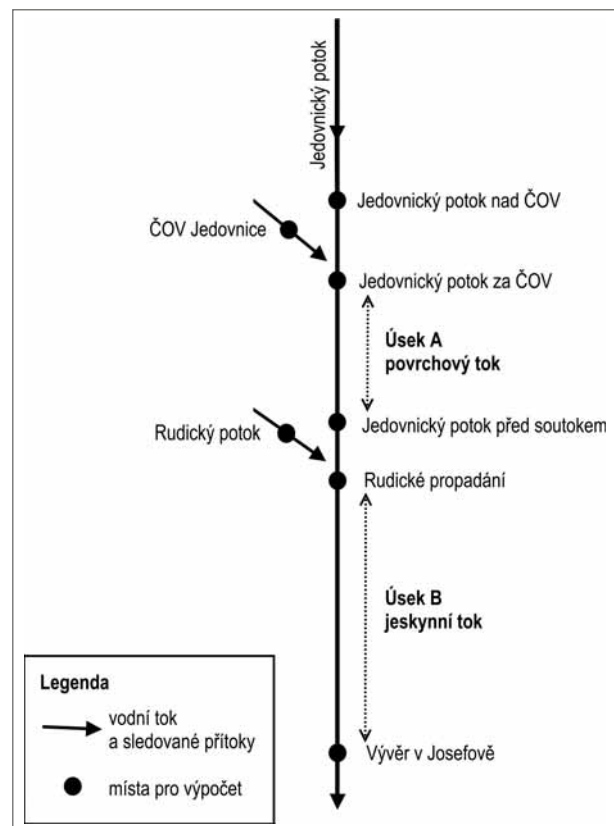
V období březen až srpen 2014 bylo provedeno 13 odběrů v intervalu 14 dnů ve vybraných místech toku a odtocích z ČOV. Také byly odebrány 4 vzorky vod přímo v jeskyních. V místě odběru byl zjišťován průtok (průřezové rychlosti měřeny Pitotovou trubicí). Přenosnou multiparametrickou sondou byla měřena teplota vody, elektrolytická konduktivita, koncentrace rozpuštěného kyslíku a hodnota pH. V odebraných vzorcích vody byl v laboratoři stanoven obsah nerozpuštěných látek (NL), chemická spotřeba kyslíku (CHSK<sub>Cr</sub>), biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>) a koncentrace vybraných forem dusíku a fosforu. NL byly měřeny gravimetricky, CHSK<sub>Cr</sub> semimikrometodou s fotometrickým vyhodnocením, BSK<sub>5</sub> standardní zředovací metodou, další parametry byly stanoveny absorpční spektrofotometrií – N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Nesslerovým činidlem, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> kyselinou sulfanilovou a 1-naftolem, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> salicylanem sodným, P<sub>celk</sub> po rozkladu činidlem Oxisolv (Merck) a P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> molybdenanem amonným. Hodnoty organického dusíku N<sub>org</sub> a celkového dusíku N<sub>celk</sub> byly dopočteny z naměřených hodnot.

Jako povrchový úsek (úsek A) Jedovnického potoka byl zvolen úsek začínající za odtokem z ČOV Jedovnice (GPS: N 49°20'4,66" E 16°44'49,53") a končící před soutokem s Rudickým potokem (GPS: N 49°19'57,63" E 16°44'01,69") o délce zhruba 1,3 km. Jedná se o přírodě blízký tok v převážně zalesněném území. Podzemní úsek (úsek B) byl zvolen od Rudického propadání, za soutokem s Rudickým potokem (GPS: N 49°19'57,36" E 16°44'00,28"), po vývěr u osady Josefov (GPS: N 49°18'30,02" E 16°41'31,70") o délce zhruba 4,3 km. Zjednodušené schéma situace Jedovnického potoka a jeho přítoků s vyznačením studovaných úseků je na obrázku 2.

**Výsledky a diskuze**

Pro zhodnocení celkové kvality vody Jedovnického potoka bylo provedeno srovnání výsledků s normami environmentální kvality (NEK) dle nařízení vlády č. 61/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, jež uvádí průměrné hodnoty (v případě teploty nejvyšší přípustnou hodnotu), které by neměly být překročeny.

Tabulka 1 uvádí průměry naměřených hodnot na začátku a konci povrchového úseku (úsek A) a jeskynního toku (úsek B). Také jsou zde uvedeny limitní hodnoty ukazatelů NEK. Hodnoty uvedené pro ponor Rudické propadání jsou vypočteny váženým průměrem hodnot Jedovnického a Rudického potoka před jejich soutokem. Tučně jsou vyznačeny hodnoty překračující NEK.



Obr. 2: Schéma studované části Jedovnického potoka v Moravském Krasu.

Fig. 2: Scheme of the studied part of the Jedovnice brook in the Moravian Karst.

Tab. 1: Průměry hodnot naměřených v koncových bodech úseků s vyznačením překročení norem environmentální kvality.  
 Tab. 1: Average values determined at the sections' endpoints with highlighted values exceeding standards of environmental quality.

Ukazatel		Průměry naměřených hodnot				
		NEK Limitní hodnota	Úsek A		Úsek B	
			Začátek Za odtokem z ČOV Jedovnice	Konec Před soutokem s Rudickým potokem	Začátek Ponor Rudické propadání	Konec Vývěr u osady Josefov
Q	[l s <sup>-1</sup> ]	-	17,4 <sup>1)</sup>	14,0	16,1 <sup>1)</sup>	36,0
κ	[μS cm <sup>-1</sup> ]	-	630	583	-	561
Rozp. O <sub>2</sub>	[mg l <sup>-1</sup> ]	> 9,00	7,18	8,94	-	9,32
T	[°C]	29,0 <sup>2)</sup>	18,3 <sup>3)</sup>	17,5 <sup>3)</sup>	-	13,5 <sup>3)</sup>
pH	[ - ]	6,90	7,30	7,55	-	7,24
NL	[mg l <sup>-1</sup> ]	20	16 <sup>4)</sup>	9 <sup>4)</sup>	30 <sup>1)</sup>	9 <sup>4)</sup>
CHSK <sub>Cr</sub>	[mg l <sup>-1</sup> ]	26	32	29	34 <sup>1)</sup>	15
BSK <sub>5</sub>	[mg l <sup>-1</sup> ]	3,8	7,3	5,8	6,5 <sup>1)</sup>	5,7
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	[mg l <sup>-1</sup> ]	0,23	2,10	0,90	1,10 <sup>1)</sup>	0,30
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	[mg l <sup>-1</sup> ]	-	0,1	0,1	0,2 <sup>1)</sup>	0,1
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	[mg l <sup>-1</sup> ]	5,4	4,8	4,6	13,7 <sup>1)</sup>	6,9
N <sub>org</sub>	[mg l <sup>-1</sup> ]	-	8,8	6,1	5,6 <sup>1)</sup>	5,5
N <sub>celk</sub>	[mg l <sup>-1</sup> ]	6,0	15,8	11,7	20,5 <sup>1)</sup>	12,4
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	[mg l <sup>-1</sup> ]	-	2,0	1,9	3,1 <sup>1)</sup>	0,9
P <sub>celk</sub>	[mg l <sup>-1</sup> ]	0,15	2,10	2,60	3,70 <sup>1)</sup>	1,50

Pozn.: <sup>1)</sup> vypočteno,  
<sup>2)</sup> nejvyšší přípustná hodnota,  
<sup>3)</sup> nejvyšší naměřená hodnota,  
<sup>4)</sup> extrémní hodnota vyřazena z průměru.

Při srovnání průměrů naměřených hodnot s NEK je kvalita vody v Jedovnickém potoce zhoršená v obou sledovaných úsecích. Jedná se zejména o nedosažení požadované koncentrace rozpuštěného kyslíku a překročení hodnot CHSK<sub>Cr</sub>, BSK<sub>5</sub>, N-NO<sub>4</sub><sup>+</sup>, N<sub>celk</sub> a P<sub>celk</sub>. Koncentrace naprosté většiny polutantů se v obou úsecích průtokem snižuje a koncentrace rozpuštěného O<sub>2</sub> roste. Po průtoku jeskynním systémem došlo vzhledem k NEK ke zlepšení u ukazatelů rozpuštěného kyslíku a chemické spotřeby kyslíku nad limitní hodnoty.

Dále byly vypočteny materiálové bilance sledovaných úseků. Nejprve byly koncentrace vynásobením s průtokem převedeny na hmotnostní tok. Poté byl rozdílem hmotnostního toku na začátku a na konci úseku zjištěn přírůstek nebo úbytek Δ. To bylo provedeno u každého

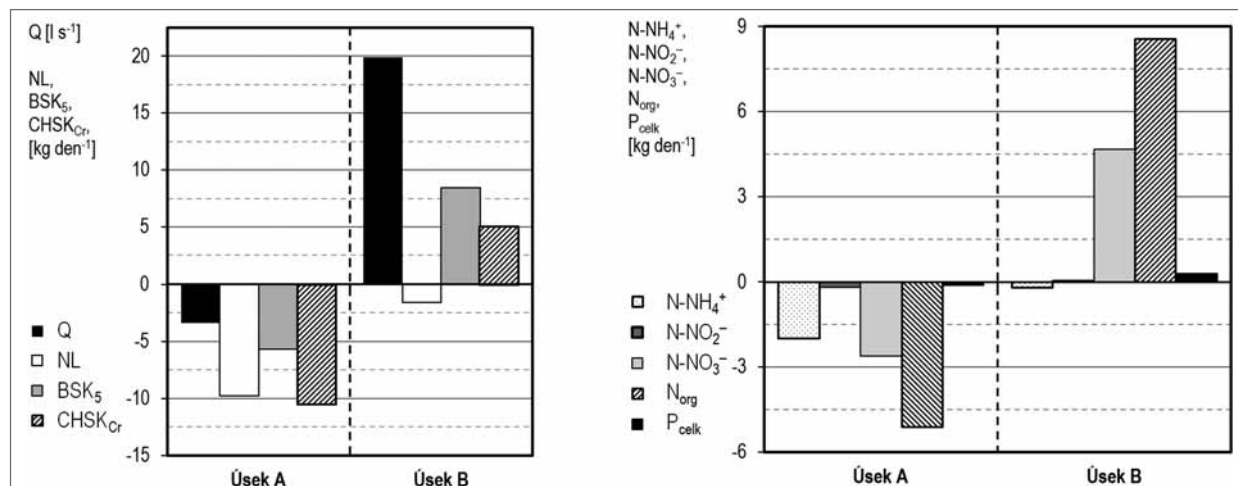
jednotlivého měření, ze kterých byl následně stanoven aritmetický průměr. Hmotnostní toky na začátcích úseků byly dopočítány součtem hmotnostních toků přítékajících vod. Postup výpočtu vychází ze situace, viz obrázek 2.

Bilance byly vypočteny z hmotnostních toků následovně:

$$\Delta\_A = (\text{Jedovnický p. nad ČOV} + \text{ČOV Jedovnice}) - \text{Jedovnický p. před propadáním}$$

$$\Delta\_B = (\text{Jedovnický p. před propadáním} + \text{Rudický p.}) - \text{Vývěr u Josefova}$$

Grafy zobrazující materiálové bilance polutantů a průtoků jsou uvedeny na obrázku 3. Kladné hodnoty



Obr. 3: Materiálové bilance polutantů v povrchovém úseku (A) a jeskynním úseku (B) Jedovnického potoka.  
 Fig. 3: Mass balances of pollutants in the surface section (A) and the cave section (B) of Jedovnice Brook.

představují hmotnostní množství dané látky, které na sledovaném úseku přibylo, záporné naopak značí úbytek.

Materiálové bilance vykazují rozdíly mezi oběma úseky. Na povrchovém úseku (úsek A) dochází k úbytku polutantů, což nasvědčuje tomu, že tento úsek toku má dobře zachovanou samočisticí schopnost. Také vykazuje mírné snižování průtoku, průměrně o  $3,41 \text{ s}^{-1}$ . Bilance jeskynního systému (úsek B) však o snížení znečištění v jeskynním systému nevypovídají. Dochází zde k nárůstu všech sledovaných parametrů, s výjimkou NL a  $\text{N-NH}_4^+$ . Bylo zde také zjištěno v průměru téměř dvojnásobné navýšení průtoku Jedovnického potoka (o  $201 \text{ s}^{-1}$ ).

V jeskynním toku (úsek B) koncentrace polutantů klesá směrem po toku, ale výsledky materiálové bilance nasvědčují nárůstu množství polutantů. Dle těchto výsledků je patrné, že nelze proces samočištění posuzovat pouze podle snížení koncentrace polutantů mezi koncovými body úseku, ale je nutné zohlednit také průtok.

Výsledky jednorázových odběrů přímo v jeskynním systému vykazují v Rudickém propadání nárůst koncentrace  $\text{N-NO}_3^-$  (průměrně o  $1,4 \text{ mg l}^{-1}$ ) a  $\text{N}_{\text{org}}$  (průměrně o  $5,0 \text{ mg l}^{-1}$ ) mezi Hugonovým dómem a sifonem u Chodby vzdechů, což přispívá k teorii přísunu znečištění podzemními přítoky a potvrzuje zjištění Zemana a Bruthanse (2007) o přítoku vod s vyššími obsahy dusičnanů. Tomu, že zdrojem znečištění mohou být také podzemní přítoky, nasvědčuje i materiálová bilance.

Vyřešení otázky samočištění v jeskynním systému je značně komplikované. To je dáno mísením vod s přítoky s různým stupněm znečištění (Zeman – Bruthans 2007) a tím, že zde pravděpodobně také dochází k některým procesům samočištění, které nejsou znemožněny podmínkami v jeskyních. Může zde probíhat například sedimentace, sorpce a omezeně i nitrifikace a denitrifikace (zpomalená

nízkou teplotou). Na vypočtené hodnoty materiálových bilancí může mít vliv také zdržení v tůních, kterými potok v jeskynním systému protéká.

### Závěr

Na základě dat, naměřených v průběhu půlročního monitoringu, byla posouzena hydrochemická jakost vod a samočisticí schopnost dvou úseků Jedovnického potoka. Jeden ze sledovaných úseků byl povrchový, ve druhém případě se jednalo o průtok Jedovnického potoka jeskynním systémem.

Jedovnický potok je značně znečištěný již při přítoku na území CHKO Moravský kras. Na sledovaném povrchovém úseku má zachovanu samočisticí schopnost, dochází k významnému snížení koncentrací i hmotnostních toků sledovaných znečišťujících látek. V jeskynním systému je posouzení samočisticí schopnosti komplikováno přítoky podzemních vod nezanedbatelného průtoku a neznámého složení. Lze konstatovat, že vody na vývěru mají nižší koncentrace sledovaných polutantů než v místě propadání, materiálové bilance však svědčí o nárůstu hmotnostních toků polutantů a tedy nárůstu znečištění. To se týká všech sledovaných polutantů s výjimkou nerozpuštěných látek a amoniakálního dusíku.

### Poděkování

Poděkování náleží především Pivovaru HEINEKEN Česká republika, a.s. za poskytnutí finančního příspěvku na monitoring čistoty vod a projektu „Institucionální podpora na rozvoj výzkumné organizace“. Dále pracovníkům Správy CHKO Moravský kras za spolupráci na odběru vzorků. A v neposlední řadě recenzentovi za připomínky vedoucí ke zkvalitnění práce.

### Literatura

- Nařízení vlády č. 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., 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, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.
- Taraba, J. (1976): Závěrečná zpráva o regionálním hydrogeologickém průzkumu Moravského krasu. – MS, závěrečná zpráva. Geotest, n. p. Brno.
- Zeman, O. – Bruthans, J. (2007): Skapové vody a přítoky v Rudickém propadání-Býčí skále: Vliv využití území nad jeskyní a otázka původu vod. – In: Bosák, P. (ed.): Speleofórum 2007, Sborník abstraktů, 105–108, Česká geologická společnost. Praha.