

Možnost využití důlních vod po těžbě rud jako alternativní zdroje pitné vody v období sucha

Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.¹, Ing. Iva Bestová, Ph.D.¹, Ing. Martina Juroková¹,
Bc. Petra Tučková¹, Ing. Milan Všeťečka², Ing. Karel Lusk²

¹VŠB – Technická univerzita Ostrava, Hornicko – geologická fakulta, 17. Listopadu 15,
708 33 Ostrava – Poruba, Česká republika

²Diamo, s. p., Máchova 201, 471 27, Stráž pod Ralskem,
silvie.heviankova@vsb.cz, iva.bestova@vsb.cz, martina.jurokova@seznam.cz, petra.tuckova.st@vsb.cz,
vsetecka@diamo.cz, lusk@diamo.cz,

Abstrakt

S přicházejícími změnami klimatu jsou spojené výskyty období sucha. Vzhledem k tomu, že polovina pitné vody je vyráběna z povrchových zdrojů, kde se sucho může projevit nejrychleji, včetně kvalitativních obtíží, je třeba hledat alternativní zdroje vod pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou v suchých obdobích. Jednou z možností je využití důlních vod v lokalitách s ukončenou těžbou rud. Byla provedena rešerše, na základě které byly vytipovány lokality vhodné pro potenciální využití těchto vod, přičemž hlavním kritériem výběru lokalit bylo akceptovatelné množství a kvalita důlních vod. Z výběru byly vyloučeny vody, které jsou radioaktivní. Ve vybraných lokalitách byly odebrány vzorky důlních vod, tyto byly podrobeny chemické analýze a výsledky byly zpracovány a porovnány s vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č.187/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č.252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Na základě tohoto srovnání byly posouzeny jednak vhodnost využití k výše uvedeným účelům a možnost úpravy každé konkrétní důlní vody s ohledem na problematické koncentrace sledovaných ukazatelů.

Abstract

Dry seasons occur along with changes in the climate. Considering the fact that a half of the drinking water is made from surface sources where the drought may manifest fastest, including quality problems, it is vital to search for alternative water sources to supply drinking water to citizens in dry seasons. Utilization of mine water in localities with former ore mining may be an option. Research was carried out which identified localities suitable for potential utilization of such water, where the major selection criteria for the localities were acceptable quantities and qualities of the mine waters. Radioactive water was excluded from the list. Mine water samples were drawn in selected localities and they underwent chemical analyses. The results were processed and confronted with the Decree of Ministry of Health 187/2005 Coll., amending the Decree 252/2004 Coll., determining sanitary requirements for drinking and heated water and frequency and extent of drinking water checks. On the grounds of the comparison, the suitability for the above mentioned purposes was considered as well as possible treatment of specific mine waters was examined with respect to problematic concentrations of observed markers.

Keywords: mine water, ores, water sources

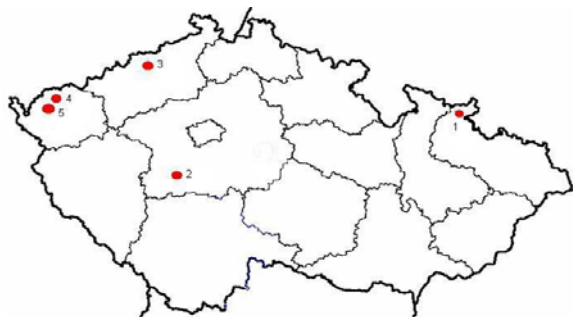
1 Úvod

Z hydrogeologického hlediska pojem důlní voda označuje všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů bez ohledu na to, zda se tak stalo průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku, nebo prostým vtékáním srážkové vody a to až do spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami (dle § 40 odst. 1 zákona č. 44/1988 Sb. o ochraně a využití nerostného bohatství ve znění zákona č. 132/2000 Sb. a zákona č. 258/2000 Sb. - dále jen horní zákon).

V praxi to znamená, že voda, která je na důlních podnicích čerpána z žumpových překopů na povrch a následně vypouštěna do povrchových vodotečí jako voda důlní, je v podstatě směsí veškerých vod, které se do důlních prostor dostaly, bez ohledu na to, jestli se tak děje přítoky z geologických struktur horninového prostředí (přírodní zdroje důlních vod), nebo dodávkami užitkové a provozní vody v souvislosti s technologií dobývání uhlénného ložiska. Výhodou u důlních vod po těžbě rud je fakt, že těžba v lokalitách je ukončená a je tedy malá pravděpodobnost kontaminace přírodních zdrojů důlních vod vodami vznikajícími v rámci dobývání ložiska.

Za akceptovatelné množství vody byl zvolen průtok $430\,000\text{ m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$. Z podkladů získaných od státního podniku Diamo týkajících se informací o množství a složení důlních vod, které jsou v jeho správě, byly pro odběr vzorků zvoleny lokality (viz obr. 1 Mapa lokalit):

1. Zlaté Hory;
2. Příbram - Dědičná štola
3. Teplice - Vrchoslav (Štola 5.květen)
4. Oblast Kraslice – Šlikova štola
5. Oblast Kraslice – Rotava komín



Obr. 1: Mapa lokalit odběru důlních vod

Bodové vzorky byly odebrány v říjnu 2011, po odběru byly zakonzervovány a převezeny do akreditované laboratoře, kde byly analyzovány. Ve vodě byly stanoveny tyto vybrané ukazatele:

barva, zákal, vodivost, pH, kyselinová neutralizační kapacita ($\text{KNK}_{4,5}$), zásadová neutralizační kapacita ($\text{ZNK}_{8,3}$), absorpance (254 nm), vápník a hořčík, vápník, hořčík, chloridy, sírany, fluoridy, dusičnany, amonné ionty, celkový dusík, celkové fosforečnany, celkový fosfor, huminové látky, celkový organický uhlík (TOC), chemická spotřeba kyslíku (CHSK_{Cr} , CHSK_{Mn}), biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5), rozpuštěné látky ($\text{RL}_{105^\circ\text{C}}$), rozpuštěné anorganické soli (RAS), nerozpuštěné látky ($\text{NL}_{105^\circ\text{C}}$), nerozpuštěné látky ($\text{NL}_{550^\circ\text{C}}$), železo, mangan, hliník, zinek, měď, olovo, arsen, fluoridy, kadmium, rtuť, nikl a cín. Naměřené hodnoty byly porovnány s legislativními požadavky na pitnou vodu.

Pro posouzení naměřených hodnot je nutné uvést základní pojmy dle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č.187/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č.252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, a to:

- *nejvyšší mezní hodnota* (NMH) je hodnota jakosti ukazatele pitné vody, jejíž překročení znamená vyloučení použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví jinak.
- *mezní hodnota* (MH) je hodnota organoleptického ukazatele jakosti pitné vody, jejich přírodních součástí nebo provozních parametrů, jejíž překročení obvykle nepředstavuje aktuální zdravotní riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jde o horní hranici rozmezí přípustných hodnot.
- *doporučená hodnota* (DH) je nezávazná hodnota ukazatele jakosti pitné vody, která stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace této látky [1].

Pitná voda musí vyhovovat mikrobiologickým, biologickým, chemickým, fyzikálním a radiologickým požadavkům [1]. Dle Přílohy č.1 Vyhlášky 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, jsou v tabulce 1 uvedeny limity pro vybrané ukazatele, které byly sledovány ve vzorcích odebraných důlních vod.

Tab. 1: Vybrané fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity [2]

Ukazatel	Jednotky	Limit	Typ limitu
barva	mgPt.l ⁻¹	20	MH
zákal	ZF	5	MH
vodivost	mS.m ⁻¹	125	MH
pH		6,5 - 9,5	MH
CHSK _{Mn}	mg.l ⁻¹	3	MH
vápník a hořčík	mmol.l ⁻¹	2 - 3,5	DH
vápník	mg.l ⁻¹	40 - 80	DH
hořčík	mg.l ⁻¹	20 - 30	DH
chloridy	mg.l ⁻¹	100	MH
sírany	mg.l ⁻¹	250	MH
fluoridy	mg.l ⁻¹	1,5	NMH
dusičnany	mg.l ⁻¹	50	NMH
amonné ionty	mg.l ⁻¹	0,5	MH
TOC	mg.l ⁻¹	5	MH
železo	mg.l ⁻¹	0,2	MH
mangan	mg.l ⁻¹	0,05	MH
hliník	mg.l ⁻¹	0,2	MH
měď	mg.l ⁻¹	1	NMH
olovo	mg.l ⁻¹	0,01	NMH
kadmium	mg.l ⁻¹	0,005	NMH
arsen	mg.l ⁻¹	0,01	NMH
rtuť	mg.l ⁻¹	0,001	NMH
nikl	mg.l ⁻¹	0,02	NMH

DH - doporučená hodnota, MH - mezní hodnota, NMH - nejvyšší mezní hodnota

Některé sledované ukazatele v důlní vodě nejsou limitovány v požadavcích na pitnou vodu, jako například zinek, cín, BSK₅, fosforečnany. Hodnoty těchto ukazatelů se sledují při posuzování vhodnosti využití vod jako potenciálního zdroje pro zajištění pitné vody.

Dnešní moderní technologie dokáží upravit důlní vody do požadované kvality, a proto lze rozšířit jejich využívání např. v zemědělství, případně v některých průmyslových oblastech. Další z možností je také využití důlních vod jako alternativního zdroje pitné vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. V souvislosti s tímto je třeba uvést, že průměrná spotřeba pitné vody na obyvatele (v kategorii domácnosti, bez ostatních odběratelů) činí cca 40 m³ za rok. Z toho lze usoudit, pro jaký počet obyvatel mohou být zdroje důlních vod využitelné.

2 Důlní vody z vybraných lokalit

2.1 Důlní vody z lokality Zlaté Hory

V minulosti se ve Zlatých Horách těžily zlato, měď, olovo, stříbro, železo a zinek. Dle informací získaných od společnosti Diamo, s.p. se nepředpokládá, že v budoucnu dojde k výrazné změně v množství vytékajících surových důlních vod ze zatopeného zlatohorského ložiska a dále se předpokládá, že kvalita jednotlivých sledovaných ukazatelů v surových důlních vodách by se měla s časem postupně mírně zlepšovat. Důlní vody jsou v současnosti čištěny na čistírně důlních vod, na kterou natékají odvodňovací štolou z propojených ložisek a rovněž jsou zde svedeny průsakové vody ze zrekultivovaného odkaliště. Princip technologie čištění těchto vod spočívá v dávkování vápenného mléka a sedimentaci kalu. Upravená voda je vypouštěna do vodoteče Zlatý potok [3,4].

Pro posouzení důlních vod byly odebírány vzorky na vstupu i výstupu z ČDV. Voda na vstupu do ČDV nevykazuje enormní zatížení u sledovaných ukazatelů. Faktický význam pro následnou úpravu má kvalita vody vypouštěné z ČDV a to z toho důvodu, že návrh technologie na zajištění kvalitativně lepší vody bude doplňovat stávající technologii. Roční průtok důlních vod, vztaženo k roku 2011, je v této lokalitě cca 3 341 000 m³. Jako potenciální zdroj vody ho lze využít pro cca 83 525 obyvatel. Vzhledem k velkému množství výsledků budou dále v textu uvedeny vždy pouze hodnoty těch ukazatelů, u kterých byly naměřeny nadlimitní koncentrace v porovnání s legislativními požadavky na pitnou vodu. V tabulce 2 jsou uvedeny ukazatele s nadlimitní koncentrací v důlních vodách odtékajících z úpravný s porovnání s požadavky na pitnou vodu.

Tab. 2: Ukazatelé s nadlimitními hodnotami v důlní vodě Zlaté Hory v porovnání s legislativními požadavky na pitnou vodu

Ukazatel	Jednotka	Požadavky na pitnou vodu [2].	Důlní vody Zlaté Hory
vápník	mg.l ⁻¹	40 - 80	108,22
hořčík	mg.l ⁻¹	20 - 30	36,7
sířany	mg.l ⁻¹	250	366
železo	mg.l ⁻¹	0,2	0,35
mangan	mg.l ⁻¹	0,05	1,178

Na výstupu z úpravný důlních vod jsou nadlimitní koncentrace vápníku, hořčíku, síranů, železa a manganu. Tyto mírně překračují mezní hodnoty uvedených ukazatelů. Z výše

uvedené informace, že překročení mezní hodnoty nepředstavuje aktuální zdravotní riziko lze usoudit, že použití této vody po doplnění technologie úpravy k výše zmiňovaným účelům je potenciálně možné a vhodné. Úprava na požadovanou kvalitu by neměla být technicky ani technologicky náročná. Procesy, které se mohou při úpravě testovat, jsou srážecí, sorpční případně membránové.

2.2 Příbram - Dědičná štola

V okolí Příbrami, konkrétně na Březových Horách a v Bohutíně, byly hlubinně těženy především stříbro, dále olovo a zinek. Důlní vody z březohorského a bohutínského revíru jsou odváděny Dědičnou štolou Císaře Františka Josefa I. do toku Litavka v Trhových Dušnicích. [5, 6]. Na obrázcích 2 a 3 jsou fotografie pořízené na výtoku důlních vod.



Obr. 2,3: Příbram - Dědičná štola: výtok (vpravo) důlní vody do toku Litavka (vlevo).

Roční průtok důlních vod v této lokalitě je, vztaženo k roku 2011, 533 905 m³. Jako potenciální zdroj vody ho lze využít pro cca 13 347 obyvatel. V porovnání s tabulkou vybraných fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů pitné vody a jejich hygienických limitů je zřejmé, že v důlní vodě jsou překročeny mezní hodnoty pro vápník, hořčík a sírany. Byla zde naměřena nadlimitní koncentrace olova, přičemž byla překročena nejvyšší mezní hodnota a vodu nelze bez odstranění olova použít jako vodu pitnou. Dále zde byly naměřeny zvýšené hodnoty BSK₅, amonných iontů a fosforečnanů. Pokud bychom srovnali, byť se jedná o vody důlní s normou ČSN 757221 Klasifikace jakosti povrchových vod, pak lze tyto vody zařadit do III. třídy – znečištěné vody.

Fosforečnany v podzemních vodách mají indikační význam. Svědčí o možnosti fekálního znečištění případně znečištění způsobené fosforečnými hnojivy. Hygienický význam fosforečnanů ve vodách je malý. Jsou zdravotně nezávadné a v požadavcích na jakost pitné vody a balených vod nejsou uvedeny [5].

V požadavcích na pitnou vodu je požadavek na koncentraci amonných iontů do 0,5 mg.l⁻¹. Z výsledků rozborů získaných od společnosti Diamo, s. p. je zřejmé, že hodnoty BSK₅ jsou sledovány dlouhodobě a koncentrace jsou vždy nižší než námi naměřená hodnota. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 3.

Tab. 3: Ukazatelé s nadlimitními hodnotami v důlní vodě Příbram - Dědičná štola v porovnání s legislativními požadavky na pitnou vodu

Ukazatel	Jednotka	Požadavky na pitnou vodu [2]	Důlní voda Příbram – Dědičná štola
vápník	mg.l ⁻¹	40 - 80	129,06
hořčík	mg.l ⁻¹	20 - 30	64,65
sírany	mg.l ⁻¹	250	530,9
olovo	mg.l ⁻¹	0,01	0,02
BSK ₅	mg.l ⁻¹		5
amonné ionty	mg.l ⁻¹	0,5	1,81
fosforečnany	mg.l ⁻¹		5

Na základě zjištěných hodnot BSK₅, která udává míru koncentrace biologicky rozložitelných organických látek, a koncentrace amonných iontů, lze zařadit tyto vody do kategorie A3, což jsou vody, podle ukazatelů jakosti surové vody (podzemní a povrchové) u kterých se předpokládá využití jako vody pitné, vyžadující rozšířenou intenzivní fyzikální a chemickou úpravu a dezinfekci. Tyto hodnoty pravděpodobně svědčí o kontaminaci podzemních vod splachy ze zemědělsky obdělávané půdy [1].

2.3 Teplice - Vrchoslav (Štola 5.květen)

V této lokalitě byla v minulosti hlubinná těžba rud cínu a molybdenu, živce a fluoritu. Důlní vody jsou vypouštěné z bývalého dolu Vrchoslav do Zalužanského potoka. Roční průtok je zde, vztaženo k roku 2011, 520 344 m³. Jako potenciální zdroj vody ho lze využít pro cca 13 008 obyvatel. V tabulce 4 jsou uvedeny ukazatele, u kterých byla v porovnání s požadavky na pitnou vodu překročena mezní hodnota.

Tab. 4: Ukazatelé s nadlimitními hodnotami v důlní vodě z bývalého dolu Vrchoslav v porovnání s legislativními požadavky na pitnou vodu

Ukazatel	Jednotka	Požadavky na pitnou vodu [2]	Důlní vody Teplice – Vrchoslav
fluoridy	mg.l ⁻¹	1,5	3,74
hliník	mg.l ⁻¹	0,2	0,21

V případě hliníku se jedná o zanedbatelné překročení mezní hodnoty. Fluoridy přesáhly nejvyšší mezní hodnotu o více než 2 mg.l⁻¹. Úprava důlní vody v případě použití jako vody pitné by měla být zaměřena především na snížení koncentrace fluoridů. Naměřená koncentrace fluoridů řadí tuto vodu mezi tzv. fluorové vody. Pro balené přírodní minerální vody je nejvyšší přípustná hodnota 5 mg.l⁻¹ [1], tzn., že je možné využít jako vody minerální. Rovněž by bylo možné touto vodou dotovat zdroj pitné vody v poměru, který zhodnotí její vlastnosti.

2.4 Oblast Kraslice - Abertamy - Šlikova štola

Jedná se o vypouštění důlních vod z bývalého dolu Jeroným v Abertamech (Krušné Hory). Důlní vody jsou z tohoto bývalého dolu odváděny Šlikovou štolou. Bylo zde těženo stříbro. Šachty byly odvodňovány hlavním odvodňovacím dílem, kterým byla štola hraběte Vavřince Šlika, tzv. Šlikova štola. Tato byla po ukončení těžby zaslepena a o jejím spojení s podzemím svědčí již jen silný proud vody [7]. Roční průtok důlní vody, vztaženo k roku 2011, je 1 835 395 m³. Jako potenciální zdroj vody ho lze využít pro cca 45 880 obyvatel. Na obrázku 4 je fotografie pořízená na výtoku důlní vody.



Obr. 4: Výtok důlní vody – Šlikova štola

V tabulce 5 jsou opět uvedeny nadlimitní koncentrace naměřené v důlní vodě v porovnání s hodnotami ukazatelů jakosti pitné vody.

Tab. 5: Ukazatelé s nadlimitními hodnotami v důlní vodě ze Šlikovy štol v porovnání s legislativními požadavky na pitnou vodu

Ukazatel	Jednotka	Požadavky na pitnou vodu [2]	Důlní vody Šlikova štola
vápník	mg.l ⁻¹	40 - 80	101,4
mangan	mg.l ⁻¹	0,05	0,132
nikl	mg.l ⁻¹	0,02	0,097

Z výsledků je zřejmé, že jsou mírně překročeny mezní hodnoty pro vápník a mangan. Dále je překročena nejvyšší mezní hodnota pro nikl. Úprava této důlní vody by měla být zaměřena především na snížení koncentrace niklu použitím například srážecích nebo sorpčních procesů.

2.5 Oblast Kraslice – Rotava komín

Město Rotava leží na jižních svazích Krušných hor. Těžila se zde wolframová ruda. Důlní vody z bývalého důlního díla Rotava – šurf Zdař Bůh vytékají do místní vodoteče. Výtok důlních vod z komína č. 12 je sveden šterkovým záhozem do výtokové jímky, kde se vzorkuje, ve společnosti Diamo, s. p. je lokalita označena jako Rotava komín viz foto pořízené při odběrech na obrázku. Roční průtok důlních vod, vztaženo k roku 2011, je 753 710 m³. Tento zdroj je potenciálně využitelný pro cca 18 842 obyvatel. Ukazatele, u nichž naměřená hodnota nesplňovala požadavky na jakost pitné vody, jsou uvedeny v tabulce 6.



Tab. 6: Ukazatelé s nadlimitními hodnotami v důlní vodě Rotava Komín v porovnání s legislativními požadavky na pitnou vodu

Ukazatel	Jednotka	Požadavky na pitnou vodu [2]	Důlní vody Rotava Komín
pH		6,5 - 9,5	6,1
vápník	mg.l ⁻¹	40 - 80	80,96
hořčík	mg.l ⁻¹	20 - 30	35,75
mangan	mg.l ⁻¹	0,05	0,068

Z tabulky je patrné, že jsou mírně překročeny pouze mezní hodnoty pro pitnou vodu, a to u vápníku, hořčíku a manganu. Naopak hodnota pH je nižší než mezní hodnota pro pitnou vodu. Tato důlní voda je pro potenciální využití jako vody pitné vhodná.

3 Závěr

Důlní vody za určitých podmínek mohou sloužit jako zdroj pitné vody při jejím nedostatku. Vody, které vyvěrají jako důsledek ukončené těžby rud, se v současnosti vypouští bez úpravy nebo s úpravou do vodotečí. Některé z nich mají takové složení, že jsou využitelné pro výše zmíněné účely zařazením procesů prosté filtrace a hygienizace. Některé vyžadují více stupňů úpravy, jako například srážení nebo sorpci. Výhodou je fakt, že tyto vody nejsou zpravidla zatíženy organických znečištěním, jako tomu bývá u vod povrchových. Předložené výsledky budou sloužit jako podklad pro následný výzkum, jehož výsledkem budou postupy, jak co nejjednodušší technologií zajistit pitnou vodu ze sledovaných lokalit. Upravená důlní voda bude rovněž podrobena mikrobiologickému rozboru.

Předložený článek byl zpracován za podpory Národní agentury pro zemědělský výzkum Ministerstva zemědělství ČR v rámci QI 112A132.

Literatura

1. Pitter, P.: *Hydrochemie*. 4. aktualizované vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2009, ISBN 978-80-7080-701-9.
2. Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
3. Kalenda, F.: *Stručný přehled geologických poměrů zlatohorského rudního revíru*. Minerál, České Budějovice: Jihočeský mineralogický klub o. s, 1998, roč. 6, č. 3, s. 171 - 176
4. Moravec, R.: *Průzkum důlních vod lokality Zlaté Hory-Příčný vrch*, bakalářská práce, 2011. [cit. 2012-04-01].
5. Polymetalický rudní revír Březové Hory [online]. [cit. 2012-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.kamenet.cz/kz/pribramh.htm>>
6. Diamo, Příbram [online]. [cit. 2012-06-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.diamo.cz/pribram-rudy>>
7. 475 let historie města Abertamy [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z WWW: <http://abertamy.wbs.cz/turisticke_zajimavosti/475_let_historie_abertam.pdf>