

HODNOCENÍ ZDROJŮ NOUZOVÉHO ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU NA BÁZI ANALÝZY RIZIK. KVALITA VODY.

**František Božek ¹⁾, Adam Pawelczyk ²⁾, Magdaléna Náplavová ¹⁾, Alexandr Božek ³⁾,
Michael Pondělíček ⁴⁾**

- ¹⁾ Univerzita obrany, Fakulta vojenského leadershipu, Katedra krizového řízení,
Kounicova 65, 662 10 Brno, Česká republika
email: magdalena.naplavova@unob.cz, tel: +420 973 442 097
- ²⁾ Technologiczna uczelnia Wrocław, Wydział chemii, Katedra chemii anorganicznej,
Norwida 4/6, 50-373 Wrocław, Polska
- ³⁾ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního
inženýrství, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika
- ⁴⁾ Vysoká škola regionálního rozvoje v Praze, Katedra regionálního rozvoje,
Žalanského 68/54, 163 00 Praha 17 – Řepy, Česká republika

Souhrn

V regionu města Vyškov bylo vybráno sumárně 43 zdrojů podzemní vody potenciálně využitelných pro nouzové zásobování obyvatelstva. Z těchto zdrojů bylo 28 vyloučeno, ať již z aspektu zvýšeného rizika vůči přírodním pohromám, dosažitelnosti, dopravní dostupnosti, nedostatku vydatnosti či ekonomickým nákladům na zprovoznění zdroje. 15 zbylých zdrojů podzemní vody bylo hodnoceno z aspektu kvality vody, u nichž bylo sledováno celkově 72 limitních indikátorů. Z těchto 15 zdrojů byly dva vyloučeny z užití, neboť nesplňovaly některý z výše uvedených indikátorů rozšířené analýzy vody. Zbylých 13 zdrojů bylo podrobeno analýze zdravotního rizika v relaci ke kontaminaci vody arsenem, olovem, kadmii, rtuť, niklem a manganem. Analýza zdravotního nekarcinogenního i genotoxického rizika prokázala, že všech zbylých 13 vodních zdrojů splňuje vzhledem ke koncentraci těchto cíleně vybraných elementů zdravotní nezávadnost a může být zařazena do krizových plánů. Současně byly na bázi analýzy zdravotního rizika vypočteny kritické koncentrace pro zmíněné kovy, které by neměly být překročeny ani v případě nouzového zásobování.

Klíčová slova: hodnocení zdravotních rizik, těžké kovy, zdroj podzemní vody.

Summary

In the region of Vyškov have been selected 43 groundwater resources to be potentially used for emergency supply for population. Of these resources, 28 were excluded, either from the aspect of increased risk to natural disasters, availability, accessibility, lack of yield and economic costs for launching sources. 15 remaining groundwater resources have been evaluated for aspect of water quality, which were monitored by 72 overall limit indicators. Of these 15 sources, two sources were excluded from use, because did not meet any of the indicators of extended water analysis mentioned above. The remaining 13 sources were subjected to analysis of health risk in relation to water contamination of arsenic, lead, cadmium, mercury, nickel and manganese. Analysis of non-carcinogenic and genotoxic health risks showed that all 13 of the remaining water resources meets due to the concentration of these elements specifically selected for safety and can be included in the contingency plans. At the same time based on the analysis of the health risk were calculated critical concentration for mentioned metals, which should not be exceeded even in the event of emergency supplies. for mentioned metals, which should not be exceeded in the event of emergency supplies.

Keywords: health risk assessment, heavy metals, groundwater resource.

Úvod

Přestože je zásobování obyvatelstva pitnou vodou jedním z klíčových pododvětví kritické infrastruktury, nebyla ochraně veřejné vodovodní sítě a procesu nouzového zásobování obyvatelstva ještě na počátku tohoto milénia věnována adekvátní pozornost. Teprve hodnocení ekonomických, sociálních, zdravotních a ekologických rizik přiznalo dané problematice skutečný význam. Riziko, že zejména antropogenní, ale i přírodní zdroje nebezpečí se stanou příčinou vzniku mimořádné události nebo krizové situace s lavinovitě se šířícími škodami, při nichž bude nezbytné zajistit i plynulou dodávku pitné vody v potřebném množství a kvalitě, se permanentně zvyšuje [1].

Bude-li v průběhu mimořádných událostí či krizových situací přerušena dodávka pitné vody z distribučního systému, dojde k paralýze běžného života obyvatelstva, výrobních procesů využívajících pitnou vodu, ohrožení provozu zdravotnických zařízení, včetně paralýzy požárního zabezpečení zastavěného území a průmyslových areálů [2]. K úspěšnému zvládnutí situace může vést využití záložních, zvláště podzemních zdrojů pitné vody [1]. Aby však mohly být zdroje podzemní vody efektivně využity, musí být zaneseny do krizových plánů a hlavně, co je důležité z aspektu rozhodovacích procesů, klasifikovány na bázi analýzy rizika [1].

Jedním z rozhodujících kritérií pro klasifikaci zdrojů určených pro nouzové zásobování obyvatelstva pitnou vodou v době mimořádných a krizových situací je kvalita vody podzemního zdroje [1]. Existuje řada polutantů, jejichž výskyt v pitné vodě může konzumentům přivodit vážné zdravotní problémy [3, 4]. Významnou skupinu znečištění v tomto smyslu představují kationty a sloučeniny kovů. Smyslem tohoto příspěvku je hodnocení zdravotních rizik a kvality vody podzemních zdrojů potenciálně vytipovaných pro nouzové zásobování z aspektu kontaminace vody vybranými kovy.

Analýza současného stavu

Součástí mimořádných událostí či krizových situací bývají často i havarijní situace v oblasti zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Jejich řešení bývá ponejvíce specifické v závislosti na charakteru primární události. Rychlé a efektivní rozhodování tak bývá výrazně individuální a musí reflektovat znalosti konkrétní situace a místních podmínek [5]. Nicméně rychlému a úspěšnému zvládnutí situace mohou významně napomoci preventivní opatření, jejichž nedílnou součástí je pečlivé vymezení náhradních zdrojů vody v krizových plánech [6].

Otázce nouzového zásobování vodou se věnují státní, privátní i neziskové organizace a sdružení. Jejich přístupy jsou odlišné. Většina států však přenáší nemalou odpovědnost za nouzové zásobování vodou z veřejné sféry na občana. Předpokládá se, že každá domácnost si jako součást přípravy na mimořádnou událost pořídí dostatečnou zásobu vody podle počtu obyvatel v domácnosti a domácích zvířat. Někteří autoři doporučují, aby si postižení obyvatelé v průběhu přerušení dodávek pitné vody upravovali surovou vodu v domácnostech sami [7] a poskytují návody, jak v takovýchto případech postupovat [8]. Také US EPA zveřejňuje na svých webových stránkách detailní návody, jak se má obyvatelstvo zachovat v době krize, nemá-li k dispozici dostatek balené vody, případně není-li možno vodu dezinfikovat varem [9].

V České republice je systém nouzového zásobování pitnou vodou v gesci Ministerstva zemědělství. Po vyhlášení krizového stavu a přerušení dodávek pitné vody je aktivován systém nouzového zásobování vodou, který zajišťují orgány kraje a obcí prostřednictvím Služby nouzového zásobování vodou. Ta musí zahájit své aktivity nejpozději do pěti hodin od vzniku mimořádné události nebo krizové situace, pokud tato událost či situace negativně ovlivňuje zásobování obyvatelstva vodou nebo lze tuto skutečnost předpokládat [10].

Výkonnými subjekty Služby nouzového zásobování vodou jsou právnické a podnikající fyzické osoby smluvně na ni vázané, jimiž jsou zejména vlastníci a provozovatelé vodovodů a provozovatelé technických zařízení na náhradní úpravu surové vody [10]. Patří sem i osoby a subjekty stanovené vodoprávním úřadem podle vodního zákona [11].

Proces efektivního zásobování obyvatelstva pitnou vodou odpovídající kvality v období vyřazení veřejného vodovodního systému vyžaduje mít v krizových plánech vymezené disponibilní zdroje

podzemních vod, ideálně klasifikované na bázi analýzy rizik. Důležitými faktory pro takovouto klasifikaci jsou zejména hodnocení přírodních a antropogenních rizik, kvalita vody, dostupnost, dosažitelnost, vydatnost a náklady týkající se zprovoznění zdroje [1, 12].

V souladu s národní legislativou je nezbytné, aby vodní zdroj byl schopen zajistit při mimořádné události či krizi minimální dodávku pitné vody objemu $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{osoba}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ pro první dva dny a $10\text{--}15 \text{ dm}^3 \cdot \text{osoba}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ v dalším období [10].

Při výběru podzemního zdroje vod pro účely nouzového zásobování stejně jako po jeho zařazení do krizového plánu je nezbytné permanentně monitorovat kvalitu jeho vody. Je třeba sledovat fyzikální, chemické, biologické a mikrobiologické ukazatele, včetně organoleptických vlastností [13]. Jestliže voda i po běžné úpravě sedimentací, filtrací, koagulací, flokulací a dezinfekcí obsahuje kontaminanty ve vyšších než limitních koncentracích [13], doporučuje se pro vyhodnocení využitelnosti podzemního zdroje aplikovat limity jakosti určené maximálně pro jednoměsíční [5], jednodenní či desetidenní nouzové zásobování [14].

Pakliže je ve vodě přítomno více kontaminantů, jejichž koncentrace přesahují limity pro pitnou vodu [13], nikoli však indikátory určené pro krátkodobé nouzové zásobování obyvatelstva [5, 14], doporučuje se realizovat hodnocení zdravotního rizika s akceptací aditivního efektu kontaminantů s podobným zdravotním účinkem, jestliže nejsou antagonistické nebo synergické efekty směsi kontaminantů známy [15].

Bází hodnocení zdravotních rizik jsou zjištěné koncentrace kontaminantů, znalost referenčních dávek (*RfD*) pro kontaminanty s nekarcinogenním, resp. faktorů směrnice rakoviny (*CSF*) pro polutanty s genotoxickým efektem a zároveň vyhodnocení expozičních rovnic. Expoziční rovnice jsou specifické pro každý expoziční scénář a vycházejí z predikčních modelů US EPA [16], které byly inkorporovány i do metodiky ČR [17]. Pokud nejsou ve směrnících některé z hodnot expozičních faktorů pro specifické expoziční scénáře uvedeny, je nezbytné stanovit jejich hodnotu expertním odhadem [18].

Nejen v ČR, nýbrž i v jiných zemích náleží k významným kontaminantům podzemních vod anorganické kationty a anionty. Původ zmíněné kontaminace lze spatřovat zvláště v rozsáhlých průmyslových, zemědělských, těžebních a dopravních aktivitách v infiltračním území zdrojů podzemních vod nebo jeho blízkém okolí [19].

V souladu s národní legislativou [13] byla ve vodě podzemních zdrojů sledována koncentrace kationtů a kovů Na, K, Li, NH_4^+ , Ca, Mg, As, Cd, Pb, Hg, B, Al, Cu, Mn, Fe, Be, Cr, Ni, Se, Ag, Sb, suma výše zmíněných kationtů a suma aniontů SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , HCO_3^- , BrO_3^- a ClO_2^- . V příspěvku je pozornost věnována hodnocení zdravotních rizik v relaci k obsahu As, Cd, Pb, a Hg, Ni a Mn. Zmíněné kationty byly k hodnocení vybrány z níže uvedených důvodů.

Toxicitu As, Pb, Cd, Hg, Ni i Mn v komplexu popisuje US EPA [20] a WHO [3]. Z aspektu karcinogenity řadí US EPA sloučeniny As do skupiny A [20] a IARC do skupiny 1 [21], jako prokázané lidské karcinogeny. Pb náleží dle klasifikace US EPA do skupiny B2 s dostatečnými důkazy karcinogenity pro zvířata a nedostatečnými nebo žádnými důkazy pro člověka, zatímco Cd a Hg nejsou klasifikovány jako lidské karcinogeny a patří do skupiny D [20]. IARC řadí Cd do skupiny 2A jako pravděpodobný lidský karcinogen a Pb analogicky jako Hg do skupiny 2B, jakožto možné lidské karcinogeny [21]. Pro Mn a Ni nebyly karcinogenní účinky prokázány [20, 21].

Toxikologii As detailně popisuje Ratnaike [22]. Přehled toxických účinků Pb prezentuje Papanikolaou [23] a Cd Flick [24], jenž dokladuje, že je-li Cd přijímáno orálně či dermálně, nevykazuje genotoxické účinky. Zdravotní efekty Hg na lidskou populaci jsou analyzovány v příspěvku Winshipa [25]. Akutní a chronické efekty Ni rozebírá Bencko [26] a účinky Mn, jehož výskyt v pitné vodě ve vyšších koncentracích může negativně ovlivnit její sensorické vlastnosti, zaznamenává Xenophon [27].

V tab. 1 jsou pro zkoumané kovové elementy uvedeny české limitní koncentrace v pitné vodě [13] spolu s limity definovanými EU [28], WHO [3] a US EPA [14]. Je evidentní, že národní limity reflektují limity stanovené EU. V tab. 1 jsou zaznamenány i hygienické limity pro krátkodobé nouzové zásobování obyvatelstva pitnou vodou aktuálně platné v ČR [5] a stanovené US EPA [14].

Tab. 1 **Limitní koncentrace kovových elementů v pitné vodě**

Kovový prvek	Pitná voda				Nouzové zásobování		
	Limitní koncentrace [mg dm ⁻³]				Limitní koncentrace [mg dm ⁻³]		
	ČR	EU	WHO	US EPA	ČR	US EPA	
					měsíc	jeden den	deset dnů
As	0,010	0,010	0,010	0,010	0,030	-	-
Pb	0,010	0,010	0,010	0,015	0,010	-	-
Cd	0,005	0,005	0,003	0,005	0,030	0,040	0,040
Hg	0,001	0,001	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002
Ni	0,020	0,020	0,070	0,100	0,250	1,000	1,000
Mn	0,050	0,050	-	0,050	1,000	1,000	1,000
Mn ^{a)}	0,200	-	0,400	0,300	-	-	-

a) Možná limitní hodnota pokud je koncentrace elementu ve vodě ovlivněna podloží

Použité metody a přístroje

Vzorky pitné vody byly odebírány v souladu s platnou normou [30]. V souladu se standardními operačními postupy bylo realizováno i stanovení koncentrace sledovaných kovových elementů ve vodě podzemních zdrojů.

Stanovení sledovaných kovových elementů v pitné vodě bylo provedeno s využitím atomové emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v souladu s národním standardem [31] vycházejícím z norem EU. Meze stanovitelnosti pro jednotlivé zkoumané elementy s nejistotou $\pm 10\%$ jsou prezentovány v tab. 2.

Tab. 2 **Meze stanovitelnosti sledovaných elementů**

Element	As	Pb	Cd	Hg	Ni	Mn
Mez stanovitelnosti [mg·dm ⁻³]	0,005	0,003	0,0005	0,00025	0,001	0,050

Nekarcinogenní riziko je charakterizováno kvocientem nebezpečí HQ v souladu s rovnicí (1):

$$HQ = CDI \times RfD^{-1} \quad (1)$$

kde CDI reprezentuje chronický denní příjem a RfD odpovídající referenční dávku.

Je-li $HQ \leq 1$, lze považovat riziko za akceptovatelné. Jestliže $HQ \in (1; 4)$ je riziko tolerovatelné. V průběhu normální situace by mělo být redukováno zaváděním vhodných protiopatření ve stanoveném termínu. Pakliže $HQ > 4$ je riziko neakceptovatelné a posuzovaný zdroj podzemní vody by neměl být užíván ani pro účely nouzového zásobování, nepodaří-li se úpravou vody snížit koncentraci kritických kontaminantů [16, 29].

Expozice plynoucí z ingesce pitné vody je reprezentována chronickou denní dávkou CDI , jehož hodnotu lze kalkulovat dle rovnice (2):

$$CDI = c_w \times b \times IR \times EF \times ED \times BW^{-1} \times AT^{-1} \quad (2)$$

v níž c_w značí průměrnou hmotnostní koncentraci kontaminantu v pitné vodě, IR denní příjem pitné vody, $b \in \langle 0; 1 \rangle \wedge b \in \text{Re}^+$, kde Re^+ je symbol pro množinu všech reálných čísel, příspěvek z příjmu kontaminované vody, EF frekvenci expozice, ED trvání expozice, BW mediální hmotnost lidského těla a AT čas, během něhož může být koncentrace kontaminantu c_w považována za konstantní.

Akceptovatelnost genotoxického rizika je dána hodnotou navýšení rizika vzniku rakoviny oproti všeobecnému mediánu $ELCR$. Hodnotu $ELCR$ lze kalkulovat z vypočtené chronické denní dávky CDI a známé směrnicí faktoru rakoviny CSF pro jednotlivé cesty příjmu dle vztahu (3):

$$ELCE = 1 - e^{-(CSF \times CDI)} \quad (3)$$

Jestliže $ELCR \leq 10^{-4}$, lze riziko považovat za akceptovatelné, zejména v období mimořádné nebo krizové situace. Dle požadavků US EPA by měla tendence za normálních podmínek zásobování obyvatelstva pitnou vodou směřovat k dosažení hodnoty $ELCR \leq 10^{-6}$. V praxi však bývá obtížné dosáhnout zmíněného požadavku, zejména v relaci k výskytu řady monitorovaných kovových prvků v přirozeném geologickém podloží zdroje.

Výsledky a diskuze

Pro potřebu nouzového zásobování obyvatelstva pitnou vodou bylo ve zkoumaném regionu Vyškovska vytipováno sumárně 15 zdrojů podzemní vody. Kritérii pro výběr se staly především přírodní podmínky a dřívější využití území v infiltrační oblasti a okolí vodního zdroje. Vrtly byly vyčištěny a voda před odběrem vzorků k analýze odsávána 7 dnů rychlostí $Q \approx 0,3 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$.

Ze škály analyzovaných kovů, jejich kationtů a sledovaných koncentrací aniontů v rámci rozšířeného rozboru vody [13] je v tomto článku věnována pozornost hodnocení zdravotních rizik v relaci k obsahu As, Pb, Cd, Hg, Ni a Mn. As byl vybrán, jelikož je zástupcem prvků s prokázanou lidskou karcinogenitou, Pb protože náleží do skupiny kovů, které karcinogenní účinky patrně vykazují. Jako představitelé kovů s efekty nekarinogenního charakteru byly pro hodnocení zdravotních rizik vybrány Cd, jež je karcinogenní výhradně při inhalaci a dále Hg, Ni a Mn, jež byly zvoleny zejména z důvodu, že jejich obsah reprezentuje prvky s nepříznivými kosmetickými účinky v podobě zbarvení zubů nebo kůže a zároveň estetickými efekty projevujícími se v nepříznivé chuti, pachu či barvě pitné vody.

Riziko bylo kalkulováno pro jednu z necitlivějších populací, a sice věkovou kategorii kojenců do jednoho roku. Expoziční faktory pro výpočet chronické denní dávky CDI z ingesce pitné vody byly stanoveny následujícím způsobem. Hodnota denního příjmu vody $IR = 0,295 \text{ dm}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ byla stanovena jako medián z příjmu vody pro věkové kategorie $A_1 \leq 1$, $A_2 \in (1; 3]$, $A_3 \in (3; 6]$, $A_4 \in (6; 12]$, jejichž rozměr je uveden v měsících [32]. Tělesná hmotnost $BW = 6,60 \text{ kg}$ byla vypočtena jako medián 50 % vyhlazeného percentilu tělesné hmotnosti pro věkové kategorie narození $A_1 \leq 1$, $A_2 \in (1; 3]$, $A_3 \in (3; 6]$, $A_4 \in (6; 9]$, $A_5 \in (9; 12]$ [33]. V souladu s národní metodikou se v této publikaci předpokládá maximální doba nouzového zásobování jeden měsíc, tudíž $EF = 30 \text{ dnů} \cdot \text{měsíc}^{-1}$. Současně se očekává, že průměrná koncentrace jednotlivých elementů c_w v pitné vodě zůstane během období $ED = 1$ měsíc zachována, odkud plyne, že $AT = 30 \text{ dnů}$. Pokud se týká konstanty b , předpokládalo se, že kovové elementy jsou adsorbovány výhradně z pitné vody, a proto byla položena hodnota $b = 1$ pro všechny sledované kovy.

V tab. 3 jsou uvedeny hodnoty referenčních dávek, resp. směrnic rizik rakoviny pro sledované kovy [14, 20], nezbytné pro výpočet nekarinogenních a genotoxických rizik. Zároveň zde lze nalézt tolerovatelné denní dávky TDI definované US EPA [32], WHO [3] a Státním zdravotním ústavem [5].

Koncentrace kovových elementů v 15 hydrogeologických strukturách byly sledovány 5 dnů v týdnu po dobu 12 týdnů. Pro výpočet chronické denní dávky CDI byly použity mediální hodnoty koncentrací c_w za sledované období, jež jsou pro zkoumané kovové elementy patrný z tab. 4.

Tab. 3 **Hodnoty orálního příjmu RfD faktoru směrnice rakoviny CSF a tolerovatelné denní dávky TDI**

Element	RfD [$\text{mg kg}^{-1} \text{ den}^{-1}$]	CSF [$\text{mg}^{-1} \text{ kg den}$]	TDI [$\text{mg kg}^{-1} \text{ den}^{-1}$]
---------	---	--	---

			US EPA	WHO	ČR
As	0,0003	1,5000	0,0003	-	-
Pb	-	-	0,0005	0,0036	0,0010
Cd	0,0005	-	-	0,0010	0,0035
Hg	0,0003	-	-	0,0020	0,0005
Ni	0,0200	-	0,0200	0,0120	0,0050
Mn	0,1400	-	0,0200	0,0600	0,0600

Tab. 4 **Průměrné koncentrace c_w sledovaných kovových prvků ve vybraných vrtech**

Označení vrtu	Koncentrace elementu [mg dm ⁻³]					
	As	Pb	Cd	Hg	Ni	Mn
HV-1 Dětkovice	< 0,05	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00321	0,0900
HV-1 Prusy	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00634	0,0800
HV-10001 Račice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00379	0,1500
HV-102 Drnovice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	< 0,001	0,0900
HV-4 Dědice	< 0,005	0,00762	< 0,0005	< 0,00025	0,02270	0,4200
HV-5 Pustiměř	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00744	0,1200
Vrt1 Drnovice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00495	< 0,050
M-2 Křenůvky	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	< 0,001	< 0,050
RV12 Račice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	< 0,001	< 0,050
HV7 Kobeřice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00256	< 0,050
HV1 Lysovice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,0285	< 0,050
HV1 Malinky	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	0,00102	0,0700
HV1 Orlovice	< 0,005	< 0,003	< 0,0005	< 0,00025	< 0,001	< 0,050
HV-5 Kobeřice	-	-	-	-	-	0,0850
HV-1 Terešov	-	-	-	-	-	< 0,050

Ve vodě vrtů HV-5 Kobeřice a HV-1 Terešov nebyly měřeny koncentrace As, Pb, Cd, Hg a Ni, neboť byly vyřazeny ze seznamu potenciálních zdrojů vhodných pro nouzové zásobování. Důvodem bylo předchozí zjištění, že kvalita vody vrtu HV-5 Kobeřice obsahuje nadlimitní koncentrace SO_4^{2-} , NO_2^- a sumy minerálů, tudíž nesplňuje ani limity vodivosti. Kromě toho voda nevyhověla ani mikrobiologickým požadavkům z hlediska výskytu koliformních bakterií, které jsou indikátorem fekálního znečištění a jejichž KTJ 100 cm⁻³ dokonce výrazně přesáhl i havarijní limit. Vrt HV-1 Terešov byl vyřazen z dalšího pozorování kvůli téměř dvojnásobnému překročení limitní koncentrace dusičnanů a mikrobiologickému obrazu, jenž prokázal přítomnost živých organismů.

Koncentrace As, Cd a Hg ve vodě všech dalších 13 vrtů se pohybovala pod mezí stanovitelnosti a splňovala limity pro pitnou. Analogické výsledky byly získány i pro koncentraci Pb, která výhradně ve vodě vrtu HV-4 Dědice překročila mez stanovitelnosti, ale nacházela se pod hodnotou nejpřísnějšího limitu stanoveného pro pitnou vodu. Mezní hodnota stanovitelnosti Ni byla překročena ve vodě devíti sledovaných vrtů, z nichž v sedmi případech splňovala nejpřísnější národní a evropský standard pro pitnou vodu. Ve vodě dvou vrtů byl tento limit sice překročen, nicméně splňoval hygienický limit pro pitné vody stanovený WHO i EPA. Pokud se týká Mn, byla měřena koncentrace ve vodě všech patnácti zdrojů podzemní vody. Koncentrace vyšší než mez stanovitelnosti byla registrována v osmi případech a byla vyšší než limit stanovený pro pitné vody, nicméně nepřesáhla limity pro nouzové zásobování.

Za předpokladu, že $HQ = 1$, lze nekarcinogenní riziko považovat za ještě akceptovatelné. S využitím rovnice (1) a vztahu (2) a při znalosti RfD je možné kalkulovat kritickou koncentrací elementů c_{nc} ve vodách podzemního zdroje v relaci k nekarcinogennímu riziku. Podobně lze aplikací vztahu (3) a substitucí CDI z rovnice (2) a znalosti CSF postupovat při výpočtu kritické koncentrace c_{gc} As v relaci ke genotoxickému riziku, dle vztahu (3) a substitucí CDI z rovnice (2), jestliže za ještě akceptovatelné riziko se bude pokládat společenské riziko odpovídající hodnotě $ELCR = 10^{-4}$. Stejný postup byl aplikován při výpočtu kritických koncentrací Cd, Hg, Ni a Mn ve vodách posuzovaných hydrogeologických struktur s ohledem na přijatelnost nekarcinogenního rizika.

Poněkud odlišná je situace v případě Pb. Pro tento kontaminant nebyla pro orální expozici stanovena příslušná hodnota CSF ani RfD . Důvodem je fakt, že pro toxické účinky Pb v těle je rozhodující jeho koncentrace v krvi, kdy Pb působí v zásadě bezprahově. Za kritickou koncentrací Pb v krvi je považována hodnota $100 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ [34]. Koncentrace hladiny Pb v krvi, která je základem odhadu rizika se v závislosti na příjmu vody a stravy posuzuje pomocí specifických modelů, které nám nebyly k dispozici. Proto byla pro výpočet kritické koncentrace Pb v krvi užita hodnota tolerovatelné denní dávky definovaná WHO [3].

Vypočtené kritické koncentrace sledovaných elementů ve vodách podzemních zdrojů jsou přehledně prezentovány v tab. 5.

Tab. 5 **Kritické koncentrace monitorovaných těžkých kovů ve vodě hydrogeologických struktur**

Druh rizika	Tolerovatelné riziko						Akceptovatelné riziko					
	Kritické koncentrace c_{na} pro nekarcinogenní rizika a c_{gc} pro genotoxická rizika [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]						Kritické koncentrace c_{nt} pro nekarcinogenní rizika a c_{gt} pro genotoxická rizika [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]					
	As	Pb	Cd	Hg	Ni	Mn	As	Pb	Cd	Hg	Ni	Mn
Nekarcinogenní	0,0067	-	0,0112	0,0067	0,4475	3,1322	0,0268	0,0783	0,0447	0,0268	1,7898	12,529
Genotoxické	0,0015	-	-	-	-	-	0,0149	0,0783	-			

Závěr

V článku je prezentován možný postup odhadu zdravotního rizika rezultujícího z kontaminace vody podzemních zdrojů vybranými kovovými elementy. Posuzované zdroje byly předem vytipované pro nouzové zásobování obyvatelstva. Odhad rizika byl proveden pro citlivou věkovou kategorii dětí do jednoho roku.

Posuzováno bylo sumárně 15 vodních zdrojů, z nichž dle doporučených 72 limitních indikátorů vyhovuje 13 z nich pro zařazení do plánů krizové přípravy. Výsledky hodnocení rizik těchto 13 zdrojů v relaci ke znečištění vody As, Pb, Cd, Hg, Ni a Mn ponejvíce korespondují s doporučenými limity České republiky, EU, WHO i US EPA pro účely nejen nouzového, nýbrž dokonce dlouhodobého (běžný stav) zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Předložený postup může sloužit jako vzor hodnocení kvality vody zdrojů podzemních vod znečištěných i jinými kontaminanty.

Literatura

- [1] Božek, F. et al. *Metodika klasifikace náhradních zdrojů pro nouzové zásobování obyvatelstva pitnou vodou*. Brno: Univerzita obrany, 2013, 21 s.

- [2] Hubáčková, J., Petružela, L., Šťastný, V. *Proč ochrana kritické infrastruktury v oblasti zásobování obyvatel pitnou vodou?* [on line]. [2016-02-08]. URL: <<http://www.smv.cz/res/data/054/006012.pdf?seek=6>>.
- [3] World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 4th Ed. Geneva: WHO Press, 2011, 564 pp.
- [4] Aryal J., Gautam B, Sapkota N. Drinking Water Quality Assessment. *Journal of Nepal Health Research Council*, 2012, 10, (22), pp. 192-19
- [5] Státní zdravotní ústav (SZÚ). *Nouzové zásobování pitnou vodou. Metodické doporučení SZÚ Národního referenčního centra pro pitnou vodu*. Praha: SZÚ, 2007, s. 4-7.
- [6] Bozek, F. et al. Risk Assessment of Selected Source for Emergency Water Supply. Case Study I. In Eslamian, S. (Ed.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Development, Energy, Environment, Economics (DEEE'12)*. Paris: WSEAS, 2012, pp. 216-221.
- [7] Lantagne, D., Classen, T. Point-of-Use Water Treatment in Emergency Response. *Waterlines*, 2012, **31**, (1-2), pp. 30-52.
- [8] Lantagne, D. Sodium Hypochlorite Dosage for Household and Emergency Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 2008, **100**, (8), pp. 106-119.
- [9] US EPA. *Emergency Disinfection of Drinking Water*. [on line]. [2016-02-08]. URL: <<http://water.epa.gov/drink/emmerprep/emergencydisinfection.cfm>>.
- [10] Ministerstvo zemědělství ČR (MZeČR). Metodický pokyn MZeČR k zajištění jednotného postupu orgánů krajů, hlavního města Prahy, orgánů obcí a městských částí v hlavním městě Praze k zajištění nouzového zásobování obyvatelstva pitnou vodou při mimořádných událostech a za krizových stavů Službou nouzového zásobování vodou. *Věstník vlády pro orgány krajů a orgány obcí*, 2011, částka 3, s. 42-46.
- [11] Vláda České republiky. *Zákon č. 150/2010 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) a zákon č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2010.
- [12] Bozek, F. et al. Semi-Quantitative Risk Assessment of Groundwater Resources for Emergency Water Supply. *Journal of Risk Research*, 2015, **18**, (4), pp. 505-520.
- [13] Ministerstvo zdravotnictví ČR (MZČR). *Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody se změnami: 187/2005 Sb., 293/2006 Sb., 83/2014 Sb.* Praha: MZČR, 2004.
- [14] US EPA. *Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*. Washington, D.C.: US EPA, 2011, p. 9. [on line]. [2016-02-07]. URL: <<http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2011.pdf>>.
- [15] Bozek, F. et al. Classification of Ground Water Resources for Emergency Supply. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2012, **71**, pp. 1653-1656.
- [16] US EPA. *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Volume I: Human Health Evaluation Manual*. Washington, D.C.: US EPA, 1989-2004. Part A-F. [on line]. [2016-02-08]. URL: <<http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa-f/index.htm>>.
- [17] Ministerstvo životního prostředí (MŽP ČR). Metodický pokyn odboru ekologických škod MŽP - Analýza rizik kontaminovaného území. *Věstník Ministerstva životního prostředí*. 2011, **XXI**, částka 3, s. 1-52.
- [18] Tichý, M., Valjentová, M. *Experts and Expertise*. 1st Ed. Prague: Linde, Ltd., 2011. s. 78-79
- [19] Fawell, J., Nieuwenhuijsen, M. J. Contaminants in Drinking Water. *Environmental Pollution and Health. British Medical Bulletin*, 2003, **68**, (1), pp. 199-208.

- [20] US EPA. *Integrated Risk Information System (IRIS)*. [on line]. [2016-02-07]. URL: <<http://www.epa.gov/IRIS/>>.
- [21] International Agency for Research on Cancer (IARC). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. [on line]. [2016-02-05]. URL: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>>.
- [22] Ratnaike, R. N. Acute and Chronic Arsenic Toxicity. *Postgraduate Medical Journal*, 2003, **79**, pp. 391-396.
- [23] Papanikolaou, N. C. et al. Lead Toxicity Update. A Brief Review. *Medical Science Monitor*, 2005, **11**, (10), pp. RA329-336.
- [24] Flick, D. F., Kraybill, H. F., Dimitroff, J. M. Toxic Effects of Cadmium: Review. *Environmental Research*, 1971, **4**, (2), pp. 71-85.
- [25] Winship, K. A. Toxicity of Mercury and Its Inorganic Salts. *Adverse Drug React and Acute Poisoning Reviews*, 1985, **4**, (3), pp. 129-160.
- [26] Bencko V. Nickel: A Review of Its Occupational and Environmental Toxicology. *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology, and Immunology*, 1983, **27**, (2), pp. 237-247.
- [27] Xenophon, G. et al. Possible Health Effects of High Manganese Concentration in Drinking Water. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 1989, **44**, (3), pp. 175-178.
- [28] The Council of the European Union. (CEU). *Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption*. Brussels: CEU, 1998.
- [29] US EPA. *Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*. Washington, D.C.: US EPA, 2011, p. 9. [on line]. [2016-02-07]. URL: <<http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2011.pdf>>.
- [30] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). *ČSN EN ISO 5667-3. Jakost vod. Odběr vzorků. Část 3: Pokyny pro konzervaci vzorků a manipulaci s nimi*. Praha: ÚNMZ, 1996.
- [31] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). *EN ISO 11885. Jakost vod - Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem*. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [32] US EPA. *Child-Specific Exposure Factors Handbook (Final Report). Chapter 3 Water Ingestion*. Washington: National Center of Environmental Assessment, 2007. [on line]. [2016-02-09]. URL: <http://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=478143>.
- [33] Hamill, P. V. V. et al. Physical Growth: National Center for Health Statistics Percentiles. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1979, **32**, pp. 607-609.
- [34] R. L. Canfield, et al., Intellectual Impairment in Children with Blood Lead Concentrations below 10 µg per Deciliter, *The New England Journal of Medicine*, vol. 348, pp. 1517-1526, 2003.