

Skupinový vodovod Vranovice-Hustopeče vodní zdroj Nová Ves Hodnocení zdravotních rizik dusičnanů a amonných iontů z pitné vody

Objednatel:
Vodovody a kanalizace Břeclav, a.s.
Čechova 1300/23
690 02 Břeclav

Zpracoval:

MUDr. Bohumil Havel, Větrná 9, 568 02 Svitavy

Tel.: 602 482 404 E-mail: bohumil.havel@centrum.cz

**Držitel osvědčení o autorizaci k hodnocení zdravotních rizik expozice chemickým látkám
v prostředí vydaného Státním zdravotním ústavem Praha pod č. 008/04.**

Svitavy, červenec 2021

Obsah:

I. Zadání a výchozí podklady	2
II. Metodika a základní pojmy v hodnocení zdravotních rizik.....	4
III. Hodnocení nebezpečnosti	5
<i>Dusičnany a dusitany</i>	<i>5</i>
<i>Amonné ionty.....</i>	<i>13</i>
IV. Hodnocení expozice.....	16
V. Charakterizace rizika.....	21
VI. Analýza nejistot.....	24
VII. Závěr.....	26
VIII. Přehled použité a citované literatury	27

I. Zadání a výchozí podklady

Na základě objednávky společnosti Vodovody a kanalizace Břeclav, a.s. jako provozovatele skupinového vodovodu Vranovice-Hustopeče má být zpracováno hodnocení zdravotních rizik z pitné vody z vodního zdroje Nová Ves pro ukazatele dusičnany a amonné ionty.

Hodnocení zdravotních rizik má sloužit jako jeden z podkladů žádosti o dočasnou výjimku z jakosti vody podle zákona č. 258/2000 Sb.¹ v těchto ukazatelích, které nevyhovují hygienickému limitu stanovenému vyhláškou č. 252/2004 Sb.²

Úkolem hodnocení rizik je tedy zodpovězení otázky, zda používáním vody z vodního zdroje Nová Ves skupinového vodovodu Vranovice-Hustopeče může dojít k ohrožení veřejného zdraví ve smyslu citovaného zákona.

Jako podklad k hodnocení rizika byly poskytnuty základní údaje o vodovodu a vodním zdroji a přehled výsledků rozborů surové, upravené a dodávané vody za období VI.2019 – VI.2021.

Podle těchto podkladů skupinový vodovod Vranovice-Hustopeče zásobuje pitnou vodou město Hustopeče; městysy Velké Němčice, Nosislav a větší počet obcí s celkovým počtem 21 152 zásobovaných obyvatel. Zdrojem vody pro tento skupinový vodovod je jímací území a úpravna vody Zaječí, jímací území Nová Ves a jímací území Vranovice I a II.

Jímací území Nová Ves se nachází na nízké terase v pravostranné části údolí řeky Jihlavy, zhruba mezi obcemi Nová Ves a Velký Dvůr. Jímací území je dle provozního řádu možné rozdělit na tři části: násoska západní (vrty HV 12, HV 12A, HV 11), násoska východní (vrty HV 20J, HV 21J, HV 14) ze kterých je voda dopravována do sběrné studny SB I a SB II a hlubinný vrt 501 hloubky 80 m, jehož výtlač je zaústěn přímo do technologie čerpací stanice. V čerpací stanici surová voda prochází úpravou na provzdušňovacím reaktoru, ze kterého natéká voda gravitačně do dvou propojených zemních akumulacních nádrží 2x50 m³, kde dochází k jejímu zdravotnímu zabezpečení plynným chlorem.

Hodnocení zdravotních rizik a žádost o výjimku (určení mírnějšího hygienického limitu) v ukazatelích dusičnany a amonné ionty se týká části skupinového vodovodu, využívající vodu z jímacího území Nová Ves.

¹Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů

²Vyhláška MZ č.252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů

Tato část skupinového vodovodu je pro účely hodnocení rizika rozdělena na dvě skupiny zásobovaných obcí.

První skupina zahrnuje obce Nová Ves, Velký Dvůr, Vlasatice, Pasohlávky a Ivaň, které jsou zásobované přímo z výtlačku z akumulace ČS Nová Ves nebo VDJ Pasohlávky (který je plněn vodou z ČS Nová Ves). V těchto obcích není v současné době možný jiný způsob zásobování, takže dodávaná voda má zvýšený obsah dusičnanů trvale. Celkem je zde zásobováno 2300 připojených obyvatel.

Druhá skupina zahrnuje obce Vranovice, Přibice, Pouzdřany a Strachotín, zásobované z VDJ Pouzdřany, kde se směšuje voda z ČS Nová Ves a z ČS Šakvice, kam je voda dodávána z ÚV Zaječí. Tyto obce jsou zásobovány vodou směsnou, která po větší část roku splňuje limity vyhlášky. Trvalé plnění limitů však nelze zajistit s ohledem na technický stav přírodního potrubí z ČS Šakvice, kam je dodávána voda z ÚV Zaječí, a zvýšené letní odběry. U těchto obcí je předpokládáno, že k zásobování vodou s vyšším obsahem dusičnanů může dojít maximálně 60 dní v roce. V tomto období může být v dodávané vodě hodnota dusičnanů v maximální koncentraci 80 mg/l. Celkem je v těchto obcích zásobováno pitnou vodou 4 283 připojených osob.

Důvodem současné situace je rychlý nárůst obsahu dusičnanů ve vodním zdroji Nová Ves od ledna 2021 (ve směsné vodě z hodnot 41,7 mg/l v lednu 2021 na hodnoty 88 mg/l v červnu 2021 po provedené regeneraci studní v květnu 2021).

V současné době se provozovatel snaží dosáhnout nižších hodnot obsahu dusičnanů zapojením hlubinného vrtu 501, který má sice nulové hodnoty dusičnanů, ale vysoký obsah amonných iontů. Podle výsledků rozborů vody ze spotřební sítě výše uvedených obcí se po realizaci tohoto opatření obsah dusičnanů v dodávané vodě pohybuje do 73 mg/l, obsah amonných iontů do 0,84 mg/l a obsah dusitanů do 0,26 mg/l.

Vzhledem k podstatně rozdílné míře expozice obyvatel dusičnanům z pitné vody u výše uvedených dvou skupin obcí bude hodnocení expozice a kvantitativní charakterizace rizika provedena pro tyto dvě části skupinového vodovodu samostatně.

U obcí trvale celoročně zásobovaných pouze vodou z jímacího území Nová Ves bude hodnocení zdravotních rizik podle dohody s provozovatelem vodovodu vzhledem k problematickému odhadu dalšího vývoje provedeno v ukazateli dusičnany ve třech variantách pro maximální koncentrace 70 – 80 – 90 mg/l s přihlédnutím k obsahu dusitanů do 0,3 mg/l. V ukazateli amonné ionty bude v hodnocení zdravotních rizik uvažováno s maximální koncentrací 1 mg/l.

U druhé skupiny obcí zásobovaných vodou směsnou vodou provozovatel předpokládá, že k zásobování vodou s vyšším obsahem dusičnanů může dojít maximálně 60 dní v roce. V tomto období je uvažována hodnota dusičnanů v maximální koncentraci 80 mg/l. Amonné ionty a hodnoty dusitanů v tomto období splňují limity vyhlášky. Po zbytek roku zde bude obsah dusičnanů do výše limitu 50 mg/l.

Hodnocení zdravotních rizik je zpracováno v souladu s obecnými metodickými postupy US EPA a WHO a autorizačním návodem AN 16/04 verze 5³ Státního zdravotního ústavu Praha pro autorizované hodnocení zdravotních rizik dle zákona č. 258/2000 Sb.

³Autorizační návod AN 16/04 verze 5 – Přehled základních údajů ke sjednocení postupu při hodnocení zdravotních rizik (HRA) v rámci žádostí o povolení užití vody nebo určení mírnějšího hygienického limitu dle § 3 odst. 4 resp. § 3a zákona č.258/00 Sb., v platném znění. Obsahuje doporučené referenční hodnoty a další výchozí data k hodnocení zdravotních rizik z pitné vody pro 19 nejčastějších látek včetně dusičnanů. Aktualizovaná verze 5 byla vydána dne 16. 4. 2018.

II. Metodika a základní pojmy v hodnocení zdravotních rizik

Kvalita pitné vody je jedním z nejvýznamnějších faktorů životního prostředí, působících bezprostředně na zdraví člověka. Zdravotní rizika z pitné vody jsou dlouho a poměrně dobře známá a také intenzivně vnímána spotřebitelskou veřejností.

Kromě nejčastějšího rizika přenosu infekčních onemocnění se při používání pitné vody může jednat i o riziko toxického působení některých chemických látek, které se mohou ve vodě vyskytovat buď přirozeně v důsledku skladby horninového podloží a fyzikálně chemických vlastností vody nebo mohou vodu kontaminovat v důsledku činnosti člověka.

Na rozdíl od rizika přenosu infekčních onemocnění, které lze z řady důvodů obtížně kvantifikovat, je většinou možné míru rizika nepříznivého působení chemických látek z pitné vody v konkrétních případech hodnotit a vyjádřit kvantitativně.

Základní metodické postupy hodnocení zdravotních rizik byly vypracovány Americkou agenturou pro ochranu životního prostředí – US EPA⁴ a Světovou zdravotnickou organizací – WHO⁵. Jsou využívány ke zhodnocení závažnosti zdravotního rizika v konkrétních situacích a k následnému řízení rizika, tj. rozhodování o nápravných opatřeních a jejich prioritě.

Mezi základní metodické podklady pro hodnocení zdravotních rizik v České republice patří Manuál prevence v lékařské praxi díl VIII. Základy hodnocení zdravotních rizik, vydaný v roce 2000 Státním zdravotním ústavem Praha a autorizační návody a literatura, doporučená ke kurzu a zkoušce odborné způsobilosti v rámci autorizace k hodnocení zdravotních rizik.

Hodnocení zdravotního rizika obecně zahrnuje čtyři základní kroky:

Prvním krokem je **identifikace nebezpečnosti**, při které se zjišťuje, zda a za jakých podmínek může daná látka nepříznivě ovlivnit lidské zdraví. Zdrojem informací jsou toxikologické databáze a odborná literatura, obsahující údaje z epidemiologických studií, experimentů na pokusných zvířatech nebo laboratorních testů.

Druhým krokem je **hodnocení vztahu dávky a účinku**, které má objasnit kvantitativní vztah mezi dávkou dané škodliviny a mírou jejího účinku, což je nezbytným předpokladem pro možnost odhadu míry rizika. U látek, které nejsou podezřelé z bezprahového genotoxického karcinogenního účinku, se předpokládá tzv. prahový účinek.

Tento účinek, spočívající v poškození různých systémů v organismu, se projeví až po překročení kapacity fyziologických detoxikačních a reparačních obranných mechanismů v organismu. Lze tedy identifikovat dávku škodlivé látky, která je pro organismus člověka ještě bezpečná a za normálních okolností nevyvolá nepříznivý efekt.

Při hodnocení rizika toxických účinků z pitné vody se jako bezpečná podprahová dávka hodnocené látky většinou používá hodnota akceptovatelného denního přívodu – ADI⁶, stanovená WHO, popř. obdobné referenční hodnoty jiných institucí. Odvozují se buď z výsledků epidemiologických studií známých účinků u člověka, nebo pomocí pokusů na laboratorních zvířatech s použitím faktorů nejistoty.

V běžné praxi hodnocení zdravotních rizik jsou informace o nebezpečnosti a vztahu dávky a účinku většinou čerpány formou literární rešerše z uznávaných databází vědeckých institucí a mohou být spojeny do společného kroku nazvaného **hodnocení nebezpečnosti**.

⁴US EPA – United States Environmental Protection Agency

⁵WHO – World Health Organization

⁶ADI – Acceptable Daily Intake (akceptovatelný denní přívod stanovený WHO pro člověkem úmyslně používané látky v potravinách nebo pitné vodě. Vyjadřuje denní dávku, kterou může člověk celoživotně požívat bez rizika nepříznivých zdravotních účinků. Je udáván v mg/kg/den. Jeho obdobou pro cizorodé látky je tolerovatelný denní přívod – TDI)

Třetí etapou standardního postupu hodnocení zdravotních rizik je **hodnocení expozice**. Na základě znalosti dané situace se sestavuje expoziční scénář, tedy představa, jakými cestami a v jaké intenzitě a množství je konkrétní populace exponována dané látce a jaká je její dávka. Cílem je přitom postihnout nejen průměrného jedince z exponované populace, nýbrž i reálně možné případy osob s nejvyšší expozicí a obdrženou dávkou. Za tímto účelem se identifikují citlivé podskupiny populace, u kterých předpokládáme vyšší míru expozice nebo zvýšenou vnímavost vůči hodnocenému faktoru, popř. kombinaci obou příčin.

Konečným krokem v odhadu rizika, který shrnuje všechny informace získané v předchozích etapách, je **charakterizace rizika**, kdy se snažíme dospět ke kvantitativnímu vyjádření míry reálného konkrétního zdravotního rizika za dané situace, která může sloužit jako podklad pro rozhodování o opatřeních, tedy pro řízení rizika.

U toxických nekarzinogenních látek je míra rizika většinou vyjádřena pomocí poměru konkrétní zjištěné expozice či dávky k expozici nebo dávce, považované za ještě bezpečnou. Tento poměr se nazývá koeficient nebezpečnosti (Hazard Quotient – HQ). Při hodnotě koeficientu nebezpečnosti >1 teoreticky hrozí riziko toxického účinku. Při důvodech ke konzervativnímu přístupu k hodnocení rizika doporučuje US EPA jako hraniční hodnotu HQ hodnotu 0,5. Avšak po přechodnou dobu ani mírné překročení hodnoty 1 nepředstavuje závažnou míru rizika

Nezbytnou součástí hodnocení je **analýza nejistot**, se kterými je každé hodnocení rizika nevyhnutelně spojeno. Přehled a kritický rozbor nejistot zkvalitní pochopení a posouzení dané situace a je užitečné je zohlednit při řízení rizika, tedy rozhodování o významnosti rizika a o přijatých opatřeních.

Postup hodnocení zdravotních rizik se používá u pitné vody již při návrhu limitních koncentrací, u nás uvedených ve Vyhlášce MZ č. 252/2004 Sb.

V některých případech je účelné hodnotit zdravotní riziko i v konkrétních situacích jednotlivých zdrojů a systémů zásobování pitnou vodou. Při překročení limitů se tímto postupem získají podklady o závažnosti situace užitečné při rozhodování o prioritách, termínech a nákladech na opatření, popř. možnosti dočasné výjimky, jako je v tomto případě.

III. Hodnocení nebezpečnosti

Dusičnany a dusitany

Použití, chování a výskyt ve vodě

Dusičnany a dusitany jsou všudypřítomné, přirozeně se vyskytující látky v prostředí. Jsou produktem oxidace dusíku přírodními i antropogenními procesy. Dusičnany jsou používány jako anorganické hnojivo a jsou konečným produktem přirozeného procesu mineralizace organických látek.

Rozkladem dusíkatých organických látek vzniká amonný iont, který je bakteriemi oxidován na dusitany, které dále v oxidačním prostředí přecházejí na dusičnany. Část dusičnanů je využita rostlinami jako zdroj dusíku a zbytek může být vzhledem k jejich vysoké rozpustnosti a malé sorpci vyluhován do spodních vod.

Dlouhodobým experimentem bylo zjištěno, že vyluhování aplikovaného dusíkatého hnojiva z půdy do spodních vod je dlouhodobý pozvolný proces probíhající nejméně 50 let. V prvních 30 letech bylo vyluhováno 8–12 % hnojiva v ročním objemu cca 0,4 % původně aplikované dávky [1].

Dusičnany se vyskytují téměř ve všech vodách a patří zde mezi hlavní aniony. Za určitých podmínek mohou podléhat biochemické i chemické redukci - denitrifikaci.

Přírodní pozadřové koncentrace dusičnanů v podzemních vodách jsou v jednotkách mg/l. Vlivem zemědělských i jiných zdrojů však mohou koncentrace dusičnanů ve vodě dosahovat až stovek mg/l.

V pitné vodě veřejných vodovodů byl v ČR podle zprávy Monitoringu HS⁷ v roce 2019 průměrný obsah dusičnanů 15,8 mg/l s maximem 151 mg/l. Nejvyšší mezní hodnota 50 mg/l byla překročena v cca 1,5 % vyšetřených vzorků vody. Průměrný obsah dusitanů byl 0,013 mg/l s maximem 2,1 mg/l. Nejvyšší mezní hodnota 3 mg/l byla překročena v pouze 13 z 27 447 vyšetřených vzorků vody

Dusičnany jsou po pesticidních látkách druhým nejčastějším důvodem žádostí o výjimku z kvality pitné vody. V roce 2019 byl vyšší obsah dusičnanů důvodem výjimky v 27 oblastech, zásobujících pitnou vodou cca 6800 obyvatel. Povolená limitní hodnota se pohybovala v rozmezí 60–120 mg/l [2].

Příjem a chování v organismu

Dusičnany jsou po požití rychle a téměř kompletně vstřebány v horní části tenkého střeva. V těle jsou rychle transportovány krví, přecházejí přes placentu a do mateřského mléka. Mateřské mléko žen, které konzumují vodu s obsahem dusičnanů do 100 mg/l ale nevykazuje zvýšenou koncentraci dusičnanů [3].

U lidí a většiny pokusných zvířat, kromě potkanů, je přibližně 25 % podané dávky selektivně aktivním mechanismem vyloučeno do slin, kde jsou z cca 20 % redukovány ústní mikroflórou na dusitany. Polknutím slin se tyto dusičnany i dusitany opět dostávají do žaludku. Dusitany v žaludku reagují s žaludeční šťávou za vzniku kyselina dusité, která se rozkládá na oxid dusnatý a další reaktivní produkty.

Existují teorie, že tyto produkty mají antibakteriální účinky nebo mohou regulovat prokrvení a regeneraci žaludeční sliznice [4].

Bakteriální redukce dusičnanů na dusitany může nastávat i v jiných částech zažívacího traktu kromě žaludku, kde k ní dochází jen při snížené kyselosti.

Předpokládá se, že konverzi na dusitany může za normálních podmínek podléhat cca 5–8% požitých dusičnanů [3].

Dusitany se v krvi podílejí na oxidaci hemoglobinu (dále Hb) v červených krvinkách na methemoglobin (dále metHb), který se v důsledku silné vazby kyslíku neúčastní na jeho přenosu z plic do tkání. Tento stav, zvaný methemoglobinémie, pak vede k příznakům hypoxie, tedy nedostatku kyslíku v organismu. Mohou též přecházet přes placentární bariéru a působit methemoglobinémií plodu.

Dusitany též mohou reagovat v žaludku s některými látkami z potravy, jako jsou sekundární a terciární aminy na tzv. N-nitrososloučeniny, které vykazují v experimentech u zvířat karcinogenitu a mají specifické toxické účinky.

Hlavní část požitých dusičnanů je nakonec vyloučena močí ve formě dusičnanů, amoniaku nebo močoviny. Dusičnany však v lidském organismu vznikají i v rámci normálních metabolických přeměn, u zdravého člověka v množství cca 62 mg/den. Tato endogenní tvorba dusičnanů je významně zvýšena při infekcích a zánětlivých reakcích zažívacího traktu.

Expozice dusičnanům z vody inhalací a přes kůži při sprchování není významná [3].

⁷Monitoring hygienické služby – Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí, prováděný Státním zdravotním ústavem v Praze a pracovišti hygienické služby v ČR od roku 1994. Subsystém 2 monitoringu se zabývá zdravotními důsledky a riziky znečištění pitné vody, subsystém 4 se zabývá zátěží lidského organismu cizorodými látkami z potravinových řetězců.

Hlavním zdrojem příjmu dusičnanů je obvykle potrava. Při koncentraci v pitné vodě nad 50 mg/l však pitná voda může být hlavním zdrojem dusičnanů, zejména u uměle živených kojenců [3].

Podle výsledků Monitoringu HS představovala v posledním hodnoceném období 2018/2019 průměrná expoziční dávka dusičnanů z potravy u populace ČR 15,9 % přípustného denního přívodu ADI (tj. cca 0,6 mg/kg/den).

U dětí ve věkové kategorii 4 až 6 let je průměrný příjem dusičnanů z potravy, odhadovaný na základě modelu doporučených dávek, ještě podstatně vyšší a v posledním období dosahoval 73 % ADI (cca 2,7 mg/kg/den). Skutečná expozice dětí je ale nižší, protože spotřeba ovoce a zeleniny nedosahuje výživových doporučení [5].

Průměrná expoziční dávka dusitanů z potravy je kalkulována na základě analýz potravin živočišného původu a je více kolísavá. V letech 2018/2019 představovala v ČR 16,4% ADI (tj. 0,0115 mg/kg/den). Výrazně vyšší byla opět u dětí, kde by při stravování podle doporučené skladby potravy dosáhla 68% ADI (ADI dusitanů, stanovené komisí JECFA FAO/WHO⁸, je 0,07 mg/kg/den) [5].

Toxicita

Dusičnany samy o sobě vykazují nízkou toxicitu. Nepříznivé účinky jsou dány hlavně jejich redukcí na dusitany a následnou tvorbou metHb. Za methemoglobinémií se považuje koncentrace metHb >2 % celkového hemoglobinu.

Ke klinické manifestaci příznaků sníženého transportu kyslíku v organismu obvykle dochází při koncentraci metHb 3–15 %. Projevuje se nejprve namodralým zbarvením kůže a rtů (modrá nemoc kojenců), při vysokém procentu metHb může dojít k úmrtí.

Nejcitlivější částí populace jsou kojenci do 3–4 měsíců věku, kteří jsou ohroženi při přípravě kojenecké stravy z vody s obsahem dusičnanů. Příčin vyšší citlivosti je u nich několik. Jednou z nich je ve srovnání s dospělými snížená schopnost enzymaticky zpětně redukovat metHb na Hb. Další příčinou může být vyšší pH v žaludku, umožňující bakteriální osídlení a redukcí dusičnanů na dusitany.

Tvorba dusitanů a tím i riziko methemoglobinémie je zvýšené při infekcích zažívacího traktu, které jsou u dětí častější. V poměru k tělesné hmotnosti také přijímají vyšší objem tekutin, nežli starší děti a dospělí.

U dětí nad 3 měsíců věku je případů methemoglobinémie hlášeno málo, ve studii u dětí konzumujících vodu s obsahem dusičnanů 100–500 mg/l nebyl nalezen rozdíl v hladině metHb ve srovnání s dětmi s vodou do 44 mg/l. U kojenců se z 214 klinických případů methemoglobinémie s dostupnými daty nevyskytlo žádné onemocnění při koncentraci dusičnanů v pitné vodě pod 45 mg/l a pouze 2% případů při koncentraci 49–88 mg/l.

U většiny (80 %) byla koncentrace dusičnanů ve vodě vyšší nežli 220 mg/l [6].

V současné době je v patogenezi methemoglobinémie přisuzován stále větší význam současně probíhající gastrointestinální infekci, která zvyšuje endogenní produkci dusičnanů, bakteriální redukcí dusičnanů na dusitany a v rámci kompenzace dehydratace může zvyšovat příjem vody.

Nasvědčuje tomu fakt, že většina případů onemocnění methemoglobinémie byla popsána po používání vody ze soukromých a často bakteriologicky kontaminovaných studní. Bylo též zjištěno, že u kojenců s průjmem bylo množství vylučovaných dusičnanů několikrát vyšší nežli jejich příjem. Popsány byly i případy methemoglobinémie, u kterých zřejmě byla jediným vyvolávajícím činitelem zvýšená endogenní tvorba dusičnanů (a následně dusitanů) v důsledku infekce [3,6].

⁸JECFA FAO/WHO (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) - Mezinárodní expertní komise při Organizaci pro potraviny a zemědělství OSN a WHO, která připravuje hodnoty ADI.

Další více citlivou skupinou populace k tvorbě metHb jsou těhotné ženy, lidé s genetickým defektem enzymů redukujících metHb a lidé se sníženou žaludeční kyselostí (achlorhydrie, atrofická gastritis).

U dospělých osob byly případy methemoglobinémie popsány po požití vysokých dávek dusičnanů omylem nebo k léčebným účelům, často se jednalo o osoby se sníženou žaludeční kyselostí. Toxická dávka dusičnanů činila 33 až 150 mg/kg tělesné hmotnosti.

U zvířat dusičnany vykazují strumigenní účinek⁹ a vztah mezi koncentrací dusičnanů v pitné vodě nad 50 mg/l a zvětšením štítné žlázy byl nalezen i v některých epidemiologických studiích. Předpokládanou příčinou je inhibice transportního systému jódu z krve do buněk štítné žlázy. Důsledkem snížené hladiny hormonů štítné žlázy během těhotenství může být narušení správného vývoje plodu. Podle souborných hodnocení však epidemiologické studie popisující tento efekt mají metodické a datové nedostatky, které brání vyslovení konečných závěrů [3,4].

Některé studie naznačily možný vztah mezi koncentrací dusičnanů v pitné vodě a incidencí diabetes mellitus 1. typu¹⁰ u dětí. Tyto údaje jsou však omezené a nekonzistentní a pozdější studie tuto asociaci na statisticky významné úrovni nenalezly [3,7].

Zvažována je otázka vývojové a reprodukční toxicity dusičnanů. Experimenty u zvířat s dusitanými prokazují účinky většinou až při vysoké expozici, vyvolávající methemoglobinémii u matek.

Některé epidemiologické studie naznačily souvislost mezi příjmem dusičnanů pitnou vodou u matek a účinky na reprodukci (spontánní potraty, zpomalení nitroděložního růstu plodu, vývojové vady) [8,9]. V souhrnu však tyto studie nedávají konzistentní výsledky, jsou zatíženy řadou nejistot a dosud neposkytují dostatečné podklady k posouzení tohoto rizika [3,4,7,8].

Potenciálně významné zjištění přinesla nejnovější a dosud nejrozsáhlejší celonárodní dánská studie, publikovaná v únoru 2021, ve které bylo popsáno malé, ale nezanedbatelné ovlivnění nitroděložního růstu plodu i při podlimitní úrovni expozice matek dusičnanům z pitné vody. Při průměrném obsahu dusičnanů 25 mg/l ve srovnání s nulovou koncentrací bylo zjištěno snížení porodní váhy o 10 gramů, což je sice klinicky zanedbatelné, ale při celosvětové šíři expozice dusičnanům z pitné vody může mít význam z populačního hlediska a navozuje otázku týkající se současného limitu [10].

Dosavadní pohled na dusičnany, orientovaný převážně na jejich rizika, v poslední době však doznává určité změny. Byl prokázán jejich význam v ochraně před infekčními onemocněními ústní dutiny a zažívacího traktu [3,7].

Výsledky výzkumu také indikují, že dusičnany přijímané potravou mohou být zdraví prospěšné i jako alternativní zdroj endogenní tvorby oxidu dusnatého, který hraje významnou roli v řadě důležitých fyziologických funkcí, zejména kardiovaskulárního systému [3,4,11,12,13].

Je proto možné, že příznivý efekt diety s vysokým podílem zeleniny v prevenci řady onemocnění souvisí se současným vysokým příjmem dusičnanů.

Riziko chronického příjmu dusičnanů bylo doposud hlavně spojováno s možností sekundární tvorby karcinogenních N-nitrososloučenin v žaludku reakcí dusitanů a prekursorů z potravy. Otázka, zda toto riziko, prokázané u pokusných zvířat, je relevantní i pro člověka, však dosud nebyla spolehlivě zodpovězena. Současné poznatky proto neumožňují spolehlivé zhodnocení poměru přínosu a rizika dusičnanů z hlediska dlouhodobých zdravotních účinků [7,13].

⁹Vyvolání zvětšení štítné žlázy následkem sníženého využití jódu.

¹⁰Onemocnění cukrovkou v důsledku destrukce β -buněk Langerhansových ostrůvku slinivky a úplného deficitu tvorby insulinu.

Genotoxicita a karcinogenita

Dusičnany vesměs nevykazují genotoxické¹¹ účinky. U dusitanů dávají testy mutagenity rozporné výsledky. V experimentech u zvířat dusičnany samy o sobě nemají karcinogenní účinek. U dusitanů v některých studiích tento účinek popsán byl a konzistentně se projevuje ve většině studií při současném podávání prekursorů N-nitrososloučenin (specifických sekundárních nebo terciárních aminů nebo amidů) v pitné vodě nebo potravě [3,9].

N-nitrososloučeniny, vznikající v kyselém prostředí v žaludku reakcí dusitanů a prekursorů z potravy, jsou v pokusech na zvířatech karcinogenní a pravděpodobně jsou karcinogenní i pro člověka.

Agentura WHO pro výzkum rakoviny (IARC¹²) proto v roce 2010 zařadila perorálně přijímané dusičnany a dusitany za podmínek vedoucích k endogenní nitrosaci za pravděpodobné karcinogeny pro člověka (skupina 2A).

Výsledky dosud provedených epidemiologických studií z hlediska důkazů o vztahu mezi příjmem dusičnanů z pitné vody nebo potravy a výskytem různých typů rakoviny však IARC považuje za nedostatečné. Omezené důkazy existují pouze pro souvislost mezi zvýšeným výskytem rakoviny žaludku a příjmem dusitanů potravou [9].

Také podle souborných hodnocení, publikovaných v posledních letech, epidemiologické i experimentální studie zabývající se karcinogenitou dusičnanů a dusitanů neposkytují věrohodný důkaz o kauzálním vztahu [3,4,8,14,15].

V kanadských podkladech k aktualizaci limitu pro dusičnany a dusitany v pitné vodě z roku 2013 byl proveden orientační odhad míry karcinogenního rizika nejznámější N-nitrososloučeniny (dimethylnitrosaminu) pro limit dusičnanů v pitné vodě 45 mg/l. Při maximálně konzervativním odhadu expozice vyšla úroveň celoživotního karcinogenního rizika v nízké úrovni $6,5 \times 10^{-6}$ [6].

K podobnému závěru o nízké úrovni karcinogenního rizika touto cestou dospěl i v roce 2017 Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA¹³) při odhadu míry rizika odpovídající ADI dusičnanů za použití nejvyššího konverzního faktoru dusičnany – dusitany 9% [15].

Proces vzniku N-nitrososloučenin (endogenní nitrosace) je ovlivněn celou řadou faktorů včetně individuální variability.

Výsledky studií, které popsaly pozitivní asociaci nepříznivých účinků i při podlimitním obsahu dusičnanů v pitné vodě, naznačují možnost zvýšeného rizika pro určité skupiny populace a indikují potřebu dalšího cíleného výzkumu v této oblasti [8].

Doporučené limity

WHO doporučuje jako limitní koncentraci dusičnanů v pitné vodě 50 mg/l. Považuje ji za dostatečnou ochranu zdraví u nejcitlivější skupiny – uměle živěných kojenců, a tudíž i pro ostatní část populace. Doporučený limit vychází z absence nepříznivých účinků dusičnanů (methemoglobinémie a ovlivnění štítné žlázy) při koncentraci dusičnanů <50 mg/l v epidemiologických studiích. Vzhledem k úloze gastrointestinální infekce při riziku methemoglobinémie WHO klade při obsahu dusičnanů kolem limitní hodnoty a používání této vody pro kojence důraz na zabezpečení její mikrobiologické bezpečnosti. Obezřetnost je třeba při průjmových potížích kojence a též při převařování vody, aby odparem nedocházelo ke koncentraci dusičnanů. U dusitanů je pro prevenci methemoglobinémie u kojenců i u ostatní populace doporučena limitní koncentrace 3 mg/l.

¹¹Genotoxický účinek – poškození struktury DNA, vedoucí ke změně genetické informace

¹²IARC (International Agency for Research on Cancer) Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny se sídlem v Lyonu. Na základě dostupných poznatků z epidemiologických studií u lidí, účinků na pokusná zvířata a výsledků testů genotoxicity klasifikuje různé chemické látky zařazením do 4 skupin z hlediska průkaznosti jejich karcinogenity pro člověka.

¹³EFSA – European Food Safety Authority

Vzhledem k tomu, že dusičnany i dusitaný se mohou ve vodě vyskytovat současně, nemá být součet poměru koncentrace obou látek vydělených výše uvedenými limity vyšší než 1 [3,7].

V USA stanovila Kalifornská EPA v roce 1997 jako PHG¹⁴ koncentraci dusičnanů v pitné vodě 45 mg/l. V roce 2018 byla na základě vyhodnocení současných poznatků provedena aktualizace PHG. Bylo konstatováno, že i když bylo publikováno mnoho nových studií zabývajících se toxicitou dusičnanů a dusitanů, nepřinášejí důvody pro změnu původního hodnocení na základě methemoglobinémie kojenců jako kritického účinku a byla ponechána původní hodnota, u které se předpokládá, že poskytuje ochranu jak před methemoglobinémií kojenců, tak i před jakýmkoliv jinými známými toxickými účinky [4].

Přijaté limity

Vyhláška MZ č.252/2004 Sb. stanoví pro dusičnany v souladu s doporučením WHO i Směrnicí EU 2020/2184¹⁵ nejvyšší mezní hodnotu 50 mg/l. Pro dusitaný je stanovena nejvyšší mezní hodnota 0,5 mg/l. Je zde též stanovena podmínka, aby součet poměrů obsahu dusičnanů děleného 50 a obsahu dusitanů děleného třemi nepřesáhl hodnotu 1.

V USA je limitní koncentrace – MCL¹⁶ pro obsah dusičnanů v pitné vodě, stejně jako cílová koncentrace – MCLG¹⁷ 44 mg/l (10 mg/l dusičnanového dusíku). MCL a MCLG pro obsah dusitanů je odvozena jako jedna desetina limitní koncentrace dusičnanů, tj 3,3 mg/l (1 mg/l dusitanového dusíku) na základě předpokladu, že 10 % přijatých dusičnanů může být u dětí redukováno na dusitaný. Pro součet koncentrace dusičnanů a dusitanů je stanoven limit 10 mg/l (vyjádřeno jako dusík) [16].

Limity pro krátkodobý příjem

Pro krátkodobý příjem dusičnanů pitnou vodou uvádí US EPA únosnou koncentraci ze zdravotního hlediska ve výši 44 mg/l, u dusitanů 3,3 mg/l (vychází z tělesné hmotnosti kojence 4 kg a považuje tuto koncentraci za ochranu celé populace) [16].

SZÚ Praha doporučuje pro nouzové zásobování pitnou vodou v trvání do 30 dnů připustit u dospělých osob obsah dusičnanů až 130 mg/l, u dusitanů po dobu 7 dnů, pokud je v pořádku mikrobiologické vyšetření vody, až 7 mg/l [17].

Dusičnany a dusitaný – referenční hodnoty

WHO – přijatelný denní příjem (ADI)

Komise JECFA FAO/WHO vycházela v roce 1995 při přehodnocení akceptovatelného denního příjmu (ADI) dusičnanů z výsledků dlouhodobých studií toxicity dusičnanů u experimentálních zvířat, přičemž přihlížela i k výsledkům toxikologických studií dusitanů a k poměrům konverze dusičnanů na dusitaný u člověka. Jako NOAEL¹⁸ byla použita dávka 370 mg/kg/den, při které nebyly v chronické orální studii u potkanů zjištěny žádné nepříznivé účinky a s použitím bezpečnostního faktoru 100 byl stanoven ADI 3,7 mg/kg/den (vyjádřeno jako dusičnanový iont).

¹⁴PHG (Public Health Goal) - doporučená cílová hodnota stanovená pouze na základě toxikologických dat bez zohlednění ekonomických či technických argumentů

¹⁵Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. 12. 2020 o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu. Limit pro dusičnany a dusitaný se v této nové směrnici proti původní směrnici z roku 1998 nezměnil.

¹⁶MCL (Maximum Contaminant Level) - Nejvyšší přípustná koncentrace kontaminujících látek v pitné vodě.

¹⁷MCLG (Maximum Contaminant Level Goal) – Cílová žádoucí koncentrace kontaminujících látek v pitné vodě, zaručující adekvátní ochranu zdraví. U látek s podezřením na karcinogenní bezprahový účinek je vždy nulová.

¹⁸NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) - Nejvyšší dávka, při které ještě není na statisticky významné úrovni ve srovnání s kontrolní skupinou pozorován žádný nepříznivý zdravotní účinek.

Tato hodnota koresponduje s předchozí ADI i s výpočtem založeným na kapacitě redukčních mechanismů v konverzi dusičnanů na dusitany u člověka. Současně bylo uvedeno, že ADI by neměl být používán u kojenců do 3 měsíců věku z důvodu jejich zvýšené citlivosti k toxicitě dusitanů a neměl by se vztahovat na příjem dusičnanů ze zeleniny, kde jsou současně obsaženy i ochranné látky [18].

Novější poznatky byly vyhodnoceny v roce 2003 a byla ponechána původní hodnota ADI dusičnanů 3,7 mg/kg/den. Expozice dusičnanům ve vztahu ke zdravotním rizikům by se však podle tohoto stanoviska komise měla hodnotit ze všech zdrojů včetně dietárního příjmu zeleniny [19].

Poslední přehodnocení rizika dusičnanů publikoval Evropský úřad pro bezpečnost potravin v roce 2017. Upozornil na výraznou individuální variabilitu konverze dusičnanů na dusitany (odhad v rozmezí 1–9 %) tím i nemožnost stanovit na základě současných dat ADI v jedné hodnotě. Avšak ani při použití nejvyšší hodnoty konverzního faktoru nevychází významnější riziko dusitanů a podle závěru EFSA navzdory nejistotě v přesném stanovení nejsou dostatečné důvody ke změně dosavadní hodnoty ADI [15].

Při stanovení ADI pro příjem dusitanů vycházela komise JECFA FAO/WHO též z výsledků toxikologických studií u experimentálních zvířat. Ve dvouleté orální studii u krys při příjmu dusitanů s pitnou vodou byla zjištěna hodnota NOAEL 6,7 mg/kg/den pro kritický účinek zvýšené methemoglobinémie spolu s toxickým účinkem na srdce a plíce.

S použitím faktoru nejistoty 100 byl v roce 2003 odvozen ADI 0,07 mg/kg/den [19]. Tato hodnota ADI byla potvrzena i v rámci přehodnocení rizika dusitanů Evropským úřadem pro bezpečnost potravin v roce 2017 [20].

US EPA – Referenční dávka pro orální expozici (RfDo)¹⁹

US EPA vycházela v roce 1991 při stanovení referenční dávky (RfDo) dusičnanů v databázi IRIS²⁰ z časných klinických příznaků methemoglobinémie při překročení 10 % metHb u kojenců do 3 měsíců věku, které považuje za kritický účinek [21].

Podle epidemiologických studií se nevyskytly případy methemoglobinémie u kojenců při používání vody k přípravě umělé kojenecké stravy s obsahem dusičnanů pod 44 mg NO₃/l. Tato koncentrace byla použita k výpočtu dávky NOAEL 7 mg/kg/den za předpokladu tělesné hmotnosti kojence 4 kg a příjmu 0,64 litru vody denně.

Za LOAEL²¹ je považováno rozmezí dávky 7,9 až 14,1 mg/kg/den, vypočtené z koncentrace 48 až 88 mg NO₃/l. V tomto rozmezí obsahu dusičnanů ve vodě používané k přípravě kojenecké stravy se již ojedinělé případy methemoglobinémie vyskytly, i když se většinou jednalo o vodu současně bakteriologicky kontaminovanou nebo o příjem dusičnanů i z jiných zdrojů. Z NOAEL je odvozena RfDo 7 mg/kg/den (jako dusičnanový iont NO₃⁻) bez použití faktorů nejistoty, neboť se jedná o spolehlivě prokázaný efekt u nejcitlivější skupiny lidské populace. Této referenční dávce je prisuzována vysoká míra spolehlivosti.

Pro stejný kritický účinek, tedy vyvolání methemoglobinémie u kojenců, byla odvozena i referenční dávka dusitanů. Jako NOAEL byla vyhodnocena dávka dusitanů 3,3 mg/kg/den (1 mg dusitanového dusíku), odpovídající koncentraci dusitanů v pitné vodě 33 mg/l (10 mg dusitanového dusíku/l).

¹⁹Referenční dávka pro orální příjem (RfDo) - Průměrná denní dávka dané látky, která pravděpodobně nevyvolá při dlouhodobém příjmu ani u citlivých populačních skupin nepříznivé zdravotní účinky. Přesnost odhadu této dávky je přibližně v rozsahu jednoho řádu. Je udávána v mg/kg/den. Je obdobou ADI nebo TDI WHO.

²⁰IRIS (Integrated Risk Information System) - Databáze US EPA, obsahující referenční hodnoty pro toxický i karcinogenní účinek chemických látek, u kterých bylo dosaženo shody odborníků US EPA.

²¹LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) - Nejnižší dávka, při které je již pozorován nepříznivý zdravotní účinek na statisticky významné úrovni ve srovnání s kontrolní skupinou.

S použitím modifikujícího faktoru 10 z důvodu přímé toxicity dusitanů byla pro dusitany stanovena referenční dávka $RfDo = 0,33 \text{ mg/kg/den}$ (vyjádřeno jako dusitanový iont NO_2^-). I této referenční dávce je přisuzována vysoká míra spolehlivosti [21].

ATSDR²² – Minimal Risk Level (MRL)²³

Americká ATSDR uvádí v toxikologickém hodnocení dusičnanů a dusitanů, uzavřeném v roce 2017, pro dusičnany stejnou akutní, subakutní i chronickou perorální MRL 4 mg/kg/den. Tato hodnota odpovídá po přepočtu na příjem vody a tělesnou hmotnost kojenců do 3 měsíců věku (0,525 l/den a hmotnost 5,33 kg) koncentraci dusičnanů v pitné vodě 44 mg/l. Hodnoceným kritickým účinkem je tedy stejně jako u US EPA methemoglobinémie u kojenců a vzhledem k tomu, že představují nejcitlivější skupinu populace, není použit žádný faktor nejistoty.

Pro dusitany je uvedena hodnota akutní, subakutní i chronické perorální MRL 0,1 mg/kg/den, odvozená z MRL dusičnanů. Při průměrné 5 % konverzi požití dávky dusičnanů na dusitany u dospělých osob vychází 0,2 mg/kg/den a je aplikován faktor nejistoty 2 na vyšší citlivost k methemoglobinémie u kojenců [14].

Výběr referenční hodnoty a zdůvodnění:

Referenční dávka US EPA je sice stanovena velmi spolehlivě na základě známého akutního kritického účinku dusičnanů u kojenců do 3 měsíců věku, avšak používání této hodnoty pro hodnocení rizika u starší populace, která je proti vzniku methemoglobinémie podstatně odolnější, nevyznívá zcela racionálně.

Chronický toxický účinek dusičnanů byl zjištěn v experimentu u pokusných zvířat, je poměrně neurčitý (pokles tělesné hmotnosti) a extrapolace ze zvířat na člověka je vždy zdrojem nejistoty. V metabolismu dusičnanů jsou navíc významné mezidruhové rozdíly.

Zatímco u člověka jsou hlavním místem konverze dusičnanů na dusitany sliny, u potkanů k tomu nedochází a celková redukce dusičnanů na dusitany je u nich pravděpodobně nižší nežli u člověka. WHO proto v aktualizovaných podkladech pro stanovení doporučeného limitu dusičnanů v pitné vodě z roku 2016 vychází z rizika akutních účinků (methemoglobinémie a ovlivnění hladiny hormonů štítné žlázy během vývoje plodu) s předpokladem, že doporučený limit poskytuje ochranu i před účinky dlouhodobými [3,7].

V autorizačním návodu SZÚ Praha 16/04 verze 5 je z důvodu předběžné opatrnosti doporučeno riziko chronických účinků dusičnanů při expozici z pitné vody hodnotit a jako referenční dávku k tomu použít ADI, stanovený komisí JECFA FAO/WHO a potvrzený v roce 2008 a 2017 i Evropským úřadem pro bezpečnost potravin EFSA.

V souladu s AN 16/04 verze 5 bude proto ke kvantitativnímu hodnocení rizika chronických toxických účinků dusičnanů použitý ADI WHO s vědomím výše uvedených nejistot. Pro hodnocení rizika akutních účinků bude použita referenční dávka US EPA.

Podobně s použitím ADI WHO 0,07 mg/kg/den a referenční dávky US EPA 0,33 mg/kg/den bude v rámci kumulativního účinku hodnoceno i riziko chronických a akutních účinků dusitanů.

Populační skupiny se zvýšenou citlivostí:

Kritickou nejvíce citlivou populační skupinou jsou při perorálním příjmu dusičnanů kojenci do 3 měsíců věku při použití vody k přípravě umělé kojenecké stravy z důvodu akutního rizika vzniku methemoglobinémie.

²²ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) - Agentura Ministerstva zdravotnictví USA, jejíž úlohou je ochrana veřejného zdraví před nebezpečnými látkami v prostředí.

²³MRL (Minimal Risk Level) - Úroveň denní expozice hodnocené látky, která je pravděpodobně bez rizika nepříznivých zdravotních účinků pro člověka. Stanoví je ATSDR pro akutní (<15 dní), subakutní (15–364 dní) a chronickou expozici. Týkají se pouze nekarcinogenních zdravotních účinků. Slouží jako pomůcka pro rychlou identifikaci rizika.

Vzhledem k relativně vyššímu příjmu vody na jednotku tělesné hmotnosti je však nutné za citlivou populační skupinu považovat i starší kojence a malé děti z hlediska rizika chronických toxických účinků dusičnanů. Za více citlivé skupiny populace jsou dále považovány těhotné ženy, lidé s deficitem enzymů redukujících metHb a lidé se sníženou žaludeční kyselostí [3].

Těhotné ženy je odůvodněné při použití principu předběžné opatrnosti považovat za rizikovou skupinu populace i s ohledem na výsledky některých epidemiologických studií naznačující možnost reprodukční a vývojové toxicity dusičnanů.

Amonné ionty

Použití, chování a výskyt ve vodě

Ukazatel jakosti pitné vody, nazvaný amonné ionty, analyticky zahrnuje celkový amoniakální dusík, tedy sumu amonných iontů NH_4^+ a volného amoniaku NH_3 . Stupeň ionizace závisí na teplotě, pH a koncentraci rozpuštěných solí ve vodě. V rozsahu pH většiny přírodních vod jsou však dominantní formou výskytu amoniakálního dusíku amonné kationy NH_4^+ .

Amoniakální dusík je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Antropogenními zdroji jsou hlavně splaškové odpadní vody a odpady ze zemědělské výroby, dusíkatá hnojiva a některé průmyslové odpadní vody. Do srážkové vody se dostává z průmyslových exhalací.

V podzemních vodách se amonné ionty vyskytují většinou v nízkých koncentracích, obvykle pod 0,2 mg/l. Předpokládá se však, že amonné sloučeniny mohou v podzemních vodách ve větších hloubkách vznikat i sekundárně, a to chemickou redukcí dusičnanů při styku vody s minerály obsahujícími Fe^{II} a Mn^{II} [23].

WHO uvádí, že vyšší koncentrace až do 3 mg/l jsou nacházeny v oblastech bohatých na huminové látky a železo. Zvýšený obsah amonných iontů ve vodě též může být způsoben uvolňováním amoniaku z cementové malty používané pro vnitřní výstelku potrubí [24].

Sekundárním zdrojem amonných iontů v pitné vodě až do koncentrace 5 mg/l může být uvolňování z náplně vodovodních filtrů na bázi iontoměničových pryskyřic, používaných k doúpravě pitné vody v domácnostech, kde se amoniak vytváří během sterilizačního procesu na konci výrobního procesu a je při používání filtru uvolňován do vody [25].

K přítomnosti amonných iontů v pitné vodě též může docházet při zdravotním zabezpečení vody chloraminací.

Amonné ionty se na rozdíl od dusičnanů dobře sorbují na negativně nabitých částicích půdy, takže se při infiltraci půdou zadržují. V důsledku této adsorpce, nitrifikace a reakce s chlorem za vzniku chloraminu při chlorování vody je však ve většině vodovodních systémů obsah amonných iontů zanedbatelný [26].

V pitné vodě veřejných vodovodů byl v ČR podle zprávy Monitoringu HS v roce 2019 průměrný obsah amonných iontů 0,03 mg/l s maximální zjištěnou hodnotou 2,4 mg/l. Z celkového počtu 30 755 vyšetřených vzorků vody byl obsah amonných iontů nad mezi stanovitelnosti zjištěn v 14 % a 25x bylo zjištěno překročení mezní hodnoty 0,5 mg/l.

Zvýšený obsah amonných iontů není častým důvodem dočasné výjimky z jakosti pitné vody, schválené orgánem ochrany veřejného zdraví. V roce 2019 nebyl vyšší obsah amonných iontů důvodem výjimky v žádné oblasti [2].

Amoniak je bezbarvý plyn s ostrým a dráždivým zápachem, dobře rozpustný ve vodě. Pachový práh amoniaku ve vodě je asi 1,5 mg/l, chuťový práh je uváděn v rozmezí koncentrací 30–35 mg/l [24]. Amoniakální dusík ve vodě významně zvyšuje korozi mědi a jejích slitin [23].

Hlavní hygienický význam má ukazatel amonné ionty v pitné vodě jako indikátor znečištění podzemních vod živočišnými odpady, pokud ovšem není anorganického původu (hnojiva) nebo nevzniká rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného původu (vody v okolí rašelinišť) [23].

Při obsahu amonných iontů ve vodě nad 0,2 mg/l se mohou vyskytovat pachové a chuťové problémy a klesá účinnost desinfekce vody chlorováním, neboť značná část volného chloru reaguje s amonnými ionty. Zvýšenou spotřebou oxidujících látek též může docházet k narušení procesů úpravy vody k odstranění organických a anorganických látek, jako je železo, mangan a arzen.

Hlavním problémem zvýšených koncentrací amonných iontů v pitné vodě je však možnost mikrobiologické nitrifikace, vedoucí ke zvýšené koncentraci dusitanů, případně dusičnanů. Faktory přispívající k nitrifikaci ve vodovodních systémech zahrnují vyšší teplotu vody, pH, nízký poměr Cl_2 : $\text{NH}_3\text{-N}$ a současný nárůst koncentrace volných amonných iontů a reziduí chloraminu. Vliv má i řada parametrů distribučního systému, jako je doba zdržení vody, typ rezervoárů, biofilm, sedimenty a koroze potrubí [27].

Amonné ionty mohou být v rámci úpravy vody odstraňovány biologickým postupem metodou řízené nitrifikace nebo fyzikálně-chemickými procesy, jako je chlorace do bodu zlomu, iontová výměna nebo membránová filtrace [27].

Příjem a chování v organismu

V důsledku přirozeného výskytu v různých složkách prostředí je člověk v nízké úrovni amoniaku běžně exponován z různých vnějších zdrojů (ovzduší, půda, potrava, voda, spotřební výrobky) [27].

Amoniak a amonné soli se přirozeně vyskytují v různých potravinách. Obsah v zelenině je až 15 000 mg/kg. Amoniak též vzniká během zpracování mléka, vysoké koncentrace jsou nacházeny v důsledku enzymatické degradace proteinů, peptidů a aminokyselin zejména ve zrajících sýrech [25].

Amoniak a amonné sole jsou používány jako čisticí prostředek a aditiva v potravinářství a chlorid amonný je užíván jako diuretikum. WHO odhaduje průměrný příjem potravou kolem 18 mg denně, což je zanedbatelné ve srovnání s endogenním vznikem amoniaku ve střevním traktu [24].

Amoniak je klíčovým metabolitem u všech savců. Má základní roli v regulaci acidobazické rovnováhy a v biosyntéze nukleových kyselin a proteinů. Endogenní produkce amoniaku u člověka je asi 17 g, z čehož přibližně 4 g vznikají činností bakterií (rozkladem nukleových kyselin a aminokyselin) ve střevním traktu.

Amoniak se ze střevního traktu rychle vstřebává a přechází portálním oběhem do jater, kde je rychle metabolizován za vzniku glutaminu a močoviny, vylučované ledvinami. Koncentrace amoniaku v krvi je u zdravého člověka v rozmezí 0,7 – 2 mg/l [26].

Toxicita a karcinogenita

Při vysoké expozici amoniaku se uplatňuje hlavně jeho dráždivý a žíravý účinek na pokožku a sliznici očí a respiračního traktu prostřednictvím vznikajícího hydroxidu amonného. Požití koncentrovaného roztoku amoniaku tak může vyvolat vážné poleptání horní části zažívacího traktu.

V experimentech u potkanů nebyly kromě příznaků přisuzovaných metabolické acidóze pozorovány závažné nepříznivé účinky ani při dlouhodobém perorálním podávání amonných solí v přepočtené dávce amoniaku 400 mg/kg/den [25].

Dle Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) vykazuje amoniak nízkou akutní perorální toxicitu a nevyvolává obavu z vývojové ani reprodukční toxicity, genotoxicity nebo karcinogenity.

Důkazy ukazují, že jaterní metabolismus může účinně regulovat fyziologickou hladinu amoniaku i při částečné funkci jater nebo vysokém exogenním příjmu [25].

Ke zvýšené koncentraci endogenně vznikajícího amoniaku v krvi (hyperamonémii) s toxickými převážně neurologickými příznaky však může dojít při vrozených metabolických poruchách nebo selhání funkce jater nebo ledvin.

Kanadské ministerstvo zdravotnictví v aktualizovaném hodnocení z roku 2013 uvádí, že amoniak v úrovni nalézané v pitné vodě nemá souvislost s žádnými nepříznivými zdravotními účinky [27].

Dle WHO hrozí toxické účinky amoniaku a amonných sloučenin u člověka až v případě překročení kapacity detoxikačních mechanismů a byly pozorovány pouze při úrovni expozice nad 200 mg/kg tělesné hmotnosti [7].

Doporučené limity (WHO, US EPA, Health Canada)

WHO nepovažuje běžné rozmezí obsahu amonných iontů ve vodě za zdravotně významné a doporučený zdravotně podložený limit pro koncentraci amoniaku, resp. amonných iontů v pitné vodě nestanovuje. Upozorňuje však na nepřímé efekty, jako je snížená účinnost desinfekce, nitrifikace, narušení procesů úpravy vody při odmanganování a chuťové a pachové problémy [7].

V USA závazná limitní koncentrace pro amoniak stanovena není a jako koncentraci v pitné vodě, při které se ani při celoživotní expozici neočekávají nepříznivé účinky na zdraví, uvádí US EPA 30 mg/l, což je hodnota chuťového prahu [16].

Kanadské ministerstvo zdravotnictví (Health Canada) publikovalo v roce 2013 aktualizované vyhodnocení současných poznatků o významu amoniaku v pitné vodě. Zdravotně podložený limit pro amonné ionty též nenavrhuje s odůvodněním nízké toxicity při koncentracích nalézáných v pitné vodě. Vzhledem k možnému ovlivnění kvality vody nitrifikací však považuje za potřebné tento ukazatel ve vodě monitorovat [27].

Přijaté limity

Směrnice EU 2020/2184 uvádí obsah amoniaku mezi indikačními ukazateli pro monitoring kvality vody v hodnotě 0,5 mg/l.

Vyhláška MZ č.252/2004 Sb. stanoví pro obsah amonných iontů v souladu se Směrnicí EU mezní hodnotu v pitné vodě 0,5 mg/l.

Limity pro krátkodobý příjem

Pro nouzové zásobování pitnou vodou v trvání do 30 dnů lze dle SZÚ Praha připustit koncentraci amonných iontů do 30 mg/l s poznámkou, že tento limit je stanoven z hlediska ovlivnění chuti vody a z hlediska toxicity by bylo možné připustit i vyšší hodnotu [17].

Vztahy expozice a účinku (referenční hodnoty):

V případě amonných iontů, respektive amoniaku v pitné vodě, není hodnota TDI ani jiné referenční dávky stanovena a za nezbytné to WHO nepovažuje ani pro příjem amoniaku potravinami. Důvodem je endogenní produkce amoniaku v organismu a účinný enzymatický systém k jeho detoxikaci a eliminaci.

Stanovisko EFSA

Evropský úřad pro bezpečnost potravin se v roce 2012 zabýval z podnětu Evropské Komise otázkou nebezpečnosti zvýšené koncentrace amonných iontů v pitné vodě v rozmezí 0,5–5 mg/l zjištěné při používání některých vodovodních filtrů k doúpravě pitné vody v domácnostech.

Na základě vyhodnocení současných vědeckých poznatků dospěli experti EFSA k závěru, že tato míra přídatné expozice je v porovnání s endogenní produkcí amoniaku zanedbatelná a nepředstavuje zdravotní riziko ani pro citlivé skupiny populace (tj. osoby s vrozenými metabolickými vadami nebo vážným selháváním funkce ledvin nebo jater) [25].

IV. Hodnocení expozice

Expoziční scénář: celoroční používání vody z veřejného vodovodu

Pro kvantitativní odhad expozice se v rámci zvoleného expozičního scénáře provádí výpočet průměrné denní dávky ADD (Average Daily Dose) pro látky s toxickým nekarcinogenním účinkem a průměrné celoživotní denní dávky LADD (Lifetime Average Daily Dose) pro látky s předpokládaným karcinogenním účinkem.

U dusičnanů je sice diskutována možnost zprostředkovaného karcinogenního působení N-nitrososloučenin, vznikajících v žaludku působením dusitanů na určité složky potravy, avšak tato hypotéza nebyla zatím u člověka spolehlivě prokázána a kvantitativní vztahy, které by bylo možné pro hodnocení takového rizika použít, jsou zatíženy příliš vysokou nejistotou. Kvantitativně lze proto reálně hodnotit pouze riziko nekarcinogenního toxického, tedy prahového účinku.

Vzhledem k fyzikálně-chemickým vlastnostem dusičnanů se expozice jinou cestou nežli požíváním vody, tedy např. dermální a inhalační příjem při mytí, považuje za nevýznamnou.

Za citlivou populační skupinu můžeme z důvodů popsaných v předešlých kapitolách považovat těhotné ženy, kojence a malé děti. U dospělé populace je zvýšený příjem pitné vody u kojících žen. V rámci zásobování pitnou vodou veřejným vodovodem je třeba počítat se zastoupením všech těchto citlivých populačních skupin. Výpočet denní průměrné dávky je proto dále proveden pro tyto skupiny populace:

- a) kojenci ve věku do 3 měsíců věku pro hypotetický případ používání vodovodní vody k přípravě umělé kojenecké výživy
- b) starší kojenci ve věku 3–12 měsíců, kde je použití vodovodní vody již pravděpodobnější
- c) malé děti do 3 let věku s relativně vysokým příjmem vody
- d) starší děti ke stanovení horní hranice rizika
- d) dospělá populace se zaměřením na těhotné ženy a na kojící ženy s vyšším příjmem vody

Pro výpočet denní dávky je použit klasický vzorec dle metodiky US EPA:

$$ADD_0 = CW \times IR \times EF \times ED / BW \times AT$$

CW (Concentration Water) - koncentrace látky ve vodě v mg/l

IR (Intake Rate) - množství požití vody v l/den

EF (Exposure Frequency) - frekvence expozice ve dnech za rok

ED (Exposure Duration) - trvání expozice v letech

BW (Body Weight) - tělesná hmotnost v kg

AT (Averaging Time) - doba ve dnech, na kterou expozici průměrujeme

Doporučené hodnoty IR u různých věkových skupin populace uvádí autorizační návod SZÚ Praha 16/04 verze 4, přičemž jejichž podkladem byly materiály US EPA z roku 2004 a výsledky průzkumu individuální spotřeby potravin v ČR, provedené SZÚ Praha. U dětí ve věku 1-3 roky představují 95percentil zjištěné spotřeby vody, u ostatních skupin populace jde o 90percentil.

US EPA vydala novou příručku expozičních faktorů v roce 2011 [29]. V roce 2019 aktualizovala její kapitolu doporučených hodnot příjmu vody [30].

Z tohoto nejnovějšího podkladu jsou převzaty hodnoty spotřeby vody u těhotných a kojících žen (95percentil).

Průměrná tělesná hmotnost u dětí byla stanovena z výsledků posledního celostátního antropologického výzkumu dětí a mládeže v ČR [31]. Byl použit aritmetický průměr zjištěných hodnot za dané věkové období a byly zprůměrovány hodnoty pro chlapce a dívky. Průměrná tělesná hmotnost u žen byla převzata z příručky US EPA 2011 [29].

Dle autorizačního návodu SZÚ pro hodnocení zdravotních rizik z pitné vody se u dusičnanů hodnotí samostatně riziko akutních a chronických účinků. Hodnocení rizika chronických účinků je doporučeno provést jak pro maximální koncentraci, do které je žádána výjimka, tak i pro reálnou průměrnou koncentraci za poslední 3 roky, pokud se od maximální koncentrace významně liší a časový vývoj nemá rostoucí tendenci. Obsah dusičnanů ve vodě hodnoceného vodovodu vykazuje výrazné zvýšení až v letošním roce, takže dlouhodobou průměrnou koncentraci nelze použít. Hodnocení rizika chronických účinků bude proto provedeno pro maximální koncentraci.

Jak již bylo uvedeno v zadání, je vzhledem k časově rozdílné expozici obyvatel dusičnanům z pitné vody jímacího území Nová Ves hodnocení expozice a následná kvantitativní charakterizace rizika provedena samostatně pro dvě části skupinového vodovodu a jimi zásobovaných obcí.

Obce Nová Ves, Velký Dvůr, Vlasatice, Pasohlávky, Ivaň

U obcí Nová Ves, Velký Dvůr, Vlasatice, Pasohlávky a Ivaň, celoročně zásobovaných pouze vodou z jímacího území Nová Ves, bude výpočet maximální a průměrné denní dávky po dohodě se zadavatelem proveden variantně pro tři hodnoty maximální koncentrace dusičnanů 70 – 80 – 90 mg/l.

Vzhledem ke stejnému toxickému účinku je při hodnocení rizika akutních i chronických účinků dusičnanů nezbytné zohlednit i obsah dusitanů, i když nepřevyšuje hygienický limit. Jako koncentrace dusitanů bude použita hodnota 0,3 mg/l.

Expoziční parametry jsou uvedeny v tabulce č. 1, výsledné hodnoty maximální a průměrné denní dávky dusičnanů a dusitanů z pitné vody jsou uvedeny v tabulkách č. 2 a 3.

Tab. 1 – Použité expoziční parametry:	
<i>Maximální koncentrace dusičnanů ve vodě</i>	<i>70 – 80 – 90 mg/l</i>
<i>Maximální koncentrace dusitanů ve vodě</i>	<i>0,3 mg/l</i>
<i>IR (množství požití vody) – kojeneček do 3 měsíců</i>	<i>0,75 l/den</i>
<i>IR – kojeneček 3-12 měsíců</i>	<i>1,0 l/den</i>
<i>IR – dítě 1-3,99 roky</i>	<i>0,95 l/den</i>
<i>IR – dítě 4 - 10,99 let</i>	<i>1,2 l/den</i>
<i>IR – těhotné ženy</i>	<i>2,9 l/den</i>
<i>IR – kojící ženy</i>	<i>3,1 l/den</i>
<i>IR – dospělí</i>	<i>2 l/den</i>
<i>BW (tělesná hmotnost) – kojeneček do 3 měsíců</i>	<i>4,60 kg</i>
<i>BW – kojeneček 3-12 měsíců</i>	<i>8,15 kg</i>
<i>BW – dítě 1-1,99 roky</i>	<i>11,25 kg</i>

<i>BW – dítě 2-2,99 roky</i>	<i>14,0 kg</i>
<i>BW – dítě 3-3,99 roky</i>	<i>16,0 kg</i>
<i>BW – dítě 4-6,99 let</i>	<i>21,0 kg</i>
<i>BW – dítě 7-7,99 let</i>	<i>26,65 kg</i>
<i>BW – dítě 8-8,99 let</i>	<i>30,0 kg</i>
<i>BW – dítě 9-9,99 let</i>	<i>33,15 kg</i>
<i>BW – těhotné ženy</i>	<i>75 kg</i>
<i>BW – kojící ženy</i>	<i>67 kg</i>
<i>BW – dospělí</i>	<i>70 kg</i>
<i>EF (frekvence expozice)</i>	<i>350 dní/rok*</i>
<i>EF – kojenci</i>	<i>365 dní/rok</i>
<i>ED (trvání expozice) – nekarcinogenní riziko</i>	<i>1 rok**</i>
<i>AT (průměrná doba expozice) – nekarcinogenní riziko</i>	<i>365 dní (365x1)</i>

* předpokládá se 15denní pobyt v roce mimo bydliště

** počítá se momentální riziko pro populaci v daném věku, respektive pro období 1 rok

Tab. 2 – Maximální (MDD) denní dávka dusičnanů a dusitanů z pitné vody (mg/kg/den)

<i>Věková skupina</i>	<i>NO3⁻</i>			<i>NO2⁻</i>
	<i>70 mg/l</i>	<i>80 mg/l</i>	<i>90 mg/l</i>	<i>0,3 mg/l</i>
<i>Kojenci do 3 měsíců</i>	<i>11,41</i>	<i>13,04</i>	<i>14,67</i>	<i>0,049</i>
<i>Kojenci 3-12 měsíců</i>	<i>8,59</i>	<i>9,82</i>	<i>11,04</i>	<i>0,037</i>
<i>Děti 1-1,99 roky</i>	<i>5,91</i>	<i>6,76</i>	<i>7,60</i>	<i>0,025</i>
<i>Děti 2-2,99 roky</i>	<i>4,75</i>	<i>5,43</i>	<i>6,11</i>	<i>0,020</i>
<i>Děti 3-3,99 roky</i>	<i>4,16</i>	<i>4,75</i>	<i>5,34</i>	<i>0,018</i>
<i>Děti 4-6,99 let</i>	<i>4,00</i>	<i>4,57</i>	<i>5,14</i>	<i>0,017</i>
<i>Děti 7-7,99 let</i>	<i>3,15</i>	<i>3,60</i>	<i>4,05</i>	<i>0,014</i>
<i>Děti 8-8,99 let</i>	<i>2,80</i>	<i>3,20</i>	<i>3,60</i>	<i>0,012</i>
<i>Děti 9-9,99 let</i>	<i>2,53</i>	<i>2,90</i>	<i>3,26</i>	<i>0,011</i>
<i>Těhotné ženy</i>	<i>2,71</i>	<i>3,09</i>	<i>3,48</i>	<i>0,012</i>
<i>Kojící ženy</i>	<i>3,24</i>	<i>3,70</i>	<i>4,16</i>	<i>0,014</i>
<i>Dospělí</i>	<i>2,00</i>	<i>2,29</i>	<i>2,57</i>	<i>0,009</i>

Tab. 3 – Průměrná (ADD) denní dávka dusičnanů a dusitanů z pitné vody (mg/kg/den)

Věková skupina	NO ₃ ⁻			NO ₂ ⁻
	70 mg/l	80 mg/l	90 mg/l	0,3 mg/l
Kojenci do 3 měsíců	11,41	13,04	14,67	0,049
Kojenci 3-12 měsíců	8,59	9,82	11,04	0,037
Děti 1-1,99 roky	5,67	6,48	7,39	0,024
Děti 2-2,99 roky	4,55	5,21	5,86	0,020
Děti 3-3,99 roky	3,99	4,55	5,12	0,017
Děti 4-6,99 let	3,84	4,38	4,93	0,016
Děti 7-7,99 let	3,02	3,45	3,89	0,013
Děti 8-8,99 let	2,68	3,07	3,45	0,012
Děti 9-9,99 let	2,43	2,78	3,12	0,010
Těhotné ženy	2,60	2,97	3,34	0,011
Kojící ženy	3,11	3,55	3,99	0,013
Dospělí	1,92	2,19	2,47	0,008

Obce Vranovice, Příbice, Pouzdřany, Strachotín

U obcí Vranovice, Příbice, Pouzdřany a Strachotín, zásobovaných směsnou vodou z VDJ Pouzdřany, se předpokládá zvýšený obsah dusičnanů do maximální koncentrace 80 mg/l pouze nejvýše 60 dní v roce. Zbývajících 305 dní v roce bude obsah dusičnanů v dodávané vodě do limitu 50 mg/l. Jako koncentrace dusitanů bude použita hodnota 0,3 mg/l, i když lze předpokládat, že při dodržení limitu dusičnanů ve směsné vodě bude nižší.

Expoziční parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4, výsledné hodnoty maximální a průměrné denní dávky dusičnanů a dusitanů z pitné vody jsou uvedeny v tabulkách č. 5 a 6.

Tab. 4 – Použité expoziční parametry:

Maximální koncentrace dusičnanů ve vodě (60 dní v roce)	80 mg/l
Maximální koncentrace dusičnanů ve vodě (305 dní v roce)	50 mg/l
Maximální koncentrace dusitanů ve vodě (celoročně)	0,3 mg/l
IR (množství požití vody) – kojeneček do 3 měsíců	0,75 l/den
IR – kojeneček 3-12 měsíců	1,0 l/den
IR – dítě 1-3,99 roky	0,95 l/den
IR – dítě 4 - 10,99 let	1,2 l/den
IR – těhotné ženy	2,9 l/den
IR – kojící ženy	3,1 l/den
IR – dospělí	2 l/den
BW (tělesná hmotnost) – kojeneček do 3 měsíců	4,60 kg
BW – kojeneček 3-12 měsíců	8,15 kg

<i>BW – dítě 1-1,99 roky</i>	<i>11,25 kg</i>
<i>BW – dítě 2-2,99 roky</i>	<i>14,0 kg</i>
<i>BW – dítě 3-3,99 roky</i>	<i>16,0 kg</i>
<i>BW – dítě 4-4,99 let</i>	<i>18,55 kg</i>
<i>BW – dítě 5-5,99 let</i>	<i>20,45 kg</i>
<i>BW – dítě 6-6,99 let</i>	<i>23,9 kg</i>
<i>BW – dítě 4-6,99 let</i>	<i>21,0 kg</i>
<i>BW – dítě 7-7,99 let</i>	<i>26,65 kg</i>
<i>BW – dítě 8-8,99 let</i>	<i>30,0 kg</i>
<i>BW – dítě 9-9,99 let</i>	<i>33,15 kg</i>
<i>BW – těhotné ženy</i>	<i>75 kg</i>
<i>BW – kojící ženy</i>	<i>67 kg</i>
<i>BW – dospělí</i>	<i>70 kg</i>
<i>EF (frekvence expozice) – při dodržení limitu NO₃⁻ 50 mg/l</i>	<i>290 dní/rok*</i>
<i>EF (frekvence expozice) – při obsahu NO₃⁻ 80 mg/l</i>	<i>60 dní/rok</i>
<i>EF – kojenci</i>	<i>305, resp. 60 dní v roce</i>
<i>ED (trvání expozice) – nekarcinogenní riziko</i>	<i>1 rok**</i>
<i>AT (průměrná doba expozice) – nekarcinogenní riziko</i>	<i>365 dní (365x1)</i>

* předpokládá se 15denní pobyt v roce mimo bydliště

** počítá se momentální riziko pro populaci v daném věku, respektive pro období 1 rok

Tab. 5 – Maximální (MDD) denní dávka dusičnanů a dusitanů z pitné vody (mg/kg/den)

	NO₃⁻	NO₂⁻
<i>Věková skupina</i>	<i>80 mg/l</i>	<i>0,3 mg/l</i>
<i>Kojenci do 3 měsíců</i>	<i>13,04</i>	<i>0,049</i>
<i>Kojenci 3-12 měsíců</i>	<i>9,82</i>	<i>0,037</i>
<i>Děti 1-1,99 roky</i>	<i>6,76</i>	<i>0,025</i>
<i>Děti 2-2,99 roky</i>	<i>5,43</i>	<i>0,020</i>
<i>Děti 3-3,99 roky</i>	<i>4,75</i>	<i>0,018</i>
<i>Děti 4-6,99 let</i>	<i>4,57</i>	<i>0,017</i>
<i>Děti 7-7,99 let</i>	<i>3,60</i>	<i>0,014</i>
<i>Děti 8-8,99 let</i>	<i>3,20</i>	<i>0,012</i>
<i>Děti 9-9,99 let</i>	<i>2,90</i>	<i>0,011</i>
<i>Těhotné ženy</i>	<i>3,09</i>	<i>0,012</i>
<i>Kojící ženy</i>	<i>3,70</i>	<i>0,014</i>
<i>Dospělí</i>	<i>2,29</i>	<i>0,009</i>

Tab. 6 – Průměrná (ADD) denní dávka dusičnanů a dusitanů z pitné vody (mg/kg/den)

Věková skupina	NO ₃ ⁻			NO ₂ ⁻
	50 mg/l	80 mg/l	50+80 mg/l	0,3 mg/l
Kojenci do 3 měsíců	6,81	2,14	8,95	0,049
Kojenci 3-12 měsíců	5,13	1,61	6,74	0,037
Děti 1-1,99 roky	3,35	1,11	4,46	0,024
Děti 2-2,99 roky	2,7	0,89	3,59	0,020
Děti 3-3,99 roky	2,36	0,78	3,14	0,017
Děti 4-4,99 let	2,57	0,85	3,42	0,019
Děti 5-5,99 let	2,33	0,77	3,10	0,017
Děti 6-6,99 let	1,99	0,66	2,65	0,014
Děti 7-7,99 let	1,79	0,59	2,38	0,013
Těhotné ženy	1,54	0,51	2,05	0,011
Kojící ženy	1,84	0,61	2,45	0,013
Dospělí	1,14	0,38	1,52	0,008

V. Charakterizace rizika

Ke kvantitativnímu vyjádření míry zdravotního rizika toxického nekarcinogenního účinku škodlivin se používá koeficient nebezpečnosti HQ (Hazard Quotient), získaný vydělením odhadované denní průměrné dávky ještě bezpečnou dávkou, která pravděpodobně ani při celoživotním příjmu nevyvolá nepříznivé zdravotní účinky. WHO tuto dávku stanovuje jako akceptovatelný denní přívod (ADI), US EPA jako referenční dávku (RfD).

$$HQ = ADD / ADI (RfD)$$

Pokud se HQ (popř. HI – Hazard Index získaný součtem koeficientů nebezpečnosti jednotlivých látek u směsi látek s podobným systémovým účinkem, kdy předpokládáme aditivní působení) pohybuje v hodnotách < 1, neočekává se riziko toxických účinků.

V daném případě je nezbytné hodnotit aditivní účinek s dusitany, i když jejich obsah v dodávané vodě nepřevyšuje hygienický limit.

Při důvodech ke konzervativnímu přístupu k hodnocení rizika doporučuje US EPA jako hraniční hodnotu HQ 0,5. Podle autorizačního návodu SZÚ verze 5 je doporučeno použití tohoto konzervativního přístupu u rizika dusičnanů pro těhotné ženy, a to s ohledem na některé epidemiologické studie, naznačující možnost vývojové a reprodukční toxicity.

Pro výpočet HQ toxických účinků dusičnanů je pro akutní riziko, které představuje možnost vyvolání methemoglobinémie (reálné je však prakticky pouze u kojenců do 3 měsíců věku) použita perorální referenční dávka z databáze IRIS US EPA 7 mg/kg/den.

Pro výpočet HQ chronických toxických účinků dusičnanů je v souladu se zmíněným autorizačním návodem SZÚ použita hodnota ADI WHO 3,7 mg/kg/den.

Pro výpočet HQ toxických účinků dusitanů je pro akutní riziko použita perorální referenční dávka z databáze IRIS US EPA 0,33 mg/kg/den. Pro výpočet HQ chronických toxických účinků dusitanů je použita hodnota ADI WHO 0,07 mg/kg/den.

Obce Nová Ves, Velký Dvůr, Vlasatice, Pasohlávky, Ivaň

Hodnoty koeficientu nebezpečnosti HQ pro akutní a chronické riziko toxických účinků dusičnanů a dusitanů v pitné vodě z jímacího území Nová Ves, dodávané do výše uvedených obcí, jsou uvedeny v tabulkách č. 7 a 8.

Tab. 7 – Riziko akutních toxických účinků dusičnanů a dusitanů z pitné vody (HQ)

Věková skupina	NO ₃ ⁻			NO ₂ ⁻
	70 mg/l	80 mg/l	90 mg/l	0,3 mg/l
Kojenci do 3 měsíců	1,63	1,86	2,10	0,15
Kojenci 3-12 měsíců	1,23	1,40	1,58	0,11
Děti 1-1,99 roky	0,84	0,97	1,09	0,08
Děti 2-2,99 roky	0,68	0,78	0,87	0,06
Děti 3-3,99 roky	0,59	0,68	0,76	0,05
Děti 4-6,99 let	0,57	0,65	0,73	0,05
Děti 7-7,99 let	0,45	0,51	0,58	0,04
Děti 8-8,99 let	0,40	0,46	0,51	0,04
Děti 9-9,99 let	0,36	0,41	0,47	0,03
Těhotné ženy	0,39	0,44	0,50	0,04
Kojící ženy	0,46	0,53	0,59	0,04
Dospělí	0,29	0,33	0,37	0,03

U kojenců je u dusičnanů známým specifickým rizikem možnost vzniku akutní methemoglobinémie, ke které by mohlo dojít i při krátkodobém používání vody s vysokým obsahem dusičnanů k přípravě kojenecké stravy. Vypočtená výše koeficientu nebezpečnosti HQ pro tento akutní účinek v tabulce 7 riziko u kojenců potvrzuje pro všechny tři varianty obsahu dusičnanů. Při obsahu dusičnanů do 80 nebo 90 mg/l je v součtu s HQ dusitanů toto riziko indikováno i u dětí do dovršení 2 let věku. Při obsahu dusičnanů do 90 mg/l nelze při použití hraniční hodnoty HQ 0,5 riziko akutních účinků vyloučit ani u těhotných žen.

Tab. 8 – Riziko chronických toxických účinků dusičnanů a dusitanů z pitné vody (HQ)

Věková skupina	NO ₃ ⁻			NO ₂ ⁻
	70 mg/l	80 mg/l	90 mg/l	0,3 mg/l
Kojenci do 3 měsíců	3,08	3,53	3,97	0,70
Kojenci 3-12 měsíců	2,32	2,65	2,98	0,53
Děti 1-1,99 roky	1,53	1,75	1,97	0,35
Děti 2-2,99 roky	1,23	1,41	1,58	0,28
Děti 3-3,99 roky	1,08	1,23	1,38	0,24
Děti 4-6,99 let	1,04	1,18	1,33	0,23
Děti 7-7,99 let	0,82	0,93	1,05	0,19
Děti 8-8,99 let	0,73	0,83	0,93	0,16

<i>Děti 9-9,99 let</i>	<i>0,66</i>	<i>0,75</i>	<i>0,84</i>	<i>0,15</i>
<i>Těhotné ženy</i>	<i>0,70</i>	<i>0,80</i>	<i>0,90</i>	<i>0,16</i>
<i>Kojící ženy</i>	<i>0,84</i>	<i>0,96</i>	<i>1,08</i>	<i>0,19</i>
<i>Dospělí</i>	<i>0,52</i>	<i>0,59</i>	<i>0,67</i>	<i>0,12</i>

Z výsledků v tabulce 8 vyplývá, že ve všech hodnocených variantách obsahu dusičnanů a současném výskytu dusitanů nelze vyloučit riziko chronických účinků pro kojence, děti do dovršení osmi let věku a pro těhotné a kojící ženy. Při obsahu dusičnanů do 90 mg/l se riziko u dětí zvyšuje na další věkovou skupinu od 8 do 9 let.

Riziko zvýšeného obsahu amonných iontů

Jak již bylo uvedeno, k hodnocení rizika amonných iontů výše uvedený standardní postup kvantitativní charakterizace rizika toxických účinků nelze použít, neboť pro tento ukazatel není stanovena referenční hodnota.

Limit pro obsah amoniakálního dusíku v pitné vodě není zdravotně podložen a vychází z možného smyslového ovlivnění kvality vody a sekundárních účinků typu snížení efektu dezinfekce, úpravy vody, a především nárůstu koncentrace dusitanů procesem nitrifikace vody.

Příjem amoniakálního dusíku pitnou vodou v množství řádově v mg/den je zcela zanedbatelný ve srovnání s endogenně vznikajícím amoniakem při metabolických pochodech a vstřebáváním amoniaku vznikajícího činností bakterií v zažívacím traktu.

Přímé zdravotní riziko tedy zvýšený obsah amonných iontů ve vodě nepředstavuje. Je však zapotřebí monitorovat výše uvedené nepřímé vlivy na kvalitu dodávané vody, zejména obsah dusitanů a mikrobiologické ukazatele.

Obce Vranovice, Příbice, Pouzdřany, Strachotín

Hodnoty koeficientu nebezpečnosti HQ pro akutní a chronické riziko toxických účinků dusičnanů a dusitanů ze směsné pitné vody z vodojemu Pouzdřany, dodávané do výše uvedených obcí, jsou uvedeny v tabulkách č. 9 a 10.

Tab. 9 – Riziko akutních toxických účinků dusičnanů a dusitanů z pitné vody (HQ)		
	<i>NO₃⁻</i>	<i>NO₂⁻</i>
<i>Věková skupina</i>	<i>80 mg/l</i>	<i>0,3 mg/l</i>
<i>Kojenci do 3 měsíců</i>	<i>1,86</i>	<i>0,15</i>
<i>Kojenci 3-12 měsíců</i>	<i>1,40</i>	<i>0,11</i>
<i>Děti 1-1,99 roky</i>	<i>0,97</i>	<i>0,08</i>
<i>Děti 2-2,99 roky</i>	<i>0,78</i>	<i>0,06</i>
<i>Děti 3-3,99 roky</i>	<i>0,68</i>	<i>0,05</i>
<i>Děti 4-6,99 let</i>	<i>0,65</i>	<i>0,05</i>
<i>Děti 7-7,99 let</i>	<i>0,51</i>	<i>0,04</i>
<i>Těhotné ženy</i>	<i>0,44</i>	<i>0,04</i>
<i>Kojící ženy</i>	<i>0,53</i>	<i>0,04</i>
<i>Dospělí</i>	<i>0,33</i>	<i>0,03</i>

Podle hodnot koeficientu nebezpečnosti HQ v tabulce č.9 hrozí riziko methemoglobinémie při krátkodobém používání vody s vyšším obsahem dusičnanů i u rizikových skupin obyvatel obcí Vranovice, Přibice, Pouzdřany a Strachotín. Kromě kojenců toto riziko vzhledem k současnému výskytu dusitanů nelze vyloučit ani u dětí ve věkové skupině 1-1,99 let, tedy do dovršení 2 let věku.

Tab. 10 – Riziko chronických toxických účinků dusičnanů a dusitanů z pitné vody (HQ)		
	NO₃⁻	NO₂⁻
<i>Věková skupina</i>	<i>50 + 80 mg/l</i>	<i>0,3 mg/l</i>
<i>Kojenci do 3 měsíců</i>	2,42	0,7
<i>Kojenci 3-12 měsíců</i>	1,82	0,53
<i>Děti 1-1,99 roky</i>	1,21	0,35
<i>Děti 2-2,99 roky</i>	0,97	0,28
<i>Děti 3-3,99 roky</i>	0,85	0,24
<i>Děti 4-4,99 let</i>	0,92	0,27
<i>Děti 5-5,99 let</i>	0,84	0,24
<i>Děti 6-6,99 let</i>	0,72	0,21
<i>Děti 7-7,99 let</i>	0,64	0,19
<i>Těhotné ženy</i>	0,55	0,16
<i>Kojící ženy</i>	0,66	0,19
<i>Dospělí</i>	0,41	0,12

Z výsledků z tabulky 10 vyplývá, že při hodnoceném expozičním scénáři používání vody s obsahem dusičnanů do 80 mg/l po dobu 2 měsíců v roce teoreticky nelze vyloučit riziko chronických účinků pro kojence, děti do dovršení šesti let věku a pro těhotné ženy.

Použití maximálních koncentrací 50 a 80 mg/l k výpočtům průměrné denní dávky však nevyhnutelně vede k nadhodnocení rizika. Nižší bude ve směsné vodě při dodržení limitu dusičnanů i obsah dusitanů. Vyšší hodnota HQ ve věkové skupině 4-4,99 let vychází z důvodu skokového zvýšení hodnoty spotřeby vody, standardně používané pro věk 4-10 let.

Z těchto důvodů je opodstatněné považovat za horní hranici rizika u dětí věk 2-2,99 let, tedy u dětí do dovršení 3 let věku.

VI. Analýza nejistot

Každé hodnocení zdravotního rizika je nevyhnutelně spojeno s určitými nejistotami, danými použitými daty, stavem poznání vlastností a účinků hodnocených látek, expozičními faktory, odhady chování exponovaných obyvatel apod. Proto je jednou z neopominutelných součástí hodnocení rizika i popis a analýza nejistot, které jsou s hodnocením spojeny a kterých si je zpracovatel vědomý.

V daném případě hodnocení zdravotního rizika dusičnanů a amonných iontů z pitné vody je jistá míra nejistoty daná jak použitými expozičními faktory, tak i referenčními hodnotami a podklady. Jde hlavně o tyto oblasti nejistot:

1. Použité expoziční parametry

Při hodnocení expozice je vždy zdrojem určité nejistoty další vývoj kvality vody. To plně platí i pro hodnocený vodovod a vodní zdroj. Kvantitativní charakterizace rizika proto byla u obcí zásobovaných pouze vodou z jímacího území Nová ves provedena variantně pro tři úrovně obsahu dusičnanů.

U obcí zásobovaných směsnou vodou byl vyhodnocen expoziční scénář zásobování vodou se zvýšeným obsahem dusičnanů pouze po 2 měsíce v roce, předpokládaný provozovatelem vodovodu.

Při hodnocení expozice nebylo možné použít dlouhodobou průměrnou koncentraci, takže výsledek charakterizace rizika chronických účinků dusičnanů na základě maximální koncentrace, do které bude podána žádost o určení mírnějšího limitu, je nevyhnutelně nadhodnocený. K tomu bylo přihlédnuto při stanovení horní hranice rizika u dětí u skupiny obcí zásobovaných směsnou vodou.

Hodnocení expozice bylo zaměřeno na rizikové skupiny populace, a to jak z důvodu vyššího příjmu vody, tak i zvýšené citlivosti vůči toxickým účinkům.

Použité expoziční parametry odpovídají standardnímu postupu při hodnocení expozice z pitné vody, kdy ovšem nevyhnutelným zdrojem nejistoty při odhadu expozice jsou údaje o skutečné spotřebě pitné vody z vodovodu. Byly zde použity hodnoty představující 90 až 95percentil pravděpodobného rozmezí u průměrné populace dané věkové skupiny. Skutečná spotřeba vody z vodovodu k pití je tedy v průměru nižší, je však třeba si uvědomit, že vyhodnocená míra rizika by měla zohledňovat reálně možný nejhorší případ, tedy osobu, která si nekupuje ve větší míře jiné nápoje a pro kterého je hlavním zdrojem tekutin tato voda.

Použitý údaj o frekvenci expozice předpokládá pobyt pouze 15 dní v roce mimo bydliště, skutečnost může být vyšší. U tělesné hmotnosti byly použity průměrné hodnoty pro dané věkové skupiny.

2. Použité referenční hodnoty

Existující databáze údajů o toxicitě dusičnanů při perorálním příjmu dosud není úplná. Důvodem k jisté obezřetnosti je zejména otázka možného uplatnění dusičnanů z pitné vody při karcinogenním působení prostřednictvím sekundárně vznikajících N-nitrososlučenin i když podle posledních souborných hodnocení dosavadní podklady věrohodný důkaz o karcinogenitě dusičnanů neposkytují).

Standardní postup hodnocení zdravotních rizik dusičnanů z pitné vody nezohledňuje dietární příjem dusičnanů ani dusitanů. Důvodem je mimo jiné nejistota spočívající v konzervativním přístupu při použití hodnoty ADI, která je založena na chronických účincích, zjištěných u pokusných zvířat, které u lidí nebyly potvrzeny. Do této nejistoty se promítají i mezidruhové rozdíly v metabolismu dusičnanů a jejich redukci na dusitany.

Při charakterizaci rizika dusičnanů z pitné vody byl zohledněn i současný výskyt dusitanů.

Použitý postup hodnocení aditivního účinku u těchto látek se shodným toxickým účinkem metodou výpočtu HI jako součtu HQ je standardním postupem dle doporučení WHO [32].

Při důvodech ke konzervativnímu přístupu k hodnocení rizika doporučuje US EPA jako hraniční hodnotu HQ hodnotu 0,5. Při hodnocení rizika dusičnanů vzhledem k použití spolehlivé referenční dávky pro akutní účinek a konzervativní referenční dávky pro chronický účinek tento důvod není.

Výjimkou je při uplatnění principu předběžné opatrnosti riziko dusičnanů u těhotných žen na základě hypotézy o možné reprodukční a vývojové toxicitě dusičnanů, vyslovené na podkladě některých epidemiologických studií a významně podpořené výsledkem velké celonárodní dánské studie, publikované v letošním roce [10].

VII. Závěr

Hodnocení zdravotních rizik zvýšeného obsahu dusičnanů a amonných iontů z pitné vody vodního zdroje Nová Ves skupinového vodovodu Vranovice-Hustopeče bylo provedeno samostatně pro dvě skupiny obcí, využívajících vodu z tohoto zdroje.

U obcí Nová Ves, Velký Dvůr, Vlasatice, Pasohlávky a Ivaň, celoročně zásobovaných pouze vodou z jímacího území Nová Ves, bylo hodnocení rizika provedeno variantně pro tři hodnoty maximální koncentrace dusičnanů 70 – 80 – 90 mg/l. Vzhledem ke stejnému toxickému účinku byl při hodnocení rizika akutních i chronických účinků dusičnanů zohledněn i obsah dusitanů do hodnoty 0,3 mg/l.

Ve všech třech variantách hodnocení maximálního obsahu dusičnanů vychází v těchto obcích z důvodu možnosti akutního rizika methemoglobinémie nemožnost používání pitné vody ze zdroje Nová Ves pro přípravu kojenecké stravy.

Z důvodu nevykloučení možnosti rizika chronických nepříznivých účinků dusičnanů je v těchto obcích indikováno omezení spotřeby vody k pití u těhotných a kojících žen a u dětí do dovršení věku 8 let. Při obsahu dusičnanů do 90 mg/l se riziko u dětí zvyšuje na další věkovou skupinu od 8 do 9 let.

Jako podmínku určení mírnějšího limitu obsahu dusičnanů v rozmezí 70–80 mg/l v těchto obcích proto doporučuji informaci zásobovaných obyvatel o nemožnosti používání vodovodní vody k jakékoliv přípravě kojenecké stravy a o doporučení k omezení používání vody k pití u těhotných a kojících žen a dětí ve věku do dovršení 8 let věku. V případě určení mírnějšího hygienického limitu dusičnanů 90 mg/l se doporučení k omezení spotřeby vody k pití týká i další věkové skupiny dětí 8–9 let.

K omezení používání vody z vodovodu k pití je doporučeno její nahrazení ve větší části denní spotřeby vodou s nízkým obsahem dusičnanů, nejlépe balenou kojeneckou vodou (která má limit 15 mg/l) nebo balenou pramenitou vodou (která má limit 25 mg/l) a to i při přípravě teplých nápojů.

Na základě orientačního odhadu je též doporučeno nahradit vodovodní vodu vodou balenou i při vaření pro děti do věku 3-4 let a u těhotných žen, a to zejména při delším varu, kdy dochází ke koncentrování dusičnanů odparem vody.

U obcí Vranovice, Příbice, Pouzdřany a Strachotín, zásobovaných směsnou vodou z VDJ Pouzdřany, byl hodnocen expoziční scénář pro zvýšený obsah dusičnanů do maximální koncentrace 80 mg/l pouze nejvýše 60 dní v roce. Současně byla též zohledněn aditivní účinek dusitanů.

Také v těchto obcích vychází z důvodu možnosti akutního rizika methemoglobinémie nemožnost používání pitné vody se zvýšeným obsahem dusičnanů pro přípravu kojenecké stravy.

Z důvodu nevykloučení možnosti rizika chronických nepříznivých účinků dusičnanů je v těchto obcích indikováno omezení spotřeby vody při zvýšeném obsahu dusičnanů k pití u těhotných žen a u malých dětí. Jako horní hranice rizika u dětí byla stanovena věková kategorie 2-2,99 let, tedy děti do dovršení 3 let věku.

Jako podmínku určení mírnějšího limitu obsahu dusičnanů do 80 mg/l v těchto obcích za předpokladu překročení základního limitu 50 mg/l v délce nejvýše 60 dní v roce doporučuji informaci zásobovaných obyvatel o nemožnosti používání vodovodní vody při zvýšeném obsahu dusičnanů k jakékoliv přípravě kojenecké stravy a o doporučení k omezení používání vody k pití u těhotných žen a dětí ve věku do dovršení 3 let věku.

K omezení používání vody z vodovodu k pití při zvýšeném obsahu dusičnanů je doporučeno její nahrazení alespoň v polovině denní spotřeby vodou s nízkým obsahem dusičnanů, nejlépe balenou kojeneckou vodou (která má limit 15 mg/l) nebo balenou pramenitou vodou (která má limit 25 mg/l) a to i při přípravě teplých nápojů. Při vaření pro děti do 3 let věku a těhotné ženy je doporučeno alespoň částečně nahradit vodovodní vodu s vyšším obsahem dusičnanů vodou balenou při delším varu, kdy dochází ke koncentrování dusičnanů odparem vody.

Toto hodnocení zdravotních rizik vychází ze stavu současných znalostí nebezpečnosti dusičnanů a dusitanů v pitné vodě, které nejsou úplné. Při hodnocení a formulaci závěrů byl proto použit konzervativní přístup s principem předběžné opatrnosti.

Zvýšený obsah amonných iontů v pitné vodě při koncentraci 1 mg/l, ale i vyšší, je sám o sobě z hlediska zdravotního rizika bezvýznamný. Může však snižovat účinnost zdravotního zabezpečení chlorováním a v důsledku nitrifikace zvyšovat obsah dusitanů v dodávané vodě. Vyloučit nelze ani pachové a chuťové problémy s kvalitou vody.

Uvedený závěr je platný za předpokladu platnosti poskytnutých výchozích podkladů.

VIII. Přehled použité a citované literatury

1. *Sebio M., Mayer B., Nicolardot B., Pinay G., Mariotti A.: Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils, Proc Natl Acad Sci USA, 110(45):18185-9, 2013*
2. *SZÚ Praha: Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí – subsytém 2 „Zdravotní důsledky a rizika znečištění pitné vody“ odborná zpráva za rok 2019*
3. *WHO: Nitrate and nitrite in drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2016*
4. *California EPA, Office of Environmental Health Hazard Assessment: Public Health Goals for Nitrate and Nitrite in Drinking Water, 2018*
5. *SZÚ Praha: Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí – subsytém 4 „Zdravotní důsledky zátěže lidského organismu cizorodými látkami z potravinových řetězců“ odborná zpráva za rok 2019.*
6. *Health Canada: Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, Guideline Technical Document, Nitrate and Nitrite, 2013*
7. *WHO: Guidelines for drinking water quality, first addendum to the fourth edition, 2017*
8. *Ward MH, Jones RR, Brender JD, de Kok TM, Weyer PJ, Nolan BT, Villanueva CM, van Breda SG.: Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review, Int. J. Environ. Res. Public Health 2018, 15, 1557*
9. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Vol.94 – Ingested Nitrate and Nitrite and Cyanobacterial Peptide Toxins, 2010*
10. *Coffman VR, Jensen AS, Trabjerg BB, Pedersen CB, et al.: Prenatal Exposure to Nitrate from Drinking Water and Markers of Fetal Growth Restriction: A Population-Based Study of Nearly One Million Danish-Born Children, Environ Health Perspect, 129(2), 2021*
11. *Lundberg JO, Carlström M, Larsen FJ, Weitzberg E.: Roles in dietary inorganic nitrate in cardiovascular health and disease, Cardiovasc Res, 2011, 89(3):525-32*
12. *Tang Y, Juany H, Bryan N.S.: Nitrite and nitrate: cardiovascular risk-benefit and metabolic effect, Curr Opin Lipidol 2011 Feb;22(1):11-15*

13. *DFG Senate Commission on Food Safety (SKLM): Nitrate and Nitrite in the Diet: An approach to assess Benefit and Risk for Human Health, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2014*
14. *ATSDR: Toxicological Profile for Nitrate and Nitrite, 2017*
15. *EFSA: Re-evaluation of sodium nitrate (E 251) and potassium nitrate (E 252) as food additives, EFSA Journal 2017, 15(6):4787*
16. *US EPA: 2018 Edition of the Drinking Water Regulations and Health Advisories, US EPA Office of Water, 2018*
17. *SZÚ Praha: Nouzové zásobování pitnou vodou (metodické doporučení SZÚ-Národního referenčního centra pro pitnou vodu), 2018*
18. *IPCS/WHO: Food Additives Series 35, 1995*
19. *IPCS/WHO: Food Additives Series 50, 2003*
20. *EFSA: Re-evaluation of potassium nitrite (E 249) and sodium nitrite (E 250) as food additives, EFSA Journal 2017, 15(6):4786*
21. *US EPA: Data base IRIS (Integrated Risk Information System), Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment US EPA*
22. *Havel, B.: Hodnocení zdravotního rizika dusičnanů a dusitanů z pitné vody, Hygiena, 2002, 47(4): 226-238.*
23. *Pitter P.: Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT Praha 1999*
24. *Ammonia in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2003*
25. *EFSA: Health risk of ammonium released from water filters, Statement of EFSA, EFSA Journal 2012; 10(10):2918*
26. *ATSDR, Division of Toxicology: Toxicological Profile for Ammonia, Atlanta GA, 2004*
27. *Health Canada: Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, Guideline Technical Document – Ammonia, 2013*
28. *Schullehner J., Stayner L., Hansem B.: Nitrate, Nitrite and Ammonium Variability in Drinking Water Distribution Systems, Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 276*
29. *US EPA: Exposure Factors Handbook, US EPA 2011*
30. *US EPA: Update for Chapter 3 of the Exposure Factors Handbook, Ingestion of Water and Other Selected Liquids, US EPA, 2019*
31. *Bláha, P. a kol.: 6. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001, SZÚ, Praha, 2005, ISBN 80-7071-251-1.*
32. *WHO: Chemical mixtures in source water and drinking water, WHO 2017*

**Protokol nesmí být bez písemného souhlasu zpracovatele
reprodukován jinak než celý.**

Ve Svitavách 7.7.2021

MUDr. Bohumil Havel



MUDr. Bohumil Havel, držitel osvědčení o autorizaci k hodnocení zdravotních rizik dle § 83e zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, v autorizačním setu III. Hodnocení zdravotních rizik expozice chemickým látkám v prostředí, vydaného SZÚ Praha pod č.008/04 (platnost do 5.4.2026)