STUDIE POSOUZENÍ VLIVŮ NA VEŘEJNÉ ZDRAVÍ

HODNOCENÍ ZDRAVOTNÍCH RIZIK

Zadání: ***Hodnocení zdravotního rizika uranu z pitné vody:***

Veřejný vodovod Pačejov - nádraží

Zadavatel: ***AQUAŠUMAVA s.r.o., Chudenín 30, 340 22 Nýrsko***

Vypracoval: RNDr. Svatopluk Krýsl, CSc., Pod Vrškem 699/II., Klatovy
Držitel osvědčení č. 032/05 pro hodnocení zdravotních rizik

Datum zpracování: prosinec 2020

OBSAH

1. Úvod
1.1 Rizika spojená s kvalitou pitné vody
1.2 Zadání
2 Identifikace nebezpečnosti
2.1 Použití, chování a výskyt uranu v přírodě a v prostředí (voda, potraviny)
2.2 Příjem a chování uranu v organismu
2.3 Toxicita
2.4 Karcinogenita a genotoxicita
2.5 Doporučené limity
2.6 Přijaté limity
3. Charakterizace nebezpečnosti, vztah dávky a účinku
4. Hodnocení expozice
5. Charakterizace rizika
6. Analýza nejistot
7. Závěr
8. Literatura, použité zkratky

1. Úvod

1.1 Rizika spojená s kvalitou pitné vody

Na základě objednávky byla zpracována studie posouzení vlivů na veřejné zdraví. Studie bude sloužit jako podklad dokumentace vlivu uranu přítomného v pitné vodě veřejného vodovodu v obci Pačejov na okrese Klatovy.

Následující hodnocení zdravotních rizik expozice uranu je zpracováno v souladu s obecnými metodickými postupy US EPA a WHO a autorizačními návody Státního zdravotního ústavu Praha AN/16/04 verze 5 a AN/14/03 verze 3 pro autorizované hodnocení zdravotních rizik dle § 83e zákona č. 258/00 Sb., v platném znění.

Hodnocení zdravotních rizik[1] je postup založený na využití všech dostupných údajů týkajících se *identifikace nebezpečnosti*, při které se zjišťuje, jak a kdy daná látka může ovlivnit lidské zdraví. Tento krok též vychází z *hodnocení dávky a účinku*, které je závislé na bezprahovém nebo prahovém působení dané látky na organismus. V případě prahových, tedy negenotoxických a nekarcinogenních účinků se zkoumá dávka škodlivé látky, která je pro organismus ještě bezpečná a nevyvolává tedy nepříznivý efekt. U karcinogenních účinků se zkoumá teoretický počet statisticky předpokládaných případů nádorového onemocnění na počet obyvatel.

Další etapou je *hodnocení expozice*, které se provádí na základě sestavení expozičního scénáře, který zahrnuje především všechny citlivé populační skupiny, kterých se nebezpečnost dané látky může týkat a to jakou cestou a jakou dávkou dochází k této expozici. Při hodnocení rizika toxických účinků z pitné vody se, podle metodiky WHO, používá tzv. tolerovatelný denní přívod (Tolerable Daily Intake - TDI), popřípadě podle US EPA referenční dávka pro perorální příjem (Reference Daily Intake – Oral – RfDo).

Dalším krokem je *charakterizace rizika*, tj. vyjádření kvantitativní míry konkrétního zdravotního rizika platného pro danou konkrétní situaci. Pro toxické nekarcinogenní látky se vyjadřuje míra rizika poměrem mezi zjištěnou expozicí platnou pro konkrétní situaci a expozicí bezpečnou, zjištěnou na základě současných znalostí pro působení dané noxy. Tento poměr, tzv. *kvocient nebezpečnosti* (Hazard Quotient - HQ), by v případě větším než jedna znamenal, že daná látka při dané expozici představuje toxické riziko. Pokud současně působí na danou populaci více toxických látek s podobným systémovým účinkem, využívá se pro vyhodnocení nebezpečnosti *index nebezpečnosti* (Hazard Index – HI), který je pak součtem jednotlivých kvocientů nebezpečnosti. V případě karcinogenního účinku je míra rizika vyjadřována *vzestupem pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění* (Individual Lifetome Cancer Risk – ILCR). Určitou přijatelnou mírou tohoto rizika je vzestup o jedno takovéto onemocnění na 1 milion takto exponovaných obyvatel. Vzhledem k tomu, že jde o vyjádření pravděpodobnostní je přesnost tohoto odhadu spíše řádová.

Z tohoto závěru pak vyplývá možnost dané riziko ovlivnit, tedy jej i řídit. Návrh řešení rizika pro danou zdravotní situaci s sebou nese i nejistotu, takže je nezbytnou součástí hodnocení rizika i *analýza nejistot.*

Hodnocení rizik je výchozím podkladem pro rozhodování o opatřeních při překročení limitů kvality pitné vody nebo v případě, že nalezené látky nemají určený limit. Překročení limitů platných pro uran v pitné vodě bylo důvodem, proč byla zpracována tato studie.

1.2 Zadání

Obec Pačejov leží 10 km severozápadně od města Horažďovice. Jednou z jejích významných částí - vzdálenou asi 2 km od obce - je Pačejov – nádraží. Prochází zde železniční trať Plzeň – České Budějovice. Jde o významnou část Pačejova – žije zde trvale 423 obyvatel, zatímco v celém Pačejově žije 725 obyvatel.

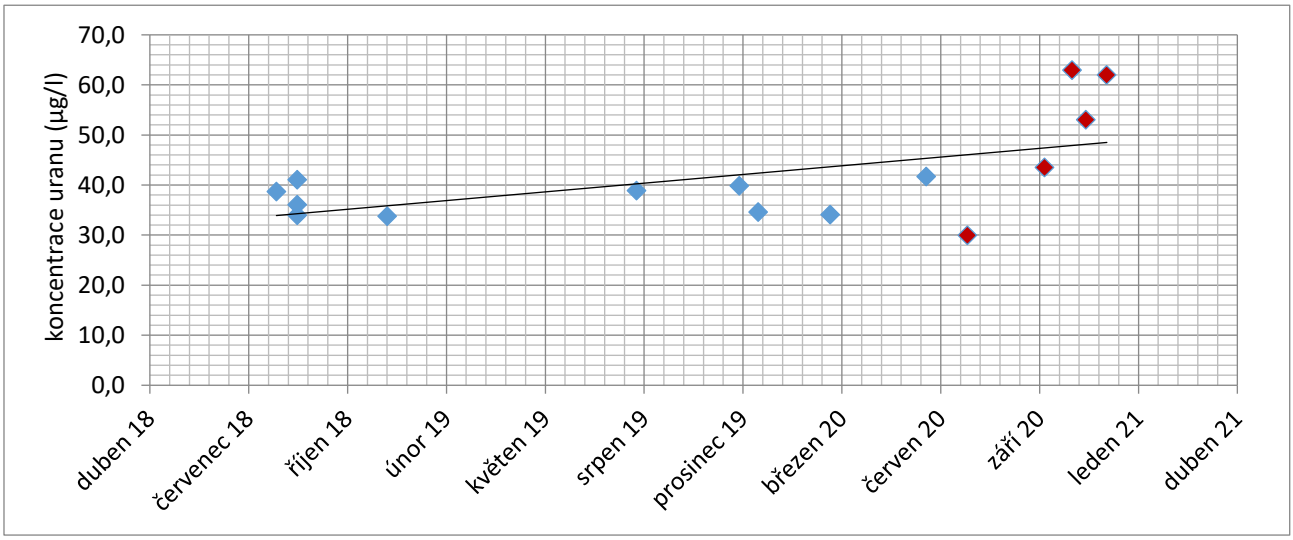
Obec Pačejov – nádraží je zásobena pitnou vodou z vlastního vodovodu (provozovatel AQUAŠUMAVA s.r.o.), který je napájen ze dvou vrtaných studní (HJ1 a HJ2), ze kterých je voda

[1] Viz též Používané zkratky na straně 13

vedena do vodojemu o objemu 150 m^3. Vodojem a studny jsou situovány na sever od obce. Na vodojem je trvale zapojeno 198 trvale bydlících obyvatel. Při současné kapacitě vodojemu a využitelné vydatnosti studní[2] (HJ1 – 1,11 l/s a HJ2 – 1,071 l/s) je předpokládaná maximální spotřeba vody 30 m^3/den jednoznačně pokryta. Úprava vody je zabezpečena automatizovaným dávkováním dezinfekce (chlornan sodný).

Charakter pitné vody se vyznačuje neutrálním pH a relativně nižším obsahem minerálních látek (suma vápníku a hořčíku je 1,9 mmol/l) a především zvýšeným obsahem uranu. Ve vodě se též objevuje nikl a antimon v koncentracích 1 – 2 µg/l.

Koncentrace uranu ve vodovodní vodě se udržovala za poslední 2 roky jeho sledování od roku 2018) na průměrné **koncentraci 37 µg/l.** Dvakrát během tohoto období byla zjištěna koncentrace 42 µg/l, nejnižší naměřená koncentrace byla 30 µg/l. Na jaře 2020 došlo náhle k významnému nárůstu koncentrace uranu až k hodnotám kolem 60 µg/l. Průměrná hodnota koncentrace za sledované období se tím zvýšila na **42 µg/l** – viz obrázek 1.



Obr. 1 Časový průběh koncentrace uranu ve vodovodní síti

Podle údajů o radioaktivitě, je ve vodovodní vodě nalézána průměrná koncentrace radonu 178 Bq/l, celková objemová aktivita alfa 0,46 Bq/l a beta 0,26 Bq/l.

Podle poskytnutých podkladů je kvalita vody ve vodovodu obce odpovídající požadavkům vyhlášky č.252/2004 Sb.[3] kromě jmenovaného **uranu** (nejvyšší mezní hodnota 15 µg/l). Zvýšený obsah radiologických ukazatelů není řešen v této studii zdravotních rizik uranu, vzhledem k tomu, že jde o problematiku, která je řešena v gesci SÚJB (viz vyhláška č. 422/2016 Sb.).

2. Identifikace nebezpečnosti

2.1 Použití, chování a výskyt uranu v přírodě a v prostředí (voda, potraviny)

Uran jako prvek byl objeven v r. 1789 lékárníkem a profesorem chemie Martinem Heinrichem Klaprothem. Jeho jméno bylo vybráno dle tehdy nově objevené planety Uran. V roce 1896 zjistil Henri Becquerel, že uran je radioaktivní. Do objevu umělých radioizotopů se uranové rudy používaly k výrobě barev a jako zdroj radia na léčebné preparáty. Po ukončení druhé světové války se začal uran používat pro účely jaderného průmyslu.

[2] Provozní řád vodovodu pro obec Pačejov - nádraží, AQUAŠUMAVA, Chudenín.
[3] Vyhláška 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

Uran je v čistém stavu stříbrobílý, lesklý kov, který se na vzduchu zvolna oxiduje. Přirozeně se vyskytuje ve formě směsi tří izotopů ^{238}U, ^{235}U a ^{234}U. Ty podléhají radioaktivnímu rozpadu doprovázeném vyzařováním částic α, přičemž radioaktivní aktivita závisí na jejich vzájemném poměru, protože se liší jejich délka poločasu rozpadu. Konečným a stabilním prvkem tohoto rozpadového řetězce je ^{206}Pb. Rozpadový řetězec zahrnuje i plynný radon. Radioaktivita přírodního uranu je velmi slabá, podle ČSN 34 1730 se teprve množství nad 1 kg považuje za radioaktivní látku.

Uran se dostává do prostředí přirozenou cestou, tj. zvětráváním a vyluhováním hornin, ale též i cestou antropogenní – především v souvislosti se zpracováním a využitím uranu jako jaderného paliva, používáním fosfátových hnojiv získaných exploatací hornin, ale i spalováním uhlí, využitím škváry a popela.

Uran se může vyskytovat v několika oxidačních stavech, přičemž nejstabilnějším je hexavalentní uran, který se vyskytuje s vázaným kyslíkem jako UO_2^{2+}, tedy jako uranylový kation. Vzhledem k jeho stabilitě a dobré solvataci ve vodném prostředí jde o jeho nejčastější formu výskytu ve vodách. Jeho velmi dobré komplexotvorné vlastnosti umožňují jeho vyšší mobilitu v prostředí, přičemž vznikající komplexy jsou i dobře rozpustné ve vodě. Proto je výskyt uranu v podzemních vodách častější a jeho koncentrace jsou zde i vyšší než ve vodách povrchových. Jeho mobilita je rovněž ovlivněna oxidačně redukčním potenciálem a pH vodného prostředí.

Výskyt uranu v pitných vodách podle údajů ve Zprávě o kvalitě pitné vody v ČR, kterou vydal Státní zdravotní ústav v roce 2020, byl v roce 2019 pro oblasti zásobující více než 5 000 osob nalézán v rozsahu koncentrací 0,05 – 38 µg/l (průměr - medián 0,5 µg/l). Pro oblasti zásobující do 5 000 osob od 0,05 do 53 µg/l (průměr – medián 0,56 µg/l). K překročení limitní hodnoty (NMH) došlo u tohoto segmentu v zásobování pitnou vodou ve 2,34% případů.

O výskytu uranu v potravinách nejsou zatím dostatečně obsáhlé informace, avšak podle údajů, které publikoval Evropský úřad pro bezpečnost potravin EFSA[1] bylo podle podkladů dodaných z 8 Evropských zemí pod mezí stanovitelnosti 41% vzorků zeleniny, 95% vzorků cereálií a 100% vzorků vajec. Na druhé straně pro pitnou vodu byl počet vzorků pod mezí stanovitelnosti nalezen pouze pro 5% vzorků a u balené vody 27% vzorků. Tento přehled svědčí o tom, že důležitým potencionálním expozičním zdrojem je v případě uranu pitná, podzemní voda.

2.2 Příjem a chování uranu v organismu

Přibližně 1-2% orálně přijatého uranu je absorbováno gastrointestinálním traktem dospělých lidí. Absorbovaný uran rychle vstupuje do krevního řečiště a tvoří zde mobilní iontový komplex hydrogenuhličitanu uranylu ($UO_2HCO_3^+$), který je v rovnováze s málo pohyblivým albuminovým komplexem. V mírně alkalickém prostředí je zmíněný iontový komplex stálý a je vylučován močí a stolicí. Jestliže dojde k poklesu pH zmíněný komplex disociuje a vytvoří celulární proteiny na vnitřní straně cév. Poločas eliminace uranu z organismu je uváděn mezi 180 – 360 dny[2]. U uranu vázaného v organických komplexech se předpokládá stupeň absorpce 20 – 31%, jsou zde však patrné mezidruhové rozdíly, jak bylo zjištěno při pokusech na zvířatech. Uranylový ion může nahrazovat vápník v hydroxyapatitovém komplexu zabudovaném v krystalové struktuře kostí. Další možnou, i když málo významnou cestou uranu při vstupu do organismu je absorpce kůží, která byla prokázána u zvířat.

Podle údajů ve Stanovisku Státního zdravotního ústavu – Národního referenčního centra pro pitnou vodu, ze kterého jsou převážně čerpány informace[3] je uvažovaný dietární příjem na úrovni 1 – 4 µg/den. Příjem uranu ovzduším je v souvislosti s příjmem vodou a potravou zanedbatelný.

2.3 Toxicita

Hlavním chemicky indukovaným efektem při zvýšeném příjmu uranu je nefritida, kdy dochází k poškození epitelu proximálních vinutých kanálků. U experimentálních zvířat vyvolává vyšší expozice uranu změny hepato/neurotoxické a příznaky reprodukční a vývojové toxicity. Nefrotoxický účinek uranu a jeho sloučenin byl v minulosti dost často popisován v epidemiologických studiích založených na expozici obyvatelstva při pití vody se zvýšeným obsahem uranu. Byly popsány

poruchy glomerulární filtrace a subklinické známky alterace epitelu proximálních tubulů s popsaným cytotoxickým účinkem. Jedná se však o funkční změny v rámci fyziologického rozmezí s poznanou souvislostí dávky a účinku[3]. Ve finské studii[4] provedené u 325 uživatelů studní s průměrným obsahem uranu 28 µg/l (median) byla zjištěna závislost mezi příjmem uranu a exkrecí vápníku a fosforečnanů močí. Vliv na renální tubuly byl zaznamenán až při koncentraci uranu větší než 300 µg/l. Proto autor doporučil ještě bezpečnou koncentraci uranu v pitné vodě 30 µg/l. Do další epidemiologické studie tohoto autora[5] zveřejněné v roce 2006 bylo zahrnuto 95 mužů a 98 žen (ve věku od 18-81 roků), kteří používali pitnou vodu s obsahem uranu 5-148 µg/l (kvartilový interval). Indikátory pro cytotoxicitu a funkci ledvin však neprokázaly renální poškození. Expozice uranu měla pouze souvislost s větším diastolickým a systolickým tlakem krve a se zvýšenou exkrecí glukózy.

Neurčité závěry přinesla i studie provedená ve Švédsku[6] v roce 2009, kdy potvrdila závislost koncentrace uranu v moči na jeho koncentraci v pitné vodě pro rozmezí koncentrací 0, 2 – 470 µg/l, avšak známky poškození ledvin nebyly patrné.

Na nefrotoxické působení uranu je zřejmě citlivý organismus dětí, resp. novorozenců a kojenců. Lze tak usuzovat na základě pokusů s mláďaty pokusných zvířat, u kterých dochází k zvýšení absorpce vlivem zvýšené permeability střevní sliznice. Uran může rovněž procházet přes placentární membránu, jelikož se váže na transferin a další proteiny. Vyšší toxické působení sloučenin uranu lze předpokládat i u lidí trpících chorobami ledvin.

I když v rámci provedených studií nebyly zjištěny funkční změny mimo fyziologická rozmezí, nelze vyloučit jejich výskyt u citlivé části populace. Ačkoliv nejsou známa konkrétní data, vyšší toxické působení sloučenin uranu lze předpokládat i u lidí trpících chorobami ledvin, a lze předpokládat, že expozice uranu představuje potenciální riziko i pro diabetiky či hypertoniky, u kterých lze předpokládat zvýšenou citlivost vůči nefrotoxickým látkám. Mechanismus účinku lze vysvětlit narušením aktivního transportu přes buněčnou membránu.

2.4 Karcinogenita a genotoxicita

Genotoxické a karcinogenní účinky uranu a jeho sloučenin nebyly na základě pokusů se zvířaty prokázány z hlediska perorální expozice. Tyto vlivy lze spíše spojovat s radioaktivitou uranu, tj. s emisí alfa částic a gama záření. Tyto účinky nastupují však při koncentracích, které jsou mnohem vyšší, než jsou dávky spojené s jeho nefrotoxickým působením. Epidemiologické studie, které vycházely z příjmu pitné vody s vyšším obsahem uranu a výskytem nádorového onemocnění neprokázaly podle WHO jednoznačné ovlivnění. Na druhé straně je podle stanoviska NRC pro pitnou vodu[3] publikováno několik studií, které naopak přinášejí důkazy o možné souvislosti s výskytem uranu v podzemní vodě s nádory plic, kostí, prsu, reprodukčního systému, močového měchýře a leukémie. Podle údajů, které zveřejnila Agentura Ministerstva zdravotnictví USA, jejíž úlohou je ochrana veřejného zdraví před nebezpečnými látkami v prostředí (ATSDR[7], 2013) studie in vitro ani in vivo nepřinesly důkazy o genotoxickém a karcinogenním působení uranu při jeho orálním příjmu. Nicméně doporučuje nutnost provádění dalších studií.

2.5 Doporučené limity

Původní limitní hodnot pro uran vycházely z jeho radioaktivních účinků (140 µg/l). Z hlediska chemické toxicity stanovila **WHO** nejprve prozatímní limitní hodnotu uranu v pitné vodě v roce 1998 na úrovni 2 µg/l. Tato hodnota byla odvozena[8] z tolerovatelného denního příjmu (TDI) 0,6 µg/kg/den. Tato hodnota vycházela z hodnoty LOAEL 60 µg/kg/den s faktorem nejistoty 100. Později WHO své doporučení změnila na **15 µg/l** platnou pro 60 kg dospělého člověka při konzumaci 2 litry této vody s alokací 80%. Tato hodnota vyhlášená v roce 2004 nahradila původní předběžnou limitní koncentraci 2 µg/l, která byla založena na 10%ní alokaci hodnoty TDI (WHO1998) i později upravenou hodnotu 9 µg/l (50%ní alokace hodnoty TDI, WHO 2003). Podle poslední revize WHO uvádí[9], že na základě epidemiologických studií provedených ve Finsku a Švédsku nelze hodnotu 15 µg/l považovat za vhodnou a navrhuje provizorní hodnotu **30 µg/l.** Tento názor nebyl akceptován ve

stanovisku[3] Národního centrem pro pitnou vodu vzhledem k tomu, že finské studie[4,5] známky poškození ledvin při vyšším přívodu uranu pitnou vodou zjistily, stejně tak i kanadská studie[2]. Vzhledem k tomu, že WHO vychází především z humánních epidemiologických studií, které neumožňují najít odpovídající hodnotu minimálního rizika, navrhuje Americká federální zdravotní agentura (ATSDR) na základě pokusů se zvířaty použít subchronickou hodnotu minimálního rizika na úrovni 0,2 µg/kg/den[7].

2.6 Přijaté limity

Konietzka[10] pro TDI uvažuje hodnotu 0,2 µg/kg/den vzhledem k tomu, že u lidí byla pozorována větší resorpce uranu než u pokusných zvířat. Z této hodnoty pak vyvozuje limitní hodnotu pro uran v pitné vodě **10 µg/l** (při dlouhodobé konzumaci), která byla akceptována Německou agenturou pro životní prostředí (Umweltbundamt – UBA) jako bezpečná hodnota při celoživotní expozici. Maximální akceptovatelná koncentrace vyhlášená[9] Kanadským Federálním výborem pro pitnou vodu, pro uran v pitné vodě **- 20 µg/l** vychází z pokusů, kde byl zjištěn vliv uranu na funkci ledvin u krysích samců. **U.S. EPA** uvádí jako maximální hladinu kontaminace přírodního výskytu uranu **30 µg/l**, jako bezpečnou hladinu uvažuje koncentraci **20 µg/l**, kdy se předpokládá, že jde o dospělého člověka s tělesnou hmotností 70 kg s konzumací 2 litry vody denně, přičemž 80% expozice pochází právě z vody. **Australský národní orgán pro zdravotní a lékařský výzkum** (NHRMC) navrhl jako závaznou hodnotu 20 µg/l.

V **Kanadě** na základě poznatků o chemické toxicitě uranu byla původní limita 100 µg/l snížena na 10 µg/l. Z hlediska cost-benefit analýzy na zavedení a splnění tohoto limitu byl limit upraven na prozatímní koncentraci na 20 µg/l. Ve **Švédsku** byla navržena na základě epidemiologických studií limitní hodnota 15 µg/l. V **Německu** byla jako bezpečná hodnota pro příjem uranu z pitné vody stanovena koncentrace v 10 µg/l, což bylo po vyhodnocení nákladů na zavedení a plnění této hodnoty nakonec upraveno na limitní koncentraci **15 µg/l**.

Ve vyhlášce č.252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu byla přijata v aktuálním znění z roku 2018 jako **nejvyšší mezná hodnota (NMH) koncentrace uranu 15 µg/l**. Z pohledu nahoře uvedených přijatých limitních hodnot koncentrace uranu se tato hodnota jeví jako velmi dobrým kompromisem jak z hlediska ochrany zdraví, tak z hlediska ekonomického.

Poznámka: Přijatý limit se týká pouze chemické toxicity uranu, radiologické hledisko, které vychází ze směrných hodnot koncentrace alfa částic (vyhláška SÚJB č. 307/2004 Sb.) nelze v této souvislosti odpovídajícím způsobem využít.

3. Charakterizace nebezpečnosti, vztah dávky a účinku

Charakterizace nebezpečnosti uranu je v této kapitole zaměřena především na jeho příjem z pitné vody a celkový dietární příjem.

Americká agentura pro toxické látky a registr nemocí (ATSDR) zveřejnila[7] v roce 2013 hodnotu pro orální referenční dávku (RfD_o) hodnotu **3 µg/kg/den** odvozenou pro působení rozpustných solí uranu na nefrotické změny při expozici na králících. Studie byla provedena již v roce 1949 a využila relativně vysoké koncentrace solí uranu. V nové revizi[7], je uvedena hodnota zabezpečující minimální riziko (MRL), které opět vychází z experimentů na zvířatech. Jde v tomto případě o subchronickou hodnotu MRL na úrovni **0,2 µg/kg/den.**

WHO odvodila hodnotu TDI na základě studií, které prováděl Gilman[11] na úrovni **0,6 µg/kg/den**. Tato studie byla provedena na potkanech, které byli orálně exponováni roztoku dusičnanu uranylu v pitné vodě po dobu 91 dní. Vyhodnocení nefrotických změn pak umožnilo stanovit hodnotu LOAEL, ze které byla odvozena využitím faktoru nejistoty pro extrapolaci ze zvířete na člověka uvedená hodnota tolerovatelného denního příjmu (TDI). Revize této zprávy, která proběhla v roce

2012[12], revidovala tuto hodnotu na základě epidemiologických studií (viz především[3]) a uvedla novou hodnotu **60 µg/den**, ze které odvozuje limitní hodnotu pro pitnou vodu (viz kap. 2.5 Doporučené limity).

V souvislosti s vydáním nejvyšší mezní hodnoty platné pro uran v pitné vodě, vydal Státní zdravotní ústav v roce 2018 hodnotu pro tolerovatelný denní příjem uranu na úrovni **1 µg/kg/den** a pro celoživotní expozici **0,6 µg/kg/den.** V autorizačním návodu AN 16/04 verze 5, kde byly tyto hodnoty uveřejněny, současně uvedl, že z hlediska předběžné opatrnosti související s výsledky německých studií naznačujícími karcinogenní účinek uranu, jde o přísnější hodnotu, než ji uvádí WHO jako revidovanou v roce 2012. Za více citlivé populační skupiny při perorálním příjmu považuje autorizační návod v souladu s vědeckými poznatky kojence, malé děti a těhotné ženy vzhledem k vyšší prostupnosti střevní sliznice pro bílkovinové komplexy uranu a tím i snadnějšího přechodu přes placentární bariéru.

4. Hodnocení expozice

Hodnocení expozice se provádí podle expozičního scénáře založeného na celoročním používání vody z veřejného vodovodu. Tento scénář je založen na výpočtu průměrné denní dávky ADD (Average Daily Dose) pro látky s nekarcinogenním toxickým účinkem a průměrné celoživotní dávky LADD (Lifetime Average Daily Dose), která může vyvolat karcinogenní účinek. U uranu jsou předpokládány při dané expozici především toxické, tedy prahové účinky, genotoxický a karcinogenní účinek je vyvolán teprve vyšší úrovní expozice.

Další možnou expoziční cestou je orální příjem potravinami, který pro českou populaci není v současné době známý. Lze vyjít z údajů EFSA[1], která zveřejnila údaje dietární expozice pro evropskou populaci, která je odhadována v rozmezí 0,05 – 0,09 µg na kilogram tělesné váhy za den. Dermální cesta expozice se u uranu jako významná nepředpokládá.

Vzhledem k doporučení autorizačního návodu SZÚ (AN 16/04, v. 5), který se opírá o současné názory na toxicitu uranu, byl pro hodnocení rizika uranu z pitné vody využit postup vyhodnocení průměrné denní dávky zohledňující jednotlivé citlivé populační skupiny (kojenci, malé děti – vyšší příjem vody vzhledem k tělesné hmotnosti, těhotné ženy) s využitím postupu pro **výpočet denní dávky** (ADD_w) a jejího porovnání s příslušným doporučeným **tolerovatelným denním příjmem** (TDI).

Jak bylo uvedeno v úvodu této studie, je současná **průměrná koncentrace uranu pro obyvatele obce na koncentrační úrovni 37 µg/l**. Pro celkový orální příjem byl kromě příjmu z pitné vody též uvažován i určitý **podíl uranu přítomného v potravinách**. V tomto případě byly využity publikované údaje, z publikace EFSA[1]. Tyto údaje se týkají evropské populace a lze se domnívat, že při současném globálním trhu potravin je nutné k nim přihlížet.

Pro výpočet ADD_w (průměrná denní dávka z pitné vody) byl využit následující vztah:

$$ADD_w = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

kde:

CW koncentrace uranu ve vodě (mg/l),
IR množství použité vody (l / den) – viz tabulka 1, údaje vychází z AN 16/04
EF frekvence expozice (den / rok) – kojenci 365 dní, ostatní 350 dní (přepokládá se pobyt 15 dnů/rok mimo bydliště)
ED trvání expozice (roky), nekarcinogenní riziko, 1 rok,
BW tělesná hmotnost (kg) – viz tabulka 1,

AT doba průměrování (den), nekancerogenní riziko 365 dní.

Při odhadu dávky vycházíme z průměrných výsledků obsahu uranu v pitné vodě za uplynulé období 2017/2020 - **průměrná hodnota 42 µg/l**, alternativně jsme zvolili možná maximálně očekávatelnou průměrnou koncentraci **50 µg/l** odpovídající 83% percentilu ze zjištěných koncentrací.

Výpočet byl proveden podle průměrné hmotnosti pro jednotlivé věkové kategorie. V následující tabulce je uvedena průměrná denní dávka pro uvažované koncentrace uranu (ADD_w) a průměrný denní přívod z potravin (ADD_F). Jako podklad pro výpočet průměrné denní dávky byly převzaty údaje o průměrné tělesné hmotnosti dětí, které byly zveřejněny v roce 2006 na základě celostátního antropologického průzkumu dětí a mládeže[13] a podklady o spotřebě pitné vody pro jednotlivé populační skupiny z materiálu EPA[14] zveřejněné v AN 16/04 verze 5.

Celkový orální příjem (ADD_o) jako součet orálního příjmu z pitné vody (ADD_w) a potravin pro jednotlivé věkové kategorie je uveden v tab. I. Denní příjem uranu z potravin byl zvolen jako průměr 0,07 µg/kg/den z rozmezí 0,05 – 0,09 µg/kg/den, který publikovala EFSA[1]a v tabulce je uveden v součtu ADD_o.

Tab.I. Denní příjem uranu z pitné vody a potravin

věková skupina	tělesná hmotnost	spotřeba vody	ADD_w [c_U= 42µg/l]	ADD_w [c_U=50 µg/l]	ADD_o [c_U= 42µg/l]	ADD_o [c_U=50 µg/l]
	kg	l/den	µg /kg/den			
kojenci do 3 měsíců	4,5	0,75	6,71	7,99	**6,95**	8,23
kojenci 3-12 měsíců	8,1	1	4,97	5,92	**5,21**	6,16
děti 1-4 roky	12,7	0,95	3,01	3,59	**3,2**	3,78
děti 4-11 let	26,4	1,2	1,83	2,18	**2,02**	2,37
adolescenti 11-15 let	47,8	1,4	1,18	1,4	**1,35**	1,57
adolescenti 15 - 18	62,6	1,7	1,09	1,3	**1,21**	1,42
těhotné ženy	75	2,3	1,24	1,47	**1,31**	1,54
dospělí	70	2	1,15	1,37	**1,22**	1,44

5. Charakterizace rizika

Míru rizika toxického účinku vyjadřujeme pomocí kvocientu nebezpečnosti HQ – poměru odhadované denní dávky celkového orálního příjmu (ADD_o) a tolerovatelného denního příjmu (TDI) (viz kap. 3):

$$HQ = \frac{ADD_o}{TDI}$$

Obecně platí, že pokud HQ dosahuje hodnoty menší než 1, neočekává se žádné významné riziko toxických účinků.

Jak je patrné z výsledků uvedených v tabulce I. pro kvocient nebezpečnosti, jsou hodnoty vyšší než jedna zjištěny pro všechny věkové skupiny včetně dospělých. Velmi významné překročení bylo zjištěno **pro kojence a děti do 11 let věku**. Pro kojence a děti 11 let věku nelze uvažovat o využité pitné vody s vyšším obsahem uranu pro obě zvažované koncentrace. Vyloučit toto riziko nelze ani u starší dětské populace a těhotných žen. Zvýšená hodnota denního příjmu uranu je u těchto skupin ovlivněna vyšší spotřebou vody vzhledem k jejich tělesné hmotnosti.

Tab. II. Kvocient nebezpečnosti uranu

věková skupina	**Kvocient nebezpečnosti (HQ)**			
	Ref. hodnota 1 µg/kg/den		Ref. hodnota 0,6 µg/kg/den	
	HQ [c_U = 42 µg/l]	HQ [c_U = 50 µg/l]	HQ [c_U = 42 µg/l]	HQ [c_U = 50 µg/l]
kojenci do 3 měsíců	6,95	8,23	11,6	13,7
kojenci 3-12 měsíců	5,21	6,16	8,68	10,3
děti 1-4 roky	3,2	3,78	5,33	6,3
děti 4-11 let	2,02	2,37	3,37	3,95
adolescenti 11-15 let	1,35	1,57	2,25	2,62
adolescenti 15 - 18	1,21	1,42	2,02	2,37
těhotné ženy	1,31	1,54	2,18	2,57
dospělí	1,22	1,44	2,03	2,4

K velmi významnému překročení by došlo v případě, když půjde o celoživotní expozici obyvatel (ref. hodnota 0,6 µg/kg/den). To by se stalo v případě, že koncentrace uranu bude dlouhodobě na uvedené úrovni. Jak je patrné z tabulky II., kvocient nebezpečnosti by byl dvojnásobně překročen i pro dospělou populaci. Zvláště nebezpečné by to bylo pro kojence, děti do 11 let a těhotné ženy.

6. Analýza nejistot

Hodnocení zdravotního rizika je vždy spojeno s určitými nejistotami, danými použitými daty, expozičními faktory, odhady chování exponované populace apod. Proto jednou z neopomenutelných součástí hodnocení rizika je popis a analýza nejistot, které jsou s hodnocením spojeny a kterých si je zpracovatel vědom.

V daném případě odhadu zdravotního rizika uranu z pitné vody je na místě připomenout tyto nejistoty:

1) Použité referenční hodnoty

Využitý tolerovatelný denní příjem je založen na doporučení uvedeném v autorizačním návrhu, který vydal SZÚ v roce 2018 a kterému předcházelo Stanovisko Státního zdravotního ústavu k limitní hodnotě uranu v pitné vodě. Ve Stanovisku je zdůvodněna doporučovaná referenční hodnota tolerovatelného denního příjmu uranu na základě kritického rozboru řady studií, které byly provedeny na zvířatech, u kterých byly popsány hepato/neurotoxické změny. Epidemiologické studie provedené u obyvatelstva exponovaného uranem v pitné vodě poukazovaly spíše na změny v epitelu proximálních tubulů s možnou reverzibilitou, případně kostního metabolismu, s možnými fyziologickými změnami v rámci fyziologických mezí, které mohou progredovat u citlivé části populace. Důvody uvedené ve Stanovisku jsou dostatečně průkazné, aby byl zdůvodněn odlišný názor od názoru Světové zdravotnické organizace (WHO), která navrhuje jako prozatímní hodnotu tolerovatelného denního příjmu hodnotu minimálně o řád vyšší. Tento faktor nejistoty je tedy založen na konzervativním přístupu k publikovaným údajům, které se dosti různí, a, dokonce v případě některých studií, je v nich naznačován i možný karcinogenní účinek. Nejistotou použitých referenčních hodnot je jejich aplikace pro obyvatele obce trpící chorobami ledvin, u kterých lze předpokládat zvýšenou citlivost k nefroticky působícím látkám jako je uran.

2) **Použité expoziční parametry**

Údaje o obsahu uranu v pitné vodě ve vodovodním řádu obce jsou monitorovány sice jen po relativně krátkou dobu 3 let, ale průměrná hodnota obsahu uranu byla víceméně dlouhodobě stálá a teprve v tomto roce vykázala zvyšující trend, který vedl ke zvýšení průměru z 37 µg/l na 42 µg/l. Tato aktuální průměrná hodnota uranu za sledované období byla využitá pro výpočet tolerovatelného denního příjmu a zdá se být dostatečně konzervativním odhadem pro výpočet expozice (citlivostní parametr v linearizované závislosti koncentrace uran v čase je 0,017). Z hlediska krátkodobého nárůstu koncentrace uranu zjištěného v tomto roce byl zvolen 83% percentil pro výpočet možného navýšení (50 µg/l). Vzhledem k tomu, že riziko uranu z pitné vody je založeno na jeho chronických účincích, ke kterým může dojít až po delším působení, je zvolená hodnota 83% percentilu dostatečně konzervativním odhadem.

Poměrně nejvyšším zdrojem nejistoty se jeví údaje o spotřebě pitné vody pro jednotlivé populační skupiny. Byly sice využity údaje poskytující 90. a 95. percentil pravděpodobného rozmezí spotřeby, nicméně skutečná spotřeba vodovodní vody může být závislá na stravovacích zvyklostech rodin žijících v obci.

Pro výpočet expozice byly využity údaje o průměrné tělesné hmotnosti obyvatel, u kterých lze předpokládat relativně dobrou shodu se skutečností.

Dále je nutné zvažovat nejistotu přívodu uranu potravou. Podle údajů o průměrném obsahu uranu v různých potravinových komoditách evropských zemí jde o relativně nízký příspěvek, takže nejistota, která vyplývá z nedostatku podkladů, je sice vysoká, ale z hlediska nízkého přívodu ztrácí relativně význam.

3) **Další možné nezahrnuté souvislosti**

Do studie byly zahrnuty osoby trávící v uvedené obci 350 dnů v roce. Dospělá populace, ale i dětská populace zde však tento počet dnů netráví, nebo alespoň tráví jen část dne.

7. Závěr

Na základě provedeného odhadu zdravotního rizika zvýšené koncentrace uranu v pitné vodě z veřejného vodovodu obce Pačejov nádraží pro zásobované obyvatele je možné učinit tyto hlavní závěry:

1. **Vyšší koncentrace uranu v pitné vodě představuje v současné době významné riziko nepříznivých zdravotních účinků pro přípravu umělé kojenecké výživy a při konzumaci této vody pro kojence a děti do 11 let věku a rovněž těhotné ženy. Toto riziko lze vztáhnout i pro osoby trpící chorobami ledvin.**
2. **Zvýšené zdravotní riziko při celoživotní expozici nelze vyloučit ani u starší dětské populace a dospělé osoby.**
3. **Pro účely osobní hygieny, mytí nádobí apod. je možné vodovodní vodu používat bez omezení**
4. **Tento odhad zdravotních rizik je postaven na současných znalostech o nebezpečnosti uranu na lidské zdraví, platí pro případ dlouhodobé konzumace vody a je založen na konzervativním přístupu v hodnocení.**

Pozn.: Uvedený závěr je platný za předpokladu platnosti poskytnutých výchozích podkladů.

Doporučuji:

- **informovat obyvatelstvo o nevyhovující jakosti pitné vody a nemožnosti ji použít pro přípravu umělé výživy kojenců a pro děti do 11 let věku a těhotné ženy. Při podávané informaci zdůraznit doporučení omezit její příjem u starší dětské populace a pro těhotné ženy na polovinu běžné denní spotřeby, tj. na 1 litr na osobu a den. Zdůraznit možné potencionální riziko pro osoby trpící chorobami ledvin.**
- **co nejdříve zahájit realizaci technologie, která by vedla ke snížení obsahu uranu v pitné vodě - ideálně pod 10 µg/l, popřípadě využít jiný zdroj pitné vody. Vzhledem k přítomnosti radonu v pitné vodě přesahující jeho referenční úroveň, případně zahrnout do technologie i jeho snížení.**
- **pravidelně, alespoň s kvartální četností, monitorovat a vyhodnocovat koncentraci uranu ve zdrojích pitné vody i ve vodovodní síti vzhledem k současnému trendu zvyšování jeho koncentrace ve zdrojích.**

8. Literatura, použité zkraty

1. Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain (Question No EFSA-Q-2007-135)
2. Guidelines for Canadian drinking water quality: supporting documentation — uranium. Ottawa: Federal–Provincial–Territorial Committee on Drinking Water; 2001.
3. Stanovisko Státního zdravotního ústavu – Národního referenčního centra pro pitnou vodu k limitní hodnotě uranu v pitné vodě. SZÚ Praha, 2013
4. Kurttio, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J. et al: Renal effect of uranium in drinking water. Environ Health Perspect, 2002; 110: 337-342.
5. Kurttio, P., Harmoinen A., Saha, H., Salonen, L., Karpas, Z. et al. Kidney toxicity of ingested uranium from drinking water. *Am. J. of Kidney Dis*, 2006; 47(6): 972-982.
6. Seldén, A.I., Lundholm, C., Edlund, B., Högdahl, C., Ek, B.M. et al.: Nephrotoxicity of uranium in drinking water from private drilled wells. Env. Research 2009; 109(4): 486-494.
7. ATSDR: Toxicological Profile for Uranium, 2013.
8. Uranium in Drinking-water Quality, WHO Guidelines for Drinking-water Quality, WHO, 2005
9. Uranium in Drinking Water, Document by Federal-Provincial-Territorial Commitee on Drinking Water, Canada. 2017
10. Konietzka, R., Dieter, H.H., Voss, J.-U. Vorschlag für einen gesundheitlichen Leitwert für Uran in Trinkwasser. *Umweltmed Forsch Prax*, 2005, 10(2): 133 – 143.
11. Gilman, A.P. et al. Uranyl nitrate: 28-day and 91-day toxicity studies in the Sprague-Dawley rat. *Toxicological Science* 1998; 41: 117-128.
12. Uranium in Drinking-water . WHO Guidelines for Drinking-water Quality, WHO 2012.
13. J. Vignerová, J. Riedlová, P. Bláha, J. Kobzová, L. Krejčovský, M. Brabec, M. Hrušková: 6. Celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001, Česká republika, SZÚ 2006
14. US EPA: Metodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health, US EPA, Office of Water, (2000).

Použitá literatura (necitovaná v textu)

1. Manuál prevence v lékařské praxi, VIII. Základy hodnocení zdravotních rizik, SZÚ Praha 2000.
2. K.Bláha, M.Cikrt: Základy hodnocení zdravotních rizik, SZÚ Praha 1996.
3. J.Volf: Metodiky hodnocení zdravotních rizik v hygienické službě, Ostrava 2002.

Některé používané zkratky:

ADD – (Average Daily Dose), průměrný denní přívod dané látky (nevyvolávající karcinogenní účinek)
ADI – (Acceptable Daily Intake) průměrný denní příjem – je množství specifické látky v potravině nebo pitné vodě, které je konzumováno denně bez rizika pro zdraví
APCR – (Annual Population Cancer Risk) - riziko výskytu nových případů rakoviny v exponované populaci
ATSDR – (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) Agentura Ministerstva zdravotnictví USA, jejíž úlohou je ochrana veřejného zdraví před nebezpečnými látkami v prostředí
BMDL (Bench Mark Dose Level)- referenční dávka, která způsobuje určitou změnu v odezvě, (například $BMDL_{10}$ způsobuje 10% změnu)
EPA - (Environmental Protection Agency), US EPA - Americká agentura pro ochranu životního prostředí
HQ – (Hazard Quotient) – kvocient nebezpečnosti – poměr potenciální expozice látce a úrovně, při které se neočekávají žádné nepříznivé účinky
IRIS (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.
ILCR – (Individual Lifetime Caner Risk) individuální celoživotní riziko rakoviny
JECFA FAO/WHO – komise expertů působící při Organizaci pro potraviny a zemědělství OSN a WHO
LADD - (Lifetime Average Daily Dose), celoživotní denní průměrný přívod dané látky (používá se pro látky působící karcinogenně)
LOAEL – (Lowest Observed Averse EffectLevel) – Nejnižší dávka, při které je již pozorovaný nepříznivý zdravotní účinek na statisticky významné úrovni ve srovnání s kontrolní skupinou
MF – (Modifying Factor) – Modifikující faktor, používaný při odvození referenční dávky. Nabývá velikosti od 1 do 10 a vyjadřuje míru neznalosti o účincích látky (nezohledňuje faktor nejistoty)
MRL – (Minimum Risk Level) Minimální hladina rizika – úroveň denní expozice, která je na základě současných poznatků bez rozpoznatelného rizika nepříznivých účinků
NOAEL – (No Observed Adverse Effect Level) – Nejvyšší dávka, při které ještě není na statisticky významné úrovni ve srovnání s kontrolní skupinou pozorován nepříznivý zdravotní účinek
PTWI – (Provisional Tolerable Weekly Intake) Provizorní tolerovatelný týdenní příjem
RfDo referenční dávka pro orální příjem – Průměrná denní dávka dané látky, která pravděpodobně nevyvolá při dlouhodobém příjmu ani u citlivých populačních skupin nepříznivé zdravotní důsledky
TDI – (Tolerable Daily Intake) tolerovatelná denní dávka - odhad množství chemického kontaminantu, kterému jsme vystaveni z kontaminace životního prostředí
UCR – (Unit Cancer Risk) jednotka karcinogenního rizika vyjadřující karcinogenní potenciál dané látky vztažený k její jednotkové koncentraci, v případě pitné vody 1 µg/l
WHO – (World Health Organization) Světová zdravotnická organizace