

DOŠLO

- 7. 01. 2022

č.

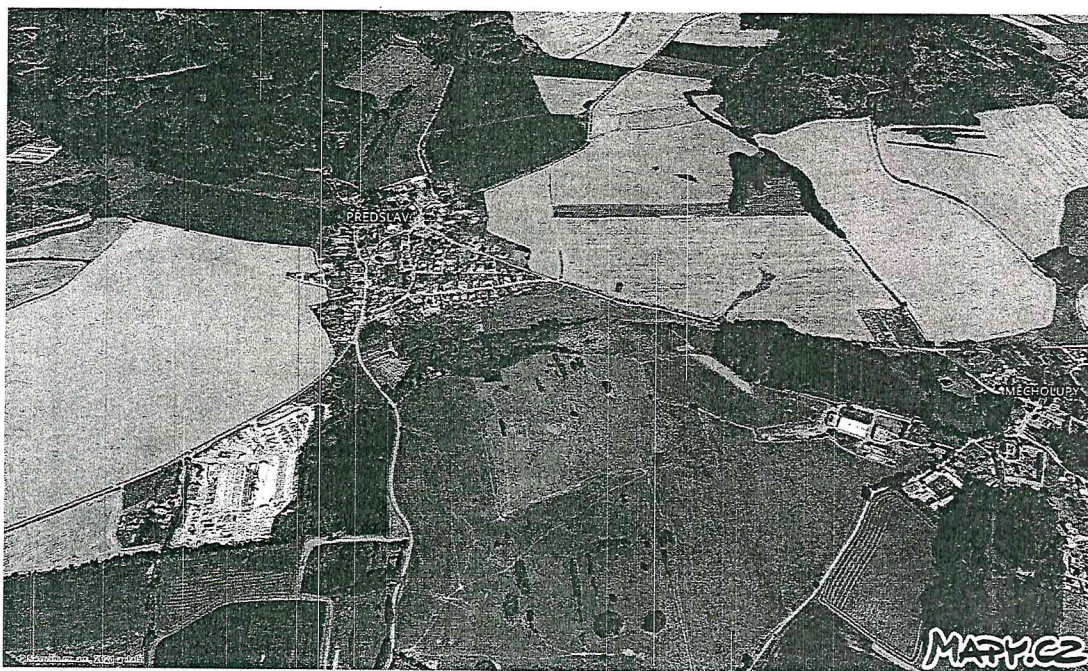
10

STUDIE POSOUZENÍ VLIVŮ NA VEŘEJNÉ ZDRAVÍ HODNOCENÍ ZDRAVOTNÍCH RIZIK

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

Veřejný vodovod Předslav - Měcholupy

Zadavatel: Šumavské vodovody a kanalizace, a.s., Čsl. Legií 37, Klatovy



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

Datum zpracování: prosinec 2021

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 Předslav 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 rizik¹ 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 Lifetime 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 pravděpodobnosti 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 Předslav leží cca 9 km severovýchodně od Klatov. Jde o obec s rozšířenou působností, její součástí je dalších 6 obcí. V obci žije podle údajů z roku 2021 806 obyvatel. Kromě občanské zástavby sídlí v obci jeden z největších zemědělských subjektů v regionu společnost Měcholupská zemědělská, a.s., která je společně s Obcí Předslav i spoluvlastníkem vodovodu.

¹ Viz též „Používané zkratky“ na straně 13

Provozovatelem vodovodu jsou Šumavské vodovody a kanalizace a.s. Provozovaný vodovod zásobuje pitnou vodou obec Předslav a Měcholupy, které se nachází asi 1,5 km jihovýchodně od obce Předslav a jsou její administrativní součástí (viz provozní řád vodovodu *). Vodovodní řád obce zásobuje cca 400 obyvatel. Vodovodní řád v obci je napájen přes úpravnu a vodojem ze čtyř vrtů (HV-1, HV-2, HV-3 a HV-4).

Úprava surové vody z vrtů zahrnuje předchloraci a další oxidaci manganistanem sodným a následné odstranění oxidů železa a manganu vody. Upravená voda je pak dopravena do vodojemu 2x100 m² a odtud do obou zmíněných obcí. Druhý výtlačný řád je veden přes vodojem 1x250 m³ do Měcholupské zemědělské a.s. Maximální vydatnost vrtů zásobujících obyvatele obou obcí je 3 l/s.

Kvalita dodávané upravené vody odpovídá požadavkům Vyhlášky 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, kromě **jednoznačně zvýšené koncentrace uranu (nejvyšší mezní hodnota 15 µg/l)** a občasných nálezů metabolitů chloracetanilidových nerelevantních pesticidů (alachlor ESA a metalochlor ESA), jejichž průměrné koncentrace jsou v blízkosti doporučeného limitu podle Seznamu posouzených nerelevantních metabolitů pesticidů a jejich doporučené limitní hodnoty v pitné vodě¹⁷.

Charakter pitné vody se vyznačuje mírně alkalickou reakcí, střední mineralizací (suma vápníku a hořčíku mírně převyšuje 2,5 mmol/l), a především, v poslední době nárazově vyšším obsahem uranu – viz tab. I.

Tab. I. Přehled monitorovaných koncentrací uranu v pitné vodě

termín odběru	Nalezená koncentrace uranu (µg/l)
IV. 2019	23,0
XI. 2019	25,5
V. 2020	18,9
IV. 2021	32,1
VI. 2021	28,9
IX. 2021	39,8

Průměrná koncentrace uranu ve vodovodní síti sledovaná od roku 2019 do současnosti vykazuje **průměrnou hodnotu 28 µg/l**.

Podle údajů o radioaktivitě, je ve vodovodní vodě nalézána průměrná koncentrace radonu 30 Bq/l, celková objemová aktivita alfa 0,65 Bq/l a beta 0,18 Bq/l. (Poznámka: Obecně platí, že obsah radiologických ukazatelů není řešen ve studii zdravotních rizik, 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.

* Provozní řád vodovodu pro obec Předslav - Měcholupy, Šumavské vodovody a kanalizace, Klatovy, 2013

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. zvětváváním 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 solvaci 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 2021¹, byl v roce 2020 pro oblasti zásobující méně než 5 000 osob nalézán v rozsahu koncentrací 0,05 – 64,2 $\mu\text{g/l}$ (průměr - medián 0,5 $\mu\text{g/l}$). K překročení limitní hodnoty (NMH) došlo u tohoto segmentu v zásobování pitnou vodou ve 1,89% případech.

O výskytu uranu v potravinách nejsou zatím dostatečně obsáhlé informace, avšak podle údajů, které publikoval Evropský úřad pro bezpečnost potravin EFSA² 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 potenciálním 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 ($\text{UO}_2\text{HCO}_3^+$), 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 dny³. 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 informace⁴, je uvažovaný dietární příjem na úrovni 1 – 4 $\mu\text{g/den}$. 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 popsáním

cytotoxickým účinkem. Jedná se však o funkční změny v rámci fyziologického rozmezí s poznanou souvislostí dávky a účinku⁴. Ve finské studii⁵ 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 autora⁶ 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.

Neurčitě závěry přinesla i studie provedená ve Švédsku⁷ 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, takže expozice uranu představuje potenciální riziko i pro diabetiky či hypertoniky, u kterých lze uvažovat o zvýšené citlivosti 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 vodu⁴ 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 (ATSDR⁸, 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 hodnoty 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 odvozena⁹ 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 uvádí¹⁰, 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 stanovisku⁴ Národního centrem pro pitnou vodu vzhledem k tomu, že finské studie^{5,6} známky

poškození ledvin při vyšším přívodu uranu pitnou vodou zjistily, stejně tak i kanadská studie³. 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/den⁸.

2.6 Přijaté limity

Konietzka¹¹ 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 (Umweltbundesamt – UBA) jako bezpečná hodnota při celoživotní expozici. Maximální akceptovatelná koncentrace vyhlášená¹⁰ 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) zveřejnila⁸ 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 revizi⁸, 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 tolerovatelné denní dávky (TDI) na základě studií, které prováděl Gilman¹² na úrovni **0,6 µg/kg/den**. Tato studie byla provedena na potkaních, které byli orálně exponováni roztoku dusičnanu uranulu 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 2012¹³, revidovala tuto hodnotu na základě epidemiologických studií

(viz především⁴) 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 pro účely stanovení mírnějšího hygienického limitu 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 uveřejněny¹⁴, je současně doporučeno, z hlediska předběžné opatrnosti související s německými studiemi naznačujícími karcinogenní účinek uranu, že jde o přísnější hodnotu, než ji uvádí WHO jako revidovanou v roce 2012. Za více citlivé populační skupiny při perorálním příjmu jsou zde, v souladu s vědeckými poznatky, považováni kojenci, malé děti a těhotné ženy (vzhledem k vyšší prostupnosti střevní sliznice pro bílkovinné 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 EFSA², 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 28 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 EFSA². 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 (předpokládá 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 výsledků **průměrné koncentrace** uranu v pitné vodě (28 µg/l) za uplynulé období 2019/2021 a současně i k výskytu nárazově vyšších koncentrací (až 40 µg/l), které by mohly tento průměr ovlivnit. Proto uvažujeme o maximálním možném zvýšení tohoto průměru na **36 µg/l**, který odpovídá 90. percentilu ze zjištěných koncentrací uranu v pitné vodě obcí.

Výpočet byl proveden podle průměrné hmotnosti pro jednotlivé věkové kategorie. V následující tabulce je uveden průměrný denní přívod uranu pitnou vodou pro uvažované koncentrace (ADD_w) a celkový průměrný denní přívod uranu z pitné vody a potravin (ADD_o). 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 mládeže¹⁵ a podklady o spotřebě pitné vody pro jednotlivé populační skupiny z materiálu EPA¹⁶ zveřejněné v AN 16/04 verze 5¹⁴.

Celkový orální příjem (ADD_o) jako součet orálního příjmu z pitné vody (ADD_w) a potravin pro jednotlivé věkové kategorie je uveden v tab. II. 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 EFSA².

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

věková skupina	tělesná hmotnost	spotřeba vody	ADD _w [c _u =28µg/l]	ADD _w [c _u =36µg/l]	ADD _o [c _u =28µg/l]	ADD _o [c _u =36 µg/l]
	kg		l/den		µg /kg/den	
kojenci do 3 měsíců	4,5	0,75	4,67	5,83	4,68	6,00
kojenci 3-12 měsíců	8,1	1	3,31	4,26	3,32	4,26
děti 1-4 roky	12,7	0,95	2,01	2,58	2,01	2,58
děti 4-11 let	26,4	1,2	1,22	1,57	1,22	1,57
adolescenti 11-15 let	47,8	1,4	0,79	1,01	0,79	1,01
adolescenti 15 - 18	62,6	1,7	0,73	0,94	0,73	0,94
těhotné ženy	75	2,3	0,82	1,06	0,83	1,06
dospělí	70	2	0,77	0,99	0,77	0,99

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. Vzhledem k tomu, že se podle sdělení provozovatele vodovodu nepředpokládá v budoucnu zachování dosavadního stavu – obsah uranu v pitné vodě bude snížen, je nutné uvažovat jako hodnotu tolerovatelného denního příjmu (TDI) 1 µg/kg tělesné váhy za den. Pro případ, že by k tomuto snížení v blízké budoucnosti nedošlo, bylo vypočítáno i celoživotní zdravotní riziko, pro které je doporučována hodnota TDI na úrovni 0,6 µg/kg tělesné váhy/den. Zjištěné výsledky pro obě tyto možnosti jsou souhrnně uvedeny v následující tabulce III.

Tab. III. Kvocient nebezpečnosti uranu pro stanovení mírnějšího hygienického limitu a pro případ celoživotní expozice

věková skupina	Kvocient nebezpečnosti (HQ)			
	Ref. hodnota 1 µg/kg/den		Ref. hodnota 0,6 µg/kg/den	
	HQ	HQ	HQ	HQ
	[$c_U=28$ µg/l]	[$c_U=36$ µg/l]	[$c_U=28$ µg/l]	[$c_U=36$ µg/l]
kojenci do 3 měsíců	4,68	5,83	7,8	10
kojenci 3-12 měsíců	3,32	4,26	5,53	7,1
děti 1-4 roky	2,01	2,58	3,35	4,3
děti 4-11 let	1,22	1,57	2,03	2,62
adolescenti 11-15 let	0,79	1,01	1,32	1,68
adolescenti 15 - 18	0,73	0,94	1,22	1,57
těhotné ženy	0,83	1,06	1,38	1,77
dospělí	0,77	0,99	1,28	1,65

Jak je patrné z výsledků uvedených v tabulce III. pro kvocient nebezpečnosti, byly hodnoty vyšší než jedna zjištěny pro současnou průměrnou koncentraci uranu 28 µg/l u kojenců a dětí do 11 let věku. Pro věkově vyšší skupiny lze tedy dočasně tuto koncentraci ještě tolerovat. Zvýšení současné průměrné koncentrace lze tolerovat do hodnoty 36 µg/l, která se ukazuje jako hraniční pro dočasný stav.

K velmi významnému překročení by došlo v případě, když půjde o celoživotní expozici obyvatel obcí. To by se již stalo v případě, že koncentrace uranu bude dlouhodobě na uvedené úrovni. Jak je patrné z tabulky III., kvocient nebezpečnosti by byl překročen pro všechny věkové skupiny včetně těhotných žen.

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 jen po relativně krátkou dobu 3 let. Během tohoto krátkého období došlo ve vodovodní síti obcí k významným změnám koncentrací uranu. Nejde zatím o jednoznačně se zvyšující trend, nicméně je nutné z jeho možným zvýšením v pitné vodě počítat. Proto byl spočítán ze současně zjištěných koncentrací uranu jejich 90. percentil jako možný maximální limit, který lze ještě za předpokladu krátkodobého příjmu tolerovat. 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 maximální tolerovatelná hodnota 90. 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 Předslav - Měcholupy je možné učinit tyto hlavní závěry:

- 1. Vyšší nálezy koncentrací uranu v pitné vodě v monitorované vodovodní síti představují 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, které patří spolu s kojenci a malými dětmi do citlivé populační skupiny. 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 stanovení mírnějšího hygienického limitu a nepředpokládá celoživotní expozici obyvatel obce této zvýšené koncentraci uranu. Vychází z konzervativního přístupu k problematice zdravotních rizik uranu, jak ji doporučuje Státní zdravotní ústav.**

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.**
- **pravidelně, alespoň s kvartální četností, monitorovat a vyhodnocovat koncentraci uranu ve vodovodní síti vzhledem k současnému trendu náhlého zvyšování koncentrace uranu.**

8. Literatura, použité zkratky

1. Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2020, SZÚ Praha, 2021.
2. Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain (Question No EFSA-Q-2007-135)
3. Guidelines for Canadian drinking water quality: supporting documentation — uranium. Ottawa: Federal–Provincial–Territorial Committee on Drinking Water; 2001.
4. Stanovisko Státního zdravotního ústavu – Národního referenčního centra pro pitnou vodu k limitní hodnotě uranu v pitné vodě. SZÚ Praha, 2013
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. ATSDR: Toxicological Profile for Uranium, 2013.
9. Uranium in Drinking-water Quality, WHO Guidelines for Drinking-water Quality, WHO, 2005
10. Uranium in Drinking Water, Document by Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water, Canada. 2017
11. 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.
12. 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.
13. Uranium in Drinking-water . WHO Guidelines for Drinking-water Quality, WHO 2012.
14. Autorizační návod k hodnocení zdravotního rizika expozice chemickým látkám v pitné vodě, AN 16/04, verze 5, SZÚ, 2018.
15. 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
16. US EPA: Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health, US EPA, Office of Water, (2000).
17. Seznam posouzených nerelevantních metabolitů pesticidů a jejich doporučené limitní hodnoty v pitné vodě, MZ 2021,
(http://www.mzcr.cz/Verejne/obsah/pitna-voda-pesticidy-nerelevantnimetabolity_3170_5.html).

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 potravíně 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 látky 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 Cancer 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 Adverse Effect Level) – 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

RfD 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 vztahený k její jednotkové koncentraci, v případě pitné vody 1 $\mu\text{g/l}$

WHO – (World Health Organization) Světová zdravotnická organizace