

PROČ NEMÁ BÝT PITNÁ VODA ANI MOC MĚKKÁ, ANI MOC TVRDÁ?

MUDr. František Kožíšek, CSc.

Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48/49, 100 00 Praha 10

e-mail: frantisek.kozisek@szu.cz

ÚVOD

Důležitost tvrdosti vody, čili v podstatě sumy koncentrací vápníku a hořčíku, jako jedné z technických vlastností vody, byla objevena již na počátku 19. století, v raných dobách moderní analytiky vody. Překvapivě jen o málo mladší jsou první poznatky o zdravotním významu tvrdosti pitné vody: již okolo roku 1870 studoval Dr. Henry Letheby, zdravotní rada města Londýna, vztah mezi celkovou úmrtností a tvrdostí pitné vody v 19 anglických a skotských městech [1]; pravděpodobně první článek v odborném lékařském časopise vyšel v roce 1913 [2]. Pak sice nastala na téměř 50 let pauza, ale studie z Japonska z roku 1957 [3] odstartovala opravdový výzkumný boom, především v USA a Velké Británii, ale i řadě dalších zemí [4]. Výsledky epidemiologických studií o vlivu tvrdosti vody na lidské zdraví byly velmi konzistentní, což se již koncem 60. let odrazilo ve zlidověném rčení „měkká voda, tvrdé artérie (cévy)“. Odborně šlo o to, že v oblastech zásobovaných měkkou pitnou vodou umírali lidé na srdečně cévní onemocnění mnohem častěji než v oblastech zásobovaných tvrdou vodou.

Hlavní výzkumný boom skončil přibližně v polovině 70. let, protože se zdálo, že vše je jasné, že již není co zkoumat. Tehdejší „všeobecné odborné mínění“ se odráželo i v oficiálních dokumentech Světové zdravotnické organizace (WHO) nebo v první evropské směrnici na pitnou vodu (Směrnice rady 80/778/EHS). Poněkud zdrženlivější byla odborná grémia v USA, která sice existenci vztahu nepopírala, ale uzavírala, že je předčasné poznatky promítat do vodárenské praxe [4]. Přestože se v následujících dvou dekadách žádné studie zpochybňující pravidlo „měkká voda, tvrdé cévy“ neobjevily, v 90. letech se oficiální postoj nejprve WHO a posléze Evropské komise změnil. Změna postoje WHO se objevila ve druhém vydání jejího doporučení *Guidelines for Drinking-water Quality* [5, 6] – výsledkem bylo zpochybnění důležitosti vlivu tvrdosti vody (vápníku a hořčíku) na zdraví. Oficiálně z důvodů, že výsledky studií nejsou konzistentní (což nebyla pravda), že studie jsou zastaralé a nedávají dostatečný důkaz (což byla částečně pravda, protože epidemiologické metody se mezitím výrazně modernizovaly), že se studie zaměřují na tvrdost vody (jako sumu Ca + Mg), zatímco je důležité zkoumat odděleně obsah a vliv Ca i Mg (což byla pravda) a že rozhodující je příjem esenciálních prvků stravou (což je sice pravda, ale i přes dostatečný příjem těchto prvků v potravě se nízký obsah Ca a Mg v pitné vodě může negativně projevit na zdraví spotřebitelů, jak si dále ukážeme).

Tím pravým důvodem pro změnu postoje WHO však zřejmě nebyly odborné důvody, ale účinný lobbying výrobců zařízení na doúpravu vody v domácnosti na bázi reverzní osmózy. Jinak by to odborné zdůvodnění [6], ze kterého byly záměrně vypuštěny důležité a kvalitní studie a naopak na ilustraci „slabých důkazů“ citovány jen studie okrajové a opravdu vědecky slabé, muselo vypadat úplně jinak. Tento oficiální postoj zaujímá WHO v podstatě dodnes [7], i když od 90. let byly realizovány a publikovány desítky nových a metodicky moderních epidemiologických studií, které v podstatě ukazují stále stejným směrem: nízký obsah vápníku a především hořčíku v pitné vodě je rizikový pro lidské zdraví pravidelných

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

konzumentů této vody. Vedle jednotlivých studií pak vyšly i nejméně tři meta-analýzy těchto studií a všechny potvrdily statisticky významný vztah: čím nižší obsah Mg v pitné vodě, tím vyšší úmrtnost na kardiovaskulární onemocnění v zásobované populaci.

Postoj WHO ovlivnil i postoj Evropského společenství, což se odrazilo ve směrnici z roku 1998 (98/83/ES), ve které nebyla o tvrdosti/vápníku/hořčíku již jediná zmínka. Nicméně v posledních 10-15 letech se postoj WHO (potažmo i EU) začíná trochu měnit, o čemž svědčí vydání odborných monografií WHO [8, 9] či nové EU směrnice pro pitnou vodu (2020/2184). Důvodem je nejen rostoucí počet či váha důkazů, ale především rostoucí objem pitné vody vyrobený odsolením z vody mořské, kde úplná demineralizace vyvolává palčivou potřebu odborně definovat a zdůvodnit množství a složení minerálních látek, které je potřeba v rámci remineralizace do vody vrátit – z technického, zdravotně-hygienického i estetického (chuťového) hlediska. Epidemiologické studie z Izraele totiž ukazují, že tam, kde došlo k nahrazení zdrojů sladkých vod odsolenou mořskou vodou, došlo ke zhoršení zdravotního stavu zásobované populace [10, 11], i když pitná voda vyhovuje všem stanoveným mikrobiologickým i toxikologickým ukazatelům.

PŘÍSTUP K REGULACI OBSAHU Ca A Mg V PITNÉ VODĚ V ČR A V EVROPSKÉ UNII

Regulace vždy časově zaostává za odborným poznáním, což je přirozený a v podstatě správný jev, má-li mít regulační rámec nějakou minimální stabilitu. Odborné poznatky se navíc v čase mění, protože lidské poznání nikdy není konečné. Zde pak vyvstává přirozeně otázka, v jaké chvíli považujeme naše poznání za dostatečné, dostatečně průkazné, abychom přistoupili k regulaci (kvality) pitné vody. V případě tvrdosti vody je regulace navíc složitá v tom, že hlavní zdravotní problém spočívá v její nízké úrovni, nikoliv v přebytku. Odstranění „něčeho nežádoucího“ z pitné (surové) vody je totiž obvykle technicky mnohem snazší než doplnění „něčeho chybějícího“. A konečně další komplikace spočívá v tom, že odborná instituce (WHO) postupně mění svůj postoj, aniž by to bylo konzistentní s vědeckým poznáním nebo s jejím přístupem k regulaci ostatních látek.

V České republice, resp. v Československu, existovalo odborné povědomí o důležitosti vápníku a hořčíku (popř. dalších esenciálních prvků) ve vodě dlouho před zmíněným výzkumným boomem 60. let. První hygienické texty na toto téma byly publikovány v roce 1927, zatímco první (?) zmínka v odborné vodárenské literatuře se objevuje nejpozději v roce 1955 [12]. V první české normě upravující kvalitu pitné vody (ČSN 56 7900 Pitná voda z roku 1958) se uvádí jak optimální (8 až 12 °N čili 2,9 až 4,3 mval/l resp. 1,45 až 2,15 mmol/l), tak i mezní (2 až 40 °N čili 0,7 až 14,3 mval/l resp. 0,35 až 7,15 mmol/l) hodnota celkové tvrdosti vody. V podobném duchu se nesla i všechny další vydání této normy, byť se hodnoty mírně upravovaly. V posledním vydání (ČSN 75 7111 Pitná voda), platném do konce roku 2000, se pro sumu vápníku a hořčíku uváděla doporučená hodnota 0,9 až 5 mmol/l s tím, že žádoucí (optimální) je hodnota 1,3 až 2,5 mmol/l; u hořčíku se doporučoval nejnižší obsah 10 mg/l, u vápníku žádoucí obsah (doporučená hodnota) 20 mg/l a žádoucí poměr Mg k Ca byl uváděn jako 1:2. Všechny uvedené hodnoty byly po celou dobu existence ČSN Pitná voda jen doporučující.

K nejvýznamnější změně, kterou si vyžádala skutečnost, že se při vodárenské úpravě vody na některých menších zdrojích začala i v ČR více používat reverzní osmóza a hlavně že na český trh byla uvedena zařízení na doupravu vody v domácnosti na bázi reverzní osmózy (jako koncový stupeň úpravy bez remineralizace), došlo po vydání zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, resp. jeho prováděcí vyhlášky č. 252/2004 Sb. Zde byly stanoveny jako doporučené hodnoty optimálního rozmezí vápníku a hořčíku (hodnota tvrdosti pak

Kožíšek F. *Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá?* In: Dobiáš P. (ed.) *Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5*

vychází z hodnot obou prvků), tak jejich minimální doporučené hodnoty, které se ale stávají závaznými a vymahatelnými ve chvíli, kde se tyto prvky z vody při úpravě odstraňují.

Situaci v zemích EU (EHS) před rokem 1980 zmapovanou nemám, ale vývoj po tomto roce sledovat lze. V tomto roce Evropské hospodářské společenství přijalo první společnou směrnici na pitnou vodu č. 80/778/EHS. Směrnice obsahovala doporučené hodnoty (horní hranice) pro Ca (100 mg/l) a Mg (30 mg/l), nejvyšší přípustnou hodnotu pro Mg (125 mg/l) a minimální hodnotu celkové tvrdosti (60 mg/l) vyjádřenou jako vápník nebo ekvivalentní ionty. Tato minimální hodnota platila pouze pro změkčované vody. Ze směrnice pak v podstatě shodně (pokud jde o tyto ukazatele) vycházely jednotlivé národní legislativy členských zemí.

Změna nastala po revizi této směrnice v roce 1998 (98/83/ES), která ukazatele Ca, Mg či jejich sumu vůbec neobsahovala. I když členské země Evropského společenství (EU) už nadále nic nenutilo tyto prvky v pitné vodě regulovat, 12 zemí si nadále ponechalo tyto ukazatele v legislativě, 6 dalších jejich obsah v pitné vodě řeší aspoň v technické normě nebo doporučení a 2 vydaly pro veřejnost informaci o zdravotní důležitosti Ca a Mg. Jenom 8 zemí EU obsah těchto prvků ve vodě nijak neřeší. Šest zemí uvádí doporučené rozmezí pro celkovou tvrdost, 1 další jen minimum a jiná jen maximum. Slovensko uvádí doporučené rozmezí pro hořčík, ČR i pro vápník. Čtyři země (BE, HU, IT, NL) závazně vyžadují minimální hodnotu celkové tvrdosti (pohybuje se v intervalu 0,9 – 1,5 mmol/l) pro vodu, která je změkčována nebo odsolována, ČR a Slovensko pak pro takovou vodu požadují minimální obsah Ca a Mg. Deset zemí stanovilo závazné nejvyšší hodnoty pro vápník a/nebo hořčík, horní hranice pro vápník se pohybují v intervalu 100 – 270 mg/l a pro hořčík v intervalu 30 – 125 mg/L [13].

Při tvorbě poslední novely EU směrnice některé země, včetně ČR, návrat regulace těchto prvků opět požadovaly, což nakonec vedlo aspoň ke kompromisu a do směrnice se dostal následující „kvalitativní“ požadavek: *„Voda by neměla být agresivní ani korozivní. Týká se to zejména upravovaných vod (demineralizace, změkčování, membránové technologie, reverzní osmóza atd.). Získává-li se voda určená k lidské spotřebě úpravou, která vodu významně demineralizuje nebo změkčuje, mohou být do vody přidávány vápenaté nebo hořčnaté soli ke zmenšení jakéhokoli negativního dopadu na zdraví, jakož i omezení korozivnosti nebo agresivnosti vody, a ke zlepšení chuti. Minimální koncentrace vápníku a hořčíku nebo celkového množství rozpuštěných minerálních látek ve změkčené nebo demineralizované vodě lze stanovit se zohledněním vlastností vody, která je takto upravována.“* [14].

VLIV VÁPNIKU A HOŘČÍKU (V PITNÉ VODĚ) NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

Vápník i hořčík jsou pro člověka esenciální (tedy pro zdraví a život nezbytné) prvky, oba plní v organismu mnohočetné funkce, ať už samostatně nebo jako „stavební“ součást různých sloučenin.

Vápník je zásadní anorganickou složkou kostí a zubů, čímž určuje jejich pevnost. Je faktorem krevního srážení (faktor IV), podílí se na tvorbě kininů, regulaci enzymů a uvolňování některých hormonů; reguluje excitaci řady tkání a uvolňování neurotransmiterů (šíření nervových vzruchů), zajišťuje správnou funkci kosterního i hladkého svalstva (čímž snižuje krevní tlak); podílí se na buněčném dělení, glykolýze či strukturální integritě buňky atd. Denní potřeba pro dospělé je asi 1000 mg. Nedostatek vápníku se v organismu projevuje svalovými spasmy, brněním nebo znečtivěním končetin, únavou, nepravidelným srdečním rytmem, osteoporózou, narušením kognitivních funkcí, zubním kazem ad. [15].

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

Hořčík se jako kofaktor účastní více než 500 enzymatických reakcí, hraje klíčovou roli v syntéze ATP (hlavní látka odpovědná za produkci a uchování energie v buňce), ale i bílkovin a DNA, čímž hraje klíčovou roli ve všech hlavních metabolických funkcích. Působí jako antagonist vápníku (při svalových kontrakcích a přenosu nervových vzruchů). Zajišťuje správnou činnost nervového, svalového a imunitního systému, reguluje krevní tlak a hladinu glukózy v krvi. Denní potřeba pro dospělé je okolo 300 mg, v poslední době se ale objevují doporučení vyššího příjmu. Nedostatek hořčíku se v organismu projevuje svalovými záškuby a spasmy, poruchou mentálního zdraví (apatie, deprese), únavou a spavostí, nepravidelným srdečním rytmem, třesem, neuropatií, vysokým krevním tlakem, osteoporózou ad. [9, 15, 16]. Vzhledem k tomu, co bude dále uvedeno jako klíčový účinek na zdraví při nedostatečném obsahu ve vodě, zde však zvláště zdůrazněme funkci hořčíku pro zajištění normální funkce kardiovaskulárního systému: zajišťuje energetickou potřebu a elektrickou stabilitu srdečního svalu, svalový tonus cév a integritu endotelu (buněk vnitřní výstelky) cév, správný lipidový (cholesterolový) metabolismus, má protizánětlivé účinky (mimo jiné zmírňuje následky oxidačního stresu) atd. Shrnutí: má prokázané antisklerotické, antiischemické, antihypertenzní a antiarytmické účinky [16].

Zdravotní riziko nízkého obsahu Ca či Mg v pitné vodě

Poznatky o projevech nedostatku Ca a Mg pocházejí původně z empirického lékařského pozorování, později z klinických a nutričních (epidemiologických) studií, ale také z experimentů na laboratorních zvířatech. Klinické a epidemiologické studie poskytují ve vztahu k lidskému zdraví nejlepší důkazy, protože předmětem studií je sám člověk. Z hlediska pitné vody nás samozřejmě zajímá, zda můžeme získat nějaký přímý (např. epidemiologický) důkaz, že by se nedostatek těchto prvků v pitné vodě mohl projevit na zdraví zásobované populace, když víme, že naprostá převaha jejich denního příjmu pochází z potravin – z pitné vody je to obvykle do 10 % celkového denního příjmu, ale v případě vyššího obsahu Ca nebo Mg ve vodě může podíl vody dosáhnout až 30 %; to však bývají spíše výjimečné případy. Odpověď, možná překvapivá, zní: ano, nízký obsah Ca a Mg v pitné vodě se může negativně projevit na zdraví populace – a to v porovnání s populací zásobovanou tvrdší vodou (ne však nějak mimořádně tvrdou!), u které je příjem obou těchto prvků vodou na úrovni cca 10 % celkového denního příjmu.

Přibližně do 80. let 20. století, bohužel, skoro všechny studie zkoumající vliv tvrdosti vody na zdraví nesledovaly specificky obsah Ca či Mg, ale pouze celkovou tvrdost. Přestože tyto studie poskytovaly konzistentní výsledky ve vztahu ke kardiovaskulárním onemocněním (viz úvod), neumožňovaly hlubší a kauzálnější pohled do studované problematiky, protože každý z prvků (Ca, Mg) má v organismu trochu jinou úlohu, navíc působí i antagonisticky (což se projevuje i při vstřebání, když velký nadbytek jednoho prvku /ať už ve stravě nebo v pitné vodě/ potlačuje vstřebávání prvku druhého). Zatímco studií zkoumající celkovou tvrdost je řádově stovky, studií sledující samostatně Ca a Mg jsou řádově desítky, těch kvalitních pak nižší desítky.

Dosud nejpodrobnější review studií zkoumajících vztah mezi tvrdostí (Ca, Mg) vody a výskytem kardiovaskulárních chorob zpracoval kolektiv autorů z University of East Anglia v roce 2005 na objednávku anglického regulátora zásobování pitnou vodou (Drinking Water Inspectorate). Review obsáhlo asi dva tisíce studií, včetně více než stovky studií s primárními daty [17]. Následná meta-analýza 14 nejvalidnějších epidemiologických studií přinesla přesvědčivý důkaz o příznivé, ochranné roli hořčíku v pitné vodě proti vzniku kardiovaskulárního onemocnění (KVO), když zjistila statisticky významný obrácený vztah mezi obsahem hořčíku v pitné vodě a úmrtností na KVO (odds ratio OR 0.75; 95%CI 0.68, 0.82; p = 0.001) [18]. Převáděno do „obecné řeči“: populace v nejvyšší expoziční kategorii (lidé

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

konzumující pitnou vodu s obsahem hořčíku 8,3 – 19,4 mg/l) měla o 25 % nižší šanci umřít na KVO ve srovnání s populací, která konzumovala pitnou vodu s obsahem Mg 2,5 – 8,2 mg/l. Tento vztah potvrdily i dvě pozdější meta-analýzy [19, 20], které zahrnuly i některé novější epidemiologické studie. Jedna z těchto analýz [20] zjistila statisticky významný vztah nejen pro hořčík, ale také pro vápník (čím více vápníku ve vodě, tím nižší úmrtnost na KVO). Zatím však můžeme pouze konstatovat, že ochranný vliv vodního vápníku vůči KVO je sice možný a pravděpodobný, ale nemůžeme ho považovat za prokázaný.

Vedle nejvíce studovaných KVO existují také studie, které naznačují ochranný vliv vodního vápníku nebo hořčíku vůči dalším onemocněním. Nejvíce se jich zabývá nádorovými onemocněními (nádory různého druhu i lokalizace), ale protože většinou se jedná o studie ekologického typu, které navíc pocházejí převážně ze dvou zemí (Taiwan a Slovensko), nelze zatím tento vztah považovat za epidemiologicky dostatečně prokázaný. Další studie zjistily ochranný vliv vodního vápníku na neurodegenerativní onemocnění, amyotrofickou laterální sklerózu, lomivost kostí či zubní kaz, vodního hořčíku pak na mozgově-cévní choroby, křečové stavy u těhotných žen, vysoký krevní tlak, metabolický syndrom ad. [15]. Těchto studií však je zatím omezený počet a ne všechny byly udělány podle současných epidemiologických měřítek, takže i zde musíme zatím konstatovat, že tento účinek je možný, dokonce pravděpodobný (vzhledem k známým funkcím Ca a Mg v organismu), ale dosud ne vědecky jednoznačně prokázaný.

Když hovoříme o ochranném účinku v pitné vodě obsaženého Ca či Mg vůči řadě chorob, jak je ho prokazují nebo naznačují zmiňované studie, je nutné zdůraznit, že se nejedná o nějaké minerální vody se zvýšenými obsahy těchto prvků (v řádu stovek nebo dokonce tisíců mg/l), ale o „obyčejné“ pitné vody, kde obsah Ca jen výjimečně převyšuje hodnotu 100 mg/l a obsah Mg jen výjimečně překročí hranici 30 mg/l. Příspěvek těchto vod k celkovému dennímu příjmu obou prvků (ve stravě) se pohybuje obvykle na úrovni cca 10 %, někdy i méně. Jak je vůbec možné, že se mezi populacemi, které se v případě příjmu Ca/Mg z pitné vody (ve vztahu k celkovému příjmu potravou) liší o cca 10 %, tento „nevýznamný rozdíl“ projeví v rozdílné kardiovaskulární úmrtnosti na úrovni 20-25 %? Zřejmě se zde uplatňuje několik mechanismů, jejichž efekt se vzájemně sčítá:

- a) Ca/Mg jsou ve vodě ve volné iontové formě, takže se v zažívacím traktu lépe vstřebávají a pro tělo jsou dále lépe využitelné (bioavailable) než tyto prvky přítomné ve stravě, kde jsou obvykle vázány v komplexních sloučeninách [15].
- b) Vaříme-li potraviny (ze kterých se pak voda slévá jako rýže, brambory, těstoviny, luštěniny či některé druhy zeleniny) v měkké vodě, do vody ze s nich vyluhuje více Ca a Mg, než když je vaříme v tvrdší vodě. V případě měkké vody přijímáme tedy méně Ca/Mg nejen vodou, ale i potravou [15].
- c) Řadou nutričních studií bylo prokázáno, že během posledních 100 let nejen klesl obsah hořčíku v některých plodinách, ale v tzv. západním typu stravy, který se vyznačuje vysokým stupněm zpracování, poklesl velmi významně i obsah hořčíku (i vápníku) v již hotových, kulinářsky upravených pokrmech [16]. I když v průmyslově vyspělých zemích se dnes lidé spíše přejídají (jejich energetický příjem je vyšší než potřeba), běžný denní příjem hořčíku ze stravy je u většiny populace nedostatečný, u vápníku se to týká jen některých populačních skupin [9, 16]. V případě hraniční deficiencie Ca nebo Mg může i relativně nízký příspěvek z pitné vody hrát roli „jazýčku na vahách“, který může zdravotní stav přiklonit na stranu zdraví místo nemoci.
- d) Poslední, ale možná ne nevýznamný mechanismus, je na rozdíl od předešlých mechanismů zatím spíše ve stádiu hypotézy, ale její pravdivosti nasvědčuje stále více informací. Voda o nízkém obsahu minerálů je díky nižšímu obsahu hydrogenuhličitanů a nižší pufovací schopnosti kyselejší a její pravidelný příjem vede k posunu pH vnitřního prostředí organismu do kyselejší oblasti, což má za následek vyšší ztráty

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

vápníku, hořčíku a dalších prvků močí [21], čili podobně jak bylo dokázáno u acidogenní stravy [22, 23]. Dokonce existuje teorie, že za prospěšnými účinky vodního Ca/Mg na zdraví stojí ve skutečnosti obsah hydrogenuhličitanů ve vodě [21].

Zdravotní riziko vysokého obsahu Ca či Mg v pitné vodě

Naše znalosti o benefičním účinku Ca a Mg v pitné vodě nemohou ale vyústit v požadavek „čím více, tím lépe“, protože každý extrém škodí, esenciální prvky v nadbytku nevyjímaje. Dosud neexistuje žádný důkaz, že by voda s obsahem vápníku do 200 mg/l a hořčíku do 100 mg/l nějak škodila zdraví, nicméně voda s obsahem hořčíku nad 100 mg/l (pokud jsou zároveň přítomné sírany) může způsobit přechodné průjmy (než dojde k adaptaci). V literatuře je z Francie popsán případ kojence, u kterého se vytvořily močové kameny, když mu byla strava připravována z balené minerální vody s obsahem Ca 555 mg/l a Mg 110 mg/l. Vedle toho existuje řada starších sovětských studií, které dokládají, že v populacích zásobovaných pitnou vodou o vysoké tvrdosti (více než 5 mmol/l) je statisticky významný vyšší výskyt žlučových, močových a dokonce i slinných kamenů, ale také artritid a různých artropatií. Protože se však ve všech případech jednalo o vody, kde byl nejen vyšší obsah Ca a Mg, ale všech rozpuštěných látek, je otázkou, zda tyto zdravotní problémy má na svědomí vápník, hořčík, jiné ionty nebo (asi nejspíše) vyšší suma všech rozpuštěných látek [24].

Několik studií zjistilo, že čím je tvrdší voda, tím je v zásobované populaci vyšší výskyt ekzémů u dětí. Už při hodnotách tvrdosti nad 150 mg/l (ekvivalent CaCO_3) vychází rozdíl statisticky vysoce významný [25].

TECHNICKÉ ASPEKTY TVRDOSTI VODY

Různé hodnoty vápníku a hořčíku (tvrdosti) ve vodě ovlivňují významně i její „technické vlastnosti“ čili účinek na materiál potrubí či dalších ploch, se kterými přichází distribuovaná voda do kontaktu, a na různé způsoby užití (mimo požívání či mytí). Voda, která je příliš měkká, je korozivní vůči řadě materiálů, ale zejména vůči ocelovému (ale také měděnému nebo olověnému) potrubí. Paradoxně je vůči materiálům agresivní (korozivní) i voda hodně tvrdá; z hlediska zdravotního je zde největším rizikem koroze olověného nebo měděného potrubí, protože spotřebitel pak může díky domovnímu rozvodu přijímat již toxické hodnoty, i když dodávaná voda je v pořádku. Dalším problémem, který způsobuje tvrdá voda (resp. voda, která není ve vápenato-uhličitanové rovnováze), je tvorba vodního kamene, zejména v ohřivačích, výměnících a potrubích teplé vody (popř. v pozinkovaném potrubí pitné vody ve vnitřním vodovodu), spotřebitel si pak nejčastěji všimne stop vodního kamene ve varné konvici, na sklenicích nebo na sanitární keramice či kohoutku. Tyto na první pohled patrné, byť svým dopadem triviální jevy vadí často spotřebitelům nejvíc, podobně jako povlak na čaji nebo kávě (je však pravda, čaj nebo káva uvařené z měkké vody chutnají obvykle lépe) [26].

Nepřímý negativní dopad tvrdé vody na životní prostředí – ale i vyšší ekonomický dopad na odběratele – spočívá pak ve vyšší spotřebě mýdla a čistících chemikálií (např. detergentů), které je potřeba použít k dosažení stejného čistícího/pracího efektu jako u měkké vody. S tvrdší vodou se pojí i vyšší frekvence instalací domácích změkčovačů vody (obvykle na bázi iontové výměny), které je nutno pravidelně regenerovat kuchyňskou solí a solanku pak vypouštět do odpadních vod – i to má dopady na životní prostředí. Vyšší dopady jak na životní prostředí, tak na náklady odběratelů má také vyšší spotřeba energie, kterou je potřeba vynaložit v ohřivačích (výměnících) zanesených vodním kamenem [26].

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

Pokud má zdroj surové vody velmi nízký obsah vápníku a hořčíku a je využit pro centrální zásobování, přistupuje výrobce vody často k tzv. stabilizaci a to i v podmínkách ČR. Pro tento účel se obvykle používá filtrace přes mramorovou drť nebo dávkování různých vápenatých soli či oxidu vápníku (spolu s oxidem uhličitým nebo kyselinou sírovou). Někteří provozovatelé však řeší korozivitu vody místo stabilizace přidáním fosforečnanů. Naopak je-li voda příliš tvrdá, v podmínkách ČR se k její úpravě (změkčení) přistupuje na centrální úrovni jen výjimečně a pokud už, tak v podstatě jen u velmi malých zdrojů, většinou pomocí iontové výměny, vzácněji pomocí membránové úpravy (RO).

V řadě zemí (např. Nizozemí, Belgie, Francie, Dánsko, Německo, USA ad.) je však centrální změkčování tvrdé či středně tvrdé vody zcela běžné, protože se tím vychází vstříc potřebám odběratelům, včetně jejich ekonomických nákladů, protože společenské náklady na decentralizované změkčování a vyšší spotřebu chemických čistících látek jsou mnohem vyšší než náklady na centrální změkčování vody. Důvody jsou však také zdravotní (snížení koroze oloveného a měděného potrubí a tím nižší koncentrace Pb a Cu nejen v pitné vodě, ale i ve vyčištěné odpadní vodě vypouštěné do přírodních toků) a ekologické [26, 28].

Pro centrální změkčování se používají dnes v podstatě tři technologie: 1. Peletové změkčení (pellet softening) pomocí hydroxidu sodného nebo vápenatého. 2. Nanofiltrace (část vody se částečně odsolí a pak se smíchá s neupravenou vodou ve vhodném poměru). 3. Technologie CARIX (Carbon Dioxide Regenerated Ion Exchange), která může pracovat jak v módu pouhého změkčení (pak obsahuje jen slabě kyselý katex /H⁺/), tak v módu částečného odsolení (pak vedle katexu obsahuje i silně zásaditý anex /HCO₃⁻/) [27]. Pro decentralizované změkčování v domácnostech se používá iontová výměna s regenerací solí, membrány (RO), dávkování fosforečnanů nebo (elektro)magnetická úprava, jejíž účinnost je však nejistá a i když zabrání vzniku vodního kamene, ukazuje se, že se nesnižuje potřeba mýdla a čistících chemikálií při praní/čištění [27]. Náklady na centrální změkčování jsou v západní Evropě vyčísleny na 0,15-0,20 USD (okolo 4 Kč) na m³ upravené vody, zatímco náklady na změkčování v domácnosti na sedmi až desetinásobek [24, 27]. Publikace Tangové a kol. [27] obsahuje užitečný přehled jednotlivých technologií co do mechanismu účinku, účinnosti, možností použití, nároků na obsluhu a údržbu, spotřeby vody, nákladů apod.

Na okraj technických vlivů poznamenejme, že vápník a hořčík jsou velmi důležité i pro to, aby voda měla příjemnou chuť, protože jak vodu příliš měkkou, tak příliš tvrdou vnímá část spotřebitelů jako nepříjemnou [28].

JAKÝ BY MĚL BÝT OBSAH VÁPŇÍKU A HOŘČÍKU V PITNÉ VODĚ?

Poznatky o tom, že voda s příliš nízkým nebo naopak vysokým obsahem Ca a Mg není ze zdravotního hlediska příliš vhodná, vedou k přirozené otázce, jaký obsah v pitné vodě je tedy ze zdravotního hlediska potřebný, žádoucí či optimální? Těch odhadů a doporučení neexistuje mnoho a nejsou ani významně odlišné.

Při stanovení potřebného minima lze vyjít od hodnoty hořčíku – ukazuje se, že hranice, při které se začíná vliv na kardiovaskulární onemocnění výrazněji projevovat, je asi 8-10 mg/l [29], což lze prakticky zaokrouhlit na 10 mg/l. Dále víme, že Ca a Mg jsou antagonisté, do určité míry si vzájemně konkurují o vazebná místa při vstřebání a proto nadbytek jednoho omezuje vstřebávání druhého – za ideální hmotnostní poměr příjmu (ale i obsahu ve stravě a pitné vodě) se proto považuje 1 (Mg) : 2-3 (Ca) [15]. Z toho lze odvodit minimální žádoucí obsah vápníku v pitné vodě ve výši 20-30 mg/l a ze součtu obou těchto hodnot Mg a Ca pak minimální hodnotu celkové tvrdosti cca 0,9-1,2 mmol/l.

Minimum však není to samé, co optimum, za které se musí považovat koncentrační oblast, při které je výskyt pozorovaného negativního zdravotního účinku/jevu (resp. různých druhů účinků!) nejnižší. Zde nám ze studií vycházejí hodnoty cca na úrovni dvoj- až trojnásobku minima čili pro hořčík 20-30 mg/l a pro vápník 40-80 mg/l [29], přičemž přihlížíme zároveň ke studiím, které zkoumaly optimum nikoliv selektivně pro jednotlivé prvky, ale pro jejich sumu vyjádřenou jako rozpuštěné látky. U nich vychází jako optimální rozmezí 150-400 mg/l (resp. do 500 mg/l) [30]. I když složení každé přírodní vody je unikátní, většinou platí, že s rostoucím obsahem Ca nebo Mg roste také obsah celkových rozpuštěných látek. Proto je při odhadu optimálních koncentrací pro Ca nebo Mg nutné přihlížet k obsahu rozpuštěných látek (RL), které jako celek hrají také důležitou zdravotní roli. Přehled minimálních a optimálních koncentrací vápníku, hořčíku a rozpuštěných látek (RL) uvádí následující tabulka.

Tab. 1. Přehled doporučených minimálních a optimálních (popř. maximálních) koncentrací vápníku, hořčíku a rozpuštěných látek v pitné vodě ze zdravotního hlediska. Toto doporučení neplatí pro remineralizaci zcela odsolené vody

	Jednotky	Minimum	Optimum	Maximum
Hořčík	mg/l	10	20-30	*
Vápník	mg/l	20-30	40-80	*
Σ Ca + Mg	mmol/l	0,9-1,2	1,8-3,1	5
Rozpuštěné látky	mg/l	100	150-400	1000

* Jak již bylo řečeno výše, maximální přijatelné koncentrace Ca či Mg v pitné vodě z hlediska zdravotního lze obtížně stanovit kvůli souběžnému výskytu dalších iontů v (tvrdší) vodě. Orientačně si můžeme uvést u hořčíku hranici 80-100 mg/l a u vápníku asi 200 mg/l (vyšší koncentrace už nevnímají někteří spotřebitelé ani chuťově příjemně). Spolehlivější je však v tomto případě suma obou prvků a hranice 5 mmol/l.

Pokud by pitná voda byla distribuována jen jako balená, nedělaly by ani uvedené maximální koncentrace nějaké problémy. Pitná voda se však v naprosté většině rozvádí ke spotřebitelům potrubím a používá se nejen na pití a vaření, ale i k mnoha dalším účelům v domácnosti (ohřev teplé vody, osobní hygiena, praní prádla, mytí nádobí ad.), nemluvě o odběratelích v oblasti průmyslu. Z těchto převážně technických hledisek se však jako optimální i přípustný maximální jeví obsah Ca a Mg mnohem nižší než z hlediska zdravotního. Moderní vodárenství deklaruje, že jeho úkolem už není pouze výroba a dodávka zdravotně nezávadné pitné vody, ale také spokojenost zákazníků, kteří dodávanou vodu používají převážně k jiným účelům než k pití a vaření [31]. Jaké hodnoty tvrdosti vody se jeví jako potřebné či žádoucí z hlediska těchto jiných účelů? Z hlediska ochrany potrubí proti korozi se uvádí pro vápník hodnota nejméně 0,5 mmol/l (20 mg/l) [32]. U těch ostatních hledisek (užití vody v domácnosti) se v současné době k nalezení optima používá vedle celkové tvrdosti technický ukazatel CCPP (calcium carbonate precipitation potential při 90 °C) [27], resp. PCCP (practical calcium carbonate precipitation) [31]. Jestliže je PCCP vyšší než 0,6 mmol/l vápníku, spotřebitelé již budou mít problémy s tvorbou vodního kamene, pokud bude hodnota PCCP vyšší než 1 mmol/l, hodnotí se tyto problémy jako vážné. Snahou vodárenských společností, které se jako prioritou řídí spokojeností zákazníků, je mít celkovou tvrdost vody v rozmezí cca 0,7-2,0 mmol/l, v případě centrálního změkčování cílí na hodnotu okolo 1,3-1,5 mmol/l) [26,27,31], někdy i méně – např. v Nizozemí, kde se ve změkčované vodě vyžaduje minimální tvrdost 1,0 mmol/l (s poznámkou, že by se při změkčování neměl odstraňovat hořčík) [13], usilují některé vodárenské společnosti o prolomení a snížení této hranice.

ZÁVĚR

Pitná voda dodávaná potrubím svým odběratelům by měla co možná nejlépe splňovat očekávání (požadavky) jak zdravotní, tak technické, protože se užívá nejen k pití a vaření (to velmi menšinově), ale i k celé řadě dalších základních účelů v domácnosti. Požadavek na minimum, optimum či maximum obsahu Ca a Mg z hlediska zdravotního se ale nekryje s hlediskem či požadavkem technickým. Ani jedno hledisko by však nemělo zcela převážít, ale je nutné mezi nimi hledat kompromis.

Jak jsme si již uvedli výše, pitná voda s velmi nízkým obsahem Mg a Ca má velmi nepříznivý zdravotní dopad na spotřebitele, kteří ji pravidelně konzumují. Vzhledem k účinkům na kardiovaskulární systém, jehož onemocnění patří (nejen) v ČR k nejrozšířenějším a jsou na prvním místě co do příčin úmrtí, a vzhledem k tomu, že pitná voda má v ČR hořčíku spíše nedostatek (70 % zásobované populace má obsah Mg v pitné vodě do 10 mg/l [33]), si dovoluji tvrdit, že nízký obsah Mg/Ca v pitné vodě má v ČR mnohonásobně vyšší negativní zdravotní dopad na veřejné zdraví než účinek všech ve vodě obsažených toxických látek dohromady. Přestože výrobci vody za nízký obsah Ca/Mg ve vodě nemohou, protože se jedná primárně o přírodní jev, vzhledem ke zdravotnímu významu obou prvků by měli v rámci svých možností usilovat o jejich optimální nebo aspoň minimální žádoucí obsah. A jaké možnosti se jim nabízejí? Mohou-li využívat více zdrojů, měli by dát přednost těm s optimálním obsahem Ca/Mg.¹ Pokud musí vodu stabilizovat, měli by k tomu použít nejen soli (filtrační materiál) vápníku, ale i hořčíku (podle zásady „u měkké vody každý miligram Mg navíc dobrý“). Pokud vodu upravují pomocí membrán či iontoměníčů, měli by zajistit, aby ve vodě zůstal optimální nebo aspoň minimální obsah Ca/Mg. Otázkou je, zda by výrobci pitné vody měli – tam, kde je opravdu velmi nízký obsah Ca/Mg – spotřebitele na tuto skutečnost výslovně a aktivně upozornit (např. na webu, kde informují o kvalitě dodávané vody) a poučit, jak mohou tento nedostatek kompenzovat (balená voda s vyšším obsahem Mg/Ca; při vaření použít špetku hořečnaté soli) nebo aspoň nezhoršovat (nepoužívat domácí filtry snižující obsah těchto prvků, vyhnout se konzumaci balených vod s nízkým obsahem Ca/Mg). SZÚ chystá informační leták pro širokou veřejnost o významu obsahu Ca/Mg v pitné vodě a co dělat při jejich nízkém nebo vysokém obsahu.

Na okraj popisu možností o zajištění optimálního či minimálního obsahu Ca/Mg v pitné vodě považuji za nutné upozornit na následující. Nejen v zahraničí (v místech se skutečným nedostatkem sladkovodních zdrojů), ale i u nás se v posledních letech objevují snahy vyrábět „super“ nebo aspoň „normální“ pitnou vodu prostou všech kontaminantů. Jejich podstatou je buď kondenzace vody ze vzduchu nebo výroba demineralizované vody pomocí membrán (RO) nebo jiných technických prostředků. Dostáváme tím skoro ultračistou vodu nevhodnou jak k distribuci potrubím, tak k pravidelné konzumaci, kterou je nutné remineralizovat – ale čím a jak (kolik)? Na tuto otázku dosud neznáme (z hlediska zdravotního) vědecky podloženou odpověď. Všechny studie, které zde byly nepřímo zmíněny a na jejichž základě

¹ Státní zdravotní ústav dělal před několika lety odborný posudek pro jedno menší město, které řešilo budoucnost místních zdrojů vody, které byly díky staré průmyslové zátěži znečištěny organickými látkami TCE a PCE. Po úpravě byly sice hodnoty těchto látek v rámci limitu, ale vzhledem k bezprahovému účinku těchto látek bylo při hodnocení zdravotních rizik vypočteno, že expozice těmto látkám z pitné vody může způsobit v dané populaci asi jeden případ nadbytečného nádorového onemocnění za 25 let. Proto město uvažovalo o přepojení na nedalekou vodárenskou soustavu s kvalitní podzemní vodou, která však měla mnohem nižší obsah vápníku a hořčíku. SZÚ spočítal, že změna zdroje vody by v dané populaci zvýšila pravděpodobnost úmrtí na KVO o několik případů ročně, což by mnohonásobně (cca 100x) převýšilo zdravotní riziko z kontaminace TCE/PCE. Proto se město rozhodlo nadále používat své zdroje vody.

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

byly odvozeny minimální či optimální koncentrace Ca/Mg/RL, byly dělány na přirozených sladkých vodách, které jsou složitou směsí ve vodě rozpuštěných plynů a minerálních látek a které fyziologicky působí (na lidský organismus) jako celek. Sledovaný vápník, hořčík, jejich suma či rozpuštěné látky jsou jen vybranými indikátory této směsi, ale nepopisují dostatečně její celkové vlastnosti. Nelze se v žádném případě domnívat, že pouhým přidáním (do čisté H₂O) solí Ca/Mg ve zde doporučeném množství získáme stejně kvalitní a bezpečnou vodu jako je pitná voda vyrobená ze sladkovodního zdroje. Takové vodě bude totiž stále ještě něco chybět [21].

Pokud bychom dali při veřejném zásobování jednostranně přednost hledisku zdravotnímu (tedy vodě tvrdší), najde se celá řada spotřebitelů, kteří si budou doma vodu změkčovat ne zcela ideálním způsobem (z vody odstraní většinu Ca/Mg a zvýší obsah sodíku, což u nich povede k vyššímu krevnímu tlaku, vyšší úmrtnosti na KVO a dalším zdravotním problémům), což se nakonec ukáže jako kontraproduktivní i z hlediska zdravotního. Výrobce pitné vody proto musí dnes brát v úvahu do určité míry i hledisko spokojenosti zákazníků, přičemž v případě vyšší tvrdosti vody zdaleka nejde jen o hledisko estetické (skvrny na skle apod.), ale také o nezanedbatelné hledisko finanční a dopad na životní prostředí: vyšší spotřeba mýdla, detergentů a dalších pracích/čisticích prostředků, vyšší spotřeba energie na ohřev vody, vyšší náklady na čištění nebo častější výměnu ohřivačů vody a dalších domácích spotřebičů, vyšší uvolňování některých nežádoucích prvků a látek do životního prostředí. Mimochodem, z našeho průzkumu způsobu řešení stížností zákazníků mezi českými provozovateli vodovodů (viz přednáška J. Paula na této konferenci) vyplynulo, že stížnosti na tvrdost vody jsou zdaleka nejčastější.

Z uvedených důvodů mnoho výrobců pitné vody v západní Evropě, USA i jiných zemích stále častěji hovoří o společenské odpovědnosti a na základě společenské cost-benefit analýzy (SCBA) přistupuje k investicím do centrálního změkčování vody. Jedna z analýz SCBA provedená v Nizozemí ukázala, že při změkčení vody z 2,5 na 1,5 mmol/l ušetří každá domácnost (které se přirozeně vyšší náklady na úpravu vody promítnou do ceny vody) za rok téměř 20 EUR [31], přičemž v této částce nejsou zahrnuty přímé či nepřímé škody na životním prostředí.

I když jsem nikdy nebyl zastáncem změkčování pitné vody, jsem realista a vnímám také důležitost technických vlastností vody pro různé domácí účely (včetně osobní hygieny – viz vyšší výskyt ekzémů u dětí v místech s tvrdou vodou), které se promítají do (ne)spokojenosti odběratelů a mají i dopad na životní prostředí. Proto se tímto příspěvkem obracím na zástupce českého vodárenství (i na jednotlivé provozovatele, samozřejmě), aby se začali touto problematikou odborně zabývat, aby si potřebné know-how nemusel hledat každý jednotlivý provozovatel, kterého se problém vyšší tvrdosti vody týká. Pokud je v některém vodovodu tvrdost vody (obsah Ca/Mg) nad horní hranici doporučeného optimálního rozmezí a provozovatel se rozhodne o změkčování vody do úrovně optima, hygienické orgány mu v tom rozhodně nebudou bránit. Klíčovou otázkou bude v tomto případě zvolená technologie změkčování. Z hlediska tvorby vodního kamene je podstatně závadnější vápník než hořčík, neboť většina vápenatých solí je méně rozpustná než odpovídající soli hořečnaté (usazeniny jsou tvořeny především uhličitanem vápenatým) [34]. Bohužel mnoho vod v ČR má vysoký obsah vápníku při současném nízkém obsahu hořčíku. U těchto vod by nasazení technologie neselektivně snižující obsah obou prvků bylo ze zdravotního hlediska nevhodné a nežádoucí, vzhledem ke klíčové zdravotní roli hořčíku. Proto by se zde musela použít technologie peletového změkčování, která odstraňuje selektivně vápník a obsah hořčíku nechává prakticky beze změny („odpadním“ či vedlejším produktem úpravy je materiál využitelný ve stavebnictví; tato technologie je i po jiných stránkách k životnímu prostředí nejšetrnější). Jsem si však vědom, že tato technologie není použitelná pro malé úpravny vody. Při použití

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

iontoměničů – tam, kde je možné o něco snížit obou prvků – je ze zdravotního hlediska nutné preferovat iontoměniče (katexy) pracující ve vodíkovém, ne sodíkovém cyklu.

Měl-li bych shrnout poselství tohoto příspěvku, pak bych řekl, že kvůli novým kontaminantům (emerging pollutants), počínaje pesticidy a PFASy či léčivými nekončícími, jsme zapomněli na „chemickou vodní (přírodní) klasiku“ jakou je obsah vápníku a hořčíku. Zapomněli jsme sledovat (a do vodárenství promítat) vývoj poznatků o jejich zdravotní důležitosti i technických rizicích. Náprava tohoto zanedbání je novou výzvou pro české vodárenství.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu „Improvement of health status of population of the Slovak Republic through drinking water re-carbonization“, podporovaného z finančního nástroje LIFE Environment and Resource Efficiency (LIFE17 ENV/SK/000036). Vznik příspěvku byl rovněž podpořen v rámci MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ 75010330).

SEZNAM LITERATURY

1. Anonym: Der Wasserconsum Londons im Jahre 1869/70 (Spotřeba vody v Londýně v letech 1869/70). *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung* 1971, 14(11), 403-405.
2. Thresh J.C.: Hard v. soft water. *The Lancet* 1913, 182(4702), 1057 – 1058.
3. Kobayashi J.: On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. *Berichte des Ohara Instituts für landwirtschaftliche Biologie Okyama University* 1957, 11, 12-21.
4. Calderon R.L., Craun G.F.: Water hardness and cardiovascular disease: review of the epidemiological studies, 1957-78. In: *Nutrients in Drinking Water*, str. 116-126, WHO, Geneva 2005.
5. WHO: *Guidelines for Drinking-water Quality*. 2nd. ed. Vol. 1. Recommendations. Geneva, 1993.
6. WHO: *Guidelines for Drinking-water Quality*. 2nd. ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, 1996.
7. WHO: *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th. ed. incorporating the first and second addenda. Geneva, 2022. Dostupné on-line: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
8. WHO: *Nutrients in Drinking Water*. WHO, Geneva 2005; 198 s.. Dostupné on-line: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43403>
9. Cotruvo J., Bartram J. (eds.): *Calcium and Magnesium in Drinking-water. Public health significance*. WHO, Geneva 2009; 180 s. Dostupné on-line: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241563550>
10. Shlezinger M., Amitai Y., Goldenberg I., Shechter M.: Desalinated seawater supply and all-cause mortality in hospitalized acute myocardial infarction patients from the Acute Coronary Syndrome Israeli Survey 2002–2013. *Int. J. Cardiol.* 2016, 220, 544–550. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.241>.
11. Shlezinger M., Amitai Y., Akriv A., Gabay H., Shechter M., Leventer-Roberts M.: Association between exposure to desalinated sea water and ischemic heart disease, diabetes mellitus and colorectal cancer; A population-based study in Israel. *Environ. Res.* 2018, 166, 620–627. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.053>.
12. Kožíšek F.: *Biologická (biogenní) hodnota pitné vody a její historie v České republice*. SZÚ, Praha 2008. Dostupné on-line: <http://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/biologicka-biogenni-hodnota-pitne-vody>

Kožišek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

13. Kozisek F.: Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2020, 112, 104589; <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589>.
14. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě (přepřacované znění).
15. Rosborg I., Kozisek F. (eds.): *Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Importance, Health Significance, Safety Precautions*. 2nd ed. Springer International Publishing, London 2020, DOI 10.1007/978-3-030-18034-8, ISBN-978-3-030-18033-1.)
16. Foster R.A.: Magnesium missing in drinking water – a persistent link to cardiovascular disease? A dissertation. 101 pp. Hawthorn University, 2020.
17. UoEA (University of East Anglia), DWI (Drinking Water Inspectorate): Review of evidence for relationship between incidence of cardiovascular disease and water hardness. Final report, Norwich – London, 2005. Dostupné on-line: http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/DWI70_2_176_water_hardness.pdf
18. Catling L.A., Abubakar I., Lake I.R., Swift L., Hunter P.R.: A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness. *J. Water Health*, 2008, 6 (4), 433–442.
19. Jiang L., He P., Chen J., Liu Y., Liu D., Qin G., Tan N., 2016. Magnesium levels in drinking water and coronary heart disease mortality risk: a meta-analysis. *Nutrients*, 8 (1), 5.
20. Gianfredi V., Bragazzi N.L., Nucci D., Villarini M., Moretti M.: Cardiovascular diseases and hard drinking waters: implications from a systematic review with metaanalysis of case-control studies. *J. Water Health*, 2017, 15 (1), 31–40.
21. Rylander R.: Drinking water constituents and disease. *J. Nutr.*, 2008, 138: 423S–425S.
22. Remer T.: Influence of diet on acid-base balance. *Sem. Dialysis*, 2000, 13(4): 221-226.
23. Remer T., Dimitriou T., Manz F.: Dietary potential renal acid load and renal net acid excretion in healthy, free-living children and adolescents. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2003, 77(5): 1255-60.
24. Kožišek F.: *Zdravotní rizika pitné vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek* (atestační práce). IPVZ, Praha 2008, 36 s. Dostupné on-line: <http://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/kvalita-vody/zdravotni-rizika-pitne-vody-s-vysokym-obsahem-rozpustenych>
25. Chaumont A., Voisin C., Sardella A., Bernard A.: Interactions between domestic water hardness, infant swimming and atopy in the development of childhood eczema. *Environ. Res.*, 2012, 116:52–57.
26. Regunathan P. Water production, technical issues and economics. In: Cotruvo J., Bartram J. (eds): *Calcium and Magnesium in Drinking-water. Public health significance*. WHO, Geneva 2009; s. 154-165.
27. Tang C., Merks C.W.A.M., Albrechtsen H.-J.: Water softeners add comfort and consume water – comparison of selected centralised and decentralised softening technologies. *Water Supply*, 2019, 19(7): 2088-2097.
28. Dietrich A.M., Devesa R.: Characterization and removal of minerals that cause taste. In: Lin T.F., Watson S., Dietrich A.M., Suffet I.H. (eds.): *Taste and Odour in Source and Drinking Water. Causes, controls, and consequences*. IWA, London 2019; s. 245-280.
29. Kozisek F.: Health risks from drinking demineralised water. In: *Nutrients in Drinking Water*. WHO, Geneva 2005; s. 148-163.
30. Kožišek F.: Zdravotní rizika vody o vyšším obsahu minerálních látek. In: *Sborník ze semináře „Balená voda – zdravotní a hygienická hlediska, VII.ročník“* (Praha, 4.10.2005). Vydala ČVTVHS, Praha 2005; str. 101-132.
31. Groenendijk M., van de Wetering S., van Nieuwenhuize R.: Central water softening: customer comfort relevant in new WHO view. *Wat. Sci. Technol.*, 2008, 8 (1): 69-74.

Kožíšek F. Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš P. (ed.) Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022; str. 163-174. Vydal ENVI-PUR, Praha 2022; ISBN 978-80-905059-9-5

32. TNV 75 7121 Požadavky na jakost vody dopravované potrubím při teplotě do 25°C. Červen 2010.

33. Státní zdravotní ústav: *Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR za rok 2020*. SZÚ, Praha 2021, 92 s.
Dostupné online: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/monit/voda_2020.pdf

34. Pitter P.: *Hydrochemie*. 5. vyd. VŠCHT, Praha 2015.