

Zdravotní význam tvrdosti pitné vody

Autor: **MUDr. František Kožíšek, CSc.**

Prosinec 2000 (upravená verze 7.3.2001)

Vypracováno v rámci výzkumného záměru "**Zdravotní rizika životního prostředí**", jehož nositelem je Státní zdravotní ústav - Centrum hygieny životního prostředí

Cíl č. 3: Nové kontaminanty pitné vody a vody pro rekreaci

Dílčí úkol: Metodické přístupy řešení výskytu kontaminantů - hodnocení rizika, nápravná a preventivní opatření (řešitel MUDr. František Kožíšek, CSc.)

Řešitelské pracoviště: SZÚ - CHŽP, Národní referenční centrum pro pitnou vodu, vedoucí MUDr. F.Kožíšek, CSc.

Ředitel ústavu (SZÚ): Doc. MUDr. Jaroslav Kríž

Vedoucí centra (CHŽP): MUDr. Růžena Kubínová

© František Kožíšek

© Státní zdravotní ústav, Praha

ZDRAVOTNÍ VÝZNAM "TVRDOSTI" PITNÉ VODY

Pitnou vodu lze obecně popsat jako systém ve vodě (H₂O) rozpuštěných plynů a látek anorganické i organické povahy. Předním zástupcem přirozené anorganické složky je ukazatel tzv. tvrdosti vody. I když jde z čistě chemického hlediska o termín zastaralý, nesprávný a opuštěný, mezi laickou i odbornou veřejností jde o vžitý pojem, se kterým se můžeme dodnes setkat i v moderní odborné literatuře.

Definice a jednotky tvrdosti vody

Přestože tvrdost vody představuje významný podíl mineralizace vody, nebyla nikdy jednotně definována. Obecně se tvrdostí vody rozumí koncentrace všech vícemocných kationtů kovů alkalických zemin, což je sice v podstatě suma vápníku (Ca) a hořčíku (Mg), ale přispět mohou též další prvky: hliník, mangan, zinek, baryum, stroncium, železo. Podrobný popis parametru z chemického hlediska lze nalézt v odborné literatuře (Pitter, 1999). Stejně jako různých definic pak vzniklo jednotek tvrdosti. Od vyjadřování tvrdosti ve stupních (německých, francouzských, anglických) se již upouští, v anglosaské literatuře se lze stále setkat s vyjádřením tvrdosti jako ekvivalentu CaCO₃ (mg/l) nebo CaO (mg/l). Stanovuje-li se tvrdost jako suma Ca + Mg, což je i současný český případ, výsledek se vyjadřuje v mmol/l.

Především z technického hlediska bylo navrženo mnoho rozdělení, resp. stupnic tvrdosti vody (např.: velmi měkká - měkká - středně tvrdá - tvrdá - velmi tvrdá). Zatímco obě extrémní oblasti tvrdosti jsou bez diskuse nežádoucí z hlediska zdravotního i technického, určit optimální koncentraci Ca a Mg v pitné vodě není snadné a požadavek zdravotní se nemusí překrývat s technickým.

Zdravotní význam tvrdosti vody - historie výzkumu

Zdravotní přínos určitého obsahu Ca a Mg v pitné vodě byl - především díky populárnímu sloganu H.A.Schroedera (jednoho z prvních průkopníků výzkumu v této oblasti) "Čím tvrdší voda, tím měkčí arterie" - znám hygienikům i vodohospodářům již od konce 60.let. Dnes však jako by byl tento poznatek považován buď za archaický nebo natolik samozřejmý, že je v běžné (hygienické) praxi téměř opomíjen. Jeho aktuálnost však stoupá úměrně se současným rozmachem různých (staro)nových technických metod úpravy vody, které obsah vápníku a hořčíku buď významně snižují nebo se snaží jejich (především technický) účinek různě eliminovat.

Připomeňme si však historii výzkumu i současný stav poznání zdravotních účinků vápníku a hořčíku ve vodě.

O tom, že také pitná voda může být zdrojem esenciálních (t.j. pro život nezbytných) prvků jako je Ca a Mg, se vědělo již před druhou světovou válkou a tento "nutriční" význam se připomíná již v tehdejších hygienických publikacích (Kabrhel, 1927). Přímý důkaz o zdravotním vlivu různé tvrdých vod se však objevil až koncem 50.let. Vztah mezi tvrdostí vody a četností výskytu cévních onemocnění poprvé v literatuře popsal japonský chemik J.Kobayashi (Kobayashi, 1957), když na základě epidemiologického rozboru ukázal, že úmrtnost na mozkově cévní choroby (mozkové krváčení - apoplexie) je vyšší v okolí japonských řek, které mají kyselější (měkčí) vodu, v porovnání s řekami zásaditějšími (tvrdšími), odkud byla voda využívána pro pitné účely.

Následovala řada dalších studií, které v naprosté většině nepřímý vztah mezi tvrdostí vody a úmrtností na srdečně cévní neboli kardiovaskulární onemocnění (dále KVO) potvrdily. K neznámějším patřily práce Američana H.A.Schroedera, který m.j. prokázal vztah mezi úmrtností na KVO u mužů 45-64 let a tvrdostí vody v 163 největších městech USA (Schroeder, 1960); dále práce Morrise ve Walesu (Morris *et al*, 1961) a jiných autorů z Kanady, Finska, Itálie, Švédska atd. Přehled nejdůležitějších prací 60.let byl publikován např. v Bulletinu WHO (Masironi *et al*, 1972).

Zajímavá byla práce z Velké Británie (Crawford *et al*, 1971), která sledovala změny vývoje úmrtnosti na KVO v závislosti na tvrdosti vody v 11 britských městech mezi lety 1950 a 1960. Tvrdost se zvýšila v pěti, naopak snížila v šesti městech. V tomto období se úmrtnost na KVO v Británii zvýšila průměrně o 10%, avšak v městech, kde došlo k poklesu tvrdosti vody, vzrostla o 20%, zatímco v městech, kde došlo v uvedeném období k nárůstu tvrdosti vody (změnou zdroje), vzrostla jen o 8,5%.

Důležité bylo také zjištění významného rozdílu patologických změn cév a srdce a obsahu hořčíku v srdečním svaly mezi muži zemřelými na náhlou srdeční příhodu a muži zemřelými při nehodách, resp. mezi muži žijícími v oblastech s měkkou a tvrdou vodou: tvrdší voda znamenala i vyšší obsah hořčíku v srdečním svaly (Crawford *et al*, 1967; Neri *et al*, 1975; a práce citované v Rubenowitz *et al*, 1999).

Během úvodních dvaceti let výzkumu bylo na téma tvrdost vody a KVO publikováno přes 100 odborných prací. Jejich částečné shrnutí a zhodnocení lze nalézt např. v knize "Pitná voda a kardiovaskulární onemocnění" (Calabrese *et al*, 1980), která vyšla jako sborník ze stejnojmenné velké mezinárodní konference.

Koncem 70.let se otázce optimálního složení pitné vody, zejména ve vztahu k problematice získávání pitné vody odsolováním, věnovala také Světová zdravotnická organizace (WHO). Také ona zdůrazňovala význam minerálního složení pitné vody a varovala např. před použitím iontoměníčů pracujících v sodíkovém cyklu (WHO, 1978; WHO, 1979).

Od počátku výzkumu v této oblasti se také diskutovalo a bylo předmětem zkoumání, co je oním "neznámým vodním faktorem", zodpovědným za pozitivní/negativní účinek na KVO. Vedle samotného obsahu vápníku, hořčíku, popř. jejich poměru, se uvažovala i role řady stopových prvků (Li, Zn, Co, Cu, Sn, Mn, Cr...), jak zdraví prospěšných (esenciálních), tak i toxických (Pb, Cd, Hg), u kterých se ale žádná závislost mezi jejich obsahem ve vodě a výskytem KVO nenašla. Nesledovala se jen teorie obsahu těchto prvků ve zdroji, ale i vyšší korozivní schopnost měkké vody, která může z rozvodu ve větší míře uvolňovat toxické prvky a látky.

Pozdější epidemiologické studie, provedené v 70. a především v 80.letech, potvrdily hypotézu, že hlavní protektivní účinek má obsah hořčíku ve vodě, zatímco vápník působí proti vzniku KVO jen podpůrně.

Fyziologický význam vápníku a hořčíku v organismu

Význam hořčíku. Hořčík hraje důležitou roli jako kofaktor a aktivátor více než 300 enzymatických reakcí včetně glykolýzy, metabolismu ATP, transportu prvků jako Na, K a Ca přes membrány, syntézy proteinů a nukleových kyselin, nervosvalové dráždivosti (svalové kontrakci) ad. Působí jako přirozený antagonist vápníku. Nedostatek hořčíku zvyšuje riziko cévních spasmů a podporuje vznik srdečních arytmií. Byl nalezen nižší obsah Mg v nepostižených tkáních srdečního svalu u lidí, kteří náhle zemřeli na ischemickou chorobu srdeční (IČHS) ve srovnání s lidmi zemřelými na jiné příčiny. Doporučený denní příjem hořčíku je asi 5-6 mg/kg/den, pro dospělého člověka (70 kg) tedy asi 350-400 mg/den. Vyhláška MZ ČR č. 293/1997 "o způsobu výpočtu a uvádění výživové hodnoty potravin..." uvádí doporučenou denní dávku 300 mg Mg/osobu/den.

Význam vápníku. Vápník je součástí kostí a zubů. Dále je nutný pro nervosvalovou dráždivost (snižují ji), pro správnou funkci převodního systému myokardu a pro srážení krve - převádí protrombin na trombin. Vyhláška MZ ČR č. 293/1997 "o způsobu výpočtu a uvádění výživové hodnoty potravin..." uvádí doporučenou denní dávku 800 mg Ca na osobu a den. U některých skupin obyvatel může být potřeba vyšší.

80.léta a kritika epidemiologických studií

V 80.letech vlna výzkumného zájmu o téma vliv tvrdosti vody na výskyt KVO poněkud opadla; zdálo se, že nelze přispět ničím objevným. Zájem se soustředil na potvrzení úlohy hořčíku coby rozhodujícího faktoru tvrdosti, popřípadě na první pokusy obecněji kvantifikovat jeho protektivní účinek.

Tak například na základě amerických Schroederových prací bylo odhadnuto, že nárůst obsahu Mg ve vodě asi o 8 mg/l vedl ke snížení úmrtnosti na všechny KVO asi o 10%. Podobně na základě jihoafrické studie bylo odhadnuto, že nárůst vodního hořčíku o 6 mg/l vedl ke snížení úmrtnosti na ICHS taktéž o 10% apod. (Marier *et al*, 1985). Ještě nižší hodnota vyplývá z rozsáhlé východoněmecké studie: snížení obsahu hořčíku ve vodě o cca 4,5 mg/l vede k růstu incidence srdečního infarktu o 10% (Teitge, 1990).

Zmínit zasluží i práce provedené v bývalém Československu. Experimentálně se vlivem tvrdosti vody zabýval např. Institut hygieny a epidemiologie. Dr.Švec z OHS v Mostu zkoumal vztah mezi tvrdostí vody a některými ukazateli úmrtnosti obyvatelstva ČSR v letech 1965-1969 (Švec *et al*, 1975; Švec, 1976a; Švec 1976b). Studie ukázala významnou negativní korelaci mezi tvrdostí upravené pitné vody a úmrtností na KVO, ICHS i na věkově standardizovanou celkovou úmrtnost. Práce M.Kubise (Kubis, 1985) se dokonce dostala i mezi citované práce, podporující vztah mezi tvrdostí a KVO, v posledním vydání doporučení WHO pro kvalitu pitné vody (WHO, 1996). Nutno však přiznat, že metodicky šlo o dost slabou epidemiologickou studii. Na Slovensku v okrese Michalovce byla prokázána podobná souvislost (negativní korelace) i mezi tvrdostí vody a četností výskytu mozkověcévních onemocnění (Bírová *et al*, 1985).

Impulsem pro nové práce, publikované v 90.letech, se stala koncem 80.let obecně rozšířená kritika dosavadních studií. Tato kritika byla zčásti oprávněná, protože pod vlivem nových epidemiologických metod poukazovala na metodické nedostatky většiny provedených epidemiologických studií, které nedostatečně braly v úvahu ostatní faktory, které mohou KVO ovlivnit (věk, socioekonomické faktory, konzumace alkoholu, strava, klimatické podmínky ad.); většina studií byla jen ekologických, což znamená, že hodnotily výskyt nemocí na úrovni populační skupiny a ne jednotlivce.

Kritika dále poukazovala na skutečnost, že ne všechny provedené studie vztah mezi tvrdostí vody a KVO našly. To má již menší opodstatnění, protože tvrdost vody je samozřejmě jeden (a asi ne nejdůležitější) z mnoha faktorů, které mohou vznik KVO ovlivnit. Tam, kde jiné faktory převáží, může být vliv tvrdosti vody setřen (příklad Skotska, které má jednu z nejvyšších úmrtností na KVO). V některých případech se však zpětně podařilo prokázat důvod "neúspěchu" některých studií, když zkoumaná tvrdá voda měla minimální podíl rozhodujícího Mg a nebyl tedy významný rozdíl v jeho obsahu mezi měkkou a tvrdou vodou (Bar-Dayyan *et al*, 1997).

Tato kritika poznamenala i opatrné stanovisko WHO při tvorbě posledních doporučení pro kvalitu vody v roce 1990, kdy sice připustila existenci vlivu tvrdosti vody na vznik některých chorob, ale pro spornou kauzalitu a obtížnost kvantifikace tohoto vztahu nestanovila žádný doporučený limit tvrdosti vody. Pouze konstatovala senzorické a technické nevýhody velmi tvrdé a měkké vody (WHO, 1993). Druhý díl doporučení však alespoň cituje některé studie o tvrdosti publikované v 80.letech (WHO, 1996).

90.léta: potvrzení vztahu ke kardiovaskulárním chorobám a nové poznatky

Nové epidemiologické studie z 90.let již většinou specificky rozlišovaly vliv Ca nebo Mg a zaměřily se na různé choroby; rovněž metodika odpovídala současnému standardu, a tak se práce objevují v předních epidemiologických časopisech. Většina těchto prací pak nejen potvrdila původní protektivní účinek hořčíku (ale i vápníku) z pitné vody na vznik KVO, ale

přinesla i rozšíření poznatků o prospěšném vlivu tvrdosti vody (pochopitelně úměrné výše) na zdraví.

Ekologická studie ze Švédska zjistila významný obrácený vztah mezi tvrdostí vody a úmrtností na KVO u obou pohlaví, u mužů dále významný vztah mezi obsahem Mg ve vodě a úmrtností na KVO (Rylander *et al*, 1991). Ve všech okresech, kde byl obsah Mg ve vodě vyšší než 8 mg/l (max. 15 mg/l), byla úmrtnost nižší. Jiná švédská ekologická studie, hodnotící vliv obsahu Mg a Ca ve vodě na úmrtnost na akutní infarkt myokardu (AIM) u žen, zjistila o 34% statisticky nižší úmrtnost v oblastech s vyšším obsahem vápníku (> 70 mg/l) oproti oblastem s obsahem vápníku < 31 mg/l; totéž nezávisle u hořčičku: v oblastech s obsahem Mg > 9,9 mg/l byla úmrtnost o 30% nižší než v oblastech s vodou obsahující Mg < 3,4 mg/l (Rubenowitz *et al*, 1999). Jiná studie však konstatovala, že v chladných oblastech Švédska má klima (tzv. cold index) na úmrtnost na KVO vyšší vliv než tvrdost vody (Gyllerup *et al*, 1991). O 19% nižší úmrtnost na KVO v oblastech s tvrdou vodou (161 mg CaCO₃/l) oproti oblasti s měkkou vodou (39 mg CaCO₃/l) zjistila studie z Tennessee (Erb, 1997). Ještě výraznější byly závěry rozsáhlé studie (celkem 3013 případů z let 1973-1983) provedené v bývalé Německé demokratické republice: zatímco v oblasti s velmi tvrdou vodou (obsah Mg téměř 30 mg/l) byla incidence srdečního infarktu 20,6 (na 10000 obyvatel), v oblastech s měkkou vodou (obsah Mg okolo 3 mg/l) byla již incidence 32,7; u mladších věkových kategorií byl rozdíl ještě vyšší (Teitge, 1990). Epidemiologická ekologická studie ze Švédska, která zkoumala příčiny výrazně rozdílné spotřeby léků na KVO ve dvou okresech, uvádí jako jednu z možných příčin též rozdílnou tvrdost vody (Oreberg *et al*, 1992). Jiná studie ekologického typu ze sedmi okresů ve středním Švédsku připisuje rozdílné tvrdosti vody o 41% vyšší výskyt úmrtnosti na ICHS a o 14 % vyšší výskyt úmrtnosti na mrtvici v oblastech s měkkou vodou (Nerbrand *et al*, 1992). Naopak jen slabě statisticky významný vztah mezi tvrdostí vody a geograficky rozdílným výskytem úmrtnosti na mozkověcévní choroby zjistila studie ze Severní Dakoty (Dzik, 1989).

Řada studií také zjistila nižší incidenci náhlých úmrtí na KVO (včetně náhlých úmrtí kojenců) v oblastech s tvrdší vodou (Garzon *et al*, 1998; Bernardi *et al*, 1995; Anderson *et al*, 1975; Crawford *et al*, 1972). Hypotézy vysvětlují mechanismus úmrtí jako deficit hořčičku vedoucí ke spazmům srdečních cév a arytmiím.

Nízký příjem Ca a Mg pitnou vodu se zdá být jedním z rizikových faktorů vzniku amyotrofické laterální sklerózy (Yasui *et al*, 1997), naopak vyšší obsah těchto prvků ve vodě může protektivně působit proti vzniku zubního kazu a onemocnění parodontu i tam, kde je obsah fluoridů nízký (Skljar *et al*, 1987). Epidemiologické studie z Ruska zjistily, že v oblastech s měkkou vodou (tvrdost méně než 1,5 mmol/l) byl statisticky vyšší výskyt hypertenze, ischemické choroby srdeční, funkčních poruch systému sympatikus-adrenalin, vředové choroby žaludku a dvanáctníku a dalších chorob (Plitman *et al*, 1989; Lutaj, 1992; Loseva *et al*, 1988).

V Německu nebyl zjištěn žádný vztah mezi výskytem endemické strumy a obsahem vápníku a hořčičku v pitné vodě (Sauerbrey *et al*, 1989), naopak ekologická ruská studie zjistila vyšší výskyt strumy u obyvatelstva zásobovaného vodou s nízkou mineralizací (Lutaj, 1992).

Ochranný účinek vápníku ve vodě

Samotný vápník má pravděpodobně pozitivní ochranný účinek na vznik některých neurologických poruch ve stáří, jak ukázala francouzská případová studie. Výsledky v oblasti

s obsahem Ca > 75 mg/l v pitné vodě byly o 20% příznivější oproti oblasti s obsahem Ca < 75 mg/l (Jacqmin *et al*, 1994). Diskutuje se také o pozitivní roli vápníku (ve stravě i vodě) v prevenci rakoviny tlustého střeva (Pence, 1993). Studie ze španělské Mallorcy zjistila, že u dětí žijících v oblastech s pitnou vodou s vyšším obsahem vápníku byl statisticky nižší výskyt zlomenin než u dětí žijících v oblasti zásobované vodou chudší na vápník, při zohlednění obsahu fluoridů ve vodě a socioekonomických podmínek (Verd Vallespir *et al*, 1992).

Ochranný účinek hořčíku ve vodě

Nízký obsah hořčíku ve vodě se ukazuje jako jeden z rizikových faktorů pro vznik onemocnění motorického neuronu (Iwami *et al*, 1994), i pro vznik těhotenských komplikací, tzv. preeklamsií (Melles *et al*, 1992). Rozporné jsou výsledky studií, které se zabývaly vztahem mezi obsahem Mg ve vodě a výskytem diabetu. Zatímco studie z Taiwanu (Yang *et al*, 1999a) zjistila protektivní vliv hořčíku čili nižší výskyt diabetu v oblastech s vodou bohatší na hořčík, jiná studie z USA (Joslyn *et al*, 1990) žádný vztah nenašla.

Studie typu případ-kontrola ze Švédska u mužů, kteří zemřeli na AIM, resp. na rakovinu (kontrola), ukázala významný vztah k obsahu Mg ve vodě. Ve skupině s tvrdou vodou (> 9,8 mg Mg/l) byla o 35% nižší úmrtnost oproti skupině s měkkou vodou (< 3,5 mg Mg/l). Vztah k obsahu vápníku však tato studie nenašla (Rubenowitz *et al*, 1996). Rozdíl v obsahu Mg v pitné vodě jako nejpravděpodobnější příčinu rozdílné četnosti výskytu myocytárních kalcifikací u zemřelých na AIM uvádějí autoři studie z oblastí Salt Lake City a Washington D.C. (Bloom *et al*, 1989). Význam nízkého obsahu hořčíku ve vodě jako rizikového faktoru pro vznik KVO, zvláště u mužů, podtrhuje svou soubornou prací Rylander (Rylander, 1996).

Vyčerpávající kritický rozbor studií, které se zabývaly hořčíkem v pitné vodě a ICHS, podali Marx a Neutra (Marx *et al*, 1997). Podobně jako i jiné práce (Neutra, 1999) se zabývají otázkou, jak relativně malý příspěvek vody na celkovém denním příjmu hořčíku (obvykle méně než 10%) může být příčinou až třicetiprocentního snížení úmrtnosti na KVO? Možných vysvětlení a vzájemně se nejspíše kombinujících příčin může být několik. Je známou skutečností, že moderní rafinovaná strava neposkytuje dostatek hořčíku a že většina dospělé populace sotva naplňuje doporučený denní příjem a žije v hraničním trvalém deficitu. V této situaci i "relativně malý příjem" může mít prý velký dopad. Podívejme se však blíže na onen "malý příjem". V Ontariu bylo zjištěno, že rozdíl mezi denním příspěvkem nejtvrdějších a nejměkčích pitných vod činil 53 mg Mg/den (Marier *et al*, 1985), což je rozhodně více než 10% podíl na celkovém příjmu. Dále: vstřebání hořčíku z potravy ve střevu je okolo 30%, zatímco z vody, kde je hořčík ve volné iontové formě, je využitelnost vyšší - údaje se liší a udává se od 40 do 60% (Neutra, 1999; Nordin, 1976). Bylo též dokázáno, že vařením v měkké vodě dochází ke značným ztrátám prvků (včetně Mg a Ca) z potravin, především ze zeleniny, ale i z masa a obilovin (WHO, 1978; Haring *et al*, 1981; Oh *et al*, 1986). U hořčíku i vápníku až o 60%! Naopak vařením v tvrdé vodě se ztráty minimalizují, u vápníku může dojít dokonce i k obohacení vařené potraviny. To vše přispívá k vysvětlení nečekaného významu "relativně malého příjmu" z pitné vody. Nehledě k tomu, že závislost nemusí být nutně lineární.

Nejsilnější protiargument proti námitkám, že nacházené rozdílné výsledky v úmrtnosti na KVO mohou být způsobeny jinými důležitými faktory (konfoundery) jako je fyzická aktivita, strava, obezita, spotřeba alkoholu, socioekonomické podmínky ad., je, že není žádný důvod předpokládat, že by mohla existovat korelace mezi těmito faktory životního stylu a tvrdostí vody, která je dána přírodními podmínkami.

Význam poměru hořčíku a vápníku

Někteří autoři považují již od 60.let za stejně důležitý jak absolutní obsah obou prvků, tak jejich vzájemný poměr. Víme, že norma ČSN 75 7111 Pitná voda uvádí jako žádoucí poměr mezi Mg a Ca 1:2. Tento údaj pravděpodobně pochází z doporučení, aby poměr celkového příjmu Mg ku Ca byl 1:2 (Durlach, 1989), což je důležité pro optimální vstřebávání hořčíku. Víme totiž, že se vzrůstajícím podílem vápníku klesá vstřebávání hořčíku. Teoretické odvození doporučeného poměru Mg/Ca ve vodě však může mít oporu v několika epidemiologických studiích, které prokázaly růst negativního účinku vody, pokud docházelo k většímu odchylování od tohoto přibližného poměru - jak dolů (se snižováním poměru Mg/Ca rostlo riziko úmrtnosti na ICHS a AIM (Itokawa, 1991; Rubenowitz *et al*, 1996)), tak nahoru (se vzrůstem poměru Mg/Ca rostlo riziko rakoviny žaludku (Sakamoto *et al*, 1997)). Z dostupných údajů však nelze zatím činit žádné definitivní závěry a doporučení.

Tvrdost vody a rakovina

V druhé polovině 90. let byla publikována četná řada epidemiologických studií z Taiwanu, které sledovaly vztah mezi tvrdostí pitné vody a úmrtností na různé choroby, které vykazují významné geografické rozdíly. Studie zjistily: protektivní účinek hořčíku vůči mozgověcévním chorobám (Yang, 1998) a hypertenzi (Yang *et al*, 1999b), tvrdosti vody vůči KVO (Yang *et al*, 1996), rakovině jícnu (Yang *et al*, 1999c), rakovině pankreatu (Yang *et al*, 1999d), rakovině rekta (Yang *et al*, 1999e) a rakovině prsu (Yang *et al*, 2000), vápníku ve vodě vůči rakovině tlustého střeva (Yang *et al*, 1997) a rakovině žaludku (Yang *et al*, 1998). Jedná se o kombinované studie ekologické a studie případ-kontrola. Výsledky by vyžadovaly potvrzení z jiných míst a studií. Skutečností je, že studie zkoumající vztah tvrdosti vody a výskytu rakoviny byly publikovány již dříve a přestože většinou naznačovaly ochranný vliv tvrdosti vody, výsledky nebyly jednoznačné, jak dokládá shrnutí těchto prací (Cantor, 1997).

Antitoxická funkce vápníku a hořčíku

Ve vodě (i stravě) obsažený vápník a v menší míře i hořčík mají navíc prospěšnou funkci antitoxickou, když - buď přímou reakcí za vzniku nevstřebatelné sloučeniny nebo kompeticí na vazebných místech - zabráňují vstřebávání některých toxických prvků, např. olova a kadmia ad., a jejich přechodu ze střeva do krve (Thompson, 1970; Levander, 1977; Oehme, 1979; Hopps *et al*, 1986; Nadeenko *et al*, 1987; Plitman *et al*, 1989). Tento ochranný účinek je samozřejmě limitován.

Využitelnost vápníku a hořčíku z pitné vody

Existují laické názory, podporované a šířené především výrobci zařízení na výrobu destilované a demineralizované vody (Bragg *et al*, 1998), které tvrdí, že esenciální minerální látky v pitné vodě neumí lidské tělo nijak využít, naopak je jimi "zanášeno" (jako trubky) a poškozováno. Tyto názory však nejsou podloženy jakoukoliv vědeckou studií. Naopak existuje množství prací, které dokazují, že vápník z pitné či minerální vody je v zažívacím traktu vstřebáván stejně dobře nebo i lépe než vápník z mléčných produktů (Halpern *et al*, 1991; Heaney *et al*, 1994; Couzy *et al*, 1995; Van Dokkum *et al*, 1996; Wynckel *et al*, 1997; Guillemant *et al*, 1997) - tento ověřený fakt se stal podkladem pro doporučení používat vody s vyšším obsahem vápníku jako důležitý doplňkový zdroj vápníku u žen po menopauze, u lidí s nesnášenlivostí na laktózu nebo u lidí odmítajících mléčné výrobky z chuťových důvodů nebo jako nadměrný zdroj tuků.

Nejde však jen o vstřebatelnost. Řada studií dokládá, že vápník z vody je stejně dobře i organizmem využitelný: příjem pitné vody s vyšším obsahem Ca koreloval s vyšší denzitou kostí u starých žen ve Francii (Aptel *et al*, 1999), podobné výsledky přinesl i experiment s minerální vodou u postmenopauzálních žen v Itálii (Cepollaro *et al*, 1996); nižší kostní resorpce a osteoporóza (řidnutí kostí) byla pozorována u žen po pití vody bohaté na vápník (Costi *et al*, 1999; Guillemant, 2000). Již citovaná španělská studie (Verd Vallespir *et al*, 1992) zjistila u dětí mladšího školního věku žijících v oblastech s tvrdší vodou nižší výskyt zlomenin.

Využitelnost hořčíku z vody prokazují již studie ze 60. a 70.let, které zjistily pozitivní závislost mezi obsahem Mg v pitné vodě a obsahem Mg v srdečním svalu (Crawford *et al*, 1967; Neri *et al*, 1975), z novějších prací pak např. švédská studie (Rubenowitz *et al*, 1998). Třítýdenní pitná kúra s pitnou vodou bohatou na hořčík (120 mg/l) vedla u skupiny 79 pacientů ke snížení intenzity a výskytu migrény (Thomas *et al*, 1992). Obdobné výsledky přinesla i pozdější studie stejného kolektivu autorů (Thomas *et al*, 2000) se skupinou 29 migrenózních pacientů a skupinou 18 kontrolních osob. Dvoutýdenní pitná kúra (voda s obsahem Mg 110 mg/l) potvrdila dobrou využitelnost hořčíku z vody, když došlo ke zvýšení koncentrace intracelulárního hořčíku při zachování sérové hladiny. Řada balneologických prací o pozitivních účincích vody bohaté na hořčík vznikla i v ČR (Benda, 1999). Při hodnocení těchto studií si však musíme uvědomit, že se jednalo o krátkodobé experimenty (max. několik týdnů) zaměřené na terapeutické využití, v některých případech s minerálními vodami, takže výsledky je nutné pro oblast pitné vody interpretovat velmi opatrně.

Tvrdost vody a močové kameny

Klíčová úloha vody při vzniku močových kamenů patří k tradičním představám široké veřejnosti. S touto představou lze souhlasit pouze v případě kvantitativního hodnocení - nedostatečný příjem vody a tekutin obecně, čili trvalá i mírná dehydratace, nepochybně zvyšuje riziko vzniku všech druhů močových kamenů. Méně však lze souhlasit v případě hodnocení kvalitativního: ukazuje se, že minerálové složení vody, konkrétně obsah vápníku a hořčíku, hraje roli méně významnou. Urolitiáza je multifaktoriální proces, kde vedle uvedeného příjmu tekutin hrají dále roli genetická predispozice, dietární zvyklosti, klimatické a sociální podmínky, pohlaví apod.

Byly publikovány některé studie svědčící o tom, že vyšší tvrdost vody znamená i vyšší výskyt močových kamenů v populaci touto vodou zásobované; na druhou stranu bylo publikováno více studií s výsledky opačnými, kde měkčí voda představovala vyšší riziko urolitiázy. Většina epidemiologických studií z poslední doby se však kloní k názoru, že tyto kontroverze lze vysvětlit různým způsobem provedení (designem) studií a že různá tvrdost v rozsahu pitné vody není významným faktorem vzniku urolitiázy (Singh *et al*, 1993; Ripa *et al*, 1995; Kohri *et al*, 1993; Kohri *et al*, 1989). Citované japonské studie nezjistily, že by samotný obsah Ca nebo Mg měl vliv na incidenci močových kamenů, zjistily však vliv poměru Mg/Ca : v jedné práci znamenal nižší poměr Mg/Ca větší riziko vzniku urolitiázy bez rozlišení typu kamenů, přičemž výskyt koreloval s typem geologického podloží (Kohri *et al*, 1989), v druhé práci naopak vyšší poměr Mg/Ca znamenal vyšší incidenci infekčních fosfátových kamenů (Kohri *et al*, 1993).

Že vyšší tvrdost vody nepředstavuje riziko pro vznik močových kamenů (neplatí pro extrémní hodnoty mimo oblast pitné vody - viz dále), dokazuje množství experimentálních studií, které shodně potvrzují, že příjem vody s vyšším obsahem vápníku (popř. i hořčíku) naopak snižuje

riziko vzniku močových kamenů ze šťavelanu vápenatého (Rodgers, 1998; Caudarella *et al*, 1998; Marangella *et al*, 1996; Gutenbrunner *et al*, 1989; Ackermann *et al*, 1988; Sommariva *et al*, 1987). S příjmem těchto vod se sice zvyšuje vylučování vápníku močí, zároveň se však snižuje vylučování oxalátu močí, pravděpodobně v důsledku vazby oxalátu s vápníkem ve střevě, což zabraňuje vstřebávání oxalátů a podporuje jejich zvýšené vylučování stolicí.

Odlišná, resp. specifická může být situace u nemocných po odstranění močových kamenů. Ojedinelé pokusy naznačují, že příjem měkčí pitné vody u nich vedl k menšímu počtu remisí tohoto onemocnění (Di Silverio *et al*, 2000; Bellizzi *et al*, 1999), zároveň však připouštějí, že výsledky nemají absolutní platnost a záleží na řadě faktorů, např. je-li voda přijímána mezi jídly jako v této studii, nebo při jídle, kdy naopak příjem tvrdší vody může vést k menšímu počtu remisí (Bellizzi *et al*, 1999). Hodně záleží na již zmíněných genetických vlivech a dietárních zvyklostech.

Vysoká tvrdost, převyšující doporučený obsah v pitné vodě (5 mmol/l), může znamenat zvýšené riziko vzniku močových kamenů a kamenů slinných žláz, jak dokládá epidemiologická studie z Ruska (Mudryj, 1999). Autor uvádí, že při trvalém příjmu vod s tvrdostí více než 5 mmol/l dochází ke zvýšenému místnímu prokrvení ledvin a mění se proces filtrace a resorpce v ledvinách. Jedná se prý o obrannou reakci organismu, která ale při delším trvání vede k narušení regulačního systému organismu, kdy se později může rozvinout nejen urolitiáza, ale i hypertenze.

Optimální tvrdost pitné vody z hlediska zdravotního

Z výše uvedených zdravotních hledisek dáváme přednost spíše vodě tvrdší, ale i růst tvrdosti je prospěšný jen do určité míry. Optimum je těžké stanovit, snad by se mohlo pohybovat u hořčíku min. 20-30 mg/l, u vápníku 40-80 mg/l (Kožišek, 1992) s optimem okolo 50 mg/l (Rachmanin *et al*, 1990), při celkové tvrdosti 2 až 4 mmol/l (Plitman *et al*, 1989; Lutaj, 1992; Golubev *et al*, 1994). Pitná voda v tomto rozmezí tvrdosti se pojila s nejnižším výskytem různých druhů onemocnění, jak dokládají citované epidemiologické studie z Ruska.

Nepříznivé zdravotní účinky tvrdé vody

Neexistuje žádný určitý důkaz, že by zvýšená tvrdost u pitné vody byla příčinou nepříznivých zdravotních účinků na člověka. Snad jen vysoký obsah hořčíku (řádově ve stovkách mg/l) při současném vysokém obsahu síranů může být příčinou průjmových onemocnění. To je však spíše vzácný případ, jinak nepříznivé zdravotní účinky vysoké tvrdosti (např. vliv na vylučovací systém) byly pozorovány u vod více mineralizovaných, které však svým obsahem rozpuštěných látek (nad 1 g/l) někdy náležely již do kategorie vod minerálních, nikoli pitných.

V krajích s pitnou vodou tvrdší než 5 mmol/l byl v Tulské oblasti pozorován vyšší výskyt cholelitiázy, urolitiázy, artrózy a artropatií oproti krajům s měkčí vodou (Muzalevskaja *et al*, 1993). Podle jiné epidemiologické studie z Tambolské oblasti mohla být tvrdá voda (tvrdost větší než 4-5 mmol/l) příčinou vyššího výskytu některých druhů chorob, včetně nádorových (Golubev *et al*, 1994). Výsledky studií ohledně vztahu tvrdost vody vers. nádory jsou však rozporné, většina jich spíše podporuje stanovisko o protektivním účinku tvrdší vody (viz výše). V uvedených ruských studiích však nebyl hodnocen možný vliv jiných minerálních součástí pitné vody (s rostoucí tvrdostí vody obvykle roste i celkový obsah rozpuštěných látek).

Uvádí se také, že tvrdá voda může zvyšovat riziko vzniku atopického ekzému u dětí školního věku (McNally *et al*, 1998), pravděpodobně tím, že více vysušuje kůži (podobně jako voda s vyšším obsahem chloru), ale zde jde o vnější aplikaci, nikoliv požívání.

Senzorické nevýhody tvrdší vody

Vyšší tvrdost může zhoršovat senzorické vlastnosti pitné vody:

- např. tvorba povlaku na hladině kávy nebo čaje,
- ztráta aromatických látek z jídel a nápojů vyvázáním na uhličitán vápenatý,
- nepříjemná chuť vody samotné pro některé konzumenty: chuťový práh vápníku je asi 100 - 300 mg/l, nepříjemná chuť obvykle od 500 mg/l, ale záleží na přítomnosti dalších iontů; také obsah hořčíku nad 170 mg/l ve spojení s ionty chloridů a síranů způsobuje hořkou chuť vody,
- podle některých údajů se s tvrdostí vody zvyšuje doba vaření zeleniny a masa.

Jednoduchým návodem, jak předejít tvorbě nežádoucího povlaku na hladině čaje u tvrdé vody, je mírné okyselení vody - buď několika kapkami citrónu nebo chuťově neutrální kyselinou askorbovou (vitamin C) nebo kyselinou citrónovou (1 špetka na 1 litr vody), které lze běžně zakoupit v lékárně. Do takto připraveného čaje lze prý přidávat i mléko, aniž by se srazilo (Grohmann, 1997).

Legislativní požadavky na obsah vápníku a hořčíku v pitné vodě

ČSN 75 7111 doporučuje, aby pitná voda obsahovala sumu Ca+Mg v hodnotě 0,9 až 5 mmol/l; pro vápník je zvlášť doporučen obsah více než 20 mg/l, minimální hodnota hořčíku stanovena není, pouze maximální (125 mg/l). Velmi vysoká tvrdost se obvykle pojí s vysokým obsahem i jiných rozpuštěných látek (RL), které jsou pro pitné vody omezeny hodnotou 1000 mg/l. Nová Vyhláška MZČR č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a která bude platit od 1.1.2001, udává pro Ca a Mg minimální hodnoty 30, resp. 10 mg/l, doporučené hodnoty pak 100, resp. 30 mg/l.

Technické nevýhody tvrdší vody

Z technického hlediska není žádoucí ani velmi měkká voda, která bývá agresivní a způsobuje korozi potrubí, ani voda tvrdá, která zase snižuje životnost potrubí a nádrží tvorbou inkrustací. Tvrdá voda navíc špatně rozpouští mýdlo a zvyšuje jeho spotřebu. Udává se, že v závislosti na interakci s jinými faktory, jako např. pH či alkalitě, vytváří inkrustace voda o tvrdosti (jako ekvivalent CaCO_3) od 200 mg/l výše (WHO, 1993). Specifickým problémem se stává tvrdost u teplé vody. Když voda obsahuje hydrogenuhličitany (starším názvem: přechodnou uhličitánovou tvrdost), dojde při zahřívání k odstranění CO_2 a změně hydrogenuhličitany na uhličitán (vápenatý), který se vysráží ve formě tuhého vodního kamene na stěnách varných nádob, trubek a bojlerů. Z těchto důvodů se vápník a hořčík z napájecí vody odstraňuje. Pokud se jedná o technické vody, nelze mít z hygienického hlediska námitek. Podobně u teplé užitkové vody. Jiná situace ale nastává, má-li být změkčena i pitná voda.

Hygienické hodnocení různých způsobů úpravy tvrdosti vody

Popišme si nyní ze zdravotního a hygienického hlediska vhodnost či nevhodnost jednotlivých způsobů úpravy, které mění tvrdost vody. Především těch, které účelově nebo jako "vedlejší účinek" snižují tvrdost vody nebo se snaží omezovat její účinky.

Ztvrzování vody

Ke zvyšování tvrdosti dochází při odkyselování a stabilizaci vody. Remineralizace probíhá filtrací přes vhodné hmoty (mramor, polovypálený dolomit aj.) nebo přímým dávkováním sloučenin vápníku (vápenné mléko). Z hygienického hlediska zde nelze mít námitek, jestliže jsou použity zdravotně nezávadné suroviny (vnos případných nežádoucích příměsí, jako např. těžkých kovů, které mohou být přirozeně přítomny v surovině, nesmí při maximální dávce být větší než 1/10 limitu příslušné látky v pitné vodě), jestliže je snaha alespoň o přibližné zachování doporučeného poměru Mg/Ca a jestliže voda vyhovuje ze senzorického hlediska.

Zvláštní a složitou kapitolou je remineralizace vody získávané odsolováním mořské nebo jiné vysoce mineralizované vody (destilací, membránovou filtrací). S touto problematikou se naštěstí ve středoevropském prostoru nesetkáváme. Používá se řada různých postupů podle místních možností. Více informací lze nalézt v pracovním dokumentu WHO (WHO, 1980).

Změkčování vody

Ke snižování tvrdosti se používá destilace, membránové technologie, iontová výměna, srážení dávkováním různých sloučenin (vápná, vápná a sody, hydroxidu sodného a sody, fosforečnanů). K omezení účinků tvrdosti vody pak magnetická úprava a opět dávkování tzv. inhibitorů koroze (fosforečnany, polyfosforečnany ad.).

Destilace, deionizace, reverzní osmóza, nanofiltrace

Razantní metody jako destilace, deionizace, nanofiltrace nebo reverzní osmóza produkují vodu prakticky zbavenou všech minerálů, která nemá charakter pitné vody a není vhodná pro trvalou spotřebu. Podrobněji se otázce účinku demineralizované vody věnuje studie Státního zdravotního ústavu "[Zdravotní rizika pití demineralizované vody](#)" (SZÚ, 2000). Negativní účinky měkké vody zde mohou být nejvýraznější (při pravidelné konzumaci této vody může navíc dojít k narušení normálního metabolismu některých minerálních látek), a proto je nutno z hygienického hlediska tyto metody pro úpravu vody v našich podmínkách odmítnout.

Jedinou výjimku lze snad připustit u reverzní osmózy a nanofiltrace (je-li ze zdravotně nezávadných materiálů - pozor na konzervační látky membrán a použití nevhodných látek na předúpravu vody, které zabraňují "zanášení" membrán, tzv. antiscalantů), pokud je použita pod odborným vodárenským dohledem k úpravě pouze části objemu, obvykle vysoce mineralizované vody. Část vody je vedena obtokem a dochází ke snížení ve vhodném poměru tak, aby zůstala zachována určitá minimální mineralizace upravené vody. Nezbytná je kontinuální kontrola výsledného produktu, např. měřením vodivosti.

Iontoměniče

Rizikové je též, dnes nejrozšířenější, použití iontoměníčů - dekarbonizačních katexů. Nejde jen o odstranění ze zdravotního hlediska žádoucích prvků, ale též o pokles pH a růst agresivity (korozivitu) vody - z toho důvodu evropská směrnice pro pitnou vodu (Council, 1980) požadovala, aby změkčená nebo odsolená voda určená pro lidskou spotřebu měla

minimální koncentraci vápníku (nebo ekvivalentních kationtů) 60 mg/l a minimální alkalitu 30 mg (HCO_3)/l. Novela této směrnice pod č. 98/83/EC z roku 1998 (Council, 1998) tento požadavek již neobsahuje. Podle vyjádření některých států, např. Británie (Hydes, 2000), si však tyto státy podrží požadavek minimální mineralizace změkčovaných vod i po implementaci nové evropské směrnice, která neuvádí žádný limit nebo doporučení pro tvrdost vody.

Vedle toho je zásadně nevhodné používat katex pracující v sodíkovém cyklu, který vychytává Ca a Mg a namísto nich uvolňuje do vody sodík. Na řadě studií v USA (kde koncem 80.let používalo domácí změkčovače vody 20 až 40 % domácností) bylo prokázáno, že u lidí používajících změkčovače vody pracující v sodíkovém cyklu je vyšší výskyt hypertenze (vysoký arteriální tlak), a to i u dětí (!), což je spolu se souvisejícím nižším příjmem hořčíku vážný rizikový faktor kardiovaskulárních onemocnění (Das, 1988). Proto některé země použití těchto iontoměničů při úpravě pitné vody přímo zakazují (např. německá vyhláška o pitné vodě z roku 1990 v §5, odst.4 praví: "Podnikatel nebo jiný držitel vodárenských zařízení smí změkčovat pomocí iontové výměny jen tehdy, nezvyšuje-li se tím koncentrace sodíku v pitné vodě."), jiné doporučují jejich omezení a instalaci jen na ta místa, kde není odebírána voda k pití.

Vedle příkladu z Německa lze uvést i jednoznačné stanovisko z Velké Británie, kde odborná komise ministerstva zdravotnictví vydala v roce 1994 stanovisko ke kardiovaskulárním chorobám, v němž se vyjádřila i ke změkčování vody: "Z hlediska potvrzeného epidemiologického důkazu, že existuje slabý obrácený vztah mezi tvrdostí vody a úmrtností na kardiovaskulární choroby, se stále považuje za moudré nezměkčovat pitnou vodu." (DH, 1994). Toto stanovisko kupodivu respektuje i sdružení výrobců zařízení na změkčování vody (British Water), když svým zákazníkům doporučuje vést do kuchyně (nebo tam, kde se voda odebírá na pití a vaření) odbočku potrubí s nezměkčenou vodou.

Není-li jiná možnost řešení, je pro změkčení pitné vody nutno použít dekarbonizační katex pracující v H^+ (vodíkovém cyklu) - ovšem tak, aby byla zachována minimální požadovaná koncentrace Ca + Mg (lze opět řešit částečným obtokem mimo ionex).

Pozornost hygieniků by se neměla soustředit pouze na změkčování pomocí klasických iontoměničů, ale i na použití některých jiných sorpčních hmot pro odmanganování a odželezňování (např. zeolit), které mohou způsobit významný pokles obsahu Ca a Mg v upravené vodě !

Chemická reakce srážením

Pro použití chemické reakce srážením by pak z hygienického hlediska mělo platit: zachování minimální vyžadované tvrdosti upravené vody a vnos nežádoucích příměsí max. na úrovni 1/10 limitu dle normy (vyhlášky) pro pitnou vodu. Při použití sloučenin sodíku by nárůst sodíku v upravené vodě neměl být vyšší než 20 mg/l.

Elektromagnetická a magnetická úprava vody

Z zabránění vzniku inkrustace bývá používána také (elektro)magnetická úprava vody, která je v České republice povolena pouze na úpravu teplé užitkové vody (TUV), ale nikoliv pitné vody ! Z následujících důvodů.

(Elektro)magnetickou úpravou vody nedochází ke změně obsahu chemických prvků a sloučenin, dochází však ke změně některých jejich forem a především ke změně fyzikálních vlastností vody. Takto upravená voda mění oproti vstupní vodě svůj charakter také co do biologického účinku na živé systémy (zvyšuje prostupnost biologických membrán, ovlivňuje řadu biochemických parametrů a funkcí v organismu). Experimentálně byl tento rozdílný účinek prokázán na rostliny, pokusná zvířata i na člověka (Klassen, 1984). Účinek takto aktivované vody na lidský organismus může být, podle údajů literatury, jak pozitivní, tak negativní. Závisí na kvalitě takto upravené vody a především na momentálním zdravotním stavu organismu. Proto byla (je?) tato voda pokusně využívána i při terapii různých chorob, zvláště vylučovacího systému.

Pitná voda, určená k trvalé spotřebě všech obyvatel (bez ohledu na jejich zdravotní stav), by však měla být svým biologickým účinkem neutrální a neměla by spotřebitelům ani po dlouhodobé konzumaci působit prokazatelné změny vnitřního prostředí. Bohužel dosud nebyla provedena a publikována žádná studie, která by dokázala, že dlouhodobá konzumace magneticky upravené vody nepůsobí žádné nepříznivé zdravotní účinky. Z toho důvodu se také zatím v ČR nedoporučuje pitnou vodu upravovat působením (elektro)magnetického pole. Zvláště když nejde o úpravu směřující ke zvýšení jakosti vody ve smyslu obsahu nežádoucích chemických látek, ale o technické opatření. Také WHO z důvodů nedostatku údajů o pozitivním či negativním dopadu dlouhodobé konzumace elektromagneticky upravované vody nezařazuje tento způsob úpravy mezi doporučené metody a způsoby úpravy pitné vody.

Dávkování sloučenin s fosforečnany a křemičitany

Dávkování fosforečnanů a polyfosforečnanů se používá především pro inhibici koroze potrubí, ale také - jak uvádějí někteří výrobci - zabraňuje tvorbě inkrustací. Ani tuto metodu nelze z hygienického hlediska (nehledě k hledisku ekologickému - eutrofizace vod) podporovat a lze ji připustit výjimečně jen tam, kde koroze představuje vážný problém, a po časově omezenou dobu, než dojde k sanaci nevhodného potrubí (existují již různé metody, jak lze potrubí, včetně domovních rozvodů, opatřit novým vnitřním povrchem, aniž by muselo dojít k jejich výměně). Přestože používaná dávka fosfátů není problémem z toxikologického hlediska, jedná se přece jen ve vodě o cizorodou látku, která navíc vazbou na vápník zabraňuje nebo snižuje jeho vstřebávání v zažívacím traktu a konzument se vystavuje obdobným rizikům jako při požívání velmi měkké vody. Také u aplikace do TUV, kde dosud nebyly z hygienického hlediska vznášeny vážnější námítky, nutno pamatovat na skutečnost, že fosfáty jako významný nutrient mohou podporovat růst bakterií a tvorbu biofilmů v potrubí a být tak rizikovým faktorem pro pomnožování legionel (aplikace fosfátů do TUV by měla být podmíněna požadavkem pravidelné kontroly vody na legionely) a jiných oportunních patogenů nebo bakterií produkujících pachově a chuťově závadné látky, což značí riziko i pro rozvod (studené) pitné vody.

Připomeňme, že vzniku vápenatých inkrustací lze do značné míry předcházet stabilizací vody (dosažením vápenato-uhličitanové rovnováhy) již při úpravě ve vodárně.

Závěr

Všechny výše uvedené skutečnosti, potvrzující důležitý zdravotní význam přítomnosti vápníku a hořčíku v pitné vodě, by měly sloužit ke kritičtějším a objektivnějším posuzování nových, ale i stávajících technologií úpravy vody z hlediska hygienického.

Ze zdravotního hlediska lze odůvodnit změkčení pouze takové vody, která svým obsahem vápníku a hořčíku výrazně přesahuje doporučenou horní hranici tvrdosti (5 mmol/l), a není-li k dispozici jiný vhodný zdroj vody. K změkčení však musí být použita taková technologie, která zachová optimální obsah vápníku, hořčíku, popř. dalších esenciálních prvků ve vodě obsažených, a nebude zdrojem jiných cizorodých látek ve vodě. Pokud je nezbytné vodu změkčit z technických důvodů, musí být zajištěna možnost odběru nezměkčené vody pro pití a vaření.

PŘÍLOHA 1

• Literatura

Ackermann, D., Baumann, J.M., Futterlieb, A., Zingg, E.J. (1988). Influence of calcium content in mineral water on chemistry and crystallization conditions in urine of calcium stone formers. *Eur. Urol.* 14: 305-308.

Anderson, T.W., Neri, L.C., Schreiber, G.B., Talbot, F.D.F., Zdrojewski, A. (1975). Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. *CMA Journal* 113: 199-203.

Aptel, I., Cance-Rouzaud, A., Grandjean, H. (1999). Association between calcium ingested from drinking water and femoral bone density in elderly women: evidence from the EPIDOS cohort. *J. Bone Miner. Res.* 14:829-833.

Bar-Dayan, Y., Shoenfeld, Y. (1997). Magnesium fortification of water. *Ann. Med. Interne* 148: 440-444.

Bellizzi, V., De Nicola, L., Minutolo, R., Russo, D., Cianciaruso, B., Andreucci, M., Conte, G., Andreucci, V.E. (1999). Effects of water hardness on urinary risk factors for kidney stones in patients with idiopathic nephrolithiasis. *Nephron* 81 (suppl 1): 66-70.

Benda, J. (1999). Účinky per os podávané hydrogenuhličitanové hořečnaté kyselky Magnesia. Sborník ze semináře "Balená voda - 4.ročník", str. 25-35; ČVTVHS, Praha.

Bernardi, D., Dini, F.L., Azzarelli, A., Giaconi, A., Volterrani, C., Lunardi, M. (1995). Sudden cardiac death rate in an area characterized by high incidence of coronary artery disease and low hardness of drinking water. *Angiology* 46: 145-149.

Bírová, A., Bíró, O., Kormaník, P. (1985). Vplyv pitnej vody na mozgocievne ochorenia v okrese Michalovce. *Čs. Hyg.* 30: 347-353.

Bloom, S., Peric-Golia, L. (1989). Geographic variation in the incidence of myocardial calcification associated with acute myocardial infarction. *Hum. Pathol.* 20: 726-731.

- Bragg, P.C., Braggová, P. (1998). Šokující pravda o vodě. Fontána, Olomouc.
- Calabrese, E.J., Moore, G.S., Tuthill, R.W., Sieger, T.L. /eds./ (1980). Drinking water and cardiovascular disease. Pathotox Publishers, Park Forest South.
- Cantor, K.P. (1997). Drinking water and cancer. *Cancer Causes and Control* 8: 292-308.
- Caudarella, R., Rizzoli, E., Buffa, A., Bottura, A., Stefoni, S. (1998). Comparative study of the influence of 3 types of mineral water in patients with idiopathic calcium lithiasis. *J. Urol.* 159: 658-663.
- Cepollaro, C., Orlandi, G., Gonnelli, S., Ferrucci, G., Arditti, J.C., Borracelli, D., Toti, E.,
- Costi, D., Calcaterra, P.G., Iori, N., Vourna, S., Nappi, G., Passeri, M. (1999). Importance of bioavailable calcium drinking water for the maintenance of bone mass in post-menopausal women. *J.Endocrinol. Invest.* 22: 852-856.
- Council Directive 80/778/EEC of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption (as amended).
- Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 relating to the quality of water intended for human consumption.
- Couzy, F., Kastenmayer, P., Vigo, M., Clough, J., Munoz-Box, R., Barclay, D.V. (1995). Calcium bioavailability from calcium- and sulfate-rich mineral water, compared with milk, in young adult women. *Am. J. Clin. Nutr.* 62: 1239-1244.
- Crawford, T., Crawford M.D. (1967). Prevalence and pathological changes of ischaemic heart-disease in a hard-water and in a soft-water area. *Lancet* 2: 229-232.
- Crawford, M.D., Garner, M.S., Morris, J.N. (1971). Changes in water hardness and local death rates. *Lancet* 2: 327-329.
- Crawford, M.D., Gardner, M.J., Sedgwick, P.A. (1972). Infant mortality and hardness of local water supplies. *Lancet* 1: 988-992.
- Das, G. (1988). You and your drinking water: health implications for the use of cation exchange water softeners. *J. Clin. Pharmacol.* 28: 683-690.
- DH (Department of Health), Committee on Medical Aspects of Food Policy (1994). DH Report on health and social subjects No 46 "Nutritional aspects of cardiovascular disease".
- Di Silverio, F., Ricciuti, G.P., D'Angelo, A.R., Fraioli, A., Simeoni, G. (2000). Stone recurrence after lithiotripsy in patients with recurrent idiopathic calcium urolithiasis: efficacy of treatment with fiuggi water. *Eur. Urology* 37: 145-148.

Durlach, J. (1989). Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA. *Magnes. Res.* 2: 195-203.

Dzik, A.J. (1989). Cerebrovascular disease mortality and water hardness in North Dakota. *S.D. J. Med.* 42: 5-7.

Erb, B.D. (1997). Water hardness and cardiovascular death rates in Tennessee. *Tennessee Medicine* 90: 314-316.

Garzon, P., Eisenberg, M.J. (1998). Variation in the mineral content of commercially available bottled waters: implication for health and disease. *Am.J.Med.* 105: 125-130.

Gennari, C. (1996). Effect of calcium supplementation as a high-calcium mineral water on bone loss in early postmenopausal woman. *Calcif. Tissue Int.* 59: 238-239.

Grohmann, A. (1997). Vier Rezepte für Triknwasser. Umweltbundesamt - WaBoLu Institut, Berlin.

Guillemant, J., Le, H.T., Guillemant, S., Delabroise, A.M., Arnaud, M.J. (1997). Acute effects induced by a calcium-rich mineral water on calcium metabolism and on parathyroid function (letter). *Osteoporosis Int.* 7: 85-86.

Guillemant, J., Le, H.T., Accarie, C., du Montcel, S.T., Delabroise, A.M., Arnaud, M.J. (2000). Mineral water as a source of dietary calcium: acute effects on parathyroid function and bone resorption in young women. *A. J. Clin. Nutr.* 71: 999-1002.

Gutenbrunner, C., Gilsdorf, K., Hildebrandt, G. (1989). The effect of mineral water containing calcium on supersaturation of urine with calcium oxalate. *Urologe* 28: 15-19.

Gyllerup, S., Lanke, J., Lindholm L.H., Schersten, B. (1991). Water hardness does not contribute substantially to the high coronary mortality in cold regions of Sweden. *J. Intern. Med.* 230: 487-492.

Halpern, G.H., de Walter, J.V., Delabroise, A.M., Keen, C.L., Gershwin, M.E. (1991). Comparative uptake of calcium from milk and a calcium-rich mineral water in Lactose intolerant adults: Implications for treatment of osteoporosis. *Am. J. Prev. Med.* 7:379-383.

Haring, B.S.A., Van Delft, W. (1981). Changes in the mineral composition of food as a result of cooking in "hard" and "soft" waters. *Arch. Environ. Health* 36: 33-35.

Heaney, R.P., Dowell, M.S. (1994). Absorbability of the calcium in high-calcium mineral water. *Osteoporosis Int.* 4: 323-324.

Hopps, H.C., Feder, G.L. (1986). Chemical qualities of water that contribute to human health in a positive way. *Sci. Total Environ.* 54: 207-216.

Hydes, O., Deputy Chief Inspector, Drinking Water Inspectorate, U.K. (2000). *Dopis F.Kožíškovi z 20.1.2000.*

- Itokawa, Y. (1991). Cardiovascular disease and magnesium: epidemiological and experimental data. *Proc. Finn. Dent. Soc.* 87: 651-657.
- Iwami, O., Watanabe, T., Moon, Ch.S., Nakatsuka, H., Ikeda, M. (1994). Motor neuron disease on the Kii Peninsula of Japan: excess manganese intake from food coupled with low magnesium in drinking water as a risk factor. *Sci. Total Environ.* 149: 121-135.
- Jacqmin, H., Commenges, D., Letenneur, L., Barberger-Gateau, P., Dartigues, J.F. (1994). Components of drinking water and risk of cognitive impairment in the elderly. *Am. J. Epidemiol.* 139: 48-57.
- Joslyn, S., Lynch, C., Wallace, R., Olson, D., Van Hoesen, C. (1990). Relationship between diabetes mellitus mortality rates and drinking water magnesium levels in Iowa. *Magnes. Trace Elem.* 9: 94-100.
- Kabrhel, G. (1927). *Hygiena vody. Ústřední jednota čsl. lékařů, Praha.*
- Klassen, V.I. (1984). *Magnetizácia vodných systémov. Alfa, Bratislava.*
- Kobayashi, J. (1957). On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. *Berichte des Ohara Instituts für landwirtschaftliche Biologie Okyama University* 11: 12-21.
- Kohri, K., Kodama, M., Ishikawa, Y., Katayama, Y., Takada, M., Katoh, Y., Kataoka, K., Iguchi, M., Kurita, T. (1989). Magnesium-to-calcium ratio in tap water, and its relationship to geological features and the incidence of calcium-containing urinary stones. *J.Urol.* 142: 1272-1275.
- Kohri, K., Ishikawa, Y., Iguchi, M., Kurita, T., Okada, Y., Yoshida, O. (1993). Relationship between the incidence infection stones and the magnesium-calcium ratio of tap water. *Urol. Res.* 21: 269-272.
- Kožíšek, F. (1992). *Biogenní hodnota pitné vody. Disertační práce. SZÚ, Praha.*
- Kubis, M. (1985). Beziehung der "Wasserhärte" zum Auftreten des akuten Herzinfarkts (The relationship between water hardness and the occurrence of acute myocardial infarction). *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Facultatis Medicæ* 111: 321-324.
- Levander, O.A. (1977). Nutritional factors in relation to heavy metal toxicants. *Fed. Proceed.* 36: 1683-1687.
- Loseva, M.I., Krasnikova, L.B. (1988). Výskyt arteriální hypertenze a anginy pectoris mezi venkovským obyvatelstvem žijícím v geochemicky rozdílných oblastech Novosibirského kraje. *Kardiologija* 28: 31-34.
- Lutaj, G.F. (1992). Chemické složení pitné vody a zdraví obyvatel (v ruštině). *Gig. Sanit. No. 1/1992: 13-15.*

- Marangella, M., Vitale, C., Petrarulo, M., Rovera, L., Dutto, F. (1996). Effects of mineral composition of drinking water on risk for stone formation and bone metabolism in idiopathic calcium nephrolithiasis. *Clin. Sci.* 91: 313-318.
- Marier, J.R., Ner, L.C. (1985). Quantifying the role of magnesium in the interrelationship between human mortality/morbidity and water hardness. *Magnesium* 4: 53-59.
- Marx, A., Neutra, R.R. (1997). Magnesium in drinking water and ischemic heart disease. *Epidemiol. Rev.* 19: 258-272.
- Masironi, R., Miesch, A.T., Crawford, M.D., Hamilton, E.I. (1972). Geochemical environments, trace elements, and cardiovascular diseases. *Bull. Wld. Hlth. Org.* 47: 139-150.
- McNally, N.J., Williams, H.C., Phillips, D.R., Smallman-Raynor, M., Lewis, S., Venn, A., Britton, J. (1998). Atopic eczema and domestic water hardness. *Lancet* 352:527-531.
- Melles, Z., Kiss, S.A. (1992). Influence of the magnesium content of drinking water and of magnesium therapy on the occurrence of preeclampsia. *Magnes. Res.* 5: 277-279.
- Morris, J.N., Crawford, M.D., Heady, J.A. (1961). Hardness of local water supplies and mortality from cardiovascular disease. *Lancet* 1: 860-862.
- Mudryj, I.V. (1999). O vlivu minerálního složení pitných vod na zdraví obyvatelstva (v ruštině). *Gig. Sanit.* No.1/1999: 15-18.
- Nadeenko, V.G., Lenčenko, V.G., Krasovskij, G.N. (1987). Kombinovaný účinek kovů při příjmu pitnou vodou (v ruštině). *Gig. Sanit.* No.12 /1987: 9-12.
- Nerbrand, C., Svardsudd, K., Ek, J., Tibblin, G. (1992). Cardiovascular mortality and morbidity in seven countries in Sweden in relation to water hardness and geological settings. The project: myocardial infarction in mid-Sweden. *Eur. Heart. J.* 13: 721-727.
- Neri, L.C., Hewitt, D., Schreiber, G.B., Anderson, T.W., Mandel, J.S., Zdrojewsky, A. (1975). Health aspects of hard and soft waters. *Journal AWWA* 67: 403-409.
- Neutra, R.R. (1999). Epidemiology vs Physiology? Drinking water magnesium and cardiac mortality. *Epidemiology* 10: 4-6.
- Oehme, F.W. (ed.) (1979). Toxicity of heavy metals in the environment. Part 1. M.Dekker, New York.
- Oh, C.K., Lücker, P.W., Wetzelsberger, N., Kuhlmann, F. (1986). The determination of magnesium, calcium, sodium and potassium in assorted foods with special attention to the loss of electrolytes after various forms of food preparations. *Mag.-Bull.* 8:297-302.

Oreberg, M., Jonsson, G.G., West, K., Eberhard-Grahn, M., Rastam, L., Melander, A. (1992). Large intercommunity difference in cardiovascular drug consumption: relation to mortality, risk factors and socioeconomic differences. *Eur. J. Clin. Pharmacol.* 43: 449-454.

Pence, B.C. (1993). Role of calcium in colon cancer prevention: experimental and clinical studies. *Mutation Research* 290: 87-95.

Pitter, P. (1999). *Hydrochemie*. 3.vyd. VŠCHT, Praha.

Plitman, S.I., Novikov, Ju.V., Tulakina, N.V., Metelskaja, G.N., Kočetkova, T.A., Chvastunov, R.M. (1989). K otázce úpravy hygienických normativů s ohledem na tvrdost vody (v ruštině). *Gig. Sanit. No. 7/1989*: 7-10.

Rachmanin, Ju.A., Filippova, A.V., Michajlova, R.I., Beljaeva, N.N., Lamentova, T.G., Kumpan, N.B., Feldt, E.G. (1990). Hygienické hodnocení minerálních materiálů pro úpravu obsahu solí pitné vody o nízkém obsahu minerálů (v ruštině). *Gig. Sanit. No. 8/1990*: 4-8.

Ripa, S.L., Delpon, P.E., Romero, F.F.J. (1995). Epidemiology of urinary lithiasis in la Ribera de Navarra (I). *Actas Urol. Esp.* 19: 459-466.

Rodgers, A.L. (1998). The influence of South African mineral water on reduction of risk of calcium oxalate kidney stone formation. *S. Afr. Med. J.* 88: 448-451.

Rubenowitz, E., Axelsson, G., Rylander, R. (1996). Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction. *Am. J. Epidemiol.* 143: 456-462.

Rubenowitz, E., Axelsson, G., Rylander, R. (1998). Magnesium in drinking water and body magnesium status measured using an oral loading test. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 58: 423-428.

Rubenowitz, E., Axelsson, G., Rylander, R. (1999). Magnesium and calcium in drinking water and death from acute myocardial infarction in women. *Epidemiology* 10: 31-36.

Rylander, R. (1996). Environmental magnesium deficiency as a cardiovascular risk factor. *J. Cardiovascular Risk* 3: 4-10.

Rylander, R., Bonevik, H., Rubenowitz, E. (1991). Magnesium and calcium in drinking water and cardiovascular mortality. *Scand. J. Work. Environ. Health* 17: 91-94.

Sakamoto, N., Shimizu, M., Wakabayashi, I., Sakamoto, K. (1997). Relationship between mortality rate of stomach cancer and cerebrovascular disease and concentrations of magnesium and calcium in well water in Hyogo prefecture. *Magnes. Res.* 10: 215-223.

Sauerbrey, G., Andree, B., Kunze, M., Mey, W. (1989). Untersuchungen über die ednemische Struma und ihre Beziehung zu verschiedenen Trinkwasserfaktoren in 4

Gemeinden des Bezirkes Suhl (Endemic struma and its relation to various drinking water factors in 4 communities of the Suhl district). *Z. Gesamte Inn. Med.* 44: 267-270.

Schroeder, H.A. (1960). Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies. *JAMA* 172: 1902-1908.

Singh, P.P., Kiran, R. (1993). Are we overstressing water quality in urinary stone disease? *Int. Urol. Nephrol.* 25: 29-36.

Skljar, V.E., Kosenko, K.H., Klimentko, V.G. (1987). Vliv různých koncentrací fluoru, vápníku a hořčíku v pitné vodě na výskyt onemocnění zubů a tkání parodontu (v ruštině). *Gig. Sanit.* No. 8/1987: 21-23.

Sommariva, M., Rigatti, P., Viola, M.R. (1987). Prevention of the recurrence of urinary lithiasis: mineral waters with high or low calcium content? *Minerva Med.* 78: 1823-1829.

SZÚ. (2000). Zdravotní rizika pití demineralizované vody Výzkumná zpráva. SZÚ, Praha.

Švec, F., Symon, K. (1975). Vztah mezi tvrdostí upravené pitné vody a úmrtností na vybrané choroby ve velkých městech ČSR. *Čs. Hyg.* 20: 108-112.

Švec, F. (1976a). Vztah některých charakteristik půdy k tvrdosti pitné vody a k vybraným ukazatelům úmrtnosti obyvatelstva ČSR let 1965-1969. *Čs. Hyg.* 21: 74-79.

Švec, F. (1976b). Vztah mezi tvrdostí upravené pitné vody a některými ukazateli úmrtnosti obyvatelstva ČSR v letech 1965-1969. *Čas. Lék. Čes.* 115: 570-574.

Teitge, J.E. (1990). Herzinfarktinzidenz und Mineralgehalt der Trinkwasser. *Z. gesamte inn. Med.* 45 (478-485).

Thomas, J., Thomas, E., Tomb, E. (1992) Serum and erythrocyte magnesium concentrations and migraine. *Magnes. Res.* 2: 127-130.

Thomas, J., Millot, J.M., Sebille, S., Delabroise, A.M., Thomas, E., Manfait, M., Arnaud, M.J. (2000). Free and total magnesium in lymphocytes of migraine patients - effect of magnesium-rich mineral water intake. *Clin. Chimica Acta* 295: 63-75.

Thompson, D.J. (1970). Trace element in animal nutrition. 3rd ed. Int. Minerals and Chem. Corp., Illinois.

Van Dokkum, W., De La Gueronniere, V., Schaafsma, G., Bouley, C., Luten, J., Latge, C. (1996). *Br. J. Nutr.* 75: 893-903.

Verd Vallespir, S., Domingues Sanches, J., Gonzales Quintial, M., Vidal Mas, M., Mariano Soler, A.C., de Roque Company, C., Sevilla Marcos, J.M. (1992). Association between calcium content of drinking water and fractures in children (španělsky). *An. Esp. Pediatr.* 37: 461-465.

WHO. (1978). How trace elements in water contribute to health. WHO Chronicle 32: 382-385.

WHO. (1979). Health effects of the removal of substances occurring naturally in drinking water, with special reference to demineralized and desalinated water. Report on a Working Group, Brussels, 20-23 March 1978. Euro Reports and Studies 16. World Health Organization, Copenhagen.

WHO. (1980). Guidelines on health aspects of water desalination. ETS/80.4. World Health Organization, Geneva.

WHO. (1993). Guidelines for drinking-water quality. 2nd ed. Vol.1. Recommendation. World Health Organization, Geneva.

WHO. (1996). Guidelines for drinking-water quality. 2nd ed. Vol.2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva.

Wynckel, A., Hanrotel, C., Wuillai, A., Chanard, J. (1997). Intestinal calcium absorption from mineral water. *Miner. Electrolyte Metab.* 23: 88-92.

Yang, Ch.Y., Chiu, J.F., Chiu, H.F., Wang, T.N., Lee, Ch.H., Ko, Y.Ch. (1996). Relationship between water hardness and coronary mortality in Taiwan. *J. Tox. Environ. Health* 49: 1-9.

Yang, Ch.Y., Chiu, H.F., Chiu, J.F., Tsai, S.S., Cheng, M.F., (1997). Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from colon cancer. *Jpn. J. Cancer Res.* 88: 928-933.

Yang, Ch.Y. (1998). Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from cerebrovascular disease. *Stroke* 29: 411-414.

Yang, Ch.Y., Cheng, M.F., Tsai, S.S., Hsieh, Y.L. (1998). Calcium, magnesium, and nitrate in drinking water and gastric cancer mortality. *Jpn. J. Cancer Res.* 89: 124-130.

Yang, Ch.Y., Chiu, H.F., Cheng, M.F., Tsai, S.S., Hung, Ch.F., Tseng, Y.T. (1999a). Magnesium in drinking water and risk of death from diabetes mellitus. *Magnes. Res.* 12: 131-137.

Yang, Ch.Y., Chiu, H.F. (1999b). Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from rectal hypertension. *Am. J. Hypertension* 12: 894-899.

Yang, Ch.Y., Chiu, H.F., Cheng, M.F., Tsai, S.S., Hung, Ch.F., Lin, M.Ch. (1999c). Esophageal cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. *Environ. Research, Section A* 81: 302-308.

Yang, Ch.Y., Chiu, H.F., Cheng, M.F., Tsai, S.S., Hung, Ch.F., Tseng, Y.T. (1999d). Pancreatic cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. *J. Tox. Environ. Health, Part A* 56: 361-369.

Yang, Ch.Y., Tsai, S.S., Lai, T.Ch., Hung, Ch.F., Chiu, H.F., (1999e). Rectal cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. *Environ. Research, Section A* 80: 311-316.

Yang, Ch.Y., Chiu, H.F., Cheng, M.F., Hsu, T.Y., Cheng, M.F., Wu, T.N. (2000). Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from breast cancer. *J. Tox. Environ. Health* 60: 231-241.

Yasui, M., Ota, K., Yoshida, M. (1997). Effects of low calcium and magnesium dietary intake on the central nervous system tissues of rats and calcium-magnesium related disorders in the amyotrophic lateral sclerosis focus in the Kii Peninsula of Japan. *Magnes. Res.* 10: 39-50.