



**STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV**

Šrobárova 48, Praha 10, 100 42

**ZDRAVOTNÍ VÝZNAM  
„TVRDOSTI“ PITNÉ VODY**

**Prosinec 2000**

*(3. aktualizovaná verze, únor 2003)*

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): MUDr. Jaroslav Volf, Ph.D.  
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 ( $H_2O$ ) 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 vodárenskou veřejností jde o vžitý pojem, se kterým se můžeme dodnes setkat i v moderní americké 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  $CaCO_3$  (mg/l) nebo vzácněji  $CaO$  (mg/l). Stanovuje-li se tvrdost jako suma  $Ca + Mg$ , což je i současný český případ, výsledek se vyjadřuje v mmol/l.

Zajímavé je, že balneologové a hydrogeologové termín tvrdosti vody nikdy nepoužívali a nepoužívají, protože si vždy uvědomovali, že vápník a hořčík mají odlišné vlastnosti a že chování a zdravotní účinek vody nezávisí na jejich sumární koncentraci.

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 technologického, určit optimální koncentraci  $Ca$  a  $Mg$  v pitné vodě není snadné a požadavek zdravotní se nemusí překrývat s technologickým.

### 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 technologických metod úpravy vody, které obsah vápníku a hořčíku buď významně snižují nebo se snaží jejich (především technický) účinek různě eliminovat.

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

O tom, že také pitná voda může být důležitým 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). Význam obsahu vápníku v pitné vodě pro výživu zdůrazňoval ve 40.letech také německý výživář R.Hauschka (Hauschka, 1951), který dokonce doporučoval přidávat do vody před vařením hydrogensíran sodný, aby se i po převaření vápník ve vodě uchoval v rozpuštěné formě a nedošlo k jeho ztrátám vysrážením. Přímý důkaz o zdravotním vlivu různě 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 krvácení – apoplexie) je vyšší v okolí japonských řek, které mají kyselejší (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 ve věku 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 v období 1950-1960. Tvrdost se zvýšila v pěti, naopak snížila v šesti městech. V tomto období se úmrtnost na KVO v Británii zvýšila průměrně o 10%, avšak ve městech, kde došlo k poklesu tvrdosti vody, vzrostla o 20%, zatímco ve městech, ve kterých 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 svalu mezi muži zemřelými na náhlou příhodu srdeční 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 svalu (Crawford *et al*, 1967; Anderson *et al*, 1973; Neri *et al*, 1975; a šest jiných prací citovaných v Rubenowitz *et al*, 1999). Přitom u lidí, kteří náhle zemřeli na ischemickou chorobu srdeční (ICHS), byl – ve srovnání s lidmi s jinou příčinou úmrtí – nalezen nižší obsah Mg v nepostižených tkáních srdečního svalů. Vztah mezi obsahem Mg ve vodě a v kosterním svalstvu popisuje také studie ze Švédska z konce 80.let (Landin *et al*, 1989).

Během úvodních dvaceti let výzkumu bylo na téma tvrdost vody a KVO publikováno přes 100 odborných prací. (Calabrese *et al*, 1980).

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.

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).

#### 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 (např. Na, K a Ca) přes membrány, syntézy proteinů a nukleových kyselin, nervosvalové dráždivosti

(svalové kontrakci) ad. Působí jako přirozený antagonistu vápníku. Nedostatek hořčíku zvyšuje u člověka riziko různých patologických stavů jako jsou cévní spazmy, hypertenze, srdeční arytmie, arterioskleróza, akutní infarkt myokardu, pravděpodobně též diabetes mellitus II. typu a osteoporóza (Innerarity, 2000; Rude 1998). Tyto vztahy zjištěné v řadě klinických i epidemiologických studií jsou v poslední době stále více podporovány i výsledky mnoha experimentálních prací na zvířatech (Sherer et al, 2001). Doporučený denní příjem hořčíku činí přibližně 5-6 mg/kg/den, pro dospělého člověka (70 kg) tedy asi 350-400 mg/den. Vyhláška MZ ČR č. 293/1997 Sb. „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 (snižuje ji), správnou funkci převodního systému myokardu, srdeční a svalovou kontraktilitu (stažitelnost), přenos nitrobuněčné informace a pro srážení krve – převádí protrombin na trombin. Nejznámějším projevem nedostatku Ca je osteoporóza (řidnutí kostí) a osteomalacie (měknutí kostí); mezi méně známé, ale prokázané poruchy patří např. zvýšený krevní tlak. O řadě dalších chorob se diskutuje na základě získaných epidemiologických poznatků. Vyhláška MZ ČR č. 293/1997 Sb. „o způsobu výpočtu a uvádění výživové hodnoty potravin...“ uvádí doporučenou denní dávku 800 mg Ca/osobu/den. U některých skupin obyvatel však 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 soustředoval na potvrzení úlohy hořčíku coby rozhodujícího faktoru tvrdosti, popřípadě na první pokusy obecněji kvantifikovat jeho protektivní účinek (viz dále – kapitola „Hořčík: vztah dávky a účinku“).

Zmínit zaslouží 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 práce, podporující vztah mezi tvrdostí a KVO, citované 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 mozgověcévních 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 provedených epidemiologických studií, z nichž většina byla jen ekologických. To znamená, že hodnotily výskyt nemocí na úrovni populační skupiny a ne jednotlivce a nestanovovaly individuální expozici vápníku a hořčíku z vody. Některé ani neanalyzovaly ve vodě samotný vápník a hořčík, ale jen tvrdost, takže nelze zjistit specifický podíl účinku vápníku či hořčíku. Některé studie také nedostatečně braly v úvahu ostatní faktory, které mohou KVO ovlivnit (věk, socioekonomické faktory, konzumace alkoholu, strava, klimatické podmínky ad.). Nicméně většina studií, které měřily individuální expozici, potvrzovala obrácený vztah mezi obsahem Mg v pitné vodě a rizikem vzniku ICHS zjištěný v ekologických studiích – např. rozsáhlá

finská kohortová studie (Punsar *et al*, 1979) nebo studie případ-kontrola z téže země (Luoma *et al*, 1983) a z USA (Zeighami *et al*, 1985).

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 a částečně též Finska, které mají 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-Dayana *et al*, 1997). Podobně lze asi vysvětlit i výsledky norské ekologické studie (Flaten *et al*, 1991), která dokonce zjistila slabý pozitivní vztah mezi obsahem Mg ve vodě a výskytem KVO, ale kde všechny zkoumané oblasti měly extrémně měkkou vodu s obsahem Mg pod 2 mg/l.

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 vody publikované v 80. letech (WHO, 1996), z nepochopitelných důvodů však ve zvoleném výběru citací nejsou uváděny studie z epidemiologického hlediska nejdůležitější, ale je dána přednost studiím méně významným nebo okrajovým.

#### 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 studie typu případ-kontrola, 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 hořčíku: 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 CaCO<sub>3</sub>/l) oproti oblasti s měkkou vodou (39 mg CaCO<sub>3</sub>/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). Jiná 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). Další 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 mozkovou mrtvici v oblastech s měkkou vodou (Nerbrand *et al*, 1992). Výrazný rozdíl v úmrtnosti na KVO mezi oblastmi s pitnou vodou s „nizkým“ (méně než 20 mg/l) a vysokým obsahem Mg (52 až 68 mg/l) konstatuje rovněž ekologická studie ze Srbska (Maksimovič *et al*, 1998).

Naopak jen slabě statisticky významný vztah mezi tvrdostí vody a geograficky rozdílným výskytem úmrtnosti na mozkověcévní choroby zjistila studie ze Severní Dakoty (Dzik, 1989); podobné výsledky měla ekologická studie z Francie, kde vedle mozkověcévních chorob byl stejný vztah potvrzen i pro ICHS (Sauvant *et al*, 2000), ale i v této studii byla sledována jen celková tvrdost bez rozlišení podílu Ca a Mg.

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 hořčíku vedoucí ke spazmům srdečních cév a arytmiím.

Nízký příjem Ca a Mg pitnou vodou se zdá být jedním z rizikových faktorů vzniku amyotrofické laterální sklerózy (Yasui *et al*, 1997), vyšší obsah těchto prvků ve vodě může protektivně působit proti vzniku zubního kazu a onemocnění parodontu i tam, kde je obsah fluoridů nízký (Skljarič *et al*, 1987). Epidemiologické studie (převážně ekologického typu) 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 hořčíku v pitné vodě (Sauerbrey *et al*, 1989), naopak ekologická ruská studie zjistila vyšší výskyt strumy u obyvatelstva zásobovaného vodou s nízkou mineralizací (Lutaj, 1992).

Zatímco u většiny chemických látek, které se běžně vyskytují v pitné vodě, je zapotřebí dlouhé expozice k projevení příslušného zdravotního účinku, u vápníku a zvláště hořčíku se předpokládá, že jejich účinek odráží současnou expozici čili že stačí několik málo měsíců k případné „adaptaci“ na nový zdroj s nízkým obsahem hořčíku, popř. vápníku. Adaptací se zde však nemyslí přizpůsobení se organismu vodě nevhodného složení, ale doba, během které se nevhodné složení vody může projevit zdravotní poruchou organismu spotřebitele (Rubenowitz *et al*, 2000). Potvrzují to i případy lidí z ČR a Slovenska z let 2000-2002, kteří začali používat k doupravě své pitné vody přístroj na bázi reverzní osmózy a pití takto upravené (demineralizované) vody se u některých z nich projevilo již po několika týdnech expozice různými zdravotními potížemi, které nesly znaky akutní deficiencie hořčíku.

### 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).

Zatímco u mužů žádná studie neprokázala, že by obsah vápníku ve vodě ovlivňoval riziko úmrtí na infarkt myokardu, u žen se nízký obsah vápníku ve vodě ukázal být v tomto ohledu jedním z rizikových faktorů (Rubenowitz *et al*, 1999). Realnost tohoto vztahu

podporuje existence důkazů o tom, že nedostatek vápníku může způsobit vysoký arteriální tlak (hypertenzi). Meta-analýza několika studií, zahrnujících celkem téměř 40 tisíc osob, prokázala obrácený vztah mezi množstvím vápníku v potravě a výškou krevního tlaku (Capuccio *et al*, 1995). Navíc existuje několik možných mechanismů vysvětlujících, jak vápník může snižovat krevní tlak (Rubenowitz *et al*, 1999).

Obrácený vztah mezi množstvím vápníku v potravě a výškou krevního tlaku byl pozorován rovněž u těhotných žen, u kterých se daří účinně snížit výšku tlaku zvýšením příjmu (suplementací) vápníku. Předpokládá se, že zvýšený příjem vápníku snižuje stažlivost a tonus (napětí) hladkého svalstva, což se klinicky projeví nejen snížením krevního tlaku, ale i snížením výskytu předčasných porodů. Tato skutečnost byla podnětem k provedení epidemiologické studie z Taiwanu (kombinovaná ekologická studie a případ-kontrola) se souborem 1781 žen, která sledovala vztah mezi obsahem vápníku v pitné vodě a porodní váhou prvorozeného dítěte. Studie zjistila, že vápník v pitné vodě je prospěšným ochranným faktorem, který statisticky významně snižuje riziko předčasného porodu a narození dítěte s velmi nízkou porodní hmotností (Yang *et al*, 2002).

Obrácený vztah mezi příjmem prvku v potravě a výškou krevního tlaku byl ve většině studií na toto téma potvrzen rovněž pro hořčík (Mizushima *et al*, 1998).

#### 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 ukázala u mužů, kteří zemřeli na akutní infarkt myokardu (AIM), resp. na rakovinu (kontrola), významný vztah k obsahu Mg ve vodě. Ve skupině s tvrdou vodou (> 9,8 mg Mg/l) byla o 35% nižší úmrtnost na AIM oproti skupině s měkkou vodou (< 3,5 mg Mg/l). Vztah k obsahu vápníku však tato studie nenašla (Rubenowitz *et al*, 1996).

Stejný typ studie od stejného kolektivu autorů zkoumal vztah mezi obsahem Mg a Ca v pitné vodě a nemocností a úmrtností na AIM u 823 mužů a žen ve věku 50-74 let v 18 švédských okresech, kteří onemocněli AIM v období mezi 1.10.1994 a 30.6.1996 (Rubenowitz *et al*, 2000). Studie přitom zohlednila jak individuální expozici Ca a Mg z vody i potravy, tak jiné známé rizikové faktory pro AIM, které by mohly zkreslit nalezený vztah. Zatímco u vápníku nebyl vztah k nemoci potvrzen, u hořčíku bylo zjištěno, že u skupiny zařazené do kvartilu s nejvyšším obsahem Mg ( $\geq 8,3$  mg/l) bylo riziko úmrtí o 7,6 % nižší než u skupin exponovaných vodě s nižším obsahem hořčíku. Přestože celkový výskyt AIM byl ve všech čtyřech skupinách podobný, lidé ze skupiny s nejvyšším obsahem Mg ve vodě měli o třetinu nižší riziko úmrtí na AIM (odds ratio 0,64) oproti skupinám lidí konzumujících vodu s obsahem Mg pod 8,3 mg/l. Mnohorozměrná analýza ukázala, že nalezený vztah není způsoben jinými známými rizikovými faktory. Zjištění této studie podporuje výše zmíněnou hypotézu, že hořčík zabraňuje především náhlým úmrtím na AIM spíše než úmrtím na veškeré ischemické choroby srdce.

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 práci Rylander (Rylander, 1996).



### Nepoměr mezi vysokou mírou ochranného účinku vodního Mg a Ca a jejich relativně malým nutričním příspěvkem

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. Shodují se na tom průzkumy provedené v řadě průmyslově vyspělých zemí. Např. ministerstvo zemědělství USA na základě šetření u 37 tisíc osob udává, že jenom 25 % z nich mělo příjem hořčíku, který byl rovný nebo vyšší než doporučený denní příjem; naopak 39 % přijímalo méně než 70 % doporučené dávky (Marier, 1986). Rovněž v České republice je příjem vápníku a hořčíku dietou na dolní hranici doporučení nebo pod touto hranicí a tento nedostatek se u některých skupin obyvatelstva může reálně projevit. V roce 2000 byla uvažovaná potřeba Mg v průměru kryta jen na 83 %, potřeba Ca jen na 91 % (Ruprich *et al.*, 2001).

V této situaci i „relativně malý příjem“ z pitné vody může mít prý velký dopad. Podívejme se však blíže na onen „malý příjem“. V Ontariu bylo zjištěno, že rozdíl mezi denním příspěvkem nejtvrdsích 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% (Durlach, 1988; Neutra, 1999; Sabatier *et al.*, 2002). Pitná voda je také relativně výhodnějším zdrojem Mg a Ca než potrava, protože se stoupající dávkou klesá obecně vstřebaný podíl těchto prvků (Böhmer *et al.*, 2000; Sabatier *et al.*, 2002).

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 (Durlach, 1988; Haring *et al.*, 1981; Oh *et al.*, 1986 WHO, 1978). 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 ochranný účinek vodního hořčíku nemusí být nutně lineárně úměrný podílu pitné vody na celkovém příjmu tohoto prvku.

Byly provedeny opakované pokusy se zvířaty s velmi překvapivými výsledky, když u skupiny dostávající daný prvek (konkrétně Zn nebo Mg) s pitnou vodou došlo k statisticky významně vyššímu nárůstu prvku v séru než u skupin, které dostávaly celkově mnohem vyšší dávku potravou a k tomu jako tekutinu demineralizovanou vodu. Na základě pokusů i klinicky pozorované skutečnosti, že k minerálovému deficitu dochází také u pacientů s vyváženou parenterální (nitrožilní) výživou (která se ředí destilovanou vodou), kde problém míry vstřebávání ve střevu odpadá, se autoři domnívají, že použití demineralizované vody ve výživě vede ke zvýšenému vylučování minerálních látek z organismu (Robbins *et al.*, 1981). Analogický, i když zatím přesně neurčený mechanismus by se mohl uplatnit také u měkké, minerálově chudé pitné vody.

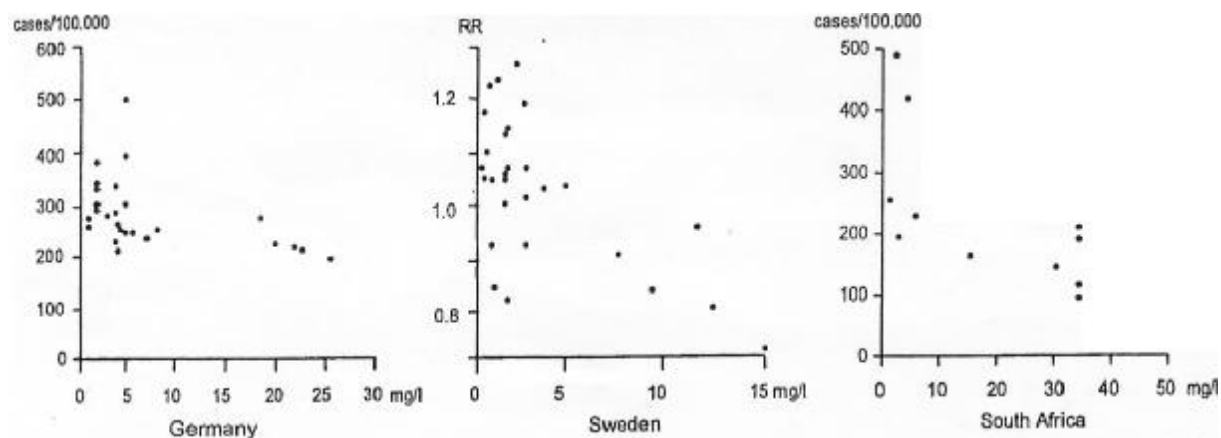
Nejsilnější protiargument proti námitkám, že nacházené rozdílné výsledky v úmrtnosti na KVO (nebo ve výskytu jiných chorob) mohou být způsobeny jinými důležitými faktory („confoundery“) jako je fyzická aktivita, strava, obezita, spotřeba alkoholu, socioekonomické podmínky ad., které by tedy mohly dávat falešně pozitivní obraz o působení vápníku či

hořčíku ve vodě, je, že není žádný důvod předpokládat, že by mohla existovat korelace mezi těmito faktory životního stylu a tvrdostí vody, která je dána přírodními podmínkami.

#### Hořčík: vztah „dávky“ (obsahu ve vodě) a účinku

První pokusy kvantifikovat ochranný účinek hořčíku ve vodě se datují již do 60. let. 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% (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).

O grafické znázornění zkoumaného vztahu se pokusilo několik autorů. Na obrázku převzatém od Rylandera (Rylander, 1996) je uveden vztah mezi mužskou úmrtností na KVO a obsahem Mg v pitné vodě na základě studií z Německa (Teitge, 1990), Švédska (Rylander *et al*, 1991) a Jihoafrické republiky (Leary *et al*, 1983).



Relation between cardiovascular death among men and drinking water magnesium levels in Sweden [96], Germany [34] and South Africa [35].

#### Význam poměru hořčíku a vápníku

Někteří autoři považují již od 60.let za stejně důležitý jak absolutní obsah obou prvků ve vodě (v potravě), tak jejich vzájemný poměr (Seelig, 1964; Karppanen, 1981; Durlach *et al*, 1989). Také bývalá norma ČSN 75 7111 Pitná voda, platná v letech 1991-2000, uváděla 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, zvláště když je zřejmé, že nízký poměr vodního Mg/Ca v provedených studiích se vždy pojil s nízkým obsahem hořčíku ve vodě, a když se zatím ukazuje, že tento obsah je pro snížení rizika (např. infarktu) důležitější než poměr k vápníku (Rubenowitz *et al*, 1996).

### Tvrdość 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 jinde ve světě byly publikovány již dříve a přestože většinou naznačovaly ochranný vliv tvrdosti vody (včetně jedné starší práce z ČR (Zýka, 1975)), výsledky nebyly jednoznačné, jak dokládá shrnutí většiny těchto prací (Cantor, 1997) – autor nicméně doporučuje další zkoumání tohoto vztahu jako perspektivní oblast výzkumu.

### 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 – zabraňují 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 jakoukoli 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 (např. 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). Meta-analýza provedených studií na toto téma, publikovaných v letech 1966 – 1998, dokonce ukázala, že vstřebávání vápníku z minerální vody je statisticky významně vyšší než z mléčných produktů (Böhmer *et al.*, 2000). 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 např. z chuťových důvodů nebo jako nadměrný zdroj tuků.

Nedávná studie o vstřebatelnosti hořčíku z vody a jeho zadržení v organismu, prováděná na 10 ženách s minerální vodou o obsahu Mg 110 mg/l prokázala, že dochází ke vstřebání asi 50 % podané dávky hořčíku (Sabatier *et al.*, 2002).

Nejde však jen o vstřebatelnost. Řada studií dokládá, že vápník z vody je organismem i stejně dobře 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 (Gennari, 1996; Cepollaro *et al.*, 1999); nižší kostní resorpce a osteoporóza byly pozorovány 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.

### Tvrdość vody a močové kameny

Klíčová úloha vody při vzniku močových kamenů (urolitiáza) 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 studie svědčící o tom, že vyšší tvrdość 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 tvrdość v rozsahu obvyklém pro pitné vody není významným faktorem vzniku urolitiázy (Singh *et al*, 1993; Ripa *et al*, 1995; Kohri *et al*, 1993; Kohri *et al*, 1989). Žádný vztah mezi celkovou tvrdością vody, resp. obsahem vápníku nebo hořčíku v pitné vodě a výskytem močových kamenů nenašla ani nejnovější velká epidemiologická studie z USA s 3270 pacienty (Schwartz *et al*, 2002).

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 tvrdość 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 šřavelanu vápenatého (Rodgers, 1997; 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 (Bellizzi *et al*, 1999; Coen *et al*, 2001; Di Silverio *et al*, 2000), 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. Riziko pro vznik urolitiázy znamenalo i pití vody o tvrdosti 10,5 mmol/l (Ca 370 mg/l), jak dokládá již citovaná italská experimentální studie (Coen *et al*, 2001).

Byly popsány případy vzniku urolitiázy a jiných komplikací u kojenců, v tomto věku jinak zcela výjimečné, kteří dostávali stravu výlučně z minerální vody s vysokým obsahem vápníku (obsah Ca 555 mg/l, Mg 110 mg/l, tvrdost 18,4 mmol/l), takže jejich denní příjem vápníku byl několikanásobně vyšší než doporučený denní příjem (Saulnier *et al*, 2000).

#### Optimální tvrdost pitné vody (obsah Ca a Mg) 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 (Kožíšek, 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.

Skupina švédských autorů se domnívá, že ochranný účinek hořčíku ve vodě proti úmrtnosti na KVO má prahový charakter, resp. že se uplatňuje až při hodnotách nad asi 8 mg/l (Rubenowitz *et al*, 2000). Usuzuje tak na základě především svých studií ze Švédska (Rylander *et al*, 1991; Rubenowitz *et al*, 1996, 1999 a 2000) a dále se pak odvolává na jednu jihoafrickou (Leary *et al*, 1983) a jednu německou studii (Teitge, 1990). Neznamená to samozřejmě, že by se rozdílné hodnoty hořčíku, ať už nad nebo pod touto hranicí, pojily se stejným rizikem. Jde však o zajímavý podklad pro případná legislativně stanovená opatření nebo odborné doporučení ohledně obsahu hořčíku ve vodě.

#### Nepříznivé zdravotní účinky tvrdé vody

Neexistuje žádný určitý důkaz, že by zvýšená tvrdost 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 žlučových kamenů (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 versus 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 měkké a tvrdé 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).

Pro většinu lidí je chuťově nepříjemná i velmi měkká voda (jejímž extrémem je např. voda destilovaná či dešťová), u které pocítují většinou nepříjemnou, až mýdlovou chuť. Určitý minimální obsah minerálních látek, z nichž klíčový význam mají právě soli vápníku a hořčíku, je nezbytný pro příjemnou a osvěžující chuť pitné vody. Minimálně už z toho důvodu je nezbytné solemi uměle obohacovat demineralizovanou pitnou vodu, pokud byla získána z mořské vody odsolením nebo z odpadní vody ultrafiltrací při kosmických letech.

### Legislativní požadavky na obsah vápníku a hořčíku v pitné vodě

ČSN 75 7111 doporučovala, aby pitná voda obsahovala sumu Ca+Mg v hodnotě 0,9 až 5 mmol/l; pro vápník byl zvlášť doporučen obsah více než 20 mg/l, minimální hodnota hořčíku stanovena nebyla, pouze maximální (125 mg/l). Velmi vysoká tvrdost se obvykle pojí s vysokým obsahem i jiných rozpuštěných látek (RL), které jsou v ČR pro pitné vody omezeny hodnotou 1000 mg/l. Vyhláška MZČR č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu, platná 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 měkké a tvrdé 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. Uvádá se, že v závislosti na interakci s jinými faktory, jako např. pH či alkalitě, vytváří inkrustace voda o tvrdosti (jako ekvivalent  $\text{CaCO}_3$ ) 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  $\text{CO}_2$  a změně hydrogenuhličitánu 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

Popíšme 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 odkyslování a stabilizaci vody. Remineralizace probíhá filtrací přes vhodné hmoty (mramor, polovypálený dolomit aj.) nebo přímým dávkováním sloučenin vápníku (vápnenné 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 sensorického 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 (vápna, vápna 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.

## Iontoměnič

Rizikové je též, dnes nejrozšířenější, použití iontoměničů - dekarbonizačních katexů. Nejde jen o odstranění ze zdravotního hlediska žádoucích prvků, ale též o pokles pH a růst agresivity (korozivity) 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 ( $\text{HCO}_3$ )/l. Novela této směrnice pod č. 98/83/EC z roku 1998 (Council, 1998) již tento požadavek neobsahuje. Přesto si některé státy požadavek minimální tvrdosti ponechávají, i když ho většinou přesouvají do nižších právních předpisů nebo doporučení.

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, 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. německé nařízení 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 vodou nezměkčenou.

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

## 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 fosforečnanů 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 kritičtějšímu a objektivnějšímu 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 vody nezměkčené, popř. neupravené (elektro)magnetickým polem (je-li tato technologie použita), pro pití a vaření.

## **PŘÍLOHA: Přehled citované literatury**

- 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., Hewitt, D., Neri, L.C., Schreiber, G.B., Talbot, F. (1973). Water hardness and magnesium in heart muscle. *Lancet*, Dec. 15: 1390-1391.
- Anderson, T.W., Neri, L.C., Schreiber, G.B., Talbot, F.D.F., Zdrojewski, A. (1975). Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. *CMAJ* 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.
- Böhmer, H., Müller, H., Resch K.L. (2000). Calcium supplementation with calcium rich-mineral waters: a systematic review and meta-analysis of its bioavailability. *Osteoporos. Int.* 11: 938-943.
- 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 Control* 8: 292-308.
- Cappuccio, F., Elliot, P., Allender, P.S., Pryer, J., Follman, P.A., Cutler, J.A. (1995). Epidemiologic association between dietary calcium intake and blood pressure: a meta-analysis of published data. *Am. J. Epidemiol.* 142: 935-945.
- 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.
- Coen, G., Sardella, D., Barbera, G., Ferrannini, M., Comegna, C., Ferazzoli, F., Dinnella, A., D'Anello, E., Simeoni, P. (2001). Urinary composition and lithogenic risk in normal subjects following oligomineral versus bicarbonate-alkaline high calcium mineral water intake. *Urol. Int.* 67: 49-53.
- 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 lithotripsy in patients with recurrent idiopathic calcium urolithiasis: efficacy of treatment with Fiuggi water. *Eur. Urol.* 37: 145-148.
- Durlach, J. (1988). The importance of magnesium in water. In: Durlach J. (ed). *Magnesium in Clinical Practice*. London, John Libbey & Co Ltd; 221-222.
- Durlach, J. (1989). Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA. *Magnes. Res.* 2: 195-203.
- Durlach, J., Bara, M., Guet-Bara, A. (1989). Magnesium level in drinking water: its importance in cardiovascular risk. In: Itokawa Y., Durlach J. (eds). *Magnesium in Health and Disease*. London, J.Libbey & Co Ltd; 173-182.
- 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. *Tenn. Med.* 90: 314-316.
- Flaten, P.D., Bolviken, B. (1991). Geographical associations between drinking water chemistry and the mortality and morbidity of cancer and some other diseases in Norway. *Sci. Total Environ.* 102: 75-100.
- 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.
- Golubev, I.M., Zimin, V.P. (1994). O limitu celkové tvrdosti v pitných vodách. *Gig. sanit.* No. 3/1994: 22-23.
- 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). *Osteoporos. 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. *Am. 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.
- Hauschka, R. (1951). *Ernährungslehre. Zum Verständnis der Physiologie der Verdauung und der ponderablen und imponderablen Qualitäten der Nahrungsstoffe*. Vittorio Klostermann, Frankfurt am Main.

- Heaney, R.P., Dowell, M.S. (1994). Absorbability of the calcium in high-calcium mineral water. *Osteoporos. 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.
- Innerarity, S. (2000). Hypomagnesemia in Acute and Chronic Illness. *Crit. Care Nurs. Q.* 23:1-19.
- 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.*
- Karppanen, H. (1981). Epidemiological studies on the relationship between magnesium intake and cardiovascular diseases. *Artery* 9: 190-191.
- 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 Medicae* 111: 321-324.
- Landin, K., Bonevik, H., Rylander, R., Sandström, B.-M. (1989). Skeletal muscle magnesium and drinking water magnesium level. *Magnes. Bull.* 11: 177-179.
- Leary, W.P., Reyes, A.J., Lockett, C.J., Arbuckle, D.D., van der Byl, K. (1983). Magnesium and death ascribed to ischemic heart disease in South Africa: a preliminary report. *S. Afr. Med. J.* 64: 775-776.
- Levander, O.A. (1977). Nutritional factors in relation to heavy metal toxicants. *Fed. Proc., Fed. Am. Soc. Exp. Biol.* 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 (v ruštině). *Kardiologija* 28: 31-34.
- Luoma, H., Aromaa, A., Helminen, S., Murtomaa, H., Kiviluoto, L., Punsar, S., Knekt, P. (1983). Risk of myocardial infarction in Finnish men in relation to fluoride, magnesium and calcium concentration in drinking water. *Acta Med. Scand.* 213: 171-176.
- Lutaj, G.F. (1992). Chemické složení pitné vody a zdraví obyvatel (v ruštině). *Gig. Sanit. No. 1/1992:* 13-15.
- Maksimovič, J.Z., Jovanovič, T., Ršumovič, M., Dordevič, M. (1998). Magnezijum i kalcijum u pijačoj vodi i smrtnost od kardiovaskularnih bolesti u Srbiji. In: Prvi simpozijum o magnezijumu. *Apstrakti. Beograd.* 1-2.
- 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. (1986). Magnesium content of the food supply in the modern-day world. *Magnesium* 5: 1-8.
- Marier, J.R., Neri, 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. World Health Organ.* 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.
- Mizushima, S., Cappuccio, F.P., Nichols, R., Elliot, P. (1998). Dietary magnesium intake and blood pressure: a qualitative overview of the observational studies. *J. Hum. Hypertens.* 12: 447-453.
- 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.
- Muzalevskaja, L.S., Lobkovskij, A.G., Kukarina, N.I. (1993). Vztah mezi nemocností na žlučové a ledvinové kameny, osteoartrózy a artropatie a tvrdostí pitné vody. *Gig. Sanit.* No. 12/1993: 17-20.
- 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. *Magnes. 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. *Mutat. Res.* 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.
- Punsar, S., Karvonen, M.J. (1979). Drinking water quality and sudden death: observations from West and East Finland. *Cardiology* 64:24-34.
- 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.
- Robbins, D.J., Sly, M.R. (1981). Serum zinc and demineralized water. *Am. J. Clin. Nutr.* 34:962-963.
- Rodgers, A.L. (1997). Effect of mineral water containing calcium and magnesium on calcium oxalate urolithiasis risk factors. *Urol. Int.* 58: 93-99.
- 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.
- Rubenowitz, E., Molin, I., Axelsson, Rylander, R. (2000). Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology* 11: 416-421.
- Rude, R.K. (1998). Magnesium deficiency: a cause of heterogenous disease in humans. *J. Bone Miner. Res.* 13: 749-758.
- Ruprich, J. et al. (2001). Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí. Subsystem 4: Zdravotní důsledky zátěže lidského organismu cizorodými látkami z potravinových řetězců v roce 2000. Odborná zpráva za rok 2000. Státní zdravotní ústav, Praha, 153-154, 159-160.
- Rylander, R. (1996). Environmental magnesium deficiency as a cardiovascular risk factor. *J. Cardiovasc. 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.
- Sabatier, M., Arnaud, M.J., Kastenmayer, P., Rytz, A., Barclay, D.V. (2002). Meal effect on magnesium bioavailability from mineral water in healthy women. *Am. J. Clin. Nutr.* 75: 65-71.
- 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 endemische 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.
- Saulvier, J.P., Podevin, G., Berthier, M., Levard, G., Oriot, D. (2000). Staghorn lithiasis in an infant related to high-calcium level mineral water intake (in French). *Arch. Pediatr.* 7: 1300-1303.
- Sauvant, M.P., Pepin, D. (2000). Geographic variation of the mortality from cardiovascular disease and drinking water in French small area (*Puy de Dome*). *Environ. Res. Sect.* 1 84: 219-227.
- Schroeder, H.A. (1960). Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies. *JAMA* 172: 1902-1908.
- Schwartz, B.F., Schenkman, N.S., Bruce, J.E., et al. (2002). Calcium nephrolithiasis: effect of water hardness on urinary electrolytes. *Urology* 60: 23-27.
- Seelig, M. (1964). The requirement of magnesium by normal adult. *Am. J. Clin. Nutr.* 14: 342-390.
- Sherer, Y., Bitzur, R., Cohen, H., Shaish, A., Varon, D., Shoenfeld, Y., Harats, D. (2001). Mechanisms of action of the antiatherogenic effect of magnesium: lessons from a mouse model. *Magnes. Res.* 14: 173-179.
- 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., Klimenko, V.G. (1987). Vliv různých koncentrací fluoru, vápníku a hořčiku 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.
- Späth, G. (1988). Magnesium in der Kardiologie. *WMW No.15-16*, 382-415.
- 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 pudy 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).
- Theophanides, T., Angiboust J.F., Polissiou, M., Anastassopoulos, J., Manfait, M. (1990). Possible role of water structure in biological magnesium systems. *Magnes. Res.* 3: 5-13.
- Thomas, J., Thomas, E., Tomb, E. (1992) Serum and erythrocyte magnesium concentrations and migraine. *Magnes. Res.* 2: 127-130.
- Thomas, J., Millot, J.M., Sebillé, 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. Chim. Acta* 295: 63-75.
- Thompson, D.J. (1970). Trace element in animal nutrition. 3<sup>rd</sup> ed. Int. Minerals and Chem. Corp., Illinois.
- Van Dokkum, W., De La Gueronniere, V., Schaafsma, G., Bouley, C., Luten, J., Latge, C. (1996). Bioavailability of calcium of fresh cheeses, enteral food and mineral water. A study with stable calcium isotopes in young adult women. *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. 2<sup>nd</sup> ed. Vol.1. Recommendation. World Health Organization, Geneva.
- WHO. (1996). Guidelines for drinking-water quality. 2<sup>nd</sup> 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. Toxicol. 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. Hypertens.* 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. Toxicol. 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. Toxicol. Environ. Health, Part A*, 60: 231-241.
- Yang, Ch.Y., Chiu, H.F., Chang, Ch. Ch., Wu, T.N., Sung, F.Ch. (2002). Association of very low birth weight with calcium levels in drinking water. *Environ. Research, Section A* 89: 189-194.

- 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.
- Zeighami, E.A., Morris, M.D., Calle, E.E., McSweeny, P.S., Schuknecht, B.A. (1985). Drinking water inorganics and cardiovascular disease: a case-control study among Wisconsin farmers. Chapter XIV In: Calabrese EJ, Tuthill RW, Condie L (eds). *Inorganics in Drinking Water and Cardiovascular Disease (Advances in Modern Environmental Toxicology, vol. IX)*. Princeton, NJ, Princeton Scientific Publishing; 135-158.
- Zýka, V. (1975). Chemismus pitné vody a výskyty rakovinného onemocnění. *Geologický průzkum* 17: 269-275.