

VLIV TVRDOSTI VODY NA ZDRAVÍ OBYVATEL A MOŽNOSTI REKARBONIZACE

THE IMPACT OF WATER HARDNESS ON HUMAN HEALTH AND RECARBONIZATION OPTIONS

Jan Bartoň¹, Nina Beňová², Veronika Cvečková², Patrik Čermák², Stanislav Rapant²

¹RNDr. Jan Bartoň, Podstránská 16, 627 00 Brno, Czech republic; honzabarton@seznam.cz

²Department of Geochemistry, Faculty of Natural Sciences, Comenius University Bratislava

Abstrakt: V rámci projektů LIFE, které byly podporovány finančním nástrojem EU LIFE a MŽP SR, byl sledován zdravotní stav obyvatel v souvislosti s tzv. tvrdostí vody. Různými metodami (hlavně měřením pružnosti cév – tedy arteriálního věku) byla zjištěna významná statistická závislost mezi zdravotním stavem obyvatelstva a deficitem tvrdosti pitné vody. Ve tvrdostně deficitních oblastech byla potvrzena zvýšená úmrtnost na kardiovaskulární a onkologické onemocnění a diabetes. Dále byly v oblastech s měkkou vodou zjištěny neobvykle vysoké počty onemocnění Downovým syndromem, dětskou mozkovou obrnou a epilepsií (Beňová, 2024).

Na základě těchto zjištění bylo přistoupeno k pokusům se ztvrdzováním vody ve tvrdostně deficitních oblastech Slovenska – tedy tzv. proces rekarbonizace vod. Následně pokračovalo sledování zdravotního stavu obyvatel po rekarbonizaci po němž bylo zjištěno, že dochází k významnému navyšování arteriálního věku, jakožto jednoho z indikátorů kvality života, resp. délky dožití a výskytu závažných onemocnění.

Abstract: Within the framework of the LIFE projects, supported by the EU LIFE financial instrument and the Ministry of the Environment of the Slovak Republic, the health status of the population was monitored in relation to water hardness. Using various methods, primarily measurements of arterial stiffness (i.e., arterial age), a statistically significant relationship was identified between the health status of the population and deficiencies in the hardness of drinking water. In areas with insufficient water hardness, increased mortality associated with cardiovascular diseases, cancer, and diabetes was confirmed. Furthermore, unusually high incidences of Down syndrome, cerebral palsy, and epilepsy were observed in regions supplied with soft water (Beňová, 2024).

Based on these findings, experiments involving the hardening of water in hardness-deficient regions of Slovakia were initiated through the process known as water recarbonization. Monitoring of the population's health status continued after the recarbonization process, and the results indicated significant improvements in arterial age, one of the indicators of quality of life, life expectancy, and the occurrence of serious diseases.

Klíčová slova: tvrdost vody, arteriální věk, zdravotní stav obyvatel, rekarbonizace

Key words: water hardness, arterial age, population health status, recarbonization

1. Tvrdost vody v legislativních předpisech

Tvrdost vody se odvíjí od geologické skladby horniny, kterou voda prosakuje. Z tohoto důvodu se obsah minerálů ve vodě v jednotlivých oblastech může výrazně lišit. Tvrdost vody je primárně dána koncentracemi iontů vápníku a hořčíku. Jedná se o jediné ukazatele, kde Vyhláška 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, uvádí jejich minimální koncentrace (v případě ostatních ukazatelů se jedná o maximální koncentrace).

Tvrdost vody může být trvalá a přechodná. Trvalá tvrdost zahrnuje rozpuštěné chlority, sulfidy, nitráty, a silikáty. Přechodná obsahuje rozpuštěný $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (hydrogenuhličitan vápenatý). Po jeho vysrážení vzniká CaCO_3 (uhličitan vápenatý), známý také jako vodní kámen. Přechodnou tvrdost vody lze, narozdíl od tvrdosti trvalé, odstranit varem. Hodnoty tvrdosti vody se obvykle udávají v mmol/l, přičemž pro celkovou tvrdost se ze zdravotního hlediska doporučuje molární koncentrace 2 – 3,5 mmol/l.

Vápník i hořčík jsou běžnou přirozenou součástí všech vod a jsou hlavní součástí tzv. tvrdosti vody čili čím je jejich obsah vyšší, tím je voda tvrdší. Obsah vápníku se obvykle pohybuje od desítek do stovek mg/l, obsah hořčíku je nižší, zpravidla jednotky až desítky mg/l. V § 3, odst. 1 Vyhl. 252/2004 Sb. je uvedeno, že „Pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví.“ A zároveň že „U surových nebo pitných vod, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku, nesmí být po úpravě obsah hořčíku nižší než 10 mg/l a obsah vápníku nižší než 30 mg/l.“ Doporučené hodnoty podle § 3 odst. 1 zákona č.

258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů jsou v případě hořčíku 20–30 mg/l a v případě vápníku 40–80 mg/l.

2. Vliv tvrdosti vody na zdraví obyvatel

Zdravotní přínos určitého obsahu Ca a Mg v pitné vodě byl znám hygienikům i vodo hospodářům již od konce 60. let, a to především díky populárnímu sloganu jednoho z prvních průkopníků výzkumu v této oblasti H. A. Schroedera: „Čím tvrdší voda, tím měkčí arterie“. Aktuálnost tohoto zjištění stoupá úměrně s rozmachem technologických metod úpravy vody, které obsah vápníku a hořčíku buď významně snižují nebo se snaží jejich účinek eliminovat. 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 [5; upraveno dle 11].

Právě H. A. Schroeder prokázal vztah mezi úmrtností na kardiovaskulární onemocnění u mužů ve věku 45–64 let a tvrdostí vody v 163 největších městech USA [27]. Tvrdé cévy jsou totiž málo elastické, neschopné odolávat doprovodným stresovým faktorům kardiovaskulárních onemocnění. Měkčí voda tedy způsobuje kornatění cév, což má za následek zvýšenou pravděpodobnost kardiovaskulárních onemocnění, negativní účinky na ledviny, endokrinní (poruchy funkce štítné žlázy) a muskuloskeletární systém (osteoporóza, křeče), neurologické a vývojové účinky (nízká váha novorozenců) či rakovina prsu.

Epidemiologické studie, provedené v 70. a především v 80. letech 20. století, potvrzovaly hypotézu, že hlavní protektivní účinek má obsah hořčíku ve vodě, zatímco vápník působí proti vzniku kardiovaskulárních onemocnění jen podřídně [11].

Jak je uvedeno v Hygienickém minimu pro pracovníky ve vodárenství [13], určitý obsah vápníku a hořčíku ve vodě snižuje riziko úmrtnosti na srdečně-cévní choroby jako je infarkt myokardu, ischemická choroba srdeční apod. Jak ukazují epidemiologické studie provedené v posledních 15 letech, tvrdá voda je ochranným faktorem, resp. měkká voda rizikovým faktorem nejen vůči kardiovaskulárním nemocem, ale i některým jiným chorobám. Nízký obsah vápníku ve vodě byl spojen s vyšším výskytem některých neurologických poruch ve stáří, vysokého krevního tlaku a zlomenin kostí u dětí. Nízký obsah hořčíku v pitné vodě znamenal zvýšené riziko těhotenských komplikací (tzv. preeklamsií), poruch motorických nervů a rovněž vysokého krevního tlaku. Řada studií z Taiwanu naznačuje, že voda o optimální tvrdosti může být důležitým ochranným faktorem proti vzniku některých druhů nádorů.

Vztah mezi tvrdostí vody a četností výskytu cévních onemocnění poprvé v literatuře popsal japonský chemik J. Kobayashi v roce 1957 [10], když na základě epidemiologického rozboru ukázal, že úmrtnost na mozkové 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 [11].

Crawford [3] sledoval změny vývoje úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění 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 kardiovaskulární onemocnění 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 %. Nízký příjem Ca a Mg pitnou vodou se zdá být jedním z rizikových faktorů vzniku amyotrofické laterální sklerózy [31], vyšší obsah těchto prvků ve vodě může protektivně působit proti vzniku zubního kazu a onemocnění parodontu i tam, kde je obsah fluoridů nízký [28].

F. Kožíšek [11] dále uvádí: 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 [29]. 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 [24]. Reálnost tohoto vztahu podporuje existence důkazů o tom, že nedostatek vápníku může způsobit vysoký arteriální tlak (hypertenzi). 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 [30]. Studie zjistily protektivní účinek hořčíku vůči mozkové-cévním chorobám a hypertenzi, tvrdosti vody vůči kardiovaskulárním onemocněním, rakovině jícnu, slinivky, rekta, prsu, tlustého střeva a žaludku.

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 [6; 9; 17]. U hořčíku i vápníku až o 60 %. Naopak vařením ve tvrdé vodě se ztráty minimalizují, u vápníku může dojít dokonce i k obohacení vařené potravin. Kožíšek [11; 12] tímto

zjištěním vysvětluje skutečnost, jak relativně malý příspěvek vody na celkovém denním příjmu hořčíku (obvykle méně než 10 %) může být příčinou až 30% snížení úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění [15; 16].

Zdravotní stav lidí závisí na více faktorech, mezi které patří:

- životní styl (cca 50 %)
- úroveň/dostupnost zdravotnictví (10–20 %)
- genetické faktory (10–20 %)
- životní prostředí (cca 20 %)

Za předpokladu, že jsou první tři faktory přibližně stejné, má životní prostředí, hlavně charakter geologického prostředí – chemické složení půd, a zejména chemické složení podzemních/pitných vod, větší než 20% podíl na zdravotním stavu obyvatelstva [19].

Nejpříznivějším geologickým prostředím z hlediska lidského zdraví jsou karbonáty, nejméně příznivé silikáty (deficit Ca+Mg – granitoidy, krystalické břidlice, vulkanické horniny). Geologické prostředí lze na základě vlivu na zdraví řadit následovně (řazeno od nejpříznivějšího prostředí pro život k nejnepříznivějšímu):

- Flyšový paleogén – starší třetihory – 23–66 mil. let (např. Chřiby)
- Druhohorní horniny – 66–252 mil. let (např. Pálava, Česká křídová pánev)
- Neogenní horniny – 3–23 mil. let (např. Vídeňská pánev)
- Kvartérní sedimenty – 0–3 mil. let
- Paleozoikum (prvohory) – 252–541 mil. let
- Krystalinikum (hlavně žula – např. Vysočina)
- Neovulkanity (sopky, např. čediče, trachyty)

3. Informace o projektech LIFE

Vztah mezi koncentrací Ca a Mg v pitné vodě a jejich vlivem na lidské zdraví byl v SR za posledních 12 let sledován ve třech evropských projektech financovaných v rámci programu LIFE:

- LIFE 10 ENV/CS/000086 (GEOHEALTH)
- LIFE 12 ENV/CS/000094 (LIFE FOR KRUPINA)
- LIFE 17 ENV/CS/000036 (LIFE – WATER and HEALTH)

Projekt GEOHEALTH potvrdil, že koncentrace Ca a Mg v pitné vodě představují nejdůležitější prvky pro lidské zdraví a jejich vliv je více než stokrát vyšší než koncentrace potenciálně toxických prvků nebo dusičnanů [18].

V projektu LIFE FOR KRUPINA bylo potvrzeno, že nízká koncentrace Ca a Mg v pitné vodě má negativní vliv na kardiovaskulární systém obyvatel. Tento vliv byl potvrzen měřením pružnosti cév a následným stanovením arteriálního věku, který byl výrazně vyšší (nepříznivější) u obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou, tedy vodou s nízkým obsahem Ca a Mg [20].

Sledování zdravotního stavu obyvatel bylo prováděno v 79 okresech a 2 833 obcích. Součástí bylo sledování zdravotního stavu za pomoci dotazníků a měření pružnosti cév (arteriálního věku). Měření pružnosti cév prokázalo výrazně horší stav cév u těch lidí, kteří žijí v obcích zásobovaných měkkou pitnou vodou s nízkými obsahy Ca a Mg. Arteriální věk byl v průměru vyšší než skutečný věk testovaných respondentů téměř o 5 let v porovnání s kontrolní skupinou lidí zásobovaných tvrdší pitnou vodou s vyšším obsahem Ca a Mg.

V rámci projektu byly vytvořeny dvě skupiny obcí, zásobované vodou s různou tvrdostí. První skupina obcí s měkkou vodou (MV) zahrnovala 52 676 obyvatel a druhá skupina obcí s tvrdou vodou (TV) zahrnovala 53 118 obyvatel. Pro srovnání byla použita celá SR, ze které byly odstraněny obce s méně než 100 obyvateli. Celoslovenské průměrné hodnoty představují průměr z 2 762 obcí a tedy 5,39 milionu obyvatel.

Arteriální věk respondentů zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou byl o 2,23 roku horší než skutečný věk. Arteriální věk respondentů zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou byl o 16,49 roku horší než skutečný věk.

Největší rozdíly v počtu úmrtí byly pozorovány v případech oběhové soustavy. Skupina obcí MV 6 564 úmrtí a skupina obcí TV 3 235 úmrtí. Překvapující jsou zejména zjištěné údaje o infekčních chorobách, chorobách trávicí a dýchací soustavy. Autoři si to vysvětlují tak, že zejména Mg je důležitý pro imunitní systém. Dále se jedná zejména o ischemické choroby srdeční (1 390 – 2 525) a akutní infarkt myokardu (317–880). Největší rozdíl v relativní úmrtnosti (přepočet na 100 000 obyvatel) byly pozorovány v případech nemoci aortální chlopně (20,2× vyšší v případě MV), dále dětské mozkové obrny (17× vyšší v případě MV) a akutní selhání ledvin (12,5× vyšší v případě MV ve srovnání s TV).

Střední délka života v obcích, které jsou zásobovány „měkkou“ pitnou vodou je o 4–5 let kratší než v obcích, které jsou zásobovány „tvrdou“ pitnou vodou [22].

Výsledky biomonitoringu potvrdily nepříznivý vliv deficitních obsahů Ca (< 25 mg/l) a Mg (< 10 mg/l) v geologickém prostředí, zejména v podzemních pitných vodách, na zdravotní stav obyvatelstva. Na zhoršení zdravotního stavu se podílí zejména zvýšený výskyt kardiovaskulárních a onkologických onemocnění a onemocnění žláz s vnitřním vylučováním (zejména cukrovka). Výsledky rovněž naznačují, že deficitní obsah Ca a Mg v pitné vodě se výrazně podílí na zvýšené úmrtnosti i na trávicí a dýchací soustavu.

Tab. 1 *Statistické parametry naměřených respondentů ve skupině obcí „měkká“ a „tvrdá“ voda*
 Tab. 1 *Statistical parameters of the respondents measured in the “soft water” and “hard water” municipality groups*

Statistické parametry	„Tvrdá“ voda				„Měkká“ voda			
	Nenince, Dolné Vestenice, Trenčianska Turná [n = 100] ³				Devičie, Kokava nad Rimavou [n = 102] ³			
	Aktuální věk	Arteriální věk	Rozdíl	PWVao ²	Aktuální věk	Arteriální věk	Rozdíl	PWVao ²
	[roky]				[roky]			
Průměr	39,77	42	+2,23	7,96	47,40	+63,82	16,49	9,69
Medián	28	41,5	+2	7,8	49	+68	16	9,75
PWVao ⁴ > 10 m/s	7				35			

¹rozdíl se vypočítá jako arteriální věk minus skutečný věk, přičemž kladné hodnoty znamenají, že arteriální věk je vyšší než skutečný věk (tj. horší stav tepen) a naopak

²rychlost pulzní aortální vlny

³počet respondentů

⁴počet respondentů s patologickým výsledkem

4. Možnosti řešení

V rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH bylo potvrzeno, že pružnost cév a arteriální věk lidí zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou se výrazně zlepšuje, pokud je pitná voda obohacována o Ca a Mg. Arteriální věk lidí, kteří začali pít remineralizovanou pitnou vodu se zlepšil v průměru o 10 let. Také bylo potvrzeno v rámci řešení tohoto projektu, že zdravotní stav lidí zásobovaných pitnou vodou s vyšším obsahem Ca a Mg je výrazně lepší než u obyvatel, kteří jsou zásobováni pitnou vodou s nízkým obsahem Ca a Mg. Nebyla zjištěna ani jedna z diagnóz uvedená v Mezinárodní klasifikaci nemocí, při které je úmrtnost obyvatel zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou vyšší než u obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou. Naopak v případě „tvrdé“ pitné vody byla úmrtnost vždy nižší než v případě „měkké“ vody [4].

Na základě výsledků bylo zjištěno, že jelikož hodnoty obsahu Ca a Mg v pitné vodě velmi výrazně ovlivňují zdravotní stav lidí, měly by být limitovány ve WHO standardech pro pitnou vodu.

Návrh mezních hodnot prvků ovlivňujících lidské zdraví v pitné vodě byl zpracován na základě matematicko-statistické analýzy vztahu mezi kvalitou/chemickým složením pitných vod a zdravotním stavem obyvatelstva. Doporučené hodnoty Ca a Mg v pitných vodách pro hromadné zásobování byly stanoveny jako optimální (příznivé) pro lidské zdraví:

Tab. 2 *Návrh koncentrací Ca a Mg (limitní hodnoty) v pitné vodě*
 Tab. 2 *Proposed concentrations of Ca and Mg (limit values) in drinking water*

Parametr	Minimální koncentrace	Optimální (doporučené) hodnoty
Ca [mg/l]	> 30	50–100
Mg [mg/l]	> 10	25–50
Tvrdost vody /Σ Ca + Mg/ [mmol /l]	> 1,2	2,0 – 4,5

Je důležité, aby obsah Ca a Mg ve vodě byl hlavně ve formě hydrogenuhličitanů, a ne ve formě chloridů, síranů nebo dusičnanů. S těmito navrhovanými optimálními hodnotami Ca, Mg a tvrdosti vody se lidé na Slovensku a v jiných evropských zemích dožívají nejdéle a mají nejnižší incidenci/mortalitu na kardiovaskulární, onkologická a jiná onemocnění. V případě balené pitné vody (kde neexistují žádná technologická omezení, jako je tvorba vodního kamene v potrubí, ohřivačích vody, pračkách, myčkách nádobí atd.), lze doporučit, aby koncentrace Ca byla > 50 mg/l a Mg > 30 mg/l.

Technologická opatření ke zvýšení obsahů Ca a Mg v pitných vodách – přidávání karbonatické horniny (dolomit, vápenec, polovypálený dolomit) do individuálních vodních zdrojů (studní) v množství cca 100 kg. Případně je možno dávkovat vápenné mléko. V rámci projektu se ukázalo jako nejvhodnější řešení použití polovypáleného dolomitu (PVD).

Ve 2 obcích byla obohacována pitná voda o Ca a Mg. Nárůst Mg byl o 10–14 mg/l a nárůst Ca o 8–12 mg/l. Měření pružnosti cév byly realizovány přibližně v šestiměsíčních intervalech. V obou obcích došlo k výraznému zlepšení kardiovaskulárního systému lidí. Zlepšení je pozorováno i v případě rychlosti pulzní vlny a také v poklesu arteriálního věku lidí. Na základě dosažených výsledků bylo potvrzeno, že obsah Ca a Mg v pitné vodě má signifikantní vliv na pružnost cév, tedy na kardiovaskulární systém lidí. Čím je obsah těchto prvků v pitné vodě vyšší, tím je lepší i jejich kardiovaskulární systém.

Tab. 3: Výsledky měření pružnosti cév respondentů v obcích Devičie a Kokava nad Rimavicou

Tab. 3: Results of vascular elasticity measurements in respondents from the municipalities of Devičie and Kokava nad Rimavicou

Etapa měření	Bez náhradních respondentů				S náhradními respondenty			
	n	PWV _{ao}	AV	Rozdíl	n	PWV _{ao}	AV	Rozdíl
I. etapa (5/2021)	107	9,78	65,17	16,68	107	9,78	65,17	16,68
II. etapa (12/2021)	93	9,44	61,69	14,24	100	9,50	62,47	14,60
III. etapa (6/2022)	88	9,19	58,91	10,48	98	9,23	59,15	11,35
IV. etapa (12/2022)	100	8,85	54,75	4,89	114	8,94	55,70	5,13

n – počet respondentů

PWV_{ao} – rychlost pulzní vlny

AV – arteriální věk

Rozdíl – rozdíl arteriálního a skutečného věku

Z tabulky je velmi dobře patrné velmi rychlé snižování rozdílu arteriálního a skutečného věku po ztvrdnutí pitné vody polovypáleným dolomitem v obci Devičie, kde můžeme pozorovat snížení rozdílu o cca 12 let během roku a půl ztvrdnutí vody. Poprvé ve světové literatuře tak bylo potvrzeno, že pružnost cév obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu obohacenou o Ca a Mg, se zlepšuje.

5. Závěry

Závěry projektu jsou ve shodě s tvrzením F. Kožíška [11]: 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. Adaptaci se zde však nemyslí přizpůsobení se organismu vodě nevhodného složení, ale doba, během které se nevhodné složení vody může projevit zdravotní poruchou organismu spotřebitele [25].

Zde je také vhodné upozornit na 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.

Významným faktorem příjmu vápníku a hořčíku je jejich biodostupnost. Ve vodě jsou prvky přítomny převážně ve volném iontovém stavu, a proto se ve většině případů vstřebávají z vody mnohem lépe než z potravy, kde jsou většinou vázány na různé jiné látky [12]. 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 % [6; 16; 26]. Pitná voda je také relativně výhodnějším zdrojem Mg a Ca než potrava, protože se stoupající dávkou klesá obecně vstřebaný podíl těchto prvků [2; 26]. Meta-analýza provedených studií, publikovaných v letech 1966–1998, dokonce ukázala, že vstřebávání vápníku z minerální vody je statisticky významně vyšší než z mléčných produktů [2].

Důležitý je rovněž poměr vápníku a hořčíku v pitné vodě. Obecně je uváděn jako vhodný poměr Mg a Ca 1:2 [7; 8], což je důležité pro optimální vstřebávání hořčíku, jelikož se vzrůstajícím podílem vápníku klesá vstřebávání hořčíku.

Jak uvádí F. Kožíšek [11], neexistuje žádný určitý důkaz, že by zvýšená tvrdost pitné vody byla příčinou nepříznivých zdravotních účinků na člověka. 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. Specifickým problémem se však stává tvrdost u teplé vody. Když voda obsahuje hydrogenuhličitany, dojde při zahřívání k odstranění CO₂ a změně hydrogenuhličitanu 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 a teplé užitkové vody odstraňuje. Jiná situace však nastává, má-li být změkčena i pitná voda. V případě změkčování vody pro technologické účely v domovech (z důvodu eliminace zanášení potrubí, bojlerů či varných nádob vodním kamenem) je vhodné vést do kuchyně (nebo tam, kde se voda odebírá na pití a vaření) odbočku potrubí s vodou nezměkčenou, resp. tvrdou.

V rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH bylo prokázáno, že zdravotní stav obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu se zvýšeným obsahem Ca a Mg, se postupně zlepšuje. Došlo k signifikantnímu zlepšení jejich kardiovaskulárního systému. Statistická analýza také potvrdila nejvyšší vliv obsahu Ca a Mg v pitné vodě na pružnost cév, který byl větší než vliv BMI, konzumace alkoholu a kouření.

Na základě pilotního testování bylo prokázáno, že je možné vyrobit poměrně jednoduché rekarbonizační zařízení pro obohacování pitné vody o Ca a Mg. Takové zařízení lze umístit i na dalších vodních zdrojích s nízkým obsahem Ca a Mg. Provozní náklady na obohacování nízkomineralizované vody se pohybují na úrovni 0,1 € na m³ vyrobené vody.

Seznam literatury

- [1] Beňová, N. (2024): *Detailná charakteristika zdravotného stavu obyvateľov SR v závislosti od obsahov Ca a Mg v pitnej vode*, Diplomová práca, Univerzita Komenského v Bratislave – Prírodovedecká fakulta. Bratislava.
- [2] 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.
- [3] Crawford, M.D., Garner, M.S., Morris, J.N. (1971). *Changes in water hardness and local death rates*. *Lancet* 2: 327-329.
- [4] Cvečková, V., Rapant, S. (2022): *Improvement of health status of population of the Slovak Republic through drinking water re-carbonization*. Monograph. Comenius University in Bratislava, 80 p., ISBN 978-80-223-5488-2. In Slovak.
- [5] Das, G. (1988). *You and your drinking water: health implications for the use of cation exchange water softeners*. *J. Clin. Pharmacol.* 28: 683-690.
- [6] Durlach, J. (1988). *The importance of magnesium in water*. In: Durlach J. (ed). *Magnesium in Clinical Practice*. London, John Libbey & Co Ltd; 221-222.
- [7] Durlach, J. (1989). *Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA*. *Magnes. Res.* 2: 195-203.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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 Okayama University* 11: 12-21.
- [11] Kožíšek, F. (2000a): *Zdravotní význam „tvrdosti“ pitné vody*. Státní zdravotní ústav, Praha.
- [12] Kožíšek, F. (2000b). *Zdravotní rizika pití demineralizované vody*. Výzkumná zpráva. SZÚ, Praha.
- [13] Kožíšek, F., Kos J., Pumann P. (2007): *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství. Učební pomůcka pro získání znalostí nutných k ochraně veřejného zdraví z hlediska prevence nemocí způsobených vodou*. Státní zdravotní ústav, Praha.
- [14] Kožíšek, F. (2020): *Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states*. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 112, 104589.
- [15] Marx, A., Neutra, R.R. (1997). *Magnesium in drinking water and ischemic heart disease*. *Epidemiol. Rev.* 19: 258-272.
- [16] Neutra, R.R. (1999). *Epidemiology vs Physiology? Drinking water magnesium and cardiac mortality*. *Epidemiology* 10: 4-6.
- [17] 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.
- [18] Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Sedláková, D. a Stehliková, B. (2017): *Impact of Calcium and Magnesium in Groundwater and Drinking Water on the Health of Inhabitants of the Slovak Republic*. *Inter. J. of Environmental Research and Public Health*,14, 278.

- [19] Rapant, S. (2018): *Eliminácia negatívneho vplyvu geologickej zložky životného prostredia na zdravotný stav obyvateľstva okresu Krupina. Laická správa. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.*
- [20] Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Hajdúk, I., Hiller, E., Stehlíková, B. (2019): Hard Water, More Elastic Arteries: A Case Study from Krupina District, Slovakia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 1521; doi:10.3390/ijerph16091521.
- [21] Rapant, S., Cvečková, V., Hiller, E., Jurkovičová, D., Kožíšek, F., Stehlíková, B. (2020): *Proposal of New Health Risk Assessment Method for Deficient Essential Elements in Drinking Water—Case Study of the Slovak Republic.* *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 5915; doi:10.3390/ijerph17165915
- [22] Rapant, S., Letkovičová, A., Jurkovičová, D., Kosmovský, V., Kožíšek, F., Jurkovič, L. (2021): *Differences in health status of Slovak municipalities supplied with drinking water of different hardness values.* *Environ Geochem Health*, 43, 2665–2677 (<https://doi.org/10.1007/s10653-020-00664-6>).
- [23] Rapant, S., Cvečková, V., Čermák, P. (2022): *Enrichment of drinking water with Ca and Mg by a fluidized bed recarbonization reactor: a case study of Devičie, Slovak Republic.* *Journal of Water and Health* Vol 20 No 4, 630 doi: 10.2166/wh.2022.252.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Schroeder, H.A. (1960). *Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies.* *JAMA* 172: 1902-1908.
- [28] Skljar, V.E., Kosenko, K.H., Klimenko, V.G. (1987). *Vliv různých koncentrací fluoru, vápníku a hořčíku v pitné vodě na výskyt onemocnění zubů a tkání parodontu.* *Gig. Sanit.* No.8/1987: 21-23.
- [29] 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.* *An. Esp. Pediatr.* 37: 461-465.
- [30] 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.
- [31] 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.