

Vliv tvrdosti vody na zdraví obyvatel a možnosti rekarbonizace



RNDr. Jan Bartoň

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

Úvod

V rámci projektů LIFE, které byly podporovány 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.

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.

Tvrdost vody v legislativních předpisech

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.*“

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**.

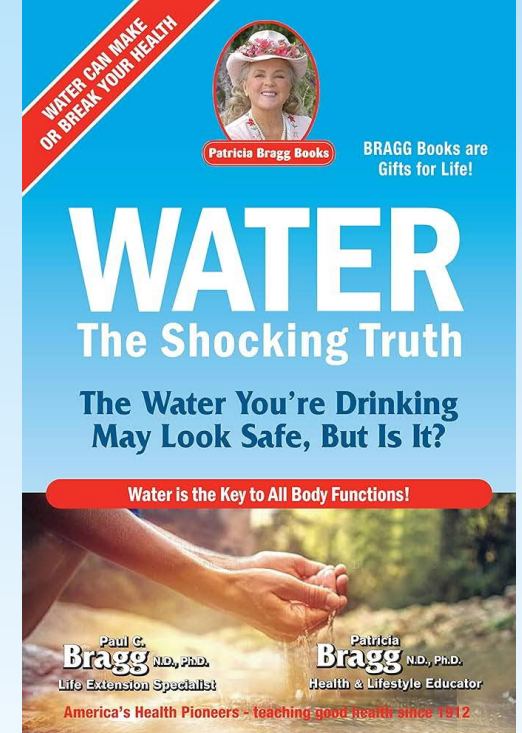
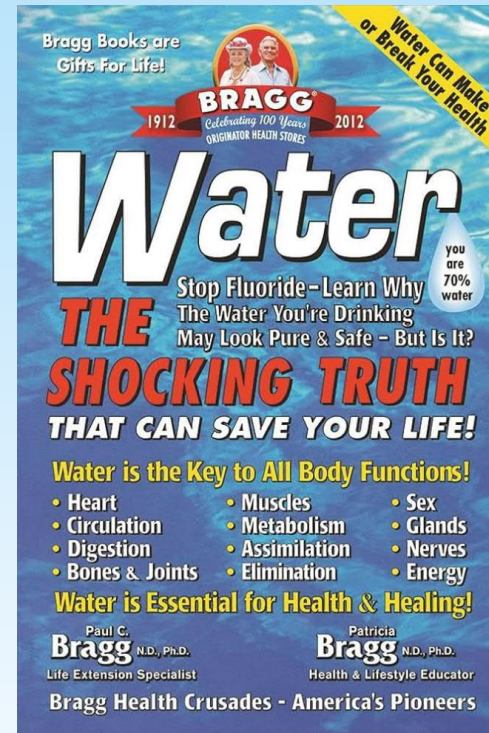
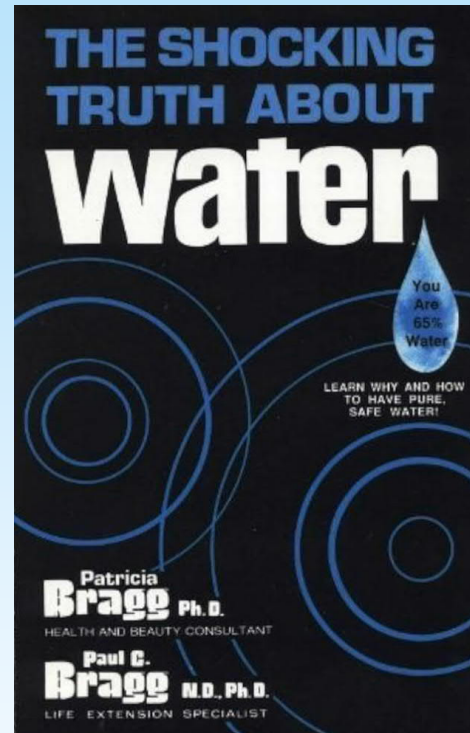
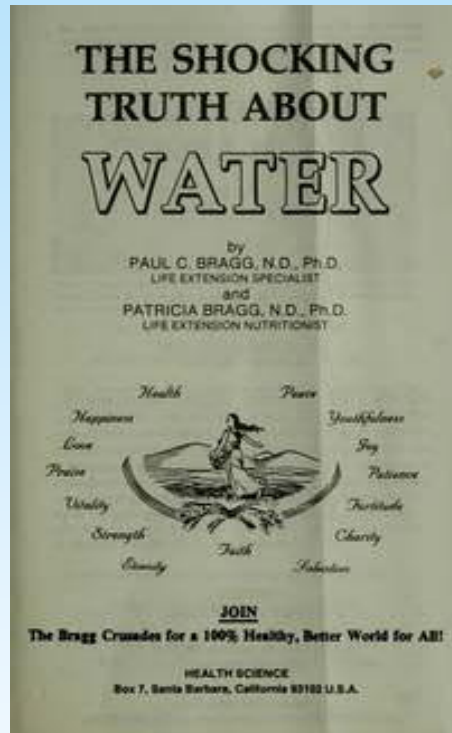
Pro celkovou tvrdost se ze zdravotního hlediska doporučuje molární koncentrace **2 – 3,5 mmol/l**.

Historie vlivu tvrdosti vody na zdraví

- **50. léta:** Japonský chemik J. Kobayashi na základě epidemiologického rozboru prokázal, že úmrtnost na mozkově cévní choroby je vyšší v okolí japonských řek, které mají kyselejší (měkčí) vodu, v porovnání s řekami zásaditějšími (tvrdšími), odkud byla voda využívána pro pitné účely.
- **60. léta:** H. A. Schroeder: „Čím tvrdší voda, tím měkčí arterie“ – prokázal vztah mezi úmrtností na kardiovaskulární onemocnění a tvrdostí vody v 163 největších městech USA. Dále prokázal negativní účinky na ledviny, endokrinní (poruchy funkce štítné žlázy) a muskuloskeletární systém (osteoporóza, křeče), neurologické a vývojové účinky či rakovina prsu.
- **70. léta:** M. D. Crawford sledoval změny vývoje úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění v závislosti na tvrdosti vody v 11 britských městech.
- **80. léta:** Masivní používání změkčovačů v USA (až 40 % domácností) – zjištěn vyšší výskyt hypertenze, a to i u dětí, což je spolu se souvisejícím nižším příjmem hořčíku vážný rizikový faktor kardiovaskulárních onemocnění.
- **90. léta:** Řada studií z Taiwanu naznačuje, že voda o optimální tvrdosti může být důležitým ochranným faktorem proti vzniku některých druhů nádorů i ALS.

Protinázory

USA (1970): The Shocking Truth About Water



Vůdčí idea: Každá voda přírodního původu je zdraví škodlivá, protože obsahuje přírodní anorganické látky, a jedinou zdravou vodou je voda destilovaná.

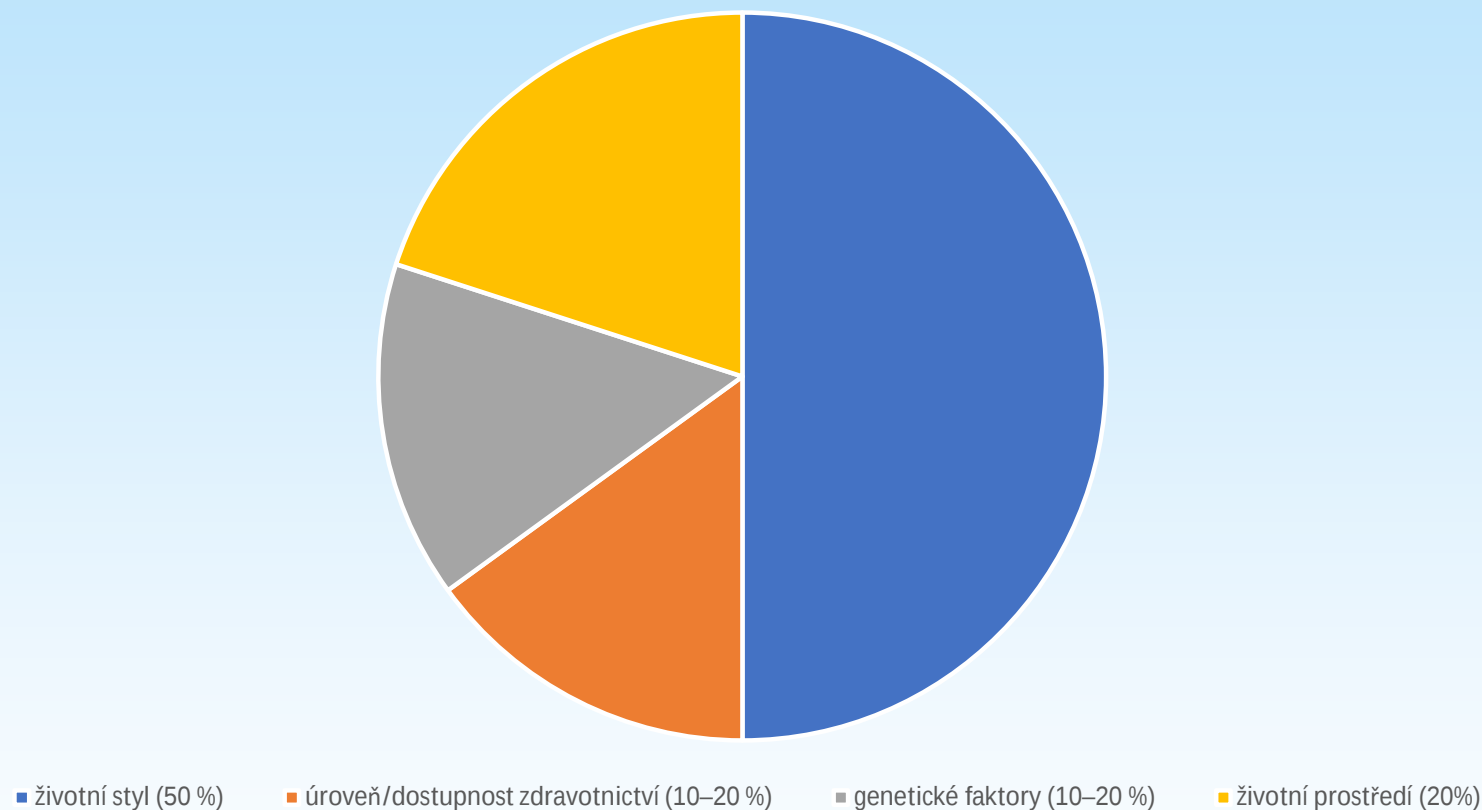
„Aby byl člověk stoprocentně zdravý, musí mít tělo naprosto čisté, bez usazenin anorganických látek, které jsou obsaženy v městské vodě z vodovodu a ve vodě z jezer, řek, studní a pramenů. Anorganické látky znečišťují lidské tělo, způsobují zvápenatění, zanášení a ucpávání cévního systému člověka a oslabují jeho důležité orgány...”

Vliv tvrdosti vody na zdraví

- V ČR: F. Kožíšek, v SR: S. Rapant
- Nízký obsah **vápníku** v pitné vodě = vyšší výskyt některých neurologických poruch ve stáří, vysoký krevní tlak, zlomeniny kostí u dětí.
- Nízký obsah **hořčíku** v pitné vodě = zvýšené riziko těhotenských komplikací, poruch motorických nervů a rovněž vysokého krevního tlaku.
- Vařením v měkké vodě dochází ke značným ztrátám prvků (včetně Mg a Ca) z potravin, především ze zeleniny, ale i z masa a obilovin. U hořčíku i vápníku až o 60 %.
- Vařením ve tvrdé vodě se ztráty minimalizují, u vápníku může dojít dokonce i k obohacení vařené potravin.
- Rapant et al., 2021: Pravidelná konzumace pitné vody s nízkým obsahem Ca a Mg se projevuje zvýšenou incidencí/mortalitou zejména na kardiovaskulární onemocnění, ale také na onkologická onemocnění, diabetes mellitus, onemocnění dýchací a trávicí soustavy a jiné diagnózy. Také 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.

Vliv tvrdosti vody na zdraví

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



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 (Rapant, 2018).

Vliv geologického podloží

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.

Nejpříznivějším geologickým prostředím z hlediska lidského zdraví jsou karbonáty, nejméně příznivé silikáty (deficit $\text{Ca}+\text{Mg}$ – granitoidy, krystalické břidlice, vulkanické horniny).

Geologické prostředí lze na základě vlivu na zdraví řadit následovně (řazeno od nejlepšívho prostředí pro život k nejnejpříznivějšívmu):

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



Další faktory

- **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. Vstřebání hořčíku z potravy ve střevu je okolo 30 %, zatímco z vody cca 40–60 %.
- **Poměr Mg : Ca v pitné vodě:** Obecně je uváděn jako vhodný poměr Mg a Ca 1:2, což je důležité pro optimální vstřebávání hořčíku, jelikož se vzrůstajícím podílem vápníku klesá vstřebávání hořčíku.
- **Tvorba vodního kamene:** Když voda obsahuje hydrogenuhličitany, dojde při zahřívání k odstranění CO_2 a změně hydrogenuhličitanu na uhličitan vápenatý, který se vysráží ve formě tuhého vodního kamene na stěnách varných nádob, trubek a bojlerů. Z těchto důvodů se Ca a Mg z 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.

Projekty 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 (Rapant et al., 2017).

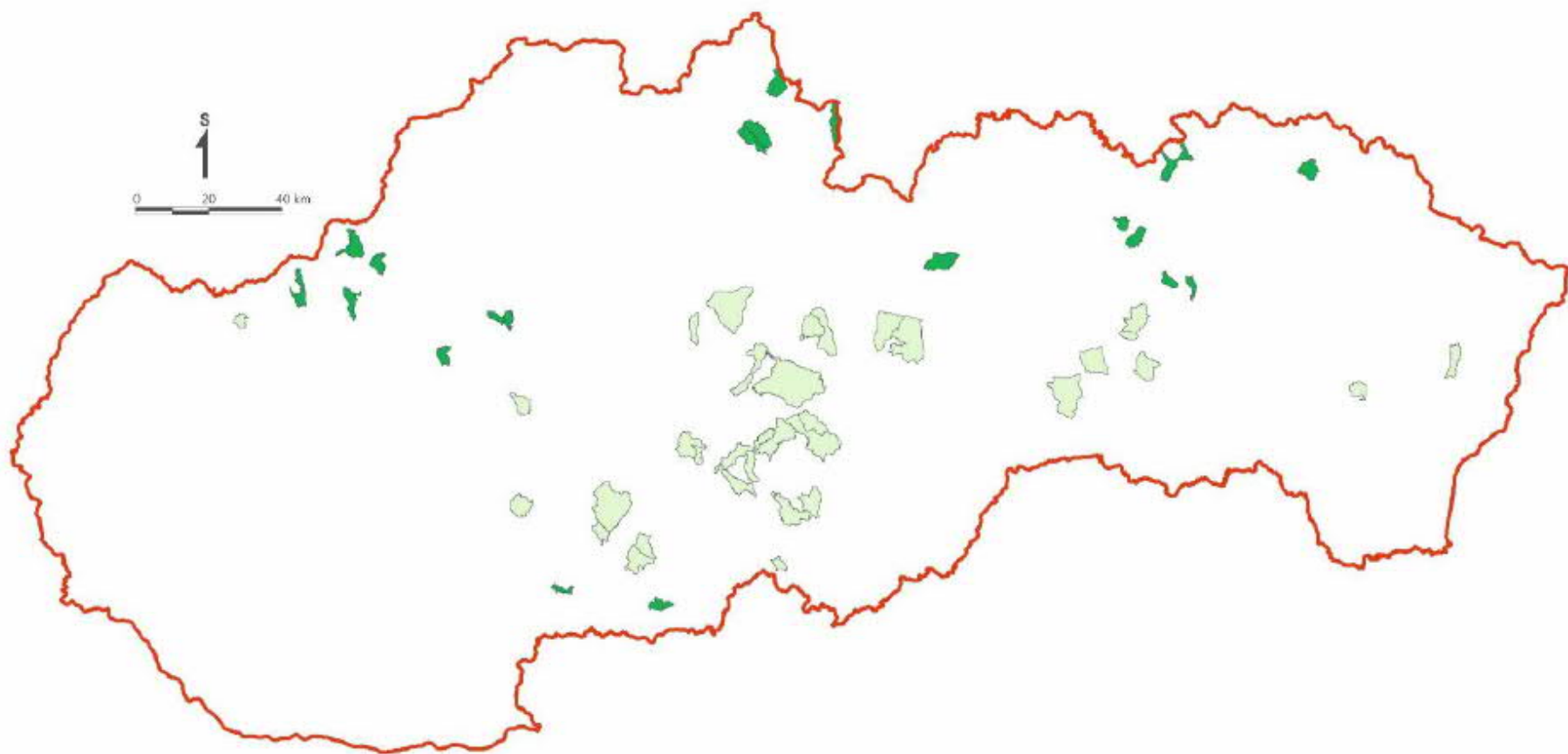
V projektu LIFE FOR KRUPINA bylo potvrzeno, že nízká koncentrace Ca a Mg v pitné vodě má negativní vliv na kardiovaskulární systém obyvatel. Tento vliv byl potvrzen měřením pružnosti cév a následným stanovením arteriálního věku, který byl výrazně vyšší (nepříznivější) u obyvatel zásobovaných „měkkou“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



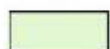
LIFE – WATER and HEALTH

- Sledování zdravotního stavu obyvatel bylo prováděno ve všech 79 okresech a 2 833 obcích (SR má 2 981 obcí).
- Součástí bylo sledování zdravotního stavu za pomoci dotazníků a měření pružnosti cév (arteriálního věku).
- Měření pružnosti cév prokázalo výrazně horší stav cév u lidí, kteří žijí v obcích zásobovaných měkkou pitnou vodou (s nízkými obsahy 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.

LIFE – WATER and HEALTH



skupina obcí s „mäkkou“ vodou



Hiadef, Šumiac, Bravčovo, Bacúch, Pohorelá, Jasenie, Hronec, Čierny Balog, Látky, Detvianska Huta, Podkriváň, Stožok, Víglaš, Litava, Krupina, Litava, Cerovo, Devičie, Pukanec, Prochot, Dobroč, Divín, Rapovce, Kokava nad Rimavicou, Kalinovo, Poltár, Utekáč, Rudník, Rakovec nad Ondavou, Poruba pod Vihorlatom, Čierna Lehota, Kluknava, Kojšov, Mníšek nad Hnilcom, Žakarovce, Smolník

skupina obcí s „tvrdou“ vodou



Nižná, Suchá Hora, Podbiel, Bobrov, Bošáca, Kanianka, Lazany, Dolné Vestenice, Trenčianska Turná, Trenčianska Teplá, Dolná Súča, Dudince, Nenince, Spišská Teplica, Svidník, Gerlachov, Malcov, Torysa, Dubovica, Chminianska Nová Ves, Župčany

LIFE – WATER and HEALTH

Obyvatelé obcí zásobovaní „měkkou“ pitnou vodou měli ve všech případech výrazně horší ukazatele zdravotního stavu a demografického vývoje než obyvatelé obcí zásobovaní „tvrdou“ pitnou vodou v průměru až o 62 %.

Skupina obcí s „měkkou“ pitnou vodou je ve všech zdravotních indikátorech s vysokou statistickou prokazatelností horší než skupina obcí s „tvrdou“ pitnou vodou.

Nejvyšší rozdíly v příčinách úmrtí byly pozorovány v případě diagnóz:

- **akutní infarkt myokardu** – 3,23× více ve skupině obcí „měkká“ voda
- **chronická ischemická choroba srdeční** – 4× více ve skupině obcí „měkká“ voda
- **zhoubný nádor průdušek a plic** – 2,17× více ve skupině obcí „měkká“ voda
- **dětské mozkové ochrnutí** – 17× více ve skupině obcí „měkká“ voda (2 vs. 34)
- **nemoci aortální chlopně** – 20,2× více ve skupině obcí „měkká“ voda
- **akutní selhání ledvin** – 12,5× více ve skupině obcí „měkká“ voda

LIFE – WATER and HEALTH

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.

Výsledky potvrdily výrazné zhoršení zdravotního stavu obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou.

V případě kardiovaskulárních a onkologických onemocnění byla podobná situace zaznamenána v mnoha zemích ve světě.

Výsledky naznačují, že deficitní obsah Ca a Mg v pitné vodě se výrazně podílí na zvýšené úmrtnosti i na trávicí a dýchací soustavu. Ještě výraznější než na kardiovaskulární a onkologická onemocnění.

Štatistické parametre	„TVRDÁ“ VODA				„MÄKKÁ“ VODA			
	Nenince, Dolné Vestenice, Trenčianska Turná [n = 100] ³				Devičie, Kokava nad Rimavicou [n = 102] ³			
	Aktuálny vek	Arteriálny vek	Rozdiel ¹	PWVao ² [m . s ⁻¹]	Aktuálny vek	Arteriálny vek	Rozdiel	PWVao [m . s ⁻¹]
	[roky]				[roky]			
Priemer	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 ⁻¹	7				35			

Návrh mezních hodnot

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, resp. 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:

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

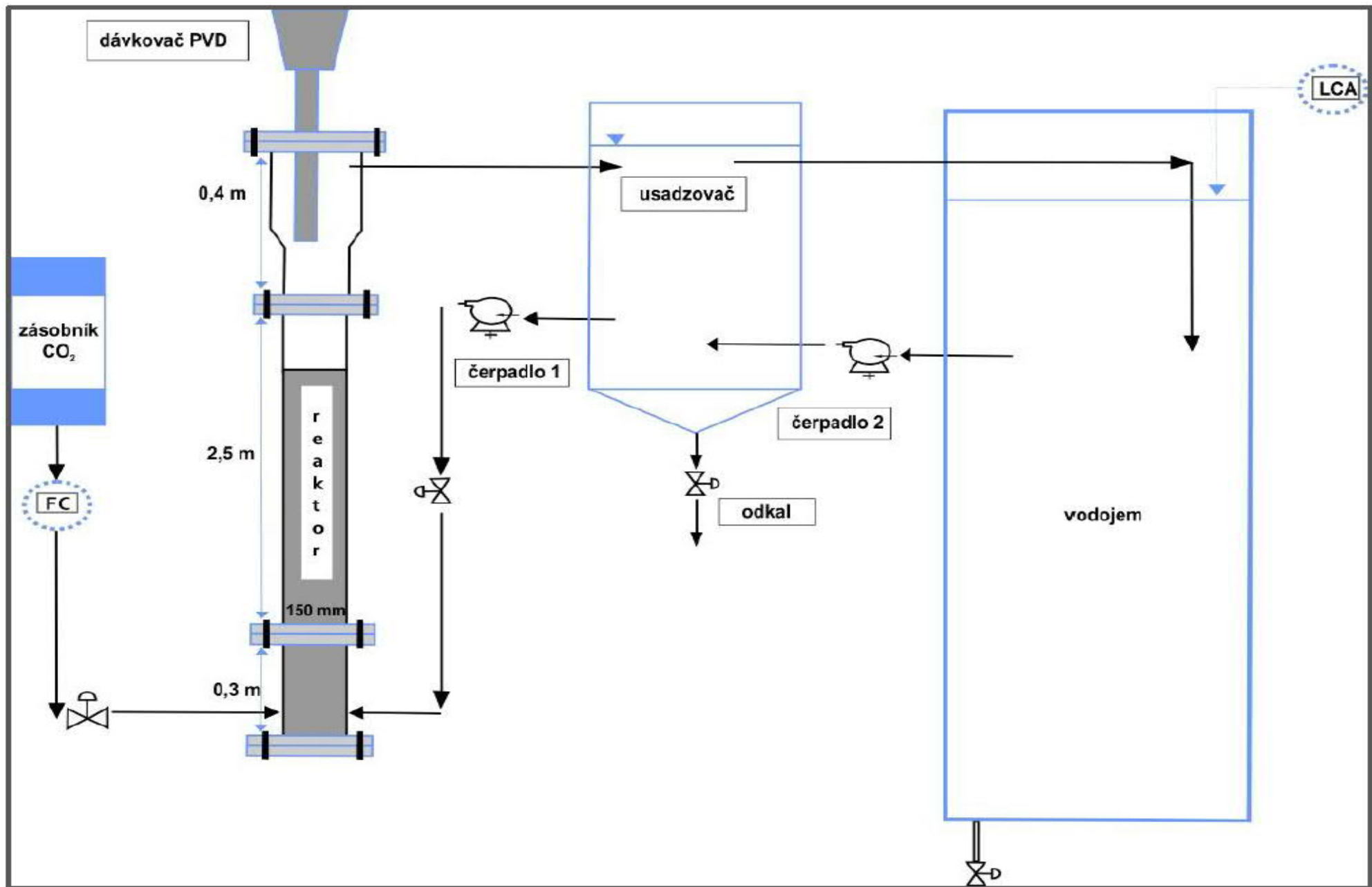
S těmito navrhovanými optimálními hodnotami Ca, Mg a tvrdosti vody se lidé na Slovensku a v jiných evropských zemích dožívají nejdéle a mají nejnižší incidenci/mortalitu na kardiovaskulární, onkologická a jiná onemocnění.

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 (rekarbonizovanou) pitnou vodu se zlepšil v průměru o 10 let.
- 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).
- Z uvedených podmínek procesu vyplývá, že za rok se spotřebuje přibližně 750 kg PVD, přibližně 820 kg CO₂ (tedy 30–40 lahví).

Obohacování vody o Ca a Mg

Schéma rekarbonizačních reaktorů:



Obohacování vody o Ca a Mg

- 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 bylo realizováno přibližně v šestiměsíčních intervalech.
- V obou obcích došlo k výraznému zlepšení kardiovaskulárního systému lidí.
- Zlepšení bylo 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.

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

Z tabulky je patrné velmi rychlé snižování rozdílu arteriálního a skutečného věku po ztvrzování pitné vody polovypáleným dolomitem v obci Devičie, kde můžeme pozorovat snížení rozdílu o cca 12 let během roku a půl ztvrzování vody.

Poprvé ve světové literatuře tak bylo potvrzeno, že pružnost cév obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu obohacenou o Ca a Mg, se zlepšuje.

Závěry

- V rámci projektu 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 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 dosažených výsledků lze doporučit regulování obsahu Ca a Mg v pitné vodě. Jako mezní ukazatele navrhujeme použít hodnoty v současnosti platné jako doporučené hodnoty (Mg > 10 mg/l, Ca > 30 mg/l a tvrdost vody více než 1,1 mmol/l). Jako doporučený obsah navrhujeme pro Ca > 50 mg/l, pro Mg > 25 mg/l a pro tvrdost vody > 1,6 mmol/l. Při takových hodnotách je zdravotní stav lidí na Slovensku v intervalu průměrných hodnot.
- 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 se pohybují na úrovni 0,1 € na m³ vyrobené vody.

Děkuji za pozornost



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

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

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

RNDr. Jan Bartoň

honzabarton@seznam.cz