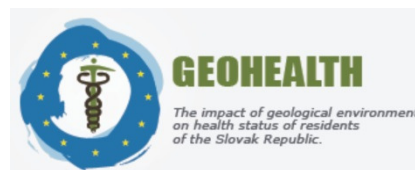




LIFE Project Number
LIFE10 ENV/SK/086

Short Report



LIFE+ PROJECT NAME: "The impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic", Acronym "GEOHEALTH"

Elaboration of limit values for environmental indicators

(Action A5: „Environmental analysis“)

22/09/2015

*S. Rapant, B. Stehlíková, V. Cvečková, K. Fajčíková
(in Slovak)*

ABSTRACT

Based on linking of wide range of chemical elements in soil and groundwater through neural network analysis (ANN), following chemicals having the most significant influence on human health of Slovak population were identified: groundwater contents of Ca, Mg and water hardness (Ca+Mg). Low, deficit contents of these three parameters of chemical composition of groundwater/drinking water have significant influence on increased mortality for cardiovascular and oncological diseases. Both diseases represent decisive cause of deaths in the Slovak Republic (about 75% together).

The elaborated limit values for these environmental indicators for drinking water used for public water supply were defined at following levels: **Ca+Mg = 2 – 6 mmol.l⁻¹, Ca > 40 mg.l⁻¹, Mg = 20 – 60 mg.l⁻¹**. For bottled water we propose limit values for Ca >50 mg.l⁻¹ a Mg > 25 mg.l⁻¹.

Úvod

Limitné hodnoty chemických prvkov v pôdach a podzemných vodách vo vzťahu k zdravotnému stavu obyvateľstva boli určené prepojením environmentálnych a zdravotných indikátorov za pomoci umelých neurónových sietí (ANN). Z relatívne širokej škály hodnotených chemických prvkov v pôdach a podzemných vodách sa na zdravotný stav

obyvateľstva ukázali ako vplyvné len tri parametre chemického zloženia podzemných/pitných vôd, a to obsahy Ca, Mg a „tvrdosti“ vody vyjadrenej ako Ca+Mg (mmol.l⁻¹). Všetky ostatné prvky a to ako v pôdach tak aj v podzemných vodách nevlývajú signifikantne na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky. Obsahy Ca, Mg a „tvrdosti“ vody sa prejavili ako veľmi vplyvné na rozhodujúce príčiny úmrtia na Slovensku, a to na kardiovaskulárne ochorenia – KVO, ktoré predstavujú približne 50 % príčin úmrtí na Slovensku a na onkologické ochorenia – OO, ktoré predstavujú približne 25 % príčin zo všetkých úmrtí na Slovensku. V oboch prípadoch aj KVO aj OO pozorujeme signifikantný nárast príčin úmrtí pri deficitných obsahoch Ca, Mg a „tvrdosti“ vody. Preto sa v ďalšom sústredím len na odvodenie limitných hodnôt Ca, Mg a „tvrdosti“ vody voči KVO a OO.

Výsledky a diskusia

V tabuľke 1 sú vypočítané limitné (minimálne potrebné a maximálne prípustné) a optimálne hodnoty pre Ca, Mg a tvrdosť vody pre relatívnu úmrtnosť na KVO a v tabuľke 2 pre relatívnu úmrtnosť na OO. Výsledky predstavujú výpočty z umelých neurónových sietí (ANN), ktoré boli publikované v práci Rapant et al. (2015), resp. sú uvedené na internetovej stránke www.geology.sk/geohealth.

Vzťah medzi parametrami vody a zdravotnými indikátormi je tým väčší, čím je vyšší koeficient senzitivity S_r . Ako vplyvné prvky vyčleňujeme tie prvky, ktoré majú $S_r > 1$.

Tab. 1 Výsledky výpočtov ANN pre Ca, Mg, Ca+Mg a relatívnu úmrtnosť na KVO

ReI00-I99				<i>priemer SR</i>		<i>765</i>		Hodnotené funkcie závislosti	obsahy	
poradie	prvok	S_r	R2	Limitný obsah		Optimálny obsah			min	max
				DH	HH	DH	HH			
1	Ca+Mg	1.370	0.992	2.90	9.10	4.40	7.60	konvexná parabola	0.35	7.97
2	Ca	1.211	0.999	89.40	neexistuje	50.1	neexistuje	konvexná parabola	9.83	201.01
3	Mg	1.150	0.986	24.30	95.80	42.00	78.10	konvexná parabola	2.45	97.75

Poznámka: S_r – citlivosť, R2 – koeficient determinancie, DH – dolná hranica, HH – horná hranica

Tab. 2 Výsledky výpočtov ANN pre Ca, Mg, Ca+Mg a relatívnu úmrtnosť na OO

ReC00-C97				<i>priemer SR</i>		<i>269.47</i>		Hodnotené funkcie závislosti	obsahy	
poradie	prvok	S_r	R2	Limitný obsah		Optimálny obsah			min	max
				DH	HH	DH	HH			
1	Ca+Mg	1.027	0.895	1.73	5.85	2.23	5.34	konvexná parabola	0.35	7.97
2	Ca	1.013	0.987	60.56	196.84	91.18	166.21	konvexná parabola	9.83	201.01
3	Mg	1.005	0.856	25.66	35.83	25.66	35.83	konvexná parabola	2.45	97.75

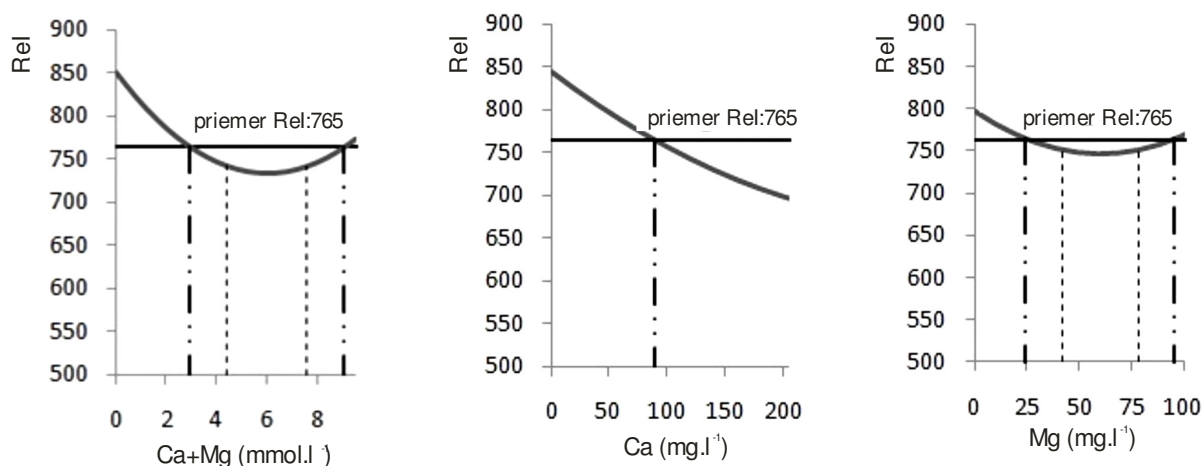
Poznámka: S_r – citlivosť, R2 – koeficient determinancie, DH – dolná hranica, HH – horná hranica

Ako limitné hodnoty boli vyčlenené tie hodnoty, kde krivka namodelovaných hodnôt úmrtnosti na KVO pretína priemernú hodnotu úmrtnosti (765) KVO na určenú ako priemerná hodnota zo všetkých 2883 obcí. V závislosti od tvaru krivky – buď priamka alebo parabola môže vyčleniť buď hornú, resp. dolnú limitnú hodnotu alebo aj hornú aj dolnú limitnú hodnotu.

Spôsob odvodenia limitných hodnôt je uvedený na príklade KVO na obrázku 1.

Pomocou ANN sme odvodili dva druhy limitných hodnôt a to limitné hodnoty a optimálne hodnoty. Limitné hodnoty reprezentujú obsahy pri ktorých je úmrtnosť nižšia ako priemerná hodnota úmrtnosti na Slovensku ($ReI = 765$, $ReC = 269,47$). Optimálne hodnoty predstavujú úmrtnosť nižšiu ako celoslovenský priemer zníženú o štandardnú odchýlku úmrtnosti v prípade konvexnej paraboly.

Obr. 1 Spôsob odvodenia limitných hodnôt



Optimálna hodnota v prípade priamky bola stanovená tak, že priemerná hodnota KVO (765) bola znížená o 10 %. Optimálna hodnota v tomto prípade zastihuje hranicu 40 % príčin úmrtí na KVO.

V tabuľke 3 sú uvedené normované (odporúčané) hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu (NV SR 496/2010 Z. z.).

Tab. 3 Odporúčané hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu

parameter	odporúčaná hodnota
Ca+Mg (mmol.l ⁻¹)	1,1 – 5,0
Ca (mg.l ⁻¹)	> 30
Mg (mg.l ⁻¹)	10 – 30

Poznámka: NV SR 496/2010 Z. z.

Pri porovnaní nami odvodených limitných hodnôt s normovanými hodnotami slovenskej normy pre pitnú vodu vidíme, že nami odvodené limitné hodnoty sú výrazne vyššie (2 – 3 krát). Môžeme teda skonštatovať, že čím sú vyššie obsahy Ca, Mg a tvrdosti vody vo vodách, tým pozorujeme nižšiu úmrtnosť na kardiovaskulárne ale aj onkologické ochorenia. Hlavne aj z konvenčných dôvodov (zanášanie potrubí, práčok) a možnosti negatívnych účinkov na zdravotný stav (iné diagnózy), ktoré rozoberieme neskôr používame pri odvodení limitných hodnôt najnižšie hodnoty nami vypočítaných limitov. Ako už bolo uvedené do úvahy berieme len kardiovaskulárne a onkologické ochorenia.

Keďže úmrtnosť na KVO je v porovnaní s onkologickými ochoreniami približne dvojnásobná, preto pri stanovení definitívnych limitov, kardiovaskulárnym ochoreniam dávame dvojnásobnú váhu. Výsledne hodnoty tak predstavujú vážené priemery KVO a OO. V tabuľke 4 udávame vypočítané limitné hodnoty pre KVO, OO a sumárne.

Tab. 4 Limitné hodnoty pre KVO, OO a návrh priemerných limitných hodnôt

parameter	limit pre KVO	limit pre OO	sumárne hodnoty(KVO+OO)
Ca+Mg (mmol.l ⁻¹)	2,9 – 7,6	1,73 – 5,34	2,5 – 6,8
Ca (mg.l ⁻¹)	> 50,1	> 60	> 53,5
Mg (mg.l ⁻¹)	24,3 - 78	25,66 – 35,83	24,56 – 64,1

O skutočnosti, že pitná voda je zdrojom esenciálnych (pre život nevyhnutných) prvkov ako Ca a Mg sa vedelo už v prvej polovici minulého storočia. Vzťah medzi tvrdosťou vody a početnosťou výskytu cievnych ochorení bol prvý krát vo svetovej literatúre popísaný japonským chemikom J. Kobayashim (1957). Od vtedy boli vo svetovej literatúre publikované stovky prác, ktoré dokázali, že so zvyšujúcou tvrdosťou vody, najmä obsahu Mg klesá úmrtnosť na KVO. Viaceré epidemiologické štúdie naznačujú hypotézu, že hlavný protektívny účinok má obsah Mg vo vode a Ca pôsobí proti vzniku KVO len podporne. Podrobnejšie je táto problematika rozdiskutovaná napr. v prácach Kožíšek (2000), Sengupta (2013).

Pre zdravie ľudí je dôležitý aj pomer Ca a Mg. Všeobecne sa deklaruje za najpriaznivejší pomer Ca a Mg 2:1. Je to zdôvodňované skutočnosťou, že pri rastúcom obsahu Ca, klesá vstrebávanie Mg. V slovenských prírodných vodách používaných na zásobovanie obyvateľstva prevažuje pomer Ca a Mg 2:1.

V druhej polovici 90-tych rokov 20. storočia bolo publikovaných viacero epidemiologických štúdií z Taiwanu, ktoré zistili protektívny účinok zvýšenej tvrdosti vody voči viacerým druhom onkologických ochorení (Yang et al., 1998, 1999, 2000). O zvýšenom

výskytu onkologických ochorení v oblastiach s mäkkou vodou bola publikovaná aj práca zo Slovenska (Rapant et al., 2014).

Ako jeden z možných negatívnych účinkov tvrdej vody treba uviesť vznik močových kameňov. Viaceré epidemiologické štúdie však túto závislosť nepotvrdili (Singh et al., 1993, Kohri et al., 1993). V súčasnosti neexistuje žiaden priamy dôkaz, že by bola zvýšená tvrdosť vody bola príčinou nepriaznivých zdravotných účinkov na človeka. S výnimkou extrémne vysokých obsahov (stovky mg.l^{-1} Mg), ktoré spôsobujú hnačkové ochorenia. Ako ďalší možný nepriaznivý účinok tvrdých vôd môžeme uviesť senzorické vlastnosti vody – nepriaznivá chuť, tvorba povlakov na hladine kávy alebo čaju a strata aromatických látok z jedál a nápojov viazaním na uhličitán vápenatý. Z technologického hľadiska nie je priaznivá ani veľmi tvrdá voda, ktorá tvorí inkrusty.

Optimálna tvrdosť vody z hľadiska zdravotných účinkov na človeka je ťažko stanoviteľná. Väčšina autorov udáva ako najpriaznivejšie hodnoty pre Mg minimálne 20 – 30 mg.l^{-1} , pre Ca 40 – 80 mg.l^{-1} a celkovú tvrdosť vody 2 – 4 mmol.l^{-1} .

V súlade s vyššie uvedeným a taktiež na základe nami dosiahnutých výsledkov navrhujeme nasledovné limitné hodnoty obsahov tvrdosti vody, Ca a Mg (tabuľka 5), pre vodu používanú pre hromadné zásobovanie.

Tab. 5 Navrhované limitné hodnoty

parameter	odporúčaná hodnota
Ca+Mg (mmol.l^{-1})	2 – 6
Ca (mg.l^{-1})	> 40
Mg (mg.l^{-1})	20 – 60

Horná hranica limitov v prípade tvrdosti vody a horčička, podobne by to bolo aj v prípade Ca sa však v prírodných podmienkach Slovenskej republiky prakticky vôbec nevyskytuje. Pre balenú pitnú vodu odporúčame vyššie obsahy pre Ca a Mg, ktoré zodpovedajú naším výpočtom. Pre Ca viac ako 50 mg.l^{-1} a pre Mg viac ako 25 mg.l^{-1} .

Literatúra

Anon (2010). Government regulation of the Slovak republic No. 496/2010 on quality requirements on water used for human consumption and water quality control. (in Slovak)

Kobayashi, J. 1957: On geographical Relationship Between The Chemical Nature of River Water and Death-rate from Apoplexy. Ber. Ohara Inst. Landwirtsch. Biol., 11, p.12-21

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.

Kozisek, F. (2000). Zdravotni vyznam "tvrdosti" pitne vody. SZU, Praha.

Rapant, S., Cvečková, V., Dietzová, Z., Fajčíková, K., Hiller, E., Finkelman, R. B., Škultétyová, S. 2014: The potential impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic. *Environ. Geochem. Health*, Vol 36, No 3, p 543-561.

Sengupta, P. 2013. Potential impacts of hard water. *Int J Prev Med.*, 4, (8), 866-875

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

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

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.

www.geology.sk/geohealth