

Chemické zloženie podzemnej vody a úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia v Slovenskej republike

¹VERONIKA CVEČKOVÁ, ¹KATARÍNA FAJČÍKOVÁ, ²EUBOMÍR JURKOVIČ, ³BEÁTA STEHLÍKOVÁ
a ¹STANISLAV RAPANT

¹Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, Slovenská republika

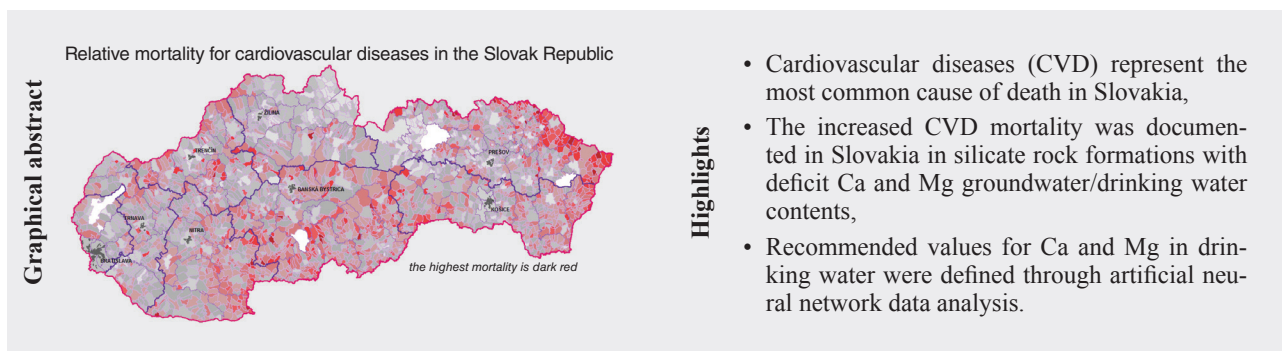
²Prirodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina 16, 842 15 Bratislava,
Slovenská republika

³Fakulta ekonómie a podnikania, Paneurópska univerzita, Tematínska 10, 851 05 Bratislava,
Slovenská republika

Chemical composition of groundwater and mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic

Abstract: This study deals with the analysis of relationship between chemical composition of the groundwater/drinking water and the data on mortality for cardiovascular diseases (MCVD) in the Slovak Republic. Primary data consist of the Slovak national database of groundwater analyses (20,339 chemical analyses, 34 chemical elements/compounds) and data on MCVD (8 health indicators) collected for the 10-year period (1994–2003). The chemical and health data were unified in the same form and expressed as the mean values for each of 2883 municipalities within the Slovak Republic. Pearson and Spearman correlation as well as artificial neural network (ANN) methods were used for analysis of the relationship between chemical composition of groundwater/drinking water and MCVD. The most significant chemical elements having influence on MCVD were identified together with their limit values (limit and optimal contents). Based on the results of calculations, made through the neural networks, the following chemical elements/parameters in the groundwater were defined as the most significant for MCVD: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (mmol l^{-1}), Ca^{2+} , Mg^{2+} , TDS, Cl^{-} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} , SiO_2 and PO_4^{3-} . The obtained results document the highest relationship between MCVD and the groundwater contents of $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (mmol l^{-1}), Ca^{2+} and Mg^{2+} . Following limit values were set for the most significant groundwater chemicals/parameters: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 4.4 – 7.6 mmol l^{-1} , Ca^{2+} > 89.4 mg l^{-1} and Mg^{2+} 42–78.1 mg l^{-1} . At these concentration ranges the mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic reaches the lowest levels. These limit values are about twice higher in comparison with the current Slovak valid guideline values for the drinking water.

Key words: Groundwater, drinking water quality, cardiovascular disease mortality, neural network, Slovak Republic



ÚVOD

Kardiovaskulárne ochorenia (CVD) sú na Slovensku dlhodobo najčastejšou príčinou úmrtí obyvateľstva. Predstavujú približne 50 % zo všetkých príčin smrti (NHIC 2012; OECD 2013). Za hlavné rizikové faktory CVD sa považujú stres, genetická predispozícia, nadváha, pravidelné fajčenie, nadmerný príjem alkoholu, nesprávne

stravovacie návyky a taktiež environmentálne faktory. K najdôležitejším environmentálnym faktorom patrí chemické zloženie, resp. úroveň kontaminácie podzemnej vody (najmä pitnej), pôdy a ovzdušia.

Predmetom článku je problematika vplyvu chemického zloženia podzemnej (pitnej) vody na rôzne indikátory úmrtnosti na CVD (relatívna a štandardizovaná úmrtnosť a potenciálne roky strateného života). Podzemná voda

predstavuje na Slovensku najvýznamnejší zdroj pitnej vody na zásobovanie populácie Slovenska, a to približne pre 90 % obyvateľov (Klinda a Lieskovská, 2010). Približne 10 % populácie Slovenska používa vodu z individuálnych studní na pitné účely a varenie. Okolo 50 % populácie je zásobovaných pitnou vodou z miestnych vodárenských zdrojov, spravovaných lokálnymi vodárenskými spoločnosťami, ktoré sa vyznačujú nízkou výdatnosťou (menej ako $10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$), zachytených a distribuovaných vodovodnými rozvodmi v blízkosti osídlených oblastí. Len v južnej časti Slovenska (v kvartérnych sedimentoch) je populácia zásobovaná z veľkých vodárenských zdrojov na vzdialenosť 50 – 100 km. V tejto práci považujeme podzemnú a pitnú vodu za jeden celok. Sme si vedomí istých nepresností, ktoré s tým súvisia a môžu limitovať naše výsledky. Veľkosť databázy (viac ako 20 000 chemických analýz, viac ako 30 chemických prvkov/parametrov) však do značnej miery redukuje možné neistoty. Podiel balenej vody v rámci pitného režimu ľudí sme neboli schopní zhodnotiť.

Úmrtnosť, resp. zvýšená incidencia na CVD sa mnohokrát spája s nadbytkom, resp. deficitom viacerých chemických prvkov v podzemnej vode využívané na pitné účely. Zrejme najčastejšie sa CVD spájajú s deficitným obsahom Ca^{2+} a Mg^{2+} , resp. nízkou „tvrdosťou“ vody (Dawson et al., 1978; Shaper et al., 1980; Rylander et al., 1991; Rahman a Husain, 2011). Existujú však práce, ktoré túto závislosť nepotvrdzujú, napr. Maheswaran et al. (1999). Mnohé ďalšie práce spájajú CVD so zvýšeným obsahom potenciálne toxických prvkov (PTE) v podzemnej (pitnej) vode, najmä As, Cd, Pb, Sb a Ba (Schroeder a Kraemer, 1974; Bhatnagar, 2006; Mitchell et al., 2011; Sturchio et al., 2013).

V článku sa zaoberáme hodnotením vzťahu medzi širokou škálou chemických prvkov bežne analyzovaných v podzemnej vode a CVD. Hlavným prínosom tejto práce je využitie inovatívnej a jedinečnej metódy – umelej inteligencie vo sfére štatistických metód – na analýzu vzťahu medzi geologickým prostredím a ľudským zdravím.

Hlavným cieľom práce je určiť, ktoré chemické prvky v podzemnej vode najviac vplyvajú na CVD v závislosti od geologickej stavby územia, a zároveň určiť ich limitnú koncentráciu (optimálnu, maximálne prípustnú a minimálne potrebnú), pri ktorej je úmrtnosť na CVD na Slovensku čo najnižšia.

MATERIÁL A METÓDY

Chemické zloženie podzemnej vody

Hlavným zdrojom informácií o chemickom zložení podzemnej vody boli údaje z národného environmentálno-geochemického mapovania, a to najmä z *Geochemického atlasu Slovenskej republiky*, časť *Podzemné vody*, a environmentálno-geochemických máp regiónov Slovenskej republiky (Vrana et al., 1997; Rapant et al., 1999). Tie boli doplnené najmä o údaje z národného monitoringu podzemnej vody, hydrogeochemických máp a ďalších regionálnych a lokálnych geochemických prác (SHMÚ – www.shmu.sk/en; Kordík et al., 2000). V našej databáze sú zahrnuté prakticky všetky zdroje podzemnej vody, ktoré sa používajú na hromadné zásobovania obyvateľstva pitnou vodou. Celkový počet zhromaždených chemických analýz podzemnej vody bol 20 339. Zahrnuté sú chemické analýzy vody od roku 1991, keď sa začalo moderné environmentálno-geochemické mapovanie Slovenskej republiky v rámci programu IGCP 360 *Geochemical Correlation Programme* (Darnley et al., 1995). Celkovo boli zhromaždené údaje za roky 1991 – 2010. V prípade viacerých analýz z rovnakého zdroja podzemnej vody sme použili najreprezentatívnejšiu chemickú analýzu. Hustota vzorkovania podzemnej vody bola približne 1 vzorka na $2,5 \text{ km}^2$. Obsah chemických prvkov/parametrov analyzovaných v životnom prostredí, v našom prípade v podzemnej vode, definujeme ako tzv. environmentálne indikátory – EI (Rapant et al., 2010).

Údaje o chemickom zložení vody sme upravili do takej podoby, aby sa dali prepojiť s údajmi o úmrtnosti

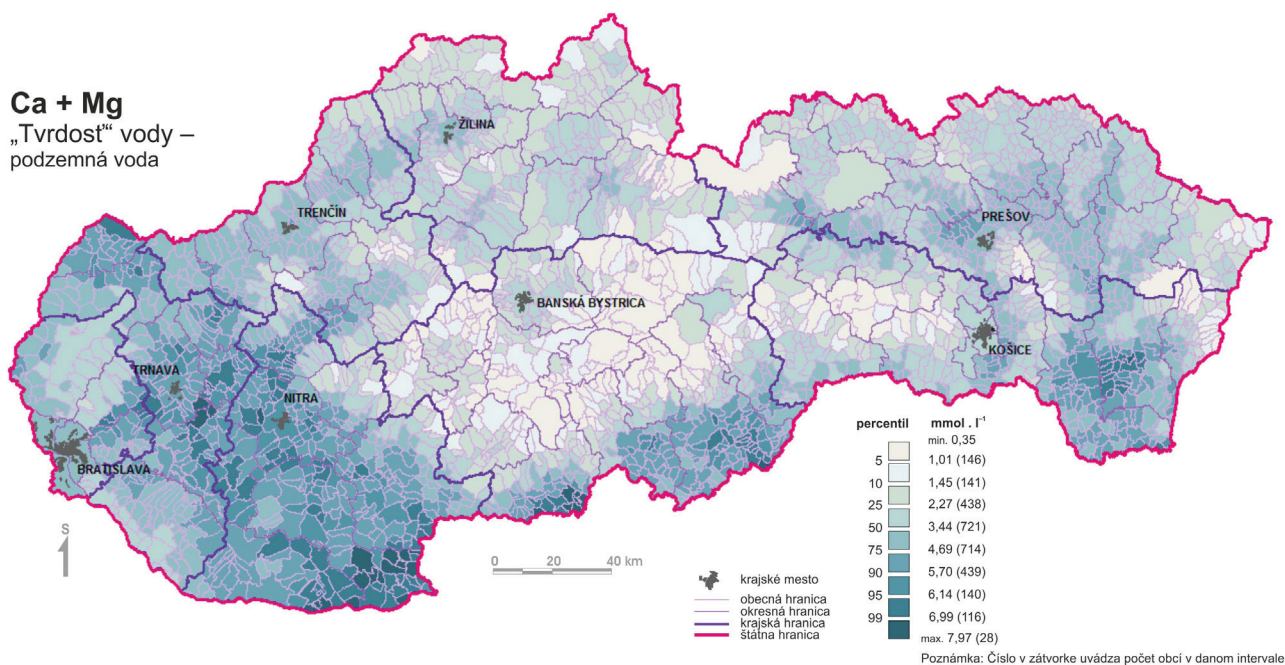
Tab. 1

Charakteristika chemického zloženia podzemnej vody Slovenska (priemerné hodnoty).
Characteristics of chemical composition of the groundwater in the Slovak Republic (mean values).

PODZEMNÁ VODA (n = 20 339)												
pH	MIN	CHSK _{Mn}	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	Li	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Sr	Fe	Mn	NH_4^-
7,33	629,75	2,18	3,5	0,019	20,34	11,10	93,56	28,29	0,36	0,17	0,12	0,10
F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	HCO_3^-	SiO_2	Cr	Cu	Zn	As	Cd
0,13	32,96	79,32	0,11	38,76	0,20	303,85	18,21	0,001 3	0,002 6	0,267 3	0,001 9	0,001 0
Se	Pb	Hg	Ba	Al	Sb	^{222}Rn	^{226}Ra					
0,001 0	0,001 4	0,000 1	0,074 7	0,029 7	0,000 9	14,46	0,053					

Pozn.: MIN – celková mineralizácia, údaje okrem pH v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ v $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, ^{222}Rn a ^{226}Ra v $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$

Note: Data except of pH in $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, ^{222}Rn and ^{226}Ra in $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$



Obr. 1. Distribúcia Ca^{2+} a Mg^{2+} ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) v podzemnej vode obcí Slovenskej republiky.

Fig. 1. Ca^{2+} and Mg^{2+} ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) distribution in the groundwater of the Slovak Republic at municipality level.

na CVD, ktoré sú vyjadrené ako hodnoty pre najmenšie územnosprávne jednotky SR – obce (spolu 2 883 obcí).

Na základe vstupných analytických údajov bola z celého územia SR spracovaná plošná distribúcia jednotlivých chemických prvkov/zlúčenín formou tzv. pixelových máp (1 pixel s plochou 1 km^2) prostredníctvom softvéru MapInfo Professional 9.0. Pre každý pixel bola vypočítaná priemerná koncentrácia prvku metódou inverzných vzdialeností od stredu pixela k 10 najbližším vzorkám. Priemerné hodnoty koncentrácie chemických prvkov/zlúčenín/parametrov v jednotlivých administratívnych celkoch SR (obce, okresy, celé územie SR) sa vypočítali ako aritmetický priemer všetkých pixelov spadajúcich do hraníc príslušných celkov. Pixely, ktoré len čiastočne spadali do administratívneho celku, boli zahrnuté do výpočtov.

Hodnoty priemernej koncentrácie hodnotených chemických prvkov/parametrov v podzemnej vode SR (EI) sú uvedené v tab. 1 (Rapant et al., 2014a). Príklad mapového vyjadrenia chemického zloženia podzemnej vody Slovenskej republiky v prípade parametrov $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) je uvedený na obr. 1. Ostatné environmentálne indikátory sú sprístupnené na internetovej stránke www.geology.sk/geohealth.

Úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia

V zmysle medzinárodnej klasifikácie chorôb (MKCH, 10. revízia) (www.czisk.sk) kardiovaskulárne ochorenia zahŕňajú choroby obehovej sústavy, diagnózy I00 – I99. Ide najmä o hypertenziu, ischemické choroby srdca (in-

farkty), cievne choroby mozgu, choroby tepien, žíl a iné nešpecifikované choroby obehovej sústavy. Údaje hodnotiace incidenciu (výskyt) CVD neboli dostupné.

Údaje o CVD, ktoré hodnotíme v tejto práci, sú charakterizované ako zdravotné indikátory (ZI) pri vybraných diagnózach. Predstavujú priemerné hodnoty za roky 1994 – 2003, a teda priemerné hodnoty za jednotlivé obce Slovenskej republiky (2 883 obcí). Zdrojom údajov bola databáza Štatistického úradu Slovenskej republiky (www.statistics.sk).

Na charakteristiku úmrtnosti na CVD sme spracovali údaje týkajúce sa nasledujúcich skupinových diagnóz: I00 – I99 (všetky ochorenia obehového systému), I21 – I25 (ischemické choroby srdca) a I63 – I64 (mozgové porážky a infarkty). Úmrtnosť na jednotlivé diagnózy sme prepočítali do podoby zdravotných indikátorov.

Všetky zdravotné indikátory boli vypočítané formou kumulatívnej funkcie za roky 1994 až 2003, teda za 10-ročné obdobie, pričom všetky prípady úmrtí boli spočítané a všetky počty obyvateľov boli vyjadrené ako osoboroky (počet obyvateľov k 31. decembru príslušného roku) za každý hodnotený územný celok. Metodika výpočtu a štandardizácie zdravotných indikátorov (REI00 – I99 až PYLL121 – 125; tab. 2) je v súlade s odporúčaniami Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) a iných autorov (Beaglehole et al., 1993; Jeníček, 1995; Last, 2001; Bencko et al., 2003a, b).

Jednotlivé diagnózy CVD sme prepočítali do podoby zdravotných indikátorov vyjadrujúcich relatívnu a štandardizovanú úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia a ako

potenciálne stratené roky života. V našej práci používame na hodnotenie zdravotné indikátory uvedené v tabuľke 2, kde je uvedený aj postup výpočtu jednotlivých indikátorov. V grafickej forme znázorňujeme relatívnu úmrtnosť na všetky druhy CVD (ReI00 – I99) v Slovenskej republike (obr. 2). Ostatné zdravotné indikátory sú dostupné na internetovej stránke www.geology.sk/geohealth.

Rozdelenie environmentálnych a zdravotných indikátorov podľa geologickej stavby

Geologická stavba SR je relatívne veľmi komplikovaná. Vyznačuje sa striedaním hornín rôznej genézy a veku, a teda aj rôzneho mineralogicko-petrografického charakteru a tým aj s rôznym geochemickým pozadím (Kohút et al., 1999). Výsledkom tejto skutočnosti je aj veľmi rozdielne chemické zloženie podzemnej/pitnej vody. Predpokladáme, že má aj rozdielny vplyv na výskyt CVD, resp. na ich úmrtnosť.

Geologická stavba SR bola v práci Rapanta et al. (2014a) rozčlenená na 8 hlavných celkov (obr. 3), a to:

- 1 – paleozoikum: hlavne metasedimenty a metavulkanity,
- 2 – kryštalinikum: hlavne granitoidy, ruly a migmatity,
- 3 – karbonatické mezozoikum a bazálny paleogén: hlavne vápence, dolomity a vápnité zlepenice,
- 4 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén: hlavne sliene, slienité vápence, dolomity, pieskovce a bridlice,
- 5 – flyšový paleogén: hlavne pieskovce, bridlice a ílovce,

6 – neovulkanity: hlavne andezity, bazalty a ich vulkanoklastiká,

7 – neogén: hlavne íly, ílovce, zlepenice, piesky a štrky,

8 – kvartér: hlavne štrky, piesky, íly a úlomky hornín.

Poradie geologických celkov z hľadiska zdravotných indikátorov (od najpriaznivejšieho po najnepriaznivejšie) bolo takéto: flyšový paleogén – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén – karbonatické mezozoikum a bazálny paleogén – neogén – kvartér – kryštalinikum – paleozoikum – neovulkanity. Ako najpriaznivejšie geologické prostredie pre ľudské zdravie boli definované karbonatické horniny a najnepriaznivejšie silikátové horniny (Rapant et al., 2014a).

Podľa tohto rozčlenenia geologickej stavby sme následne rozčlenili chemické zloženie podzemnej vody (environmentálne indikátory – EI) a taktiež ukazovatele úmrtnosti na CVD (zdravotné indikátory – ZI), ktoré sme podrobili štatistickej analýze formou štatistických metód uvedených v nasledujúcom texte.

Štatistická analýza

Na štatistické spracovanie vzťahu údajov o EI a ZI sme použili klasické štatistické metódy, a to Pearsonov korelačný koeficient a Spearmanov korelačný koeficient. Štatistickú významnosť vypočítaných korelácií hodnotíme pomocou jeho hodnoty P takto: $P < 0,05$ – overená závislosť (+), $P < 0,01$ – vysoká závislosť (++), $P < 0,001$ – veľmi vysoká závislosť (+++).

Tab. 2
Charakteristika hodnotených zdravotných indikátorov pri úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia.
Characteristics of evaluated health indicators for cardiovascular mortality.

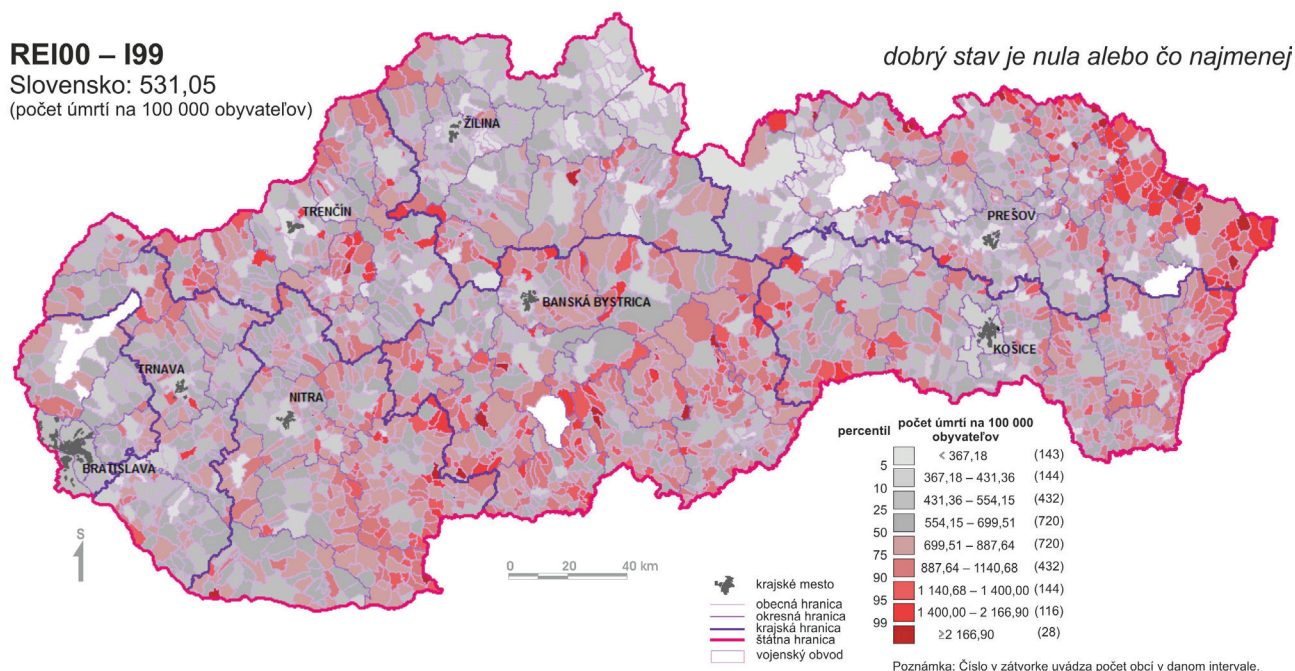
Zdravotný indikátor	Popis indikátora	Spôsob výpočtu	Priemer SR*
Relatívna úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia			
ReI00 – I99	obehový systém	100 000 x [počet úmrtí na vybrané ochorenie/ počet obyvateľov]	531,05
ReI21 – I25	ischemické choroby srdca		269,82
ReI63 – I64	mozgové porážky a infarkty		63,57
Štandardizovaná úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia			
SMRI00 – I99	obehový systém	Nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť na slovenský štandard	
(19 vekových skupín)	100		
SMRI21 – I25	ischemické choroby srdca		100
SMRI63 – I64	mozgové porážky a infarkty		100
Potenciálne roky strateného života pri vybranej príčine úmrtia			
PYLLI00 – I99	obehový systém	100 000 x [súčet nedožítých rokov do veku 65 rokov (úmrtia vo veku 1 až 64 rokov) pri úmrtí na vybranú príčinu/počet obyvateľov]	866,19
PYLLI21 – I25	ischemické choroby srdca		396,32

Pozn.: zdravotné indikátory klasifikované v zmysle Medzinárodnej klasifikácie chorôb, MKCH, 10. revízia (www.czisk.sk),

* priemer pre Slovenskú republiku za obdobie 1994 – 2003

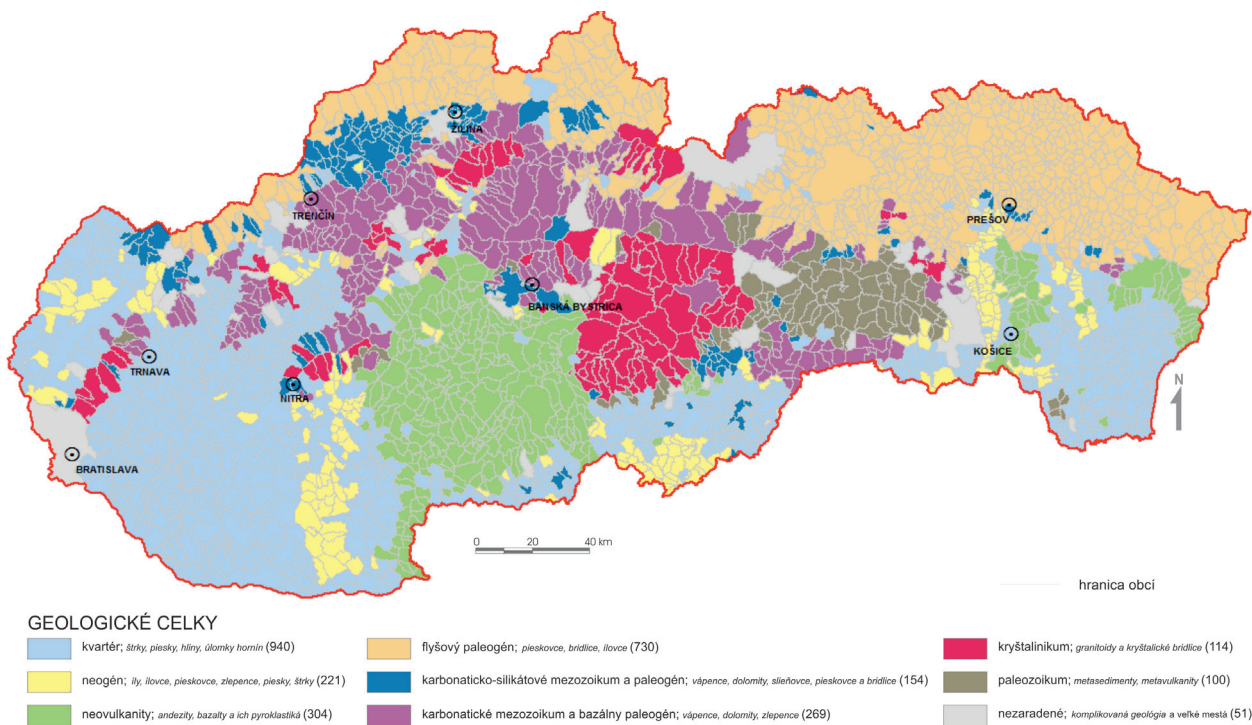
Note: Health indicators are classified according to International classification of diseases, ICD 10th revision (www.czisk.sk),

* mean for the Slovak Republic for the period 1994 – 2003



Obr. 2. Relatívna úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia na Slovensku.
Fig. 2. Relative mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic.

Rozčlenenie geologickej stavby Slovenskej republiky na hlavné geologické celky



Obr. 3. Rozčlenenie geologickej stavby Slovenskej republiky na hlavné geologické celky.
Fig. 3. Division of geological structure of the Slovak Republic in main geological units.

Neurónové siete

Sledovanie vzťahov medzi dvomi rôznymi premennými je doménou štatistiky. Výber vhodnej štatistickej metódy s cieľom spojenia dvoch databáz si však vyžaduje veľmi korektný prístup k získavaniu relevantných vzťahov závislosti. Na vyjadrenie intenzity stochastickej závislosti medzi dvomi premennými sa používajú korelačné koeficienty, ktoré vyjadrujú závislosť vzťahov medzi skúmanými atribútmi. Klasické Pearsonove korelačné koeficienty vyjadrujú mieru jednoduchšej lineárnej závislosti dvoch premenných. Spearmanove korelačné koeficienty sú mierou monotónnej závislosti. Naše údaje však nemajú

normálne rozdelenie, sú rozdelené nerovnomerne, často zaťažené chybou, neúplné a vykazujú vysokú variabilitu. Neistoty v prípade údajov o zdravotných indikátoroch, ktoré môžu modifikovať naše výsledky, súvisia najmä so zostavovaním štatistických hlásení. V prípade viacerých diagnóz sa ako príčina smrti uvádza väčšinou tá diagnóza, ktorá je v poradí uvedená ako prvá (napr. kardiovaskulárne ochorenie alebo zlyhanie obličiek). Táto diagnóza však nemusí byť vždy tou hlavnou, ktorá zapríčinila smrť pacienta.

Naše údaje majú všetky náležitosti bežného života, často sú neúplné, niekedy chybné. Bolo by preto nesprávne predpokladať existenciu funkčného vzťahu. Použitie

Tab. 3

Priemerné hodnoty zdravotných indikátorov kardiovaskulárnych ochorení vo vybraných oblastiach Slovenskej republiky.
Mean values for health indicators of cardiovascular diseases in selected areas of the Slovak Republic.

Geologický celok/okres	1	6	4	5	Krupina	Bardejov	SR
Zdravotný indikátor	n = 100	n = 303	n = 154	n = 727	n = 36	n = 86	
Rel100 – I99	569,73	638,78	505,07	463,32	889,20	492,82	531,05
Rel121 – I25	337,11	315,99	252,94	257,49	389,91	247,71	269,82
Rel163 – I64	51,95	93,45	77,04	41,58	133,66	56,00	63,57
SMRI100 – I99	111,73	108,50	98,86	100,03	131,06	100,71	100
SMRI121 – I25	128,21	101,39	97,54	109,94	119,09	98,92	100
SMRI163 – I64	84,78	125,53	121,31	72,61	168,12	97,26	100
PYLLI100 – I99	1 052,18	1 050,95	937,66	831,99	1 518,17	779,92	866,19
PYLLI121 – I25	548,98	488,65	395,63	372,17	683,12	310,97	396,32

Pozn.: 1 – paleozoikum, 4 – karbonatiko-silikátové mezozoikum a paleogén, 5 – flyšový paleogén, 6 – neovulkanity, SR – priemer v Slovenskej republike, n = počet obcí v hodnotenom geologickom celku/okrese

Note: 1 – Paleozoic, 4 – Carbonatic-silicate Mesozoic and Paleogene, 5 – Paleogene Flysch, 6 – Neovolcanic rocks, SR – mean for the Slovak Republic, n = number of municipalities in evaluated geological unit/district

Tab. 4

Priemerné hodnoty vybraných environmentálnych indikátorov vo vybraných oblastiach Slovenskej republiky.
Mean values for selected environmental indicators in selected areas of the Slovak Republic.

Geologický celok/okres	1	6	4	5	Krupina	Bardejov	SR
Environmentálny indikátor	n = 100	n = 303	n = 154	n = 727	n = 36	n = 86	
MIN	302,27	439,73	586,79	524,64	409,08	484,79	629,75
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	1,68	2,11	3,45	3,02	1,80	2,75	3,50
Ca ²⁺	43,15	56,13	99,86	88,53	49,30	80,75	93,56
Mg ²⁺	14,70	17,14	23,27	19,67	13,95	17,98	28,29
Cl ⁻	13,18	21,66	21,24	17,14	21,45	13,77	32,96
SO ₄ ²⁺	45,65	49,70	65,38	62,72	34,08	44,96	79,32
NO ₃ ⁻	18,02	26,44	21,72	16,19	28,14	14,84	38,76
PO ₄ ³⁻	0,10	0,37	0,10	0,05	0,62	0,03	0,22
HCO ₃ ⁻	138,29	191,51	323,63	287,65	173,87	282,12	303,85
SiO ₂	13,72	41,72	12,34	11,26	48,79	11,30	18,21
As	0,008 63	0,002 41	0,001 35	0,000 79	0,001 63	0,001 14	0,001 92
Cd	0,000 50	0,001 27	0,000 52	0,000 62	0,002 96	0,000 25	0,001 02
Pb	0,001 42	0,001 34	0,001 21	0,001 25	0,001 09	0,000 94	0,001 36
Sb	0,007 20	0,000 25	0,000 34	0,000 62	0,000 16	0,000 13	0,000 94

Pozn.: 1 – paleozoikum, 4 – karbonatiko-silikátové mezozoikum a paleogén, 5 – flyšový paleogén, 6 – neovulkanity, SR – priemer v Slovenskej republike, n = počet obcí v hodnotenom geologickom celku/okrese, MIN – celková mineralizácia

Note: 1 – Paleozoic, 4 – Carbonatic-silicate Mesozoic and Paleogene, 5 – Paleogene Flysch, 6 – Neovolcanic rocks, SR – mean for the Slovak Republic, n = number of municipalities in evaluated geological unit/district

Tab. 5

Pearsonova a Spearmanova korelácia medzi EI a úmrtnosťou na kardiovaskulárne ochorenia v geologickom prostredí v celku.
Pearson and Spearman correlation between EI and mortality for CVD for geological environment as a whole.

Parameter	Lineárna korelácia			Spearmanova korelácia		
	r	P	významnosť	R	P	významnosť
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ & ReI	-0,0861	0,000	+++	-0,155	0,000	+++
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ & SMRI	-0,020 8	0,396	-	-0,045	0,069	-
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ & PYIII	-0,084 4	0,001	++	-0,121	0,000	+++
Ca ²⁺ & ReI	-0,081 8	0,001	++	-0,144	0,000	+++
Ca ²⁺ & SMRI	-0,030 6	0,211	-	-0,039	0,114	-
Ca ²⁺ & PYIII	-0,097 6	0,000	+++	-0,116	0,000	+++
Mg ²⁺ & ReI	-0,080 6	0,001	++	-0,174	0,000	+++
Mg ²⁺ & SMRI	0,002	0,934	-	-0,057	0,020	+
Mg ²⁺ & PYIII	-0,045 2	0,065	-	-0,121	0,000	+++
MIN & ReI	-0,067 1	0,006	++	-0,128	0,000	+++
MIN & SMRI	0,000 1	0,996	-	-0,033	0,177	-
MIN & PYIII	-0,070 2	0,004	++	-0,117	0,000	+++
NO ₃ ⁻ & ReI	-0,032 9	0,179	-	-0,095	0,000	+++
NO ₃ ⁻ & SMRI	0,077 7	0,002	++	0,053	0,030	+
NO ₃ ⁻ & PYIII	0,042 5	0,083	-	0,003	0,903	-
PO ₄ ³⁻ & ReI	0,063 4	0,01	+	0,099	0,000	+++
PO ₄ ³⁻ & SMRI	0,135 8	0,000	+++	0,099	0,000	+++
PO ₄ ³⁻ & PYIII	0,094 7	0,000	+++	0,077	0,002	++
As & ReI	-0,013 7	0,576	-	0,028	0,248	-
As & SMRI	-0,013 4	0,584	-	0,039	0,112	-
As & PYIII	-0,019 7	0,421	-	0,092	0,000	+++
Cd & ReI	-0,030 6	0,212	-	-0,013	0,599	-
Cd & SMRI	-0,014 2	0,561	-	0,038	0,124	-
Cd & PYIII	-0,029 1	0,234	-	0,054	0,028	+
Pb & ReI	-0,028 1	0,251	-	-0,017	0,498	-
Pb & SMRI	0,003 4	0,891	-	0,018	0,460	-
Pb & PYIII	-0,007 2	0,77	-	0,008	0,738	-
Sb & ReI	-0,032 3	0,187	-	-0,102	0,000	+++
Sb & SMRI	-0,035 6	0,146	-	0,018	0,466	-
Sb & PYIII	-0,010 6	0,665	-	0,028	0,258	-

Pozn.: r – Pearsonov korelačný koeficient, R – Spearmanov korelačný koeficient, P – hodnota: hladina významnosti = 0,05 – overená závislosť (+), P = 0,01 – vysoká závislosť (++) , P = 0,001 – veľmi vysoká závislosť (+++), MIN – celková mineralizácia

Note: r – Pearson correlation coefficient, R – Spearman correlation coefficient, P – value; level of significance = 0.05 – verified dependence (+), P = 0.01 – high dependence (++) , P = 0.001 – very high dependence (+++)

Tab. 6

Koeficient senzitivity a poradie vplyvu 10 najvplyvnejších prvkov v podzemnej vode na zdravotné indikátory úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia podľa výpočtov ANN.

Coefficients of sensitivity and order of influence for 10 the most influential elements/parameters in groundwater in relation to health indicators of cardiovascular diseases according to calculations through ANN.

Indikátor	ReI00 – I99		ReI21 – I25		ReI63 – I64		SMRI00 – I99		SMRI21 – I25		SMRI63 – I64		PYLLI00 – I99		PYLLI21 – I25		xP
	s_r	P	s_r	P	s_r	P	s_r	P	s_r	P	s_r	P	s_r	P	s_r	P	
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	1,370 0	1	1,153 9	1	1,077 8	1	1,677 1	1	1,159 3	1	1,043 9	2	1,046 2	1	1,102 8	1	1,1
Ca ²⁺	1,211 0	2	1,063 8	2	1,037 1	2	1,386 9	2	1,068 4	2	1,044 9	1	1,006 2	3	1,030 9	2	1,8
Mg ²⁺	1,150 0	3	1,054 6	3	1,019 1	6	1,291 0	3	1,067 8	3	1,040 4	3	1,002 4	6	1,020 8	3	3,2
MIN	1,053 0	4	1,028 0	4	1,032 1	3	1,018 4	4	1,002 8	9	1,019 7	4	1,002 1	7	1,015 5	4	4,1
HCO ₃ ⁻	1,026 0	5	1,027 0	5	1,026 0	4	1,005 5	5	1,011 1	4	1,004 1	9	1,010 0	2	1,008 4	5	4,1
Cl	1,027 0	6	1,018 8	6	1,021 4	5	1,001 0	11	1,002 1	11	1,014 4	5	1,001 7	8	1,000 7	10	6,4
SO ₄ ²⁻	1,009 0	7	1,008 5	7	1,008 3	8	1,001 1	10	1,003 0	8	1,002 1	11	1,002 5	5	1,001 0	8	6,6
NO ₃ ⁻	1,004 0	8	1,007 1	8	1,002 3	10	1,002 2	6	1,001 8	12	1,002 4	10	1,000 8	11	1,000 5	12	7,9
Na ⁺	1,002 1	9	1,001 4	13	1,001 5	12	1,000 7	13	1,001 3	14	1,001 9	12	1,002 7	4	1,001 0	7	8,6
SiO ₂	1,003 0	10	1,001 3	14	1,010 6	7	1,000 6	14	1,002 6	10	1,006 8	6	1,001 1	9	1,000 1	18	9,0
Ba	1,001 0	15	1,001 9	11	1,000 7	14	1,000 3	16	1,007 2	5	1,005 0	7	1,000 0	21	1,000 2	16	10,7
K ⁺	1,001 3	12	1,001 2	15	1,000 2	20	1,000 6	15	1,003 5	7	1,000 6	17	1,000 9	10	1,000 3	14	11,2
²²² Rn	1,000 4	18	1,000 1	26	1,004 9	9	1,000 1	18	1,001 6	13	1,004 5	8	1,000 0	23	1,001 1	6	12,3
pH	1,001 2	19	1,001 7	12	1,000 2	19	1,001	12	1,006 5	6	1,000 3	21	1,000 0	28	1,000 9	9	12,8
PO ₄ ³⁻	1,002 0	11	1,000 4	19	1,000 1	22	1,001 3	9	1,000 7	17	1,000 4	19	1,000 1	19	1,000 0	23	14,1
CHSK _{Mn}	1,000 0	21	1,000 0	31	1,000 3	18	1,001 6	8	1,000 5	20	1,000 5	18	1,000 1	18	1,000 3	13	14,9
Hg	1,000 0	20	1,002 7	9	1,000 0	27	1,000 1	19	1,000 1	24	1,000 1	25	1,000 1	16	1,000 1	20	16,2
Fe	1,000 2	23	1,001 9	10	1,000 2	21	1,000 1	20	1,000 6	19	1,000 0	30	1,000 1	17	1,000 0	29	17,1

Pozn.: s_r – koeficient citlivosti, P – poradie vplyvu, xP – aritmetický priemer poradia vplyvu všetkých hodnotených zdravotných indikátorov, MIN – celková mineralizácia

Note: s_r – coefficient of sensitivity, P – order of influence, xP – arithmetic mean of order of influence for all evaluated health indicators

Tab. 7

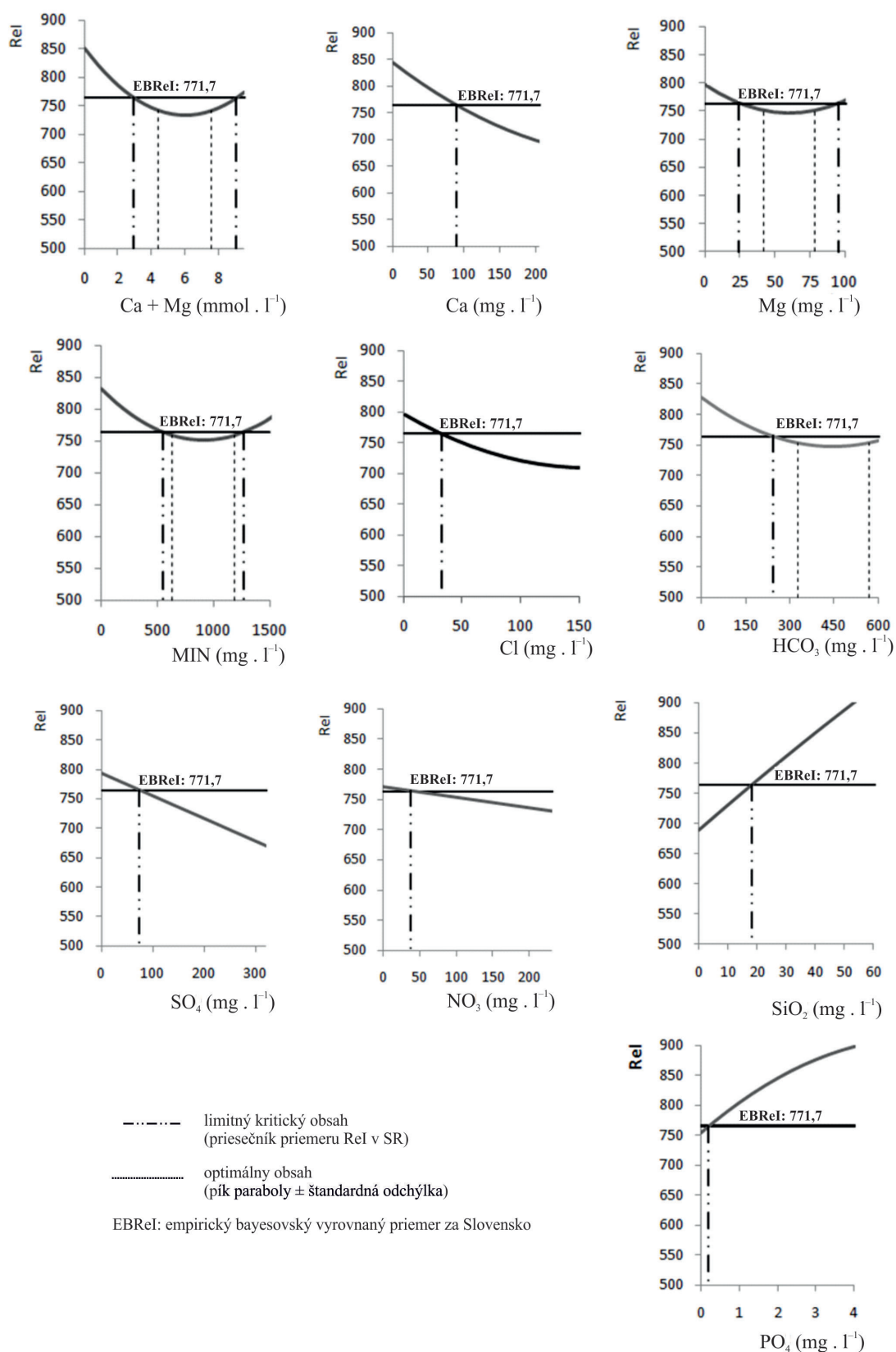
Výsledky výpočtov ANN a odvodené limitné hodnoty 10 najvplyvnejších prvkov v podzemnej vode Slovenskej republiky na ReI00 – I99.

Results of calculations of ANN and derived limit values for 10 the most influential chemical elements in groundwater of the Slovak Republic in relation to ReI00 – I99.

Poradie	Parameter	s_r	R ²	Limitný obsah		Optimálny obsah		Hodnotené funkcie závislosti	Obsah*	
				DH	HH	DH	HH		min	max
1.	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	1,370	0,992	2,90	9,10	4,40	7,60	konvexná parabola	0,35	7,97
2.	Ca ²⁺	1,211	0,999	89,40	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konvexná parabola	9,83	201,01
3.	Mg ²⁺	1,150	0,986	24,30	95,80	42,00	78,10	konvexná parabola	2,45	97,75
4.	MIN	1,053	0,960	553,10	1 263,20	629,40	1 186,80	konvexná parabola	87,30	1412,30
5.	Cl ⁻	1,027	0,988	31,80	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konvexná parabola	1,23	143,74
6.	HCO ₃ ⁻	1,026	0,979	241,90	neexistuje	326,10	567,90	konvexná parabola	16,57	592,05
7.	SO ₄ ²⁻	1,009	0,961	neexistuje	73,30	neexistuje	neexistuje	priamka s negatívnou smernicou	9,38	319,50
8.	NO ₃ ⁻	1,004	0,939	neexistuje	37,60	neexistuje	neexistuje	priamka s negatívnou smernicou	1,33	227,09
9.	SiO ₂	1,003	0,999	18,20	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	< 0,000 1	0,20
10.	PO ₄ ³⁻	1,002	0,919	0,20	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	0,00	3,35

Pozn.: s_r – koeficient citlivosti, R² – koeficient determinácie, DH – dolná hranica, HH – horná hranica, *min. – max. obsah prvkov/parametrov v podzemnej vode SR (jednotky v mg . l⁻¹, Ca²⁺ + Mg²⁺ v mmol . l⁻¹), MIN – celková mineralizácia

Note: s_r – coefficient of sensitivity, R² – coefficient of determination, LL – lower limit, UL – upper limit, *minimum – maximum contents of chemical elements/parameters in groundwater of the Slovak Republic (units in mg l⁻¹, Ca + Mg in mmol l⁻¹)



Obr. 4. Vymedzenie limitných hodnôt vplyvných prvkov na Rel00 – I99.
Fig. 4. Definition of limit values for the influential elements on Rel00 – I99.

klasických metód regresnej analýzy nemusí zachytiť komplexnosť problematiky a mohlo by viesť k nesprávnym záverom. Komplexné situácie vyžadujú analytické prístupy riešenia. Preto na analýzu vzťahov medzi chemickým zložením podzemnej vody a úmrtnosťou na CVD (MCVD) používame umelú inteligenciu – umelé neurónové siete (ANN).

ANN sú jednou z najviac využívaných modelovacích techník v mnohých oblastiach výskumu. Podrobný prehľad histórie vzniku a rozvoja neurónových sietí podáva Kriesel (2007). Najvýznamnejšou vlastnosťou neurónových sietí je skutočnosť, že sú univerzálnym aproximátorom funkcie. Univerzálnosť neurónových sietí ako aproximátorov bola matematicky dokázaná (Hornik et al., 1989). Výhodou ANN je vystihnúť aj zložitých nelineárnych závislostí. Nevýhodou ANN je, že nepoznáme mechanizmus pôsobenia hodnôt jednotlivých faktorov na výstupný parameter. Absentuje ekvivalent regresnej rovnice, známej z regresnej analýzy.

Každá z natrénovaných sietí je unikátnym výsledkom, ktorý je jednoznačne definovaný len topológiou siete a vektorom synaptických váh. Globálna analýza citlivosti v neurónových sieťach však poskytuje poznatok o dôležitosti príslušnej vstupnej premennej v natrénovanej sieti. Kovalishyn et al. (1998) a Zurada et al. (1995) predložili niekoľko metód merania senzitivity vstupných premenných ANN. Gevrey et al. (2003) prezentovali a porovnali sedem metód merania dôležitosti vstupných premenných ANN. Pokiaľ je pomer citlivosti (s_r) pri danej vstupnej premennej menší ako jedna, dá sa predpokladať, že jej vyradenie nezniží, ale dokonca zvýši výkonnosť siete (StatSoft, 1999).

Kvalitu neurónovej siete môžeme hodnotiť pomocou viacerých metrík. Najčastejšie používanou je hodnota korelačného koeficientu R , ktorá určuje vzájomný vzťah medzi výstupmi a cieľmi, t. j. odhadnutými hodnotami a hodnotami výstupnej premennej. Hodnota 1 znamená úzku závislosť, hodnota 0 znamená žiadnu závislosť.

Pomocou neurónových sietí sa určovalo poradie vplyvu chemických prvkov v podzemnej vode na CVD spolu s limitnými hodnotami (maximálne prípustným, resp. minimálne potrebným a optimálnym obsahom) koncentrácie chemických prvkov vo vode.

Poradie vplyvu chemických prvkov vo vode na CVD bolo určené na základe hodnoty koeficientu citlivosti s_r . Vplyv na CVD majú tie chemické prvky, pri ktorých koeficient citlivosti je väčší ako 1. Na identifikáciu vplyvných prvkov z pohľadu chemického zloženia podzemnej vody bolo počítaných 100 sietí. Zvolený počet 100 sietí sa ukázal ako plne dostatočný, lebo pri ďalších sieťach už hodnota korelačného koeficientu nerástla, ale stagnovala alebo klesala. Napriek tomu, že výkonnosť (spoľahlivosť) siete je uspokojivá, vplyv jednotlivých chemických prvkov vo vode bol pomerne nízky a bol v prípade každej

siete rôzny. Preto sme na určenie poradia vplyvu chemických prvkov vo vode na ZI použili mediánové hodnoty s_r zo všetkých 100 vypočítaných sietí. Takýto postup použili napr. Opitz a Shavlik (1996), Han et al. (2011), Kourentzes et al. (2014) a Rapant et al. (2015).

Na základe mediánovej hodnoty koeficientu citlivosti (s_r) vypočítanej pre každý chemický prvok hodnotíme vplyv chemického prvku na MCVD. Vplyv je tým väčší, čím je väčšia hodnota s_r . Chemické prvky s hodnotou $s_r < 1$ považujeme za také, ktoré na CVD nevplyvajú. Štatistickú významnosť vypočítaných koeficientov s_r udáva koeficient determinácie R^2 . Čím je vyšší, tým väčšia je štatistická významnosť vypočítaných koeficientov senzitivity. Výsledky výpočtov ANN na získanie tvaru závislosti medzi EI a ZI sme overili metódou decilov, a to spôsobom, ktorý uvádzame. Rozpätie hodnôt obsahu skúmaného prvku vo vode sme rozdelili na decily. V ďalšom kroku sme našli ťažiská bodov, ktorých súradnica x prislúchala do jednotlivých decilov. Následne sme cez ťažiská 2. až 9. decilu preložili polynóm druhého stupňa, resp. priamku. Pri veľmi vplyvných prvkoch je zhoda vynikajúca. S poklesom vplyvu prvkov zhoda existuje, ale podobnosť klesá.

ANN nám umožňujú odvodiť aj limitné hodnoty chemických prvkov vo vode z hľadiska CVD, teda koncentráciu chemických prvkov, pri ktorých je úmrtnosť na CVD čo najnižšia. Vyčleňujeme dva druhy limitných hodnôt, a to limitné (kritické) hodnoty a optimálne limitné hodnoty. Limitné hodnoty predstavujú priesečník namodelovanej krivky obsahu chemických prvkov s priemernou hodnotou zdravotného indikátora. Optimálne hodnoty predstavujú priesečník priemernej hodnoty zdravotného indikátora $\pm$ štandardnú odchýlku zdravotného indikátora. V prípade, keď namodelovaná krivka obsahu chemických prvkov nepretínala priemernú hodnotu zdravotného indikátora, limitné hodnoty sa nedali určiť.

Ako priemernú hodnotu zdravotného indikátora používame bayesovský vyrovnaný priemer zdravotného indikátora, ktorý zohľadňuje počet obyvateľov v jednotlivých obciach. Takýto postup bol použitý napr. v prácach Chaikaw et al. (2009) a Chen et al. (2008).

VÝSLEDKY

Priemerné hodnoty zdravotných indikátorov úmrtnosti na CVD v dvoch najpriaznivejších geologických celkoch z hľadiska zdravotných indikátorov (flyšový paleogén, karbonatiko-silikátové mezozoikum a paleogén) a dvoch najnepriaznivejších geologických celkoch (neovulkanity a paleozoikum) z hľadiska zdravotných indikátorov sú uvedené v tab. 3 spolu s priemernými hodnotami za Slovenskú republiku a dva vybrané okresy SR, budované rôznym geologickým prostredím. Priemerný obsah 10 najvplyvnejších chemických prvkov na úmrtnosť na CVD podľa ANN a štyri klasické potenciálne toxické prvky

spájané so zvýšenou úmrtnosťou na CVD – arzén, kadmium, olovo a antimón – v uvedených celkoch sú uvedené v tab. 4.

Vybrané výsledky lineárnej a Spearmanovej korelácie medzi EI a ZI z celého geologického prostredia sú uvedené v tab. 5.

V tabuľke 6 a 7 sú uvedené výsledky výpočtov ANN. V tabuľke 6 sú uvedené výsledky koeficientu senzitivity najvplyvnejších chemických prvkov v podzemnej vode v prípade hodnotených zdravotných indikátorov úmrtnosti na CVD spolu s poradím vplyvu jednotlivých prvkov. V tabuľke 7 sú zosumarizované výsledky výpočtov ANN týkajúce sa relatívnej úmrtnosti na CVD – ReI00 – I99 – spolu s odvodenými limitnými hodnotami najvplyvnejších chemických prvkov/zložiek/parametrov v podzemnej vode. Spôsob vymedzenia limitných hodnôt vplyvných prvkov je znázornený grafickou formou na obr. 4.

DISKUSIA

Na základe porovnania výsledkov úmrtnosti na CVD (tab. 3) v jednotlivých geologických celkoch a dvoch vybraných okresoch vyplýva, že existujú medzi nimi výrazné rozdiely. Nižšiu úmrtnosť na CVD dokumentujeme v karbonatických geologických celkoch (mezozoikum, paleogén), a to takmer vo všetkých hodnotených zdravotných indikátoroch. Napríklad sumárny ukazovateľ úmrtnosti na CVD ReI00 – I99 je v najpriaznivejšom geologickom celku (celok 5, flyšový paleogén = 463,32) takmer o 38 %

nižší ako v najnepriaznivejšom geologickom celku (celok 6, neovulkanity = 638,78). Podobný trend pozorujeme aj v prípade porovnania hodnôt ostatných zdravotných indikátorov (s výnimkou ukazovateľa ReI63 – I64, mozgové porážky). Výrazné rozdiely v ukazovateľoch úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia pozorujeme v prípade dvoch porovnávaných okresov Krupina a Bardejov. Oba sú zasobované pitnou vodou len zo zdrojov podzemnej vody v rámci daného okresu. Oba okresy sa vyznačujú vidieckym typom osídlenia a majú podobný sociálno-ekonomický charakter (Rapant et al., 2014a). Odlišné v oboch okresoch je geologické prostredie. Okres Krupina je celý budovaný horninovým prostredím vulkanitov (vo vzťahu k zdravotným indikátorom je to najmenej priaznivé geologické prostredie). Okres Bardejov je celý budovaný horninovým prostredím flyšového paleogénu (vo vzťahu k zdravotným indikátorom je to najviac priaznivé geologické prostredie). Rozdiel medzi hodnotami ReI00 – I99 v týchto dvoch okresoch je viac ako 80 % a v prípade viacerých čiastkových zdravotných indikátorov (PYLLI00 – I99, PYLLI21 – I25, ReI63 – I64) je rozdiel viac ako 90 až 100 %.

Výraznejšie rozdiely v zdravotných indikátoroch kardiovaskulárnych ochorení v oboch okresoch v porovnaní s rozdielmi medzi jednotlivými geologickými celkami vysvetľujeme tým, že silikátové horniny (kryštalínikum, paleozoikum, vulkanity) sú menej zvodnené a obyvateľstvo je v nich často zasobované pitnou vodou zo vzdialenejších, väčšinou karbonatických hornín, teda s vyšším

Tab. 8

Limitné hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu (NV č. 496/2010 Z. z.)
v porovnaní s našimi odvodenými limitnými hodnotami.

Comparison of limit values of Slovak guideline for drinking water (NV č. 496/2010 Z. z.), with our derived limit values.

Parameter	Jednotka	Limitné hodnoty* NV č. 496/2010 Z. z.	Limitná hodnota		Optimálne hodnoty*	
			DH	HH	DH	HH
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	mmol . l ⁻¹	1,1 – 5,0 ^b	2,90	9,10	4,40	7,60
Ca ²⁺	mg . l ⁻¹	> 30 ^b	89,40	–	–	–
Mg ²⁺	mg . l ⁻¹	10 – 30 ^b	24,30	95,80	42,00	78,10
MIN	mg . l ⁻¹	1 000 ^a	553,10	1 263,20	629,40	1 186,80
Cl ⁻	mg . l ⁻¹	250 ^a	31,80	–	–	–
HCO ₃	mg . l ⁻¹	–	241,90	–	326,10	567,90
SO ₄ ²⁻	mg . l ⁻¹	250 ^a	–	73,30	–	–
NO ₃ ⁻	mg . l ⁻¹	50 ^a	–	37,60	–	–
SiO ₂	mg . l ⁻¹	–	18,20	–	–	–
PO ₄ ³⁻	mg . l ⁻¹	–	0,20	–	–	–

Pozn.: ^a medzná hodnota, ^b odporúčaná hodnota, DH – dolná hodnota, HH – horná hodnota, *nami odvodené limitné a optimálne hodnoty najvplyvnejších environmentálnych indikátorov vo vzťahu k ReI00 – I99, MIN – celková mineralizácia

Note: ^a limit value, ^b recommended value, DH – lower level, HH – upper level, *our derived limit and optimal contents for the most influential environmental indicators in relation to ReI00 – I99

obsahom Ca^{2+} a Mg^{2+} , ktoré sú na Slovensku oveľa viac zvodnené. Uvedené rozdiely v zdravotných indikátoroch medzi karbonatickými a silikátovými geologickými celkami sú podľa nás spôsobené najmä rozdielnym obsahom Ca^{2+} a Mg^{2+} a „tvrdosťou“ vody. Obsah týchto parametrov je v karbonatických geologických celkoch výrazne vyšší (tab. 4).

Na základe výsledkov Spearmanovej a lineárnej korelácie (tab. 5) nemožno vysloviť žiadne signifikantné závery. Naše premenné (EI a ZI) nemajú normálne rozdelenie a skúmané závislosti nie sú vo všeobecnosti lineárne a často ani monotónne, preto dosiahnuté výsledky nepovažujeme za preukazné. Korelačné koeficienty v oboch prípadoch sú veľmi nízke a vo viac než 90 % prípadov oscilujú medzi hodnotami $\pm < 0,1$. Dôležitá je však skutočnosť, že korelačné koeficienty medzi Ca^{2+} , Mg^{2+} a „tvrdosťou“ vody a zdravotnými indikátormi úmrtnosti na CVD vykazujú vo všetkých prípadoch (aj pri indikátoroch CVD neuvedených v tabuľke) záporné hodnoty, a to väčšinou pri štatisticky významnej korelácii. Táto skutočnosť naznačuje zvýšenú úmrtnosť na CVD pri nízkom (deficitnom) obsahu Ca^{2+} a Mg^{2+} v podzemnej/pitnej vode Slovenskej republiky a pri jej nízkej tvrdosti.

Z výsledkov výpočtov neurónových sietí (tab. 6) sa ako najvplyvnejšie prvky/zložky chemického zloženia podzemnej vody na zdravotné indikátory CVD prejavuje $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , MIN a HCO_3^- . Týchto 5 environmentálnych indikátorov sa vyskytovalo vo všetkých zdravotných indikátoroch kardiovaskulárnych ochorení medzi desiatimi najvplyvnejšími EI. Ostatné EI uvedené v tab. 6 boli zastúpené medzi desiatimi najvplyvnejšími len pri niektorých ZI úmrtnosti na CVD. Z nich Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ a SiO_2 majú veľmi nízky priemerný vplyv na hodnotené zdravotné indikátory kardiovaskulárnych ochorení ($xP < 10$).

Medzi najvplyvnejšími EI sa jasne vyčleňujú tri skupiny chemických prvkov/zložiek. Prvú skupinu predstavujú $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Ca^{2+} a Mg^{2+} . Tieto tri EI podľa nás majú najväčší vplyv na úmrtnosť na CVD. Vyznačujú sa aj najvyššími hodnotami koeficientu senzitivity s_r . Druhá skupina EI (MIN a HCO_3^-) má podľa nás len stochastický vplyv na úmrtnosť na CVD. Podmienené je to tým, že chemické zloženie podzemnej vody Slovenskej republiky je prevažne Ca–Mg– HCO_3 charakteru. MIN a HCO_3^- vnímate ako indikátory obsahu Ca^{2+} a Mg^{2+} v podzemnej vode. HCO_3^- predstavuje najviac zastúpený anión v podzemnej vode Slovenskej republiky a jeho obsah je spojený najmä s kationmi Ca^{2+} a Mg^{2+} (mineralizácia vody v dôsledku rozpúšťania karbonátov). Podobne je to aj v prípade mineralizácie vody (MIN), ktorej hodnoty v podmienkach SR sú podmienené najmä koncentráciou Ca^{2+} a Mg^{2+} vo vode (najzastúpenejšie kationy) a HCO_3^- (najzastúpenejší anión; Rapant et al., 1996). Tretiu skupinu vplyvných prvkov predstavujú Cl^- , SO_4^{2-} a NO_3^- . Tieto tri parametre sú kla-

sickým príkladom antropogénneho znečistenia podzemnej vody Slovenskej republiky. Ich vplyv na základe hodnôt koeficientu s_r je však výrazne nižší (väčšinou o 1 rád) než vplyv Ca^{2+} , Mg^{2+} a „tvrdosti“ vody. V prípade týchto troch parametrov dôležitú úlohu zohráva skutočnosť, že ich zvýšený obsah v podzemnej vode Slovenska vplyvom antropogénneho znečistenia je sprevádzaný väčšinou zvýšenou koncentráciou Ca^{2+} a Mg^{2+} , ktoré sa preukázali ako najvplyvnejšie z hľadiska úmrtnosti na CVD.

Výsledky výpočtov ANN v prípade ReI00 – I99 sú uvedené v tabuľke 7 spolu s vypočítanými limitnými hodnotami. Ako vplyvné prvky ($s_r > 1$) sa prejavili ešte: SiO_2 , Na^+ , PO_4^{3-} , F, K^+ , pH, Ba, Mn, Zn, ^{222}Rn , ^{226}Ra , Cu, Fe, NO_2^- a Sb. Ako nevplyvné prvky ($s_r \leq 1$) sa zistili: ChSK_{Mn} , NH_4^+ , As, Hg, Cr, Cd, Se, Pb a Al. Výsledky výpočtov ANN v prípade ostatných hodnotených zdravotných indikátorov kardiovaskulárnych ochorení sú dostupné na internetovej stránke www.geology.sk/geohealth. Zaujímavou skutočnosťou je zistenie, že prakticky všetky potenciálne toxické prvky sa prejavili ako nevplyvné, v prípade Sb so zanedbateľným vplyvom ($s_r < 1,000\ 2$). Toto zistenie je v súlade s doterajšími poznatkami o malom vplyve potenciálne toxických prvkov na zdravotný stav obyvateľstva v kontaminovaných územiach po banskej činnosti v Slovenskej republike (Rapant et al., 2014b).

Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že z hodnotenej, relatívne širokej škály analyzovaných prvkov v podzemnej vode má určujúci vplyv na úmrtnosť na CVD obsah $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Ca^{2+} a Mg^{2+} . Viacerými prípadovými štúdiami sa preukázal ich vplyv (deficit) na CVD (Pocock et al., 1980; Sauvant a Pepin, 2000; Ferrándiz et al., 2004; Yang et al., 2006; Kousa et al., 2006; Leurs et al., 2010). Vápnik a horčík sú veľmi dôležité vnútrobunkové kationy a ich význam pre správnu činnosť srdca bol vo svetovej literatúre opísaný už viackrát (Bencko et al., 2011; Kožíšek, 2003, 2005; Rubenowitz-Lundin a Hiscock, 2005; Cotruvo a Bartram, 2009). Vo viacerých prácach sa v súvislosti s výskytom CVD často prikladá veľký význam optimálnej koncentracii Mg^{2+} , ktorý vplýva najmä na hypertenziu (Yang, 1998; Catling et al., 2008; Monarca et al., 2006; Rosanoff, 2013).

Pri vymedzení limitného obsahu sme na základe výpočtov ANN v prípade $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Mg^{2+} , MIN a HCO_3^- mohli vyčleniť limitný (minimálne potrebný, maximálne prípustný) aj optimálny obsah (tab. 7, obr. 4), pri ktorom bol výskyt ReI00 – I99 pod priemernou hodnotou EBrEl na Slovensku ($< 771,7$), resp. čo najnižší. V prípade HCO_3^- sa nepodarilo určiť hornú limitnú hodnotu (krivka nepretína priemernú hodnotu EBrEl). V prípade Ca^{2+} , Cl^- , SiO_2 a PO_4^{3-} sme dokázali určiť len dolnú limitnú hodnotu ich obsahu. V prípade SO_4^{2-} a NO_3^- sme dokázali určiť len hornú limitnú hranicu.

V tabuľke 8 uvádzame vypočítané limitné hodnoty najvplyvnejších prvkov v porovnaní s limitnými hodnotami slovenskej normy pre pitnú vodu. V prípade najvplyv-

nejších prvkov ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+}) sú naše limitné hodnoty výrazne vyššie (približne 2- až 3-krát), ako udáva slovenská norma pre pitnú vodu (NV SR č. 496/2010 Z. z.). Pri týchto „zvýšených“ hodnotách koncentrácie Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ je úroveň úmrtnosti na CVD na Slovensku výrazne nižšia ako celoslovenský priemer.

Na základe výpočtov ANN ako limitné hodnoty v pitnej vode z hľadiska úmrtnosti na CVD môžeme teda navrhnúť v prípade $\text{Ca}^{2+} > 90 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, pri $\text{Mg}^{2+} > 24 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a pri $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > 2,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

Horné limity obsahu Ca^{2+} , Mg^{2+} , resp. „tvrdosti“ vody nepovažujeme za príliš dôležité. Podzemná/pitná voda prekračujúca horné hranice (či už limitované v slovenskej norme pre pitnú vodu, alebo nami odvodené limitné hodnoty) sa na úrovni Slovenskej republiky vyskytuje naozaj len ojedinele a takáto podzemná voda sa nepoužíva na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou.

ZÁVER

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že úmrtnosť na CVD na území Slovenskej republiky je ovplyvňovaná chemickým zložením podzemnej vody, najmä obsahom Ca^{2+} , Mg^{2+} a ich sumou $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$). Výrazne nižšia úmrtnosť na CVD v porovnaní s celoslovenským priemerom sa zistila pri obsahu týchto parametrov v podzemnej vode v nasledujúcich úrovniach: $\text{Ca}^{2+} > 90 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{Mg}^{2+} > 24 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > 2,9 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Tieto naše hodnoty obsahu sú približne 2 – 3-krát vyššie ako limitný obsah slovenskej normy pre pitnú vodu (NV č. 496/2010 Z. z.). Odporúčame zvážiť zvýšenie súčasných odporúčaných limitných hodnôt týchto ukazovateľov pitnej vody. Definitívne limitné hodnoty budú určené až po komplexnom spracovaní chemického zloženia podzemnej/pitnej vody vo vzťahu k širokej škále zdravotných indikátorov (okrem CVD aj onkologické ochorenia, ochorenia tráviacej a dýchacej sústavy a zliaz s vnútorným vylučovaním).

Zvýšená úmrtnosť na CVD na území Slovenskej republiky je spätá s nízkym (deficitným) obsahom vápnika a horčíka v podzemnej/pitnej vode a nízkou „tvrdosťou“ vody.

Uvedomujeme si určité nepresnosti, ktoré limitujú naše výsledky. Najdôležitejšou skutočnosťou je to, že ľudia vždy nepijú presne takú istú vodu, akú uvádza naša priemerná analýza vody v obci. Naš model však zahŕňa celé územie Slovenskej republiky (približne 50 000 km^2), celú slovenskú populáciu (približne 5,5 mil. ľudí) rozdelenú do všetkých 2 883 obcí. Máme vyhodnotených viac ako 20 000 chemických analýz vody a 34 prvkov/zložiek a sledujeme úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia prostredníctvom viacerých zdravotných indikátorov.

O dôležitosti Ca^{2+} a Mg^{2+} v prípade výskytu kardiovaskulárnych ochorení bolo publikovaných nespočetne veľa

prací (napr. Dawson et al., 1978; Shaper et al., 1980; Rylander et al., 1991; Rosborg – ed., 2015).

Kardiovaskulárne ochorenia spolu s onkologickými ochoreniami predstavujú v rozvinutých krajinách rozhodujúce príčiny úmrtí. Obsah Ca^{2+} a Mg^{2+} (resp. „tvrdosť“ vody) však nie sú limitované WHO v pitnej vode. Na základe dosiahnutých výsledkov týkajúcich sa kardiovaskulárnych ochorení odporúčame WHO prehodnotiť stanovenie medzinárodných štandardov obsahu Ca^{2+} a Mg^{2+} v pitnej vode.

Podakovanie

Tento výskum bol realizovaný v rámci projektov *Geohealth* (LIFE10 ENV/SK/000086) a *Life for Krupina* (LIFE12 ENV/SK/000094), ktoré sú podporované finančným nástrojom EÚ pre životné prostredie *Life+ program* a Ministerstvom životného prostredia Slovenskej republiky.



LITERATÚRA

- ANON, 2010: Nariadenie vlády č. 496/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.
- BEAGLEHOLE, R., BONITA R. a KJELLSTROM, T., 1993: Basic Epidemiology. Geneva, World Health Organization.
- BHATNAGAR, A., 2006: Environmental Cardiology: Studying Mechanistic Links Between Pollution and Heart Disease. Circulation research. *J. Amer. Heart Assoc.*, 99, 692 – 705.
- BENCKO, V., HRACH, K., MALÝ, H., PIKHART, J., REISSIGOVÁ, Š., SVAČINA, Š., TOMEČKOVÁ, M. a ZVÁROVÁ, J., 2003a: Biomedická statistika III, Statistické metódy v epidemiológii. Časť 1. Praha, Univerzita Karlova, 236 s.
- BENCKO, V., HRACH, K., MALÝ, H., PIKHART, J., REISSIGOVÁ, Š., SVAČINA, Š., TOMEČKOVÁ, M. a ZVÁROVÁ, J., 2003b: Biomedická statistika III, Statistické metódy v epidemiológii. Časť 2. Praha, Univerzita Karlova, 505 s.
- BENCKO, V., NOVÁK, J. a SUK, M., 2011: Zdraví a prírodné podmienky. (Medicína a geológia). Praha, DOLIN, 389 s.
- CATLING, L. A., ABUBAKAR, I., LAKE, I. R. et al., 2008: A systematic review of analytical observational studies investigating the association between cardiovascular disease and drinking water hardness. *J. Wat. Health* 2, 6 (4), 433 – 442.
- COTRUVO, J. a BARTRAM, J. (eds.), 2009: Calcium and Magnesium in Drinking-water: Public health significance. Geneva, World Health Organization, 180 s.
- DARNLEY, A. G., BJORKLUND, A. a BOLVIKEN, B. et al., 1995: A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. *Earth Sciences (Paris)*, 19, UNESCO Publishing, 122 s.

- DAWSON, E. B., FREY, M. J., MOORE, T. D. a MCGANITY, J., 1978: Relationship of metal metabolism to vascular disease mortality rates in Texas. *Amer. J. Clinic. Nutrition*, 31, 1 188 – 1 197.
- FERRÁNDIZ, J., ABELLÁN, J. J., GÓMEZ-RUBIO, V., LÓPEZ-QUÍLEZ, A., SANMARTÍN, P., ABELLÁN, C., MARTÍNEZ-BENEITO, M. A., MELCHOR, I., VANACLOCHA, H., ZURRIAGA, O., BALLESTER, F., GIL, J. M., PÉREZ-HOYOS, S. a OCAÑA, R., 2004: Spatial Analysis of the Relationship between Mortality from Cardiovascular and Cerebrovascular Disease and Drinking Water Hardness. *Environ. Health Perspectives*, 112, 9, 1 037 – 1 044.
- GEVREY, M., DIMOPOULOS, I. a LEK, S., 2003: Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecol. Modelling*, 160, 249 – 264.
- HAN, S., LIU, Y. a YAN, J., 2011: Neural network ensemble method study for wind power prediction. In: *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific*, 1 – 4.
- HORNÍK, K., STINCHCOMBE, M. a WHITE, H., 1989: Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Network*, 2, 359 – 366.
- CHAIKAEW, N., TRIPATHI, N. K. a SOURIS, M., 2009: International Journal of Health Geographics. *Int. J. Health Geograph.*, 8, 36.
- CHEN, J., ROTH, R. E., NAITO, A. T., LENGERICH, E. J. a MAC-EACHREN, A. M., 2008: Geovisual analytics to enhance spatial scan statistic interpretation: an analysis of US cervical cancer mortality. *Int. J. Health Geograph.*, 7, 1, 57.
- JENÍČEK, M., 1995: Epidemiology, The Logic of Modern Medicine. *Montreal, Epimed*, 322 s., ISBN 0-9698912-0-2.
- KLINDA, J. a LIESKOVSKÁ, Z., 2010: State of the environment report of the Slovak Republic. *Bratislava, Ministry of Environment of the Slovak Republic*, 192 s.
- KORDÍK, J., RAPANT, S., BODÍŠ, D. a SLANINKA, I., 2000: Hydrogeochemické mapy v mierke 1 : 50 000 – prezentácia výsledkov z vybraných regiónov Slovenska. *Podzemná voda (Bratislava)*, 6, 2, 130 – 137.
- KOHÚT, M., KOVACH, V. P., KOTOV, A. B., SALNIKOVA, E. B. a SAVATENKOV, V. M., 1999: Sr and Nd isotope geochemistry of Hercynian granitic rocks from the Western Carpathians – implications for granite genesis and crustal evolution. *Geol. Carpath. (Bratislava)*, 50, 6, 477 – 487.
- KOURENTZES, N., BARROW, D. K. a CRONE, S. F., 2014: Neural network ensemble operators for time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 41, 9, 4 235 – 4 244.
- KOUSA, A., HAVULINNA, A. S., MOLTCHANOVA, E., TASKINEN, O., NIKKARINEN, M., KARVONEN, J. a KARVONEN, M., 2006: Calcium:magnesium ratio in local groundwater and incidence of acute myocardial infarction among males in rural Finland. *Environ. Health Perspectives*, 114, 5, 730 – 734.
- KOVALISHYN, V. V., TETKO, I. V., LUIK, A. I., KHOLODOVYCH, V. V., VILLA, A. E. P. a LIVINGSTONE, D. J., 1998: Neural Network Studies. 3. Variable Selection in the Cascade-Correlation Learning Architecture. *J. Chem. Inf. Comput. Sci*, 38, 651 – 659.
- KOŽÍŠEK, F., 2003: Health significance of drinking water calcium and magnesium. *Prague, National Institute of Public Health*, 29 s.
- KOŽÍŠEK, F., 2005: Health risks from drinking demineralised water. World Health Organization, Geneva, 148 – 163. In: *WHO, 2005: Nutrients in drinking water. Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment. Geneva, World Health Organization*, 186 s.
- KRIESEL, D., 2007: Ein kleiner Überblick über Neuronale Netze. *Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität*, 238 s.
- LAST, J. M., 2001: A Dictionary of epidemiology. *Oxford University Press, ISBN 0-19-514169-5*.
- LEURS, L. J., SCHOUTEN, L. J., MONS, M. N., GOLDBOHN, R. A. a BRANDT, P. A., 2010: Relationship between Tap Water Hardness, Magnesium, and Calcium Concentration and Mortality due to Ischemic Heart Disease or Stroke in the Netherlands. *Environ. Health Perspectives*, 118, 3, 23 – 26.
- MAHESWARAN, R., MORRIS, S., FALCONER, S., GROSSINHO, A., PERRY, I., WAKEFIELD, J. a ELLIOTT, P., 1999: Magnesium in drinking water supplies and mortality from acute myocardial infarction in north west England. *Heart*, 82, 4, 455 – 460.
- MITCHELL, E., FRISBIE, S. a SARKAR, B., 2011: Exposure to multiple metals from groundwater – a global crisis: Geology, climate change, health effects, testing, and mitigation. *Metalomics, Roy. Soc. geochem.*, 3, 874 – 908.
- MONARCA, S., DONATO, F., ZERBINI, I., CALDERON, R. L. a CRAUN, G. F., 2006: Review of epidemiological studies on drinking water hardness and cardiovascular diseases. *Eur. J. Cardiovascular Prevention Rehabil.*, 13, 4, 495 – 506.
- Nariadenie vlády SR, č. 496/2010 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.
- NHIC, 2012: Health statistics year book of the Slovak Republic 2011. *Bratislava, National Health Information center*, 257 s.
- OECD, 2013: Health at a Glance 2013: OECD Indicators. *OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/health_glance-2013-en*
- OPITZ, D. W. a SHAVLIK, J. W., 1996: Actively searching for an effective neural network ensemble. *Connection Sci.*, 8, 3 – 4, 337 – 354.
- POCOCK, S. J., SHAPER, A. G., COOK, D. G., PACKHAM, R. F., LACEY, R. F., POWELL, P. a RUSSELL, P. F., 1980: British Regional Heart Study: geographic variations in cardiovascular mortality, and the role of water quality. *British Medical J.*, 280, 6 226, 1 243 – 1 249.
- RAHMAN, A. a HUSAIN, T., 2011: Nutrient mineral deficiency in drinking water and its impact on human health. *Water Supply Systems: Demand, Distribution and Pollution*, 95 – 106.
- RAPANT, S., CVEČKOVÁ, V., DIETZOVÁ, Z., FAJČIKOVÁ, K., HILLER, E., FINKELMAN, R. B. a ŠKULTÉTYOVÁ, S., 2014a: The potential impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic. *Environ. Geochem. Health.*, 36, 543 – 561.
- RAPANT, S., CVEČKOVÁ, V., FAJČIKOVÁ, K., KOHÚT, M. a SEDLÁKOVÁ, D., 2014b: Historical mining areas and their influence on human health. *Eur. J. Biomedical Inf.*, 10, 1, 24 – 34.
- RAPANT, S., FAJČIKOVÁ, K., CVEČKOVÁ, V., ĐURŽA, A., STEHLÍKOVÁ, B., SEDLÁKOVÁ, D. a ŽENISOVÁ, Z., 2015: Chemical composition of groundwater and relative mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic. *Environ. Geochem. Health.*, 37, 4, 745 – 756.
- RAPANT, S., LETKOVIČOVÁ, M., CVEČKOVÁ, V., FAJČIKOVÁ, K., GALBAVÝ, J. a LETKOVIČ, M., 2010: Environmentálne a zdravotné indikátory Slovenskej republiky. Monografia.

- Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra, 279 s. (www.geology.sk/?pg=geois.ms_ezi_en).
- RAPANT, S., RAPOŠOVÁ, M., BODIŠ, D., MARSINA, K. a SLANINKA I., 1999: Environmental-geochemical mapping program in the Slovak Republic. *J. Geochem. Explor.*, 66, 2, 151 – 158.
- RAPANT, S., VRANA, K. a BODIŠ, D., 1996: Geochemický atlas Slovenskej republiky – časť I. Podzemné vody. Monografia. Bratislava, GS SR, 127 s.
- ROSANOFF, A., 2013: The high heart health value of drinking-water magnesium. *Medical Hypotheses*, 81, 6, 1 063 – 1 065.
- ROSBORG, I. (ed.), 2015: Drinking Water Minerals and Mineral Balance Importance, Health Significance, Safety Precautions. *Springer International Publishing Switzerland, Springer Verlag, ISBN 978-3-319-09592-9 (Print) 978-3-319-09593-6 (Online)*, 140 s.
- RUBENOWITZ-LUNDIN, E. a HISCOCK, K., 2005: Water hardness and health effects. Chapter 13. *Principles Medic Geol.*, 331 – 345.
- RYLANDER, R., BONEVIK, H. a RUBENOWITZ, E., 1991: Magnesium and calcium in drinking water and cardiovascular mortality. *Scandinav. J. Work, Environ. & Health*, 17, 91 – 94.
- SAUVANT, M. P. a PEPIN, D., 2000: Geografic variation of the mortality from cerebrovascular disease and drinking water in a french small area (Puy de Dome). *Environ. Res. Sec., A*, 84, 219 – 227.
- SHAPER, A. G., PACKHAM, R. F. a POCOCK, S. J., 1980: The British regional heart study: Cardiovascular mortality and water quality. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, 3, 89 – 111.
- SCHROEDER, H. A. a KRAEMER, L. A., 1974: Cardiovascular Mortality, Municipal Water, and Corrosion. *Archives Environ. Health: Int. J.*, 28, 6, 303 – 311.
- STATSOFT, 1999: Electronic Statistics Textbook. (On-line manual), <http://www.statsoft.com/textbook/statistics-glossary/s/button/s/>
- STURCHIO, E., ZANELATO, M., MINOIA, C. a BEMPORAD, E., 2013: Arsenic: Environmental contamination and exposure in Arsenic: Sources, Environmental Impact, Toxicity and Human Health – A Medical Geology Perspective. *Nova Sci. Publ.*, 3 – 38.
- VRANA, K., RAPANT, S., BODIŠ, D., MARSINA, K., LEXA, J., PRAMUKA, S., MAŇKOVSKÁ, B., ČURLÍK, J., ŠEČÍK, P., VOJTAS, J., DANIEL, J. a LUČIVIAŇSKY, L., 1997: Geochemical Atlas of Slovak Republic at a scale 1 : 1 000 000. *J. Geochem. Explor.*, 60, 7 – 37.
- YANG, CH. Y., CHANG, CH. CH., TSAI, S. S. a CHIU, H. F., 2006: Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from acute myocardial infarction in Taiwan. *Environ. Res.*, 101, 407 – 411.
- YANG, CH. Y., 1998: Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from cerebrovascular disease. *J. Amer. Heart Dis.*, 412 – 414.
- ZURADA, J. M., EBERHART, R. C. a CLOETE, I., 1995: Determining the Significance of Input Parameters Using Sensitivity Analysis. *Lecture Notes Computer Sci.*, 930, 382 – 388.
- KOHÚT, M., KOVACH, V. P., KOTOV, A. B., SALNIKOVA, E. B. a SAVATENKOV, V. M., 1999. Sr and Nd isotope geochemistry of Hercynian granitic rocks from the Western Carpathians – implications for granite genesis and crustal evolution. *Geol. Carpath. (Bratislava)*, 50, 6, 477 – 487.
- www.geology.sk/geohealth
www.statistics.sk
www.shmu.sk
www.czisk.sk
www.shmu.sk/en

Chemical composition of groundwater and mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic

Cardiovascular diseases (CVD) have been the commonest cause of death in Slovakia for a long time, representing about 50 % of all causes of death (NHIC, 2012; OECD, 2013). The main risk factors for CVD include stress, genetic predisposition, obesity, regular smoking, excessive alcohol intake, unhealthy eating habits, as well as environmental factors, which include mainly the level of natural element concentrations and anthropogenic contamination of the groundwater (especially drinking water), soil and air.

The main objective of this work is to determine which chemical elements in the groundwater are most closely associated with CVD mortality, and, simultaneously, to suggest limit concentrations (optimum, maximum allowable and minimum required), for which CVD mortality is as low as possible.

Mortality and increased incidence of CVD are often associated with an excess or deficit of several chemical elements in the groundwater/drinking water, most often with a deficiency of Ca^{2+} and Mg^{2+} , and low water hardness (Dawson et al., 1978; Shaper et al., 1980; Rylander et al., 1991; Rahman & Husain, 2011). However, some studies do not confirm this dependence, e.g. Maheswaran et al. (1999). Other work associates CVD with increased concentrations of potentially toxic elements (PTE) in the groundwater/drinking water, mainly As, Cd, Pb, Sb and Ba (Schroeder & Kraemer, 1974; Bhatnagar, 2006; Mitchell et al., 2011; Sturchio et al., 2013).

Groundwater is the most important source of drinking water for most of population in Slovakia; accordingly, our work covers the source of drinking water for approximately 90 % of inhabitants (Klinda & Lieskovská, 2010).

Approximately 20 % of the Slovak population uses water from individual wells for drinking and cooking purposes. About 50 % of the population is supplied with drinking water from local water companies using local water resources with a low discharge (less than 5 l s^{-1}) captured and distributed to water supply pipes in the vicinity of settlements. Only in southern Slovakia (especially in the Quaternary sediments) the population is supplied from large water resources that are distributed across distances of 50 – 100 km.

In the present article we evaluate the association of a wide range of elements commonly analysed in the groundwater with data on mortality for cardiovascular diseases (Tab. 1). Two main datasets included data on chemical composition of groundwater defined as environmental indicators ($> 20,000$ analyses, 34 parameters) and data on health indicators of cardiovascular diseases, tab. 2 (ReI00-I99, ReI21-I25, ReI63-I64, SMRI00-I99, SMRI21-I25, SMRI63-I64, PYLLI00-I99, PYLLI21-I25) were analysed. Both datasets were divided according to geological structure of the Slovak Republic into 8 main geological units (1. Paleozoic, 2. Crystalline, 3. Carbonatic Mesozoic and basal Paleogene, 4. Carbonatic-silicate Mesozoic and Paleogene, 5. Paleogene Flysch, 6. Neovolcanic rocks, 7. Neogene, 8. Quaternary) and analysed through traditional statistical correlations (linear, Spearman) as well as through methods of artificial neural networks, both expressed in the form of mean values for the administrative-territorial units of the Slovak Republic (2,883 municipalities). The neural networks represent unique technique of statistical analysis and innovative method in the field of medical geochemistry used for analysis of relationship between geological environment and human health.

Based on achieved results we can conclude that mortality on cardiovascular diseases in the Slovak Republic is influenced by chemical composition of groundwater/drinking water, mainly Ca^{2+} , Mg^{2+} contents and $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ levels (Tab. 6, 7). Mortality on CVD is significantly lower compared to Slovak average when groundwater content of these parameters are following: for $\text{Ca}^{2+} > 90 \text{ mg l}^{-1}$, for Mg^{2+} within range of $> 24 \text{ mg l}^{-1}$ and for $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > 2.9 \text{ mmol l}^{-1}$. Our derived limit values are about 2 – 3 times higher compared to limits defined within the Slovak guideline for drinking water and therefore we recommend increasing them. We are aware of certain uncertainties that limit our results. The most important fact is that people do not consume exactly the same water as it is defined by our average groundwater analysis for single municipalities. On the other hand, our model includes whole territory of the Slovak Republic (about 50,000 sqkm), whole Slovak population (about 5.5 millions of people) divided to all 2,883 municipalities. We have evaluated more than 20,000 chemical analyses for groundwater including 34 chemical elements/compounds/parameters and we have analysed mortality for cardiovascular diseases through several health indicators.

There are a number of works dealing with the Ca^{2+} and Mg^{2+} relevance to cardiovascular disease mortality (e.g. Dawson et al., 1978; Shaper et al., 1980; Rylander et al., 1991; Rosborg, 2015). Cardiovascular diseases represent in developed countries key causes of deaths for majority of population. However, Ca^{2+} and Mg^{2+} groundwater contents (or water hardness) are not revised by World Health Organization (WHO) as parameters influencing human health. Based on achieved results in this study we propose to WHO to give consideration to determine international drinking water standards for Ca^{2+} and Mg^{2+} content levels.