LIFE číslo projektu

LIFE10 ENV/SK/086

Stručná správa

NÁZOV PROJEKTU LIFE+: "Vplyv geologickej zložky životného prostredia na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky", **Akronym "GEOHEALTH"**

Vplyv chemického zloženia podzemných/pitných vôd na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky a návrh limitných hodnôt pre vplyvné prvky

(Aktivita A4: „Prepojenie environmentálnych a zdravotných indikátorov")

22/03/2016

[1*]Stanislav Rapant, [1]Veronika Cvečková, [1]Katarína Fajčíková,
[2]Jana Michalcová, [3]Darina Sedláková, [4]Beáta Stehlíková

Abstrakt

V príspevku sa hodnotí vplyv chemického zloženia podzemných/pitných vôd na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky. Primárne hodnotené dáta predstavuje celoslovenská databáza chemických analýz podzemných vôd (20 339 chemických analýz, 34 chemických prvkov/zlúčenín/parametrov) a dáta o zdravotnom stave a demografickom vývoji obyvateľstva, tzv. zdravotné indikátory (ZI). Hodnotených bolo 14 ZI zahrňujúcich očakávanú dĺžku života, potenciálne roky strateného života, relatívnu a štandardizovanú úmrtnosť najdôležitejších príčin úmrtí na území Slovenskej republiky: kardiovaskulárne a onkologické ochorenia a ochorenia tráviacej a dýchacej sústavy. Chemické a zdravotné dáta boli zjednotené a vyjadrené v jednotnej forme ako priemerné hodnoty pre všetkých 2883 obcí Slovenskej republiky. Pearsonova a Spearmanova korelácia ako aj metóda umelých neurónových sieti (ANN) boli použité pre hľadanie vzťahov medzi chemickým zložením podzemných/pitných vôd a ZI. Na základe výsledkov výpočtov ANN boli identifikované najvplyvnejšie chemické prvky vo vodách na jednotlivé ZI a zároveň boli určené ich limitné hodnoty. Ako najvplyvnejšie chemické prvky v podzemných/pitných vodách boli určené: Ca+Mg (mmol.l^{-1}), Ca, Mg, MIN, HCO_3 a SO_4. Najvýznamnejší vzťah medzi ZI a chemickým zložením vo vodách bol zdokumentovaný pre Ca+Mg (mmol.l^{-1}), Ca a Mg. Ako limitné hodnoty pre tieto tri najvplyvnejšie prvky boli stanovené nasledovné obsahy: Ca+Mg 2,9 – 6,1 mmol.l^{-1}, Ca 78 – 155 mg.l^{-1} a Mg 28 – 54 mg.l^{-1}, pri ktorých

je zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky najpriaznivejší a očakávaná dĺžka života najvyššia. Nami odvodené limitné hodnoty sú viac ako 2 x vyššie v porovnaní s odporúčanými hodnotami slovenskej normy pre pitnú vodu.

Kľúčové slová
Podzemná voda, zdravotný stav obyvateľstva, Ca, Mg, umelé neurónové siete

1. ÚVOD

Chemické prvky sa môžu vyskytovať v životnom prostredí (vody, pôdy, ovzdušie) z hľadiska ľudského zdravia buď v deficite alebo v nadbytku. Každý chemický prvok môže byť liek alebo jed, závisí to len od jeho dávky (Paracelsus). Existujú tri základné cesty vstupu chemických prvkov do ľudského organizmu: ingescia, inhalácia a dermálny kontakt (Selinus et al., 2005). Pre ľudské zdravie je v prírodnom neznečistenom životnom prostredí najdôležitejšia cesta vstupu chemických prvkov ingescia, a to potravou a vodou. Zatiaľ čo chemické prvky rozpustené v pitných vodách sa vyskytujú väčšinou v iónovej forme a sú tak priamo prístupné pre ľudský organizmus, chemické prvky obsiahnuté v pôde sa do ľudského organizmu dostávajú hlavne len sprostredkovane, formou potravy. Vstup chemických prvkov z pôd do ľudského organizmu cestou potravového reťazca však závisí najmä od ich bioprístupnosti (Brümmer, 1986; NRC, 2003; Kabata-Pendias & Mukherjee; 2007) a ich zdravotný účinok je taktiež závislý najmä od foriem výskytu jednotlivých chemických prvkov (McGeer et al., 2004; Chojnacka et al., 2005; Peralta-Videa et al., 2009). V súčasnom globálnom svete majú potraviny globálny pôvod. Veľká väčšina potravy pochádza z rôznych oblastí sveta a tým je zaručená jej rôznorodosť, rôzne chemické zloženie. Len malá časť konzumovanej potravy, najmä miestne pestovaná zelenina a ovocie má lokálny pôvod a vo svojom chemickom zložení odráža geologickú stavbu, teda aj geochemické pozadie oblastí, kde ľudia žijú. V prípade pitných vôd je situácia odlišná. Ľudia väčšinou pijú a používajú na varenie pitnú vodu z rovnakého zdroja, rovnakého chemického zloženia dlhodobo, často krát celý život, alebo až kým sa nepresťahujú. Nie je tu taká variabilita v chemickom zložení vôd ako v prípade potravín. Chemické zloženie pitných vôd je dlhodobo prakticky rovnaké. V prípade deficitu alebo nadbytku určitých chemických prvkov, hlavne esenciálnych sa pri dlhodobom používaní rovnakých vôd môžu prejaviť zdravotné účinky. Zdravotné účinky klasických kontaminantov pitných vôd ako napr. potenciálne toxických prvkov alebo dusičnanov sú dobre známe a mnoho krát zdokumentované (Smith et al., 1992; Morales-Suarez-Varela et al., 1995; Järup et al., 1998; Fryzek et al., 2001; Ward et al., 2005; Mitchell et al., 2011). V dôsledku ich známych nepriaznivých účinkov sú tieto klasické kontaminanty striktne limitované v normách pre pitnú vodu. Vplyv niektorých ďalších, hlavne esenciálnych prvkov (napr. Ca, Mg, K) na ľudské zdravie nie je v súčasnosti dostatočne

preukázaný, a preto tieto prvky nie sú limitované v normách pre pitnú vodu (napr. WHO drinking standard), resp. sú limitované len ako odporúčané hodnoty (napr. slovenská norma pre pitnú vodu). Existuje však veľké množstvo prác, ktoré napr. spájajú zvýšený výskyt kardiovaskulárnych ochorení (CVD) s deficitnými obsahmi Ca a Mg (Rylander et al., 1991; Yang et al., 1997a; Rubenowitz et al., 1999; Nerbrand et al., 2003; Kousa et al., 2006; Maksimović et al., 2010). Taktiež existuje v svetovej literatúre niekoľko prác, ktoré spájajú deficitné obsahy Ca a Mg so zvýšenou úmrtnosťou na onkologické ochorenia (Yang et al., 1997b; 1999a, b, c, 2000; Rapant et al., 2015; Rapant et al., 2016).

V predkladanom článku sa zaoberáme hodnotením vplyvu relatívne širokej škály chemických prvkov v podzemných/pitných vodách na zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky. Rôzne ukazovatele zdravotného stavu a demografického vývoja obyvateľstva spájame s obsahmi chemických prvkov/zložiek v podzemných vodách, tzv. environmentálnymi indikátormi (EI). Hodnotíme teda vplyv podzemných vôd z rôzneho geologického prostredia, rôznej genézy a teda aj rôzneho chemického zloženia na úmrtnosť na najčastejšie príčiny úmrtí, ktoré môžu mať súvis obsahmi chemických prvkov v pitných vodách a to: kardiovaskulárne a onkologické ochorenia, ochorenia tráviacej a dýchacej sústavy a taktiež očakávanú dĺžku života. Viacerými matematickými a štatistickými metódami (umelé neurónové siete, Pearsonova a Spearmanova korelácia) spájame dáta o chemickom zložení podzemných vôd s rôznymi príčinami úmrtí. Pre odvodenie limitných hodnôt chemických prvkov v podzemných vodách, pri ktorých je zdravotný stav obyvateľstva najpriaznivejší používame umelé neurónové siete. Takýto postup spracovania dát bol použitý napríklad v prácach Rapant et al. (2015, 2016).

2. MATERIÁL

2.1 Environmentálne indikátory

Environmentálne indikátory (EI) predstavujú chemické prvky/zložky/parametre analyzované, merané a monitorované v životnom prostredí, ktoré môžu ovplyvňovať biotu, resp. človeka (Rapant et al., 2010). V našej práci hodnotíme 34 environmentálnych indikátorov, hlavne anorganických zložiek chemického zloženia podzemných vôd a to všetky bežné makroprvky, stopové prvky a základné parametre prírodnej rádioaktivity. Nezaoberáme sa hodnotením organických polutantov, ktorých dáta nie sú dostupné z územia Slovenskej republiky v požadovanej hustote.

Zdrojom dát chemického zloženia podzemných vôd boli dáta z národného environmentálno-geochemického mapovania, a to najmä z Geochemického atlasu Podzemných vôd a environmentálno-geochemických máp regiónov Slovenskej republiky (Vrana et al., 1997; Rapant et al., 1999). Tie boli dopĺňané najmä o údaje z národného monitoringu podzemných vôd, 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 podzemných vôd, ktoré sú používané pre hromadné zásobovania obyvateľstva pitnou vodou. Celkový počet zhromaždených chemických analýz podzemných vôd bol 20339. Zahrnuté sú chemické analýzy vôd od roku 1991, keď začalo moderné environmentálno-geochemické mapovanie Slovenskej republiky v rámci programu the IGCP 360 "Geochemical Correlation Programme" (Darnley et al., 1995). Hustota vzorkovania podzemných vôd bola približne 1 vzorka na 2.5 km^2.

Podzemné vody predstavujú na Slovensku najvýznamnejší zdroj pitných vôd pre zásobovanie populácie Slovenska, a to približne pre 90 % obyvateľov (Klinda &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 vodných zdrojov, spravovaných lokálnymi vodárenskými spoločnosťami, ktoré sa vyznačujú nízkou výdatnosťou (menej ako 10 $l.s^{-1}$), zachytených a distribuovaných vodovodnými rozvodmi v blízkosti osídlených oblastí. Len v južnej časti Slovenska (v kvartérnych sedimentoch) je populácia zásobovaná z veľkých vodných zdrojov na vzdialenosť 50 – 100 km. V tejto práci považujeme podzemné a pitné vody ako jeden celok. Sme si vedomí istých nepresností s tým súvisiacich, ktoré môžu limitovať naše výsledky. Avšak veľkosť databázy (viac ako 20 000 chemických analýz, viac ako 30 chemických prvkov/zlúčenín/parametrov) do značnej miery redukujú možné neistoty. Neboli sme schopní zhodnotiť podiel fľaškovej vody v rámci pitného režimu ľudí.

Dáta o chemickom zložení vôd sme upravili do takej podoby, aby sa dali zlinkovať s dátami zdravotných indikátorov. Museli sme teda dáta o chemickom zložení vôd transformovať do podoby dát zdravotných indikátorov. Tie predstavujú jedno číslo pre územnosprávne jednotky– obce Slovenskej republiky (2883 obcí). Na základe vstupných analytických dát bola pre celé územie SR spracovaná plošná distribúcia jednotlivých chemických prvkov/zlúčenín formou tzv. pixelových máp (1 pixel o ploche 1 km^2) prostredníctvom softvéru MapInfo Professional 9.0. Pre každý pixel bola vypočítaná priemerná koncentrácia prvku metódou inverzných vzdialeností od stredu pixelu k 10-tim najbližším vzorkám. Priemerné hodnoty chemických prvkov/zlúčenín/parametrov pre jednotlivé administratívne celky SR (obce, okresy, celé územie SR) boli vypočítané ako aritmetické priemery všetkých pixelov spadajúcich do hraníc príslušných celkov. Dostupné sú v mapovej aj databázovej forme na internetovej stránke projektu www.geology.sk/geohealth.

Hodnotené chemické prvky/parametre v podzemných vodách s príslušnými priemernými obsahmi pre celé územie SR sú uvedené v tab. 1 (Rapant et al., 2014a).

Tab. 1 Charakteristika chemického zloženia podzemných vôd Slovenska (priemerné hodnoty)

PODZEMNÉ VODY (n=20339)												
pH	**MIN**	**$CHSK_{Mn}$**	**Ca+Mg**	**Li**	**Na**	**K**	**Ca**	**Mg**	**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**	**NO_2**	**NO_3**	**PO_4**	**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	0.0013	0.0026	0.2673	0.0019	0.0010
Se	**Pb**	**Hg**	**Ba**	**Al**	**Sb**	**^{222}Rn**	**^{226}Ra**					
0.0010	0.0014	0.0001	0.0747	0.0297	0.0009	14.46	0.053					

Pozn.: Dáta okrem pH v mg l^{-1}, Ca+Mg v mmol l^{-1}, ^{222}Rn a ^{226}Ra v Bq.l^{-1}

2.2 Zdravotné indikátory

Zdravotný stav obyvateľstva Slovenskej republiky hodnotíme na základe zdravotných indikátorov – ukazovateľov demografického vývoja a zdravotného stavu obyvateľstva. Zdravotný indikátor (ZI) je premenná, ktorá vyjadruje zdravotný stav ľudí v spoločnosti prostredníctvom priameho merania alebo pozorovania (Last, 2001),

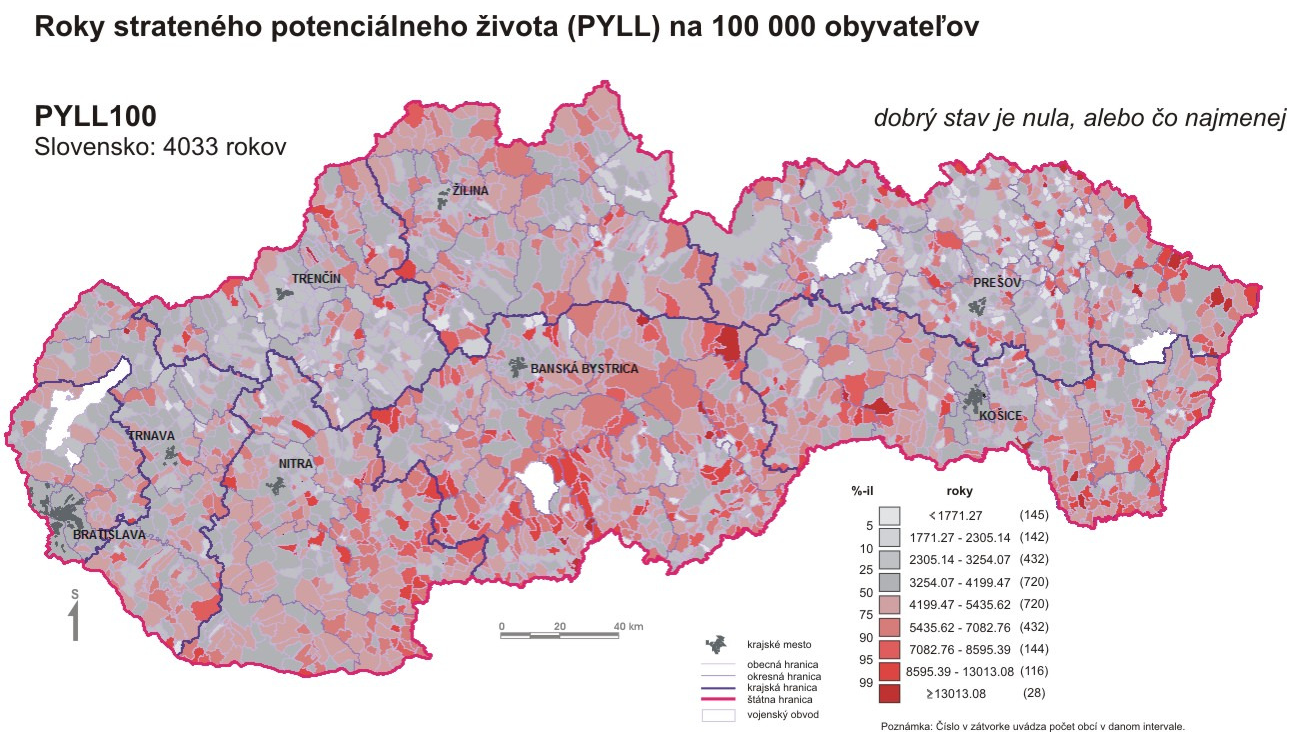
V danej práci pre celkové zhodnotenie vplyvu chemického zloženia podzemných vôd na zdravotný stav obyvateľstva používame súbor 14 ZI, uvedených v tabuľke 2, kde je uvedený aj popis výpočtu ZI. Pre hodnotenie sme vybrali základné demografické indikátory, a to: očakávané roky života pri narodení a potenciálne roky strateného života na všetky príčiny úmrtí. Ďalej hodnotíme úmrtnosť na štyri najdôležitejšie príčiny úmrtí na Slovensku, ktoré môžu mať súvis so životným prostredím a to kardiovaskulárne ochorenia, onkologické ochorenia (OD), ochorenia dýchacej sústavy a ochorenia tráviacej sústavy. Pri relatívnej a nepriamo štandardizovanej úmrtnosti na vybranú príčinu vychádzame z Medzinárodnej klasifikácie chorôb (MKCH 10, revízia, www.nczisk.sk).

Tab. 2 Hodnotené zdravotné indikátory Slovenskej republiky (údaje prepočítané podľa počtu obyvateľov v obciach)

číslo	indikátor	popis indikátora	popis výpočtu	jednotka	priemer SR*
		Demografické indikátory, popisujúce vekové zloženie obcí			
1	DOZ	očakávané roky života pri narodení – obyvateľstvo	kumulatívny počet všetkých „odžitých“ rokov v období každého roku veku /počet žijúcich ľudí na začiatku roku	roky	72,60
		Predčasná úmrtnosť			
8	PYLL100	potenciálne roky strateného života	100 000 x [súčet nedožitých rokov do veku 65 rokov (úmrtia vo veku 1–64 rokov)/počet obyvateľov]	roky	4033,00
		Relatívna úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia			
9	ReC00-C97	zhubné nádory	100 000 x [počet úmrtí na vybrané ochorenie/počet obyvateľov]	počet úmrtí na 100 000 obyvateľov	212,79
20	ReI00-I99	obehový systém			531,05
23	ReJ00-J99	dýchacia sústava			58,08
24	ReK00-K93	tráviaca sústava			45,83
		Štandardizovaná úmrtnosť na vybranú príčinu úmrtia			
26	SMRC00-C97	zhubné nádory	nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť na slovenský štandard (19 vekových skupín)	%	100
31	SMRI00-I99	obehový systém			100
34	SMRJ00-J99	choroby dýchacej sústavy			100
35	SMRK00-K93	choroby tráviacej sústavy			100
		Potenciálne roky strateného života na vybranú príčinu úmrtia			
37	PYLLC00-C97	zhubné nádory	100 000 x [súčet nedožitých rokov do veku 65 rokov (úmrtia vo veku 1–64 rokov) pri úmrtí na vybranú príčinu/počet obyvateľov]	roky	1005,20
40	PYLLI00-I99	obehový systém			866,19
42	PYLLJ00-J99	choroby dýchacej sústavy			172,69
43	PYLLK00-K93	choroby tráviacej sústavy			334,80

Pozn.: Zdravotné indikátory klasifikované v zmysle Medzinárodnej klasifikácie chorôb, MKCH 10. revízia (www.nczisk.sk), *priemer pre Slovenskú republiku za obdobie 1994 - 2003

Zdrojom dát bola databáza Štatistického úradu Slovenskej republiky (www.statistic.sk). Všetky zdravotné indikátory boli vypočítané formou kumulatívnej funkcie pre roky 1994 až 2003, teda pre 10 ročné obdobie, pričom všetky prípady úmrtí boli spočítané a všetky počty obyvateľov boli vyjadrené ako osoboroky (počet obyvateľov k 31. decembru príslušného roku) pre každý hodnotený územný celok. Metodika výpočtu a štandardizácie zdravotných indikátorov je v súlade s odporúčaniami Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) a iných autorov Beaghole et al. (1993); Jeníček (1995); Last (2001); Bencko et al (2003a; b). Naše dáta ZI predstavujú teda priemerné hodnoty za desaťročné obdobie pre každú z 2883 obcí Slovenskej republiky. Na obrázku 1 sú uvedené potenciálne roky strateného života. Ostatné zdravotné indikátory sú v mapovej aj databázovej forme dostupné na internetovej stránke www.geology.sk/geohealth.



Obr. 1 Potenciálne roky strateného života na Slovensku na úrovni obcí

3. METODIKA

3.1 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 rôzneho geochemického pozadia (Kohút et al., 1999). Výsledkom tejto skutočnosti je aj veľmi rozdielne chemické zloženie podzemných/pitných vôd, o ktorom predpokladáme, že má aj rôzny vplyv na zdravotný stav obyvateľstva.

Geologická stavba SR bola v práci Rapant et al. (2014a) rozčlenená na 8 hlavných celkov, ktoré sú uvedené z hľadiska vplyvu na zdravotný stav obyvateľstva od najpriaznivejšieho po najnepriaznivejšie:

1 – flyšový paleogén: hlavne pieskovce, bridlice, ílovce,

2 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén: hlavne sliene, slienité vápence, dolomity, pieskovce a bridlice,

3 – karbonatické mezozoikum a bazálny paleogén: hlavne vápence, dolomity, vápnité zlepence,

4 – neogén; hlavne íly, ílovce, zlepence, piesky, štrky,

5 – kvartér; hlavne štrky, piesky, íly, úlomky hornín.

6 – kryštalinikum: hlavne granitoidy, ruly, migmatity,

7 – paleozoikum: hlavne metasedimenty, metavulkanity,

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

Následne sme podľa tohto rozčlenenia geologickej stavby rozčlenili chemické zloženie podzemných vôd - environmentálne indikátory a taktiež ukazovatele zdravotného stavu - zdravotné indikátory, ktoré sme podrobili štatistickej analýze formou nižšie uvedených štatistických metód.

3.2 Štatistická analýza

Pre štatistické pracovanie vzťahu dát EI a ZI sme použili klasické štatistické metódy a to Pearsonov lineárny korelačný koeficient a Spearmanov poradový korelačný koeficient. Štatistickú významnosť vypočítaných korelácií hodnotíme pomocou jeho P hodnoty nasledovne: $P < 0.05$ overená závislosť (+), $P < 0.01$ vysoká závislosť (++), $P < 0.001$ veľmi vysoká závislosť (+++).

3.3 Neurónové siete

Sledovanie vzťahov medzi dvoma rôznymi premennými je doménou štatistiky. Avšak výber vhodnej štatistickej metódy s cieľom spojenia dvoch databáz si vyžaduje veľmi korektný prístup k získaniu relevantných vzťahov závislosti. Na vyjadrenie intenzity stochastickej závislosti medzi dvoma premennými sa používajú korelačné koeficienty, ktoré vyjadrujú závislosť vzťahov medzi skúmanými atribútmi. Klasické Pearsonove korelačné koeficienty vyjadrujú mieru jednoduchej lineárnej závislosti dvoch premenných. Spearmanove korelačné koeficienty sú mierou monotónnej závislosti. Naše dáta však nemajú normálne rozdelenie, sú nerovnomerne rozdelené, často zaťažené chybou, neúplné a vykazujú vysokú variabilitu.

Naše dáta majú všetky náležitosti bežného života. Bolo by preto nesprávne predpokladať existenciu funkčného vzťahu. Použitie klasických metód regresnej analýzy nemusí zachytiť komplexnosť problematiky a mohlo by viesť k nesprávnym záverom. Komplexné situácie vyžadujú analytické prístupy riešenia. Preto pre analýzu vzťahov medzi chemickým zložením podzemných

vôd a jednotlivými zdravotnými indikátormi používame umelú inteligenciu – umelé neurónové siete (ANN). Podrobná charakteristika ANN a spôsoby výpočtov pri spájaní EI a ZI sú podané v práci Rapant et al. (2015).

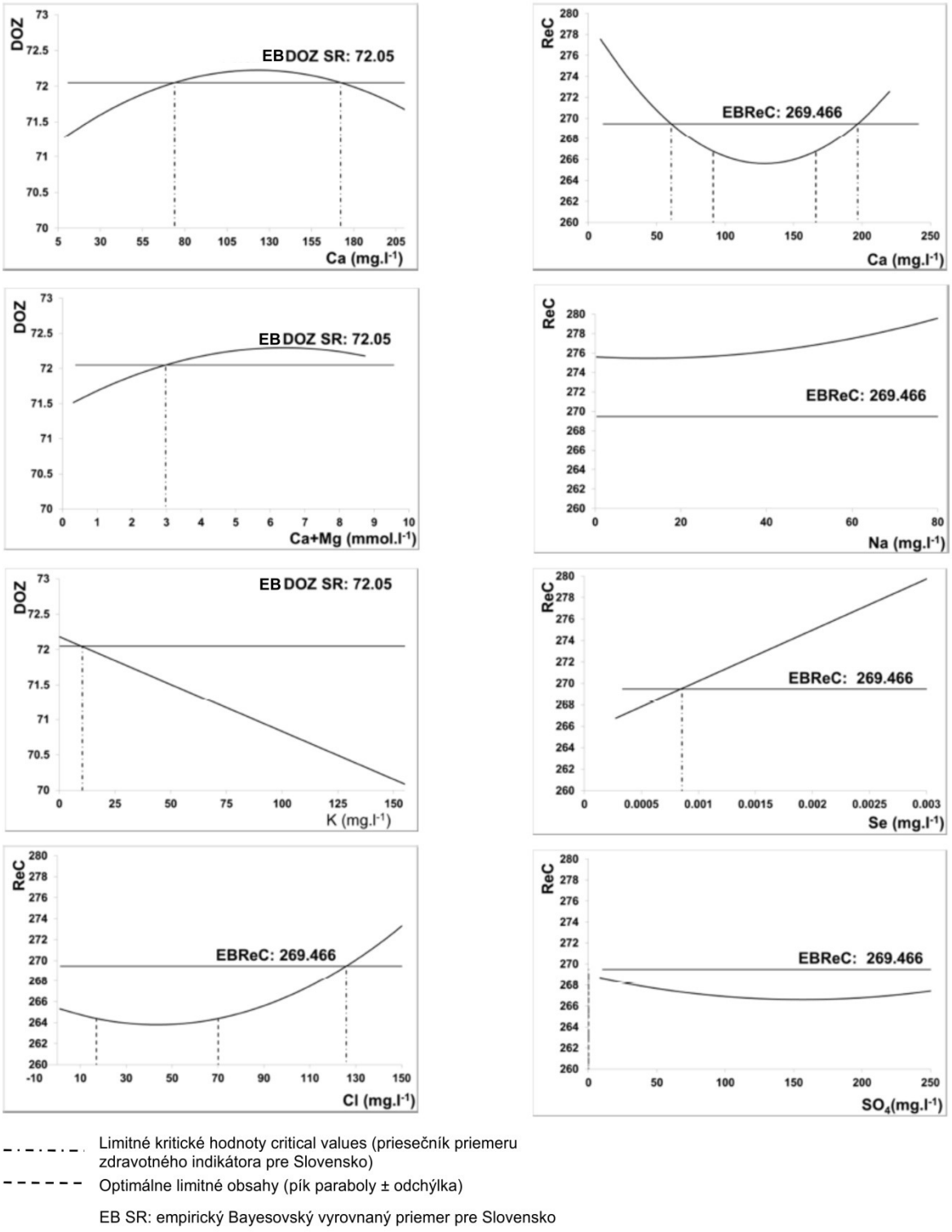
Poradie vplyvu chemických prvkov vo vode na zdravotné indikátory bolo určené na základe hodnoty koeficienta citlivosti s_r. Vplyv na ZI majú tie chemické prvky, pre ktoré je koeficient citlivosti väčší ako 1. Za účelom identifikácie vplyvných prvkov z hľadiska chemického zloženia podzemných vôd bolo počítaných 200 sietí. Zvolený počet 200 sietí sa ukázal ako plne dostatočný, lebo pre ďalšie siete už hodnota korelačného koeficientu nerástla, ale stagnovala alebo klesala.

Napriek tomu, že výkonnosť (spoľahlivosť) siete je uspokojivá, vplyv jednotlivých hodnotených environmentálnych indikátorov bol pre každú sieť rôzny. Preto sme pre určenie poradia vplyvu chemických prvkov vo vode na ZI použili mediánové hodnoty s_r z 50 najlepších sietí, s najvyšším korelačným koeficientom. Takýto postup použili napr. Opitz & Shavlik (1996); Han et al. (2011); Kourentzes et al. (2014) a Rapant et al (2015).

Na základe mediánovej hodnoty (z 50 najlepších sietí) koeficienta citlivosti (s_r) vypočítanej pre každý chemický prvok hodnotíme vplyv chemického prvku na jednotlivé zdravotné indikátory. Vplyv je tým väčší, čim je väčšia hodnota s_r. Chemické prvky s hodnotou $s_r < 1$ sú nevplyvné na zdravotné indikátory. Štatistickú významnosť vypočítaných koeficientov s_r udáva koeficient determinácie R^2. Čím je vyšší, tým je väčšia štatistická významnosť vypočítaných koeficientov senzitivity. Výsledky výpočtov ANN pre získanie tvaru závislosti medzi EI a ZI sme overili metódou decilov. Spôsob bol nasledovný. Rozpätie hodnôt obsahu skúmaného prvku vo vode sme rozdelili na decily. V ďalšom kroku sme našli ťažiská bodov, ktorých x-ová súradnica prislúchala do jednotlivých decilov. Následne sme cez ťažiská 2. až 9. decilu preložili polynóm druhého stupňa, resp. priamku. Pre veľmi vplyvné prvky je zhoda vynikajúca. S poklesom vplyvnosti prvkov zhoda existuje, ale podobnosť klesá (Rapant et al., 2015).

ANN nám umožňujú taktiež odvodiť limitné hodnoty chemických prvkov vo vodách z hľadiska jednotlivých zdravotných indikátorov, teda obsahy chemických prvkov pri ktorých zdravotné indikátory nadobúdajú čo najpriaznivejšie hodnoty. Vyčleňujeme dva druhy limitných hodnôt a to limitné (kritické) hodnoty a optimálne limitné hodnoty. Limitné hodnoty predstavujú priesečník namodelovanej krivky obsahov chemických prvkov s priemernou hodnotou zdravotného indikátora. Optimálne hodnoty v prípade paraboly predstavujú priesečník priemernej hodnoty zdravotného indikátora ± štandardná odchýlka zdravotného indikátora. V prípade priamky určujeme optimálne hodnoty ako priesečník priamky s 40 % hodnoty zdravotného indikátora. V prípade, keď namodelovaná krivka obsahov chemických prvkov nepretínala priemernú hodnotu zdravotného indikátora sa limitné hodnoty nedali určiť. Pri mnohých prvkoch limitná hodnota (horný alebo dolný limit) neexistuje. Znamená to, že rastúci alebo klesajúci obsah chemických prvkov vo vode

nemá vplyv na zdravotný stav. Spôsob vyčleňovania limitných hodnôt EI je zrejmý z obrázku č. 2. Ako priemernú hodnotu zdravotného indikátora používame Bayesovský vyrovnaný priemer zdravotného indikátora, ktorý nám zohľadňuje počet obyvateľstva v jednotlivých obciach (Chaikaew, et al., 2009; Chen et al., 2008; Rapant et al., 2016).



Obr. 2 Vymedzenie limitných hodnôt EI na ZI

4. VÝSLEDKY

Priemerné hodnoty hodnotených zdravotných indikátorov pre dva najpriaznivejšie geologické celky z hľadiska zdravotných indikátorov (flyšový paleogén - 1, karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén - 2) a pre dva najnepriaznivejšie geologické celky (neovulkanity - 8 a paleozoikum - 7) z hľadiska zdravotných indikátorov sú uvedené v tab. 3, spolu s priemernými hodnotami pre Slovenskú republiku a taktiež pre dva vybrané okresy SR. Okres Krupina je celý budovaný horninovým prostredím vulkanitov (vo vzťahu k zdravotným indikátorom je to najmenej priaznivé geologické prostredie) a obyvateľstvo je zásobené pitnou vodou len z podzemných vôd okresu Krupina. Okres Bardejov je celý budovaný horninovým prostredím flyšového paleogénu (vo vzťahu k zdravotným indikátorom je to najviac priaznivé geologické prostredie) a obyvateľstvo je zásobované pitnou vodou len z podzemných vôd okresu Bardejov. Priemerné obsahy 10 najvplyvnejších chemických prvkov na zdravotné indikátory podľa ANN a pre dva klasické potenciálne toxické prvky (PTE) arzén a olovo pre vyššie uvedené celky sú uvedené v tab. 4.

Vybrané výsledky lineárnej a Spearmanovej korelácie medzi EI a ZI pre celé geologické prostredie sú uvedené v tab. 5.

V tabuľke 6 a 7 sú uvedené výsledky výpočtov ANN. V tabuľke 6 sú uvedené výsledky koeficientu senzitivity pre najvplyvnejšie chemické prvky v podzemných vodách pre hodnotené zdravotné indikátory, spolu s poradím vplyvu jednotlivých prvkov pre celé geologické prostredie. V tabuľke 7 sú zosumarizované výsledky výpočtov ANN pre očakávané dožitie obyvateľstva spolu s odvodenými limitnými hodnotami pre najvplyvnejšie chemické prvky/zložky v podzemných vodách. Výsledky výpočtov neurónových sietí pre ostatné hodnotené zdravotné indikátory sú dostupné na internetovej stránke www.geology.sk/geohealth.

Tab. 3 Priemerné hodnoty zdravotných indikátorov vybraných oblastí SR

Geologický celok/okres Zdravotný indikátor	1	2	7	8	Krupina	Bardejov	SR
DOZ	73,69	72,75	71,47	71,11	69,95	74,07	72,60
PYLL100	3874,38	3985,46	4360,96	4586,18	5609,07	3140,73	4033,00
ReC00-C97	177,99	195,96	209,46	236,28	243,23	175,32	212,79
ReI00-I99	463,32	505,07	569,73	638,78	889,20	492,82	531,05
ReJ00-J99	54,42	57,44	70,21	81,98	81,11	26,62	58,08
ReK00-K93	34,22	42,40	41,39	66,88	75,68	25,39	45,83
SMRC00-97	95,03	95,18	101,78	102,91	99,73	91,20	100
SMRI00-I99	100,03	98,86	111,73	108,50	131,06	100,71	100
SMRJ00-J99	109,39	100,61	124,81	126,34	116,33	50,50	100
SMRK00-K93	84,31	94,23	94,92	130,61	150,20	62,63	100
PYLLC00-C97	909,88	921,47	1053,42	1097,32	1121,6	808,8	1005,20
PYLLI00-I99	831,99	937,66	1052,18	1050,95	1518,2	779,9	866,19
PYLLJ00-J99	229,74	146,28	274,92	202,67	259,2	231,1	172,69
PYLLK00-K93	287,97	340,66	369,48	491,26	693,29	211,84	334,8

Pozn.: 1 – flyšový paleogén, 2 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén, 7 – Paleozoikum, 8 – neovulkanity, SR – priemer pre Slovenskú republiku, n = počet obcí v hodnotenom geologickom celku/okrese

Tab. 4 Priemerné hodnoty obsahov vybraných chemických prvkov v podzemných vodách vybraných oblastí SR

Geologický celok/okres	1	2	7	8	Krupina	Bardejov	SR
parameter	n = 727	n = 154	n = 100	n = 309	n = 36	n = 86	
MIN [mg.l^{-1}]	524,64	586,79	302,27	439,73	362,34	484,79	629,75
Ca+Mg [mmol.l^{-1}]	3,02	3,45	1,68	2,11	1,58	2,75	3,50
Na [mg.l^{-1}]	12,74	12,79	8,53	16,09	13,12	10,34	20,34
Ca [mg.l^{-1}]	88,53	99,86	43,15	56,13	42,01	80,75	93,56
Mg [mg.l^{-1}]	19,67	23,27	14,70	17,14	12,96	17,98	28,29
Cl [mg.l^{-1}]	17,14	21,24	13,18	21,66	13,81	13,77	32,96
SO_4 [mg.l^{-1}]	62,72	65,38	45,65	49,70	22,42	44,96	79,32
NO_3 [mg.l^{-1}]	16,19	21,72	18,02	26,44	16,49	14,84	38,76
HCO_3 [mg.l^{-1}]	287,65	323,63	138,29	191,51	174,23	282,12	303,85
As [mg.l^{-1}]	0,00079	0,00135	0,00863	0,00241	0,0018	0,00114	0,00192
Se [mg.l^{-1}]	0,00068	0,00074	0,00063	0,00086	0,0006	0,00068	0,00097
Pb [mg.l^{-1}]	0,00125	0,00121	0,00142	0,00134	0,0018	0,00094	0,00136

Pozn.:
1 – flyšový paleogén, 2 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén, 7 – Paleozoikum, 8 – neovulkanity, SR – priemer pre Slovenskú republiku, n = počet obcí v hodnotenom geologickom celku/okrese

Tab. 5 Pearsonova a Spearmanova korelácia medzi EI a ZI pre geologické prostredie vcelku

Parameter	Lineárna korelácia			Spearmanova korelácia		
	r	P	významnosť	R	P	významnosť
Ca+Mg & DOZ	0,140	0,000	+++	0,181	0,000	+++
NO_3 & DOZ	-0,021	0,392	-	0,069	0,005	++
As & DOZ	0,020	0,411	-	-0,078	0,001	++
Ca+Mg & PYLL100	-0,130	0,000	+++	-0,187	0,000	+++
NO_3 & PYLL100	-0,001	0,960	-	-0,077	0,002	++
As & PYLL100	-0,017	0,484	-	0,083	0,001	+++
Ca+Mg & ReC00-C97	-0,085	0,000	+++	-0,134	0,000	+++
NO_3 & ReC00-C97	-0,050	0,043	+	-0,112	0,000	+++
As & ReC00-C97	-0,001	0,960	-	0,080	0,001	++
Ca+Mg & ReI00-I99	-0,083	0,001	+++	-0,151	0,000	+++
NO_3 & ReI00-I99	-0,031	0,198	-	-0,092	0,000	+++
As & ReI00-I99	-0,013	0,586	-	0,030	0,224	-
Ca+Mg & ReJ00-J99	-0,108	0,000	+++	-0,138	0,000	+++
NO_3 & ReJ00-J99	-0,057	0,020	+	-0,111	0,000	+++
As & ReJ00-J99	-0,003	0,912	-	0,090	0,000	+++
Ca+Mg & ReK00-K93	-0,049	0,047	+	-0,119	0,000	+++
NO_3 & ReK00-K93	0,075	0,002	++	-0,038	0,116	-
As & ReK00-K93	0,001	0,959	-	0,171	0,000	+++
Ca+Mg & SMRC00-C97	-0,033	0,175	-	-0,038	0,119	-
NO_3 & SMRC00-C97	0,012	0,618	-	-0,004	0,861	-
As & SMRC00-C97	0,006	0,798	-	0,086	0,000	+++
Ca+Mg & SMRI00-I99	-0,023	0,351	-	-0,046	0,061	-
NO_3 & SMRI00-I99	0,077	0,002	++	0,052	0,034	+
As & SMRI00-I99	-0,014	0,578	-	0,039	0,112	-
Ca+Mg & SMRJ00-J99	-0,066	0,007	++	-0,084	0,001	+++
NO_3 & SMRJ00-J99	-0,010	0,693	-	-0,056	0,023	+
As & SMRJ00-J99	0,004	0,871	-	0,081	0,001	+++
Ca+Mg & SMRK00-K93	-0,039	0,112	-	-0,088	0,000	+++
NO_3 & SMRK00-K93	0,105	0,000	+++	0,007	0,780	-
As & SMRK00-K93	0,018	0,456	-	0,168	0,000	+++
Ca+Mg & PYLLC00-C97	-0,079	0,001	++	-0,095	0,000	+++
NO_3 & PYLLC00-C97	-0,028	0,258	-	-0,042	0,086	-
As & PYLLC00-C97	-0,001	0,971	-	0,106	0,000	+++
Ca+Mg & PYLLI00-I99	-0,084	0,001	+++	-0,121	0,000	+++
NO_3 & PYLLI00-I99	0,042	0,083	-	0,002	0,929	-
As & PYLLI00-I99	-0,020	0,421	-	0,091	0,000	+++
Ca+Mg & PYLLJ00-J99	-0,025	0,302	-	-0,079	0,001	++
NO_3 & PYLLJ00-J99	0,009	0,715	-	0,004	0,856	-
As & PYLLJ00-J99	-0,006	0,806	-	0,058	0,018	+
Ca+Mg & PYLLK00-K93	-0,041	0,092	-	-0,079	0,001	++
NO_3 & PYLLK00-K93	0,079	0,001	++	0,006	0,800	-
As & PYLLK00-K93	0,028	0,248	-	0,156	0,000	+++

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 (+++)

Tab. 6 Koeficient senzitivity a poradie vplyvu pre 10 najvplyvnejších prvkov v podzemných vodách na zdravotné indikátory podľa výpočtov ANN

prvok	DOZ		PYLL100		ReC00-C97		ReI00-I99		ReJ00-J99		ReK00-K93		SMRC00-C97		SMRI00-I99		SMRJ00-J99		SMRK00-K93		PYLLC00-C97		PYLLI00-I99		PYLLJ00-J99		PYLLK00-K93		
	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	S_r	P	xP
Ca+Mg	1,419	1	1,115	1	1,027	3	1,370	1	1,590	1	1,057	1	1,003	3	1,677	1	1,001	6	1,180	1	1,044	1	1,046	1	1,003	4	1,169	1	1,92
Mg	1,153	3	1,027	3	1,005	8	1,150	3	1,255	3	1,009	7	1,004	1	1,291	3	1,002	4	1,065	3	1,004	4	1,002	6	1,004	3	1,063	3	3,92
Ca	1,246	2	1,048	2	1,013	4	1,211	2	1,346	2	1,015	5	1,003	2	1,387	2	1,003	3	1,108	2	1,008	3	1,006	3	1,004	2	1,100	2	2,62
MIN	1,086	4	1,003	5	1,074	1	1,053	4	1,008	4	1,015	6	1,001	8	1,018	4	1,016	1	1,051	4	1,016	2	1,002	7	1,010	1	1,028	4	3,92
HCO_3	1,012	8	1,013	4	1,034	2	1,026	5	1,005	5	1,023	4	1,002	4	1,006	5	1,005	2	1,028	5	1,002	5	1,010	2	1,003	6	1,012	5	4,38
SO_4	1,004	9	1,002	7	1,0094	5	1,009	7	1,001	8	1,006	8	1,001	10	1,001	10	1,001	5	1,006	8	1,001	10	1,003	5	1,001	7	1,003	9	7,77
Cl	1,003	11	1,002	9	1,007	6	1,027	6	1,001	9	1,029	2	1,001	5	1,001	11	1,000	13	1,021	6	1,002	6	1,002	8	1,001	8	1,003	8	7,85
NO_3	1,003	10	1,001	11	1,006	7	1,004	8	1,001	10	1,003	9	1,001	11	1,002	6	1,001	8	1,004	9	1,001	8	1,001	11	1,001	11	1,001	10	9,31
SiO_2	1,002	13	1,002	8	1,001	12	1,003	10	1,000	17	1,027	3	1,001	6	1,001	14	1,000	11	1,014	7	1,000	13	1,001	9	1,000	21	1,008	6	10,77
Na	1,0434	7	1,001	12	1,003	9	1,002	9	1,000	16	1,002	12	1,001	12	1,001	13	1,000	14	1,001	13	1,001	7	1,003	4	1,001	9	1,000	19	11,31
K	1,0732	6	1,000	15	1,000	17	1,001	12	1,000	20	1,000	17	1,001	20	1,001	15	1,000	16	1,000	17	1,000	14	1,001	10	1,000	13	1,000	28	16,00

Pozn.: s_r – koeficient citlivosti, P - poradie vplyvu, xP – aritmetický priemer poradia vplyvu pre všetky hodnotené zdravotné indikátory

Tab. 7 Výsledky výpočtov ANN a odvodené limitné hodnoty pre 10 najvplyvnejších prvkov v podzemných vodách SR na DOZ

poradie	parameter	s_r	R^2	Limitný obsah		Optimálny obsah		Hodnotené funkcie závislosti	Obsahy*	
				DH	HH	DH	HH		min	max
1	**Ca+Mg**	1,419	0,997	2,98	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	0,35	7,97
2	**Ca**	1,246	0,975	73,95	172,21	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	9,83	201,01
3	**Mg**	1,152	0,975	18,13	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	2,45	97,75
4	**MIN**	1,086	0,899	358,46	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	87,30	1412,30
5	**$ChSK_{Mn}$**	1,081	0,994	neexistuje	2,27	neexistuje	neexistuje	priamka	0,75	7,48
6	**K**	1,073	0,964	neexistuje	9,85	neexistuje	neexistuje	priamka	0,27	153,15
7	**Na**	1,043	0,977	neexistuje	24,07	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	0,71	119,69
8	**HCO_3**	1,012	0,993	250,79	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	16,57	592,05
9	**SO_4**	1,003	0,522	31,42	185,32	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	9,38	319,50
10	**NO_3**	1,003	0,832	neexistuje	71,45	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	1,33	227,09

Poz.a: s_r – koeficient citlivosti, R^2 - koeficient determinácie, DH - dolná hranica, HH - horná hranica
*min – max obsahy prvkov/parametrov v podzemných vodách SR (jednotky v $mg.l^{-1}$, Ca+Mg v $mmol.l^{-1}$)

5. DISKUSIA

Porovnanie ZI v jednotlivých geologických celkoch / okresoch

Z porovnania výsledkov zdravotných indikátorov pre jednotlivé geologické celky (tab. 3) je zrejmé, že existujú signifikantné rozdiely v očakávanej dobe života, v potenciálnych rokoch strateného života a taktiež v úmrtnosti na jednotlivé sledované príčiny úmrtí medzi jednotlivými geologickými celkami. Karbonatické geologické celky (paleogén a karbonaticko-silikátové mezozoikum) sa vyznačujú signifikantne priaznivejšími hodnotami ako silikátové geologické celky (paleozoikum a vulkanity), a to prakticky vo všetkých zdravotných indikátoroch. Napríklad očakávaná dĺžka života pre flyšový paleogén je viac ako 2,5 roka dlhšia ako pre vulkanity. Obdobnú situáciu pozorujeme aj v indikátore PYLL100 (potenciálne roky strateného života), ktorý je v prípade flyšového paleogénu takmer o 20 % nižší ako v prípade vulkanitov. Rozdiely v relatívnej a nepriamo štandardizovanej úmrtnosti na kardiovaskulárne, onkologické ochorenia, tráviacu a dýchaciu sústavu sa medzi týmito dvoma celkami pohybujú väčšinou v rozmedzí medzi 20 až 100 % v neprospech silikátových geologických celkov. Ešte väčšie rozdiely v zdravotných indikátoroch pozorujeme, keď si porovnáme dva okresy a to Bardejov (najpriaznivejšie geologické prostredie – paleogén) a okres Krupina (najnepriaznivejšie geologické prostredie – vulkanity). Rozdiel v očakávanej dĺžke života je tu viac ako štyri roky v neprospech okresu Krupina. PYLL100 je viac ako o 90 % horší v prípade okresu Krupina. Relatívna úmrtnosť na tráviacu a dýchaciu sústavu v okrese Krupina je viac ako trojnásobne vyššia ako v okrese Bardejov. Obdobná situácia je aj pri ostatných zdravotných indikátoroch. Výrazne väčšie rozdiely v zdravotných indikátoroch pre dva hodnotené okresy v porovnaní s geologickými celkami vysvetľujeme skutočnosťou, že silikátové horninové prostredie neovulkanitov je menej zvodnené a obyvateľstvo je tu často zásobované pitnou vodou zo vzdialenejších karbonatických hornín (s výrazne vyššími obsahmi Ca a Mg), ktoré sú na Slovensku oveľa viac zvodnené.

Uvedené rozdiely v zdravotných indikátoroch medzi karbonatickými a silikátovými geologickými celkami a okresmi sú podľa nás podmienené rozdielnymi obsahmi Ca, Mg a „tvrdosti“ vody. Obsahy týchto troch parametrov v podzemných/pitných vodách sú v karbonatických celkoch výrazne vyššie ako v silikátových geologických celkoch (tab. 4). V obsahoch ďalších chemických prvkov v jednotlivých geologických celkoch nepozorujeme signifikantné rozdiely.

Štatistická analýza

Z výsledkov Spearmanovej a lineárnej korelácie (tab. 5) nemožno vysloviť plne dôveryhodné závery. Naše premenné (EI a ZI) nemajú normálne rozdelenie a skúmané závislosti nie sú vo všeobecnosti lineárne a často ani monotónne, preto nepovažujeme dosiahnuté výsledky za plne preukazné. Korelačné koeficienty v oboch prípadoch sú veľmi nízke a vo viac než 90 % prípadoch oscilujú medzi hodnotami ± < 0.1. Dôležitá je však skutočnosť, že korelačné koeficienty medzi Ca, Mg a „tvrdosťou vody“ a zdravotnými indikátormi (okrem indikátora DOZ) vykazujú takmer vo všetkých prípadoch (aj pri ZI neuvedených v tabuľke) záporné hodnoty a to väčšinou pri štatisticky veľmi vysokej významnosti korelácii. Táto skutočnosť naznačuje zhoršenie všetkých sledovaných zdravotných indikátoroch úmrtnosti pri nízkych (deficitných) obsahoch Ca, Mg a tvrdosti vody v podzemných/pitných vodách Slovenskej republiky. Opačná situácia je v prípade indikátora DOZ (očakávaná dĺžka života). Tu pozorujeme aj v Spearmanovej aj v lineárnej korelácii kladné korelačné koeficienty pri štatisticky veľmi vysokej závislosti. Jednoznačne to naznačuje trend, že pri zvýšených obsahoch Ca, Mg a „tvrdosti“ vody sa predlžuje ľudský život.

Neurónové siete

Za oveľa reprezentatívnejšie výsledky považujeme výpočty získané neurónovými sieťami, ktoré dokážu eliminovať nehomogenitu štatistických súborov. Z výsledkov výpočtov neurónových sietí pre jednotlivé ZI (tab. 6, 7) sa ako najvplyvnejšie prvky/zložky chemického zloženia podzemných vôd prejavujú Ca+Mg, Ca, Mg, MIN, HCO_3 a SO_4. Týchto šesť prvkov sa vyskytovalo vo všetkých hodnotených zdravotných indikátoroch medzi desiatimi najvplyvnejšími EI. Ostatné EI – Cl, NO_3, SiO_2, Na a K boli zastúpené medzi desiatimi najvplyvnejšími len pri niektorých ZI. Ich priemerný vplyv (xP) na ZI je relatívne nízky (7,85 – 16) a priemerné hodnoty ich s_r sú nízke (s_r <1.01). Medzi najvplyvnejšími EI sa nám jasne vyčleňujú tri skupiny chemických prvkov/zložiek. Prvú skupinu predstavujú Ca, Mg a Ca+Mg. Tieto tri EI podľa nás majú najväčší vplyv na ZI. Vyznačujú sa aj najvyššími hodnotami koeficientu s_r. Druhá skupina EI (MIN a HCO_3) má podľa nás len stochastický vplyv na ZI. Podmienené je to skutočnosťou, že chemické zloženie podzemných vôd Slovenskej republiky je prevažne Ca-Mg-HCO_3 charakteru. MIN a HCO_3 vnímame ako indikátory obsahu Ca a Mg v podzemných vodách. HCO_3 predstavujú najviac zastúpený anión v podzemných vodách Slovenskej republiky a jeho obsahy sú spojené najmä s Ca a Mg katiónmi (mineralizácia vôd v dôsledku rozpúšťania karbonátov). Podobne je to aj v prípade

mineralizácie vôd (MIN), ktorej hodnoty sú podmienené v podmienkach SR najmä obsahmi Ca a Mg vo vodách (najzastúpenejšie katióny) a HCO_3 (najzastúpenejší anión, Rapant et al., 1996). Tretiu skupinu vplyvných prvkov predstavujú SO_4, Cl a NO_3. Tieto tri parametre sú klasickým príkladom antropogénneho znečistenia podzemných vôd Slovenskej republiky. Ich vplyv na základe hodnôt koeficienta s_r je však výrazne nižší (väčšinou o 1 rád a viac) než vplyv Ca, Mg a tvrdosti vody. V prípade týchto troch parametrov dôležitú úlohu tu zohráva skutočnosť, že ich zvýšené obsahy v podzemných vodách Slovenska vplyvom antropogénneho znečistenia sú doprevádzané väčšinou zvýšenými obsahmi Ca a Mg, ktoré sa preukázali ako najvplyvnejšie z hľadiska ZI. Uvedené anióny nemajú teda výrazný vplyv na zdravotný stav obyvateľstva SR. Týmto konštatovaním však v žiadnom prípade nespochybňujeme negatívne účinky dusičnanov, chloridov a síranov na ľudské zdravie, ktoré môžu byť pri lokálnych vysokých obsahoch týchto troch parametrov v jednotlivých, znečistených zdrojov podzemných vôd veľmi výrazné. Takéto výrazne znečistené zdroje podzemných vôd sa však nepoužívajú na pitné účely a preto tieto tri parametre chemického zloženia podzemných vôd v rámci celého Slovenska nemajú signifikantný vplyv na zdravotný stav obyvateľstva. Dôležitou skutočnosťou je, že všetky potenciálne toxické prvky: As, Pb, Hg, Zn, Sb a ďalšie majú veľmi malý vplyv, resp. sú nevplyvné na zdravotné indikátory. Ich koeficienty citlivosti sú väčšinou menšie 1, resp. sú veľmi nízke ($s_r < 1{,}01$). 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 výsledkov výpočtov ANN ako najvplyvnejšie na hodnotené ZI sa jednoznačne prejavili Ca, Mg a tvrdosť (Ca+Mg) vody. Ostatné prvky sa prejavili len ako málo vplyvné, resp. stochastické a preto sa nimi nebudeme ďalej zaoberať.

Ca a Mg sú veľmi dôležité vnútrobunkové katióny, ktoré sú významnou súčasťou väčšiny enzýmových systémov. Dôležité sú pre procesy krvotvorby, činnosti srdca a taktiež sú významné pri prevencii proti onkologickým ochoreniam (Bencko et al., 2011). O význame Ca a Mg v pitných vodách pre CVD ochorenia existuje vo svetovej literatúre veľké množstvo prác, ktoré spájajú deficitné obsahy Ca a Mg so zvýšenou incidenciou, resp. úmrtnosťou na CVD (Rubenowitz et al., 1998; Nerbrand et al., 2003; Kousa et al., 2006; Maksimović et al., 2010). V prípade onkologických ochorení sú deficitné obsahy Ca a Mg spájané so zvýšenou úmrtnosťou na OD len v troch krajinách sveta, a to na Taiwane (napr. Yang et al. 1997b; 1999a, b, c, 2000), v Japonsku (Sakamoto et al., 1997) a na Slovensku (Rapant et al., 2014a; Rapant et al., 2016). Nenašli sme však vo svetovej literatúre referencovaný odkaz, ktorý by

spájal zvýšenú incidenciu alebo úmrtnosť na ochorenia tráviacej alebo dýchacej sústavy s deficitnými obsahmi Ca a Mg v pitných vodách. Len v jednej ruskej ekologickej štúdii sa popisuje signifikantne zvýšený výskyt ochorení žalúdka a dvanástorníka v spojitosti s mäkkými vodami, s tvrdosťou menej ako 1,5 $mmol.l^{-1}$ (Lutai, 1992 in Kožíšek, 2003). A práve v úmrtnosti na dýchaciu a tráviacu sústavu (aj v relatívnej aj štandardizovanej) pozorujeme najväčšie rozdiely. Keď si porovnáme okresy Krupina a Bardejov vidíme, že v okrese Krupina sú tieto indikátory často viac ako 3 krát horšie porovnaní s okresom Bardejov.

Úmrtnosti na CVD, OD na tráviacu a dýchaciu sústavu predstavujú približne 80 – 85 % príčin úmrtí na Slovensku (NCZI 2015). Zvýšená úmrtnosť na tieto príčiny v silikátových geologických celkoch (vulkanity, granitoidy a kryštalické bridlice) a v okrese Krupina (vulkanity) sa zreteľne odráža aj v demografických indikátoroch a to či už v očakávanej dĺžke života (DOZ) tak aj v potenciálnych rokoch strateného života (PYLL100). Najmarkantnejšie je tento rozdiel vidieť, keď si porovnáme dva diskutované okresy. Rozdiel v očakávanej dĺžke života je v neprospech Krupiny päť rokov a v prípade potenciálne stratených rokov života nám predstavuje viac ako 100 % v neprospech Krupiny.

Z vyššie uvedeného je zrejmé, že deficitné obsahy Ca, Mg, resp. „tvrdosti“ vody sa signifikantne odrážajú vo všetkých hlavných príčinách úmrtí na Slovensku, a to v kardiovaskulárnych a onkologických ochoreniach a taktiež aj úmrtí na tráviacu a dýchaciu sústavu. Naopak, pri ich vyšších obsahoch pozorujeme predĺženie ľudského života.

Návrh limitných hodnôt

Najdôležitejším výstupom našej práce je určite určenie limitných hodnôt pre uvedené parametre, pri ktorých je úmrtnosť čo najnižšia, resp. ľudský život čo najdlhší. V tabuľke 8 sú uvedené limitné hodnoty pre zohľadňované ZI v porovnaní s odporúčanými (nie záväznými) hodnotami Slovenskej normy pre pitnú vodu. Keby sme mali zohľadniť význam jednotlivých zdravotných indikátorov, určite by ako najvplyvnejší zdravotný indikátor bol indikátor očakávaná dĺžka života a potenciálne roky strateného života. V týchto dvoch indikátoroch sa odrážajú všetky ďalšie zdravotné indikátory. Ďalej by nasledovala úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia (približne 48 % príčin zo všetkých úmrtí), ďalej úmrtnosť na onkologické ochorenia (približne 25 % príčin zo všetkých úmrtí). Úmrtnosti na tráviacu sústavu (približne 6 %) a dýchaciu sústavu (5 %) by mali najmenšiu váhu. Nemôžeme však limitné hodnoty určiť matematicky. Pre približne polovicu zdravotných indikátorov limitná hodnota neexistuje, alebo sa nedá určiť (tab. 8). V prípade neexistencie limitnej hodnoty to

znamená, že rastúci alebo klesajúci obsah chemických prvkov nemá vplyv na zdravotný indikátor. Pri limitných hodnotách musíme vziať do úvahy aj možné nepriaznivé zdravotné účinky veľmi tvrdých vôd. 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 príčinou nepriaznivých zdravotných účinkov na človeka (Kožíšek, 2003). S výnimkou extrémne vysokých obsahov Mg (stovky $mg.l^{-1}$), 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 uhličitan vápenatý. Z technologického hľadiska nie je priaznivá ani veľmi tvrdá voda, ktorá tvorí inkrusty a naopak mäkká voda sa vyznačuje korozívnymi vlastnosťami.

Optimálna tvrdosť vody z hľadiska zdravotného stavu na človeka je ťažko stanoviteľná. Väčšina autorov ako najpriaznivejšie hodnoty pre Mg minimálne 20 – 30 $mg.l^{-1}$, pre Ca 40 – 80 $mg.l^{-1}$ a celkovú tvrdosť vody 2 – 4 $mmol.l^{-1}$ (Rosborg ed., 2015).

Pri zohľadnení našich výpočtov a všetkých ďalších skutočností navrhujeme nasledovné limitné hodnoty pre Ca, Mg a tvrdosť vody a to ako pre vodu určenú na hromadné zásobovanie tak aj pre balenú pitnú vodu. Ako odporúčané hodnoty pre pitnú vodu určenú na hromadné zásobovanie navrhujeme pre Ca > 50 $mg.l^{-1}$, pre Mg > 25 $mg.l^{-1}$ a pre tvrdosť vody (Ca+Mg) > 2 $mmol.l^{-1}$. Pre balenú pitnú vodu odporúčame nasledovné limitné hodnoty pre Ca > 60 $mg.l^{-1}$, pre Mg > 30 $mg.l^{-1}$ a tvrdosť vody (Ca+Mg) > 2,5 $mmol.l^{-1}$. V prípade Ca, keďže vo svetovej literatúre (Catling et al., 2005) sa oveľa väčší dôraz kladie na význam Mg (v porovnaní s Ca) navrhovaný limit je trocha nižší ako nami odvodená hodnota. Ca a Mg v podzemných vodách Slovenskej republiky takmer vždy idú spolu a prevažne v pomere 2:1 v prospech Ca. Nedokážeme sa preto k zdravotným účinkom Ca a Mg vyjadriť samostatne.

Horné limity v prípade všetkých troch parametrov však nepovažujeme za opodstatnené a potrebné. Vody s vyššou tvrdosťou vody ako 5 $mmol.l^{-1}$, resp. s obsahom Ca nad 180 $mg.l^{-1}$ a Mg s obsahom nad 50 $mg.l^{-1}$ sa na území Slovenska prakticky nevyskytujú a nepoužívajú sa na pitné účely. Taktiež pri väčšine zdravotných indikátoroch neexistuje horná limitná hranica, to znamená, že vysoké obsahy týchto prvkov nevplývajú na ľudské zdravie negatívne.

Nami navrhované limitné hodnoty sú v porovnaní s odporúčanými hodnotami Slovenskej normy pre pitnú vodu (tab. 8, 9) približne dvakrát vyššie. Preto ich odporúčame zvýšiť. Pri nami odvodených a navrhovaných limitných hodnotách uvedených troch parametrov je úmrtnosť na rôzne ochorenia výrazne nižšia a ľudský život je signifikantne dlhší.

Tab. 8 Vypočítané limitné hodnoty obsahov Ca, Mg a tvrdosti vody (Ca+Mg) pre jednotlivé zdravotné indikátory

ZI	poradie	prvok	Limitný obsah		Optimálny obsah		obsahy	
			DH	HH	DH	HH	min	max
	1	**Ca+Mg**	2,98	neexistuje	nedá sa určiť	neexistuje	0,35	7,97
DOZ	2	**Ca**	73,95	172,21	85,56	160,60	9,83	201,01
	3	**Mg**	18,13	neexistuje	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	2,87	6,67	3,21	6,33	0,35	7,97
PYLL100	2	**Ca**	79,40	169,74	87,05	162,09	9,83	201,01
	3	**Mg**	20,44	83,24	33,82	69,87	2,45	97,75
	3	**Ca+Mg**	1,73	5,85	2,23	5,34	0,35	7,97
ReC00-C97	4	**Ca**	60,56	196,84	91,18	166,21	9,83	201,01
	8	**Mg**	25,66	35,83	12,72	48,77	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	2,90	9,10	4,40	7,60	0,35	7,97
ReI00-I99	2	**Ca**	neexistuje	89,40	neexistuje	neexistuje	9,83	201,01
	3	**Mg**	24,30	95,80	42,00	78,10	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	3,20	11,67	5,88	8,99	0,35	7,97
ReJ00-J99	2	**Ca**	93,08	neexistuje	neexistuje	neexistuje	9,83	201,01
	3	**Mg**	28,63	neexistuje	83,99	120,05	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	neexistuje	4,08	0,41	3,53	0,35	7,97
ReK00-K93	4	**Ca**	17,74	127,58	35,14	110,18	9,83	201,01
	7	**Mg**	neexistuje	33,54	neexistuje	10,65	2,45	97,75
	2	**Ca+Mg**	neexistuje	4,17	neexistuje	neexistuje	0,35	7,97
SMRC00-C97	3	**Ca**	104,07	neexistuje	neexistuje	neexistuje	9,83	201,01
	1	**Mg**	neexistuje	33,50	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	0,35	7,97
SMRI00-I99	2	**Ca**	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	9,83	201,01
	3	**Mg**	neexistuje	65,85	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
	6	**Ca+Mg**	3,27	neexistuje	neexistuje	neexistuje	0,35	7,97
SMRJ00-J99	3	**Ca**	90,03	neexistuje	neexistuje	neexistuje	9,83	201,01
	4	**Mg**	25,81	neexistuje	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	0,99	2,16	0,99	2,16	0,35	7,97
SMRK00-K93	2	**Ca**	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	9,83	201,01
	3	**Mg**	neexistuje	29,67	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	0,35	7,97
PYLLC00-C97	3	**Ca**	93,17	194,91	106,52	181,56	9,83	201,01
	4	**Mg**	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	nedá sa určiť	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	5,70	8,88	5,73	8,85	0,35	7,97
PYLLI00-I99	3	**Ca**	150,76	neexistuje	164,04	neexistuje	9,83	201,01
	3	**Mg**	56,20	82,78	56,20	82,78	2,45	97,75
	4	**Ca+Mg**	neexistuje	4,06	neexistuje	neexistuje	0,35	7,97
PYLLJ00-J99	2	**Ca**	neexistuje	121,18	neexistuje	neexistuje	9,83	201,01
	3	**Mg**	neexistuje	47,63	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
	1	**Ca+Mg**	neexistuje	4,84	0,73	3,84	0,35	7,97
PYLLK00-K93	2	**Ca**	17,58	173,05	57,80	132,83	9,83	201,01
	3	**Mg**	neexistuje	37,27	neexistuje	neexistuje	2,45	97,75
		Ca+Mg	**2,95**	**6,15**	**2,95**	**5,83**	**0,35**	**7,97**
priemerné hodnoty		**Ca**	**78,03**	**155,61**	**89,61**	**152,29**	**9,83**	**201,01**
		Mg	**28,45**	**54,51**	**48,33**	**79,91**	**2,45**	**97,75**
limitné hodnoty slovenskej norma pre pitnú vodu, Anon 2010			***Ca > 30 mg.l^{-1}***	***Mg 10 – 30 mg.l^{-1}***		***Ca+Mg 1.1 – 5.0 mmol.l^{-1}***		

Tab. 9 Navrhované limitné hodnoty pre pitnú a balenú vodu

Parameter	Odporúčané hodnoty Pitná voda pre hromadné zásobovanie	Balená pitná voda
Ca+Mg	2 – 5 mmol.l^{-1}	2,5 – 5 mmol.l^{-1}
Ca	50 – 180 mg.l^{-1}	60 – 180 mg.l^{-1}
Mg	25 – 50 mg.l^{-1}	30 – 60 mg.l^{-1}

Vplyv iných ako environmentálnych faktorov

Na záver sa zmienime ešte o niektorých ďalších faktoroch, ktoré by mohli limitovať naše dosiahnuté výsledky.

Úmrtnosť na onkologické ochorenia závisí okrem diskutovanej problematiky chemického zloženia pitných vôd od rady ďalších faktorov ako hlavne napríklad od stravovacích návykov, životného štýlu, znečistenia ovzdušia, socioekonomických podmienok a podobne. Z územia SR takéto údaje pre jednotlivé obce neexistujú a takéto údaje existujú len pre určité vybrané oblasti, resp. niektoré okresy. Preto nižšie uvádzame vybrané dostupné informácie pre dva diskutované okresy SR – Krupina (najnepriaznivejšie geologické prostredie) a Bardejov (najpriaznivejšie geologické prostredie), kde sú rozdiely v úmrtnosti diskutované príčiny úmrtí ale aj v očakávanej dĺžke života (Rapant et al., 2015) najvyššie. Oba okresy predstavujú typické vidiecke okresy v horských oblastiach SR. Priemerná výška obcí ležiacich v okrese Bardejov je 351 m n. m. a v okrese Krupina 303 m n .m. Obyvateľstvo v oboch okresoch žije prevažne v rodinných domoch. Ľudia si vo veľkej väčšine pestujú v záhradách pri rodinných domoch zeleninu a ovocie pre vlastnú spotrebu. Čo sa týka kvality ovzdušia môžeme skonštatovať, že ani v jednom okrese a ani v jeho okolí neexistuje významnejší zdroj znečistenia ovzdušia (chemický priemysel, uhoľná tepelná elektráreň a pod.). Úroveň znečistenia ovzdušia v oboch okresoch je minimálna a preto tu ani neexistuje monitorovacia stanica kvality ovzdušia (Anon, 2015). Obdobne úroveň znečistenia pôd vyjadrená formou indexu environmentálneho rizika z kontaminácie pôd (I_{ER}) je v oboch okresoch veľmi nízka ($I_{ER}<1$) a pôdy v oboch okresoch sa vyznačujú nízkym stupňom environmentálneho rizika z kontaminácie pôd (Rapant et al., 2004; Rapant et al. 2008). Zrejme veľmi dôležitý faktor, ktorý by mohol vplývať na ZI je podiel rómskej populácie, ktorej socioekonomická úroveň, zdravotný stav a aj stredná dĺžka života sú signifikantne horšie ako u ostatnej populácie. Počet obyvateľov rómskej národnosti v okrese Bardejov (tab. 10) je však približne dvojnásobný ako v okrese Krupina.

Ďalšie z dôležitých socioekonomických faktorov, ktoré by mohli vplývať na ZI je evidovaná miera nezamestnanosti a prípadne aj priemerná mzda obyvateľov v okresoch. Aj priemerná mzda aj miera nezamestnanosti je v okrese Bardejov nepriaznivejšia ako v okrese Krupina.

Z ďalších determinantov zdravia, ktoré pôsobia na zdravie človeka buď pozitívne alebo negatívne sú v tabuľke 10 uvedené dostupné údaje o parametroch životného štýlu a zdravotnej starostlivosti. Z porovnania údajov môžeme skonštatovať, že nie sú zaznamenané signifikantné rozdiely v determinantoch životného štýlu a zdravotnej starostlivosti medzi

uvedenými okresmi. Naopak, nevýznamne lepšie hodnoty uvedených faktorov boli zaznamenané v okrese Krupina, kde bol zdokumentovaný signifikantne horší zdravotný stav a kratšia očakávaná dĺžka života ako v Bardejove.

Tab. 10 Prehľad socioekonomickej úrovne, zdravotníckych charakteristík a charakteristiky životného štýlu v okresoch Krupina a Bardejov v porovnaní so Slovenskou republikou

Socioekonomické charakteristiky[a]	**Krupina**	**Bardejov**	**SR**
Miera evidovanej nezamestnanosti (% populácie)	16,95	19,6	*12,29*
Priemerná nominálna mesačná mzda v Eur	694	614	*957*
Podiel obyvateľov rómskej národnosti (% populácie)	2,1 – 4	4,1 – 8	*2*
Zdravotnícke charakteristiky[b]			
Počet lekárov na 10000 obyvateľov – dospelí (vek 18+)	4,36	3,40	*4,32*
Počet lekárov na 10000 obyvateľov – deti a dorast (vek 0 – 17)	6,86	7,44	*9,87*
Charakteristika životného štýlu[c, d]			
Pravidelná pohybová aktivita (% populácie)	45	39,5	*58,5*
Pravidelné stravovacie návyky (% populácie)	75	49	*68*
Fajčenie (% populácie)	25	43	*19,5*
Nadmerná konzmuácia alkoholu (% populácie)	9,8	11	*6,8*

Poznámka: [a]Štatistický úrad Slovenskej republiky (www.statistics.sk), [b]NCZI, 2013, [c]Zdroj údajov pre okres Krupina: Kosmovský et al. 2015, [d]Zdroj údajov pre okres Bardejov: EHES (European Health Examination Survey) – zisťovanie zdravia Európanov (www.ehes.info)

6. ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme skonštatovať, že zdravotný stav obyvateľstva a očakávaná stredná dĺžka života obyvateľov v Slovenskej republike je signifikantne ovplyvňovaná chemickým zložením podzemných/pitných vôd a to hlavne obsahmi Ca, Mg a „tvrdosti“ vody. Úmrtnosť na hlavné príčiny úmrtí: kardiovaskulárne a onkologické ochorenia a taktiež ochorenia tráviacej a dýchacej sústavy je signifikantne nižšia, keď sú obsahy uvedených parametrov nasledovné: pre Ca v rozpätí 78 – 155 $mg.l^{-1}$, pre Mg 28 – 54 $mg.l^{-1}$ a pre „tvrdosť“ vody v rozpätí 2,9 – 6,1 $mmol.l^{-1}$. Zhoršený zdravotný stav obyvateľstva a zníženie strednej dĺžky života pozorujeme pri nízkych, deficitných obsahoch uvedených parametrov v podzemných/pitných vodách. Nami odvodené limitné hodnoty sú viac ako 2 x vyššia ako odporúčané hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu. Navrhujeme pre to zvýšiť limitné hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu a to pre Ca > 50 $mg.l.l^{-1}$, pre Mg > 25 $mg.l.l^{-1}$ a pre „tvrdosť“ vody > 2 $mmol.l^{-1}$. Pre balenú vodu odporúčame nasledovné limitné hodnoty: pre Ca > 60 $mg.l^{-1}$, pre Mg > 30 $mg.l.l^{-1}$ a pre „tvrdosť“ vody > 2,5 $mmol.l^{-1}$. Na základe dosiahnutých výsledkov odporúčame WHO prehodnotiť stanovenie medzných štandardov pre obsahy Ca a Mg v pitných vodách.

Literatúra

Anon (2010): Nariadenie vlády č. 269/2010 Z.z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.

Anon (2015). Air pollution in the Slovak Republic 2013. Slovak Hydrometeorological Institute, Ministry of Environment of the Slovak Republic, Manuscript, Bratislava (www.shmu.sk)

Beaglehole, R., Bonita R. & Kjellstrom, T. (1993). Basic Epidemiology. World Health Organization, Geneva

Bencko, V., Hrach, K., Malý, H., Pikhart, J., Reissigová, Š., Svačina, Š., Tomečková, M. & Zvárová, J. (2003a). Biomedicinská statistika III, Statistické metody v epidemiologii. Časť 1, Univerzita Karlova v Prahe , 236.

Bencko, V., Hrach, K., Malý, H., Pikhart, J., Reissigová, Š., Svačina, Š., Tomečková, M. & Zvárová, J. (2003b) Biomedicinská statistika III, Statistické metody v epidemiologii. Časť 2, Univerzita Karlova v Prahe, 505.

Bencko, V., Novák, J. & Suk, M. (2011). Zdraví a přírodní podmínky. (Medicína a geologie). Praha. DOLIN, s.r.o. 389.

Brümmer G.W., 1986: Heavy metal species, mobility and availability. In: The Importance of Chemical Speciation in Environmental Processes, Bernhard M., Brinkman F. E., Sadler P.J., eds., Springer-Verlag, Berlin, 169-192.

Catling, L., Abubakar, I., Lake, I., Swift, L., Hunter, P., 2005: Review of evidence for of relationship between incidence cardiovascular disease and water hardness. University of East Anglia and Drinking Water Inspectorate, Norwich, Norfolk, NR47TJ. 142

Darnley, A.G., Bjorklund, A. & Bolviken, B. et al. (1995). A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. Earth Sciences, 19, UNESCO Publishing, Paris, 122.

Fryzek JP., Mumma MT., McLaughlin JK. et al. 2001. Cancer mortality in relation to environmental chromium exposure. J Occup Environ Med, 43 (7), 635-640.

Han, S., Liu, Y., & Yan, J. (2011). Neural network ensemble method study for wind power prediction. In Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 1-4.

Chaikaew, N., Tripathi, N. K., & Souris, M. (2009). International Journal of Health Geographics. International Journal of Health Geographics, 8(36).

Chen, J., Roth, R.E., Naito, A.T., Lengerich, E.J., & MacEachren, A.M. (2008). Geovisual analytics to enhance spatial scan statistic interpretation: an analysis of US cervical cancer mortality. International journal of health geographics, 7(1), 57.

Chojnacka, K., Chojnacki, A., Górecka, H., Górecki, H., 2005: Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants. Science of the Total Environment, 337 (1-3), 175-182

Jeníček, M. (1995). Epidemiology, The Logic of Modern Medicine. Epimed Montreal. ISBN 0-9698912-0-2.

Järup L., Berglund M., Elinder CG. Et al. 1998. Health effects of cadmium exposure – a review of the literature and a risk estimate. Scand J Work Environ Health, 24, 1-52.

Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B., 2007: Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag, Berlin, New York, 550 p.

Klinda, J., & Lieskovská, Z. (2010). State of the environment report of the Slovak Republic (p. 192). Ministry of Environment of the Slovak Republic, Bratislava

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.

Kohút, M., Kovach, V.P., Kotov, A.B., Salnikova, E.B., & 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. Carpathica, 50(6), 477-487.

Kordík, J., Rapant, S., Bodiš, D., & Slaninka, I. (2000). Hydrogeochemické mapy v mierke 1:50 000 - prezentácia výsledkov z vybraných regiónov Slovenska. Podzemná voda, 6(2) 130-137 (in Slovak).

Kosmovský, V., Michalcová J., & Belláková, D. (2015). Hodnotenie životného štýlu obyvateľov okresu Krupina In Štefániková, Z., & Jurkovičová, J. (eds). Životné podmienky a zdravie, Zborník vedeckých prác, ÚVZ SR, Bratislava, 424 (in Slovak).

Kourentzes, N., Barrow, D.K., & Crone, S.F. (2014). Neural network ensemble operators for time series forecasting. Expert Systems with Applications, 41(9), 4235-4244.

Kousa, A., Havulinna, A.S., Moltchanova, E., Taskinen, O., Nikkarinen, M., Karvonen, J. & Karvonen, M., 2006: Calcium:magnesium ratio in local groundwater and incidence of acute myocardial infarction among males in rural Finland. Environmental Health Perspectives, 114(5), 730 – 734

Kožíšek, F., (2003). Health significance of drinking water calcium and magnesium. National Institute of Public Health, 29

Last, J.M. (2001). A Dictionary of epidemiology. Oxford University Press, ISBN 0-19-514169-5.

McGeer, J., Henningsen, G., Lanno, R., Fisher, N., Sappington, K., Drexler, J., 2004: Issue paper on the bioavailability and bioaccumulation of metals. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C.

Mitchell, E., Frisbie, S., Sarkar, B. (2011). Exposure to multiple metals from groundwater—a global crisis: Geology,climate change, health effects, testing, and mitigation. Metallomics. The Royal Society of geochemistry, DOI: 10.1039/c1mt00052g

Morales-Suarez-Varela, M.M., Llopi-Gonzales, A., Tejerizo-Perez, ML. 1995. Impact of nitrates in drinking water on cancer mortality in Valencia, Spain. Eur. J. Epidemiol., 11, s. 15-21.

Nerbrand, C., Agréus, L., Lenner, R.A., Nyberg, P., Svärdsudd, K. 2003. The influence of calcium and magnesium in drinking water and diet on cardiovascular risk factors in individuals living in hard and soft areas with differences in cardiovascular mortality. BMC Public Health, 3, (1), 1-9.

NRC, 2003: Bioavailability of contaminants in soils and sediments, processes, tools, and applications. Committee on Bioavailability of Contaminants in Soils and Sediments, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council, National Academies Press, Washington, D.C.

Maksimović, Z., Ršumović, M., Djordjević, M. 2010: Magnesium and calcium in drinking water in relation to cardiovascular mortality in Serbia. Bulletin T. CXL de l´Académie serbe des sciences et des arts, 46, 131-140.

Opitz, D.W. & Shavlik, J.W., 1996: Actively searching for an effective neural network ensemble. Connection Science, 8(3-4), 337 – 354.

NCZI (2013). Zdravotnícka ročenka Slovenskej republiky 2012. Národné centrum zdravotníckych informácií, Bratislava, 241.

NCZI (2015). Zdravotníctvo Slovenskej republiky v číslach 2014. Národné centrum zdravotníckych informácií, Bratislava, 14. (www.nczisk.sk)

Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G., Gardea-Torresdey, J., 2009: The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 41(8-9), 1665-1677.

Rapant, S., Vrana, K., & Bodiš, D. (1996). Geochemical Atlas of Slovakia-part I. Groundwater. Monography, Ministry of the Environment of the Slovak Republic, Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava, 127.

Rapant, S., Rapošová, M., Bodiš, D., Marsina, K., & Slaninka, I. (1999). Environmental-geochemical mapping program in the Slovak Republic. Journal of Geochemical Exploration, 66(2), 151-158.

Rapant, S., Salminen, R., Tarvainen, T., Krčmová, K. & Cvečková, V. (2008). Application of a risk assessment method on European wide geochemical baseline data. In: Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, Vol. 8, part 3/4, 291-299

Rapant, S., Cvečková, Veronika, Dietzová, Z., Fajčíková, K., Hiller, E., Finkelman, R.B., & 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., Fajčíková, K., Kohút, M. & Sedláková, D. (2014b). Historical mining areas and their influence on human health. European Journal for Biomedical Informatics, 10(1), 24-34.

Rapant, S., Fajčíková, K., Cvečková, V., Ďurža, A., Stehlíková, B., Sedláková, D. & Ženišová, Z. (2015). Chemical composition of groundwater and relative mortality for cardiovascular diseases in the Slovak Republic. Environ. Geochem. Health. 37, 745-756.

Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Dietzová, Z. & Stehlíková, B. (2016). Chemical composition of groundwater/drinking water and oncological disease mortality, Slovak Republic. Environ. Geochem. Health, in press (DOI: 10.1007/s10653-016-9820-6)

Rubenowitz E., Axelsson G., Rylander R., 1999: Magnesium and calcium in drinking water and death from acute myocardial infarction in women. American Epidemiology, 10, 31-36.

Rylander, R., Bonevik, H. & Rubenowitz, E., 1991: Magnesium and calcium in drinking water and cardiovascular mortality. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 17, 91 – 94.

Sakamoto, N; Shimizu, M; Wakabayashi, I; et al. (1997). Relationship between mortality rate of stomach cancer and cerebrovascular disease and concentrations of magnesium and calcium in well water in Hyogo prefecture. Magnesium Research, 10, (3), 215-223.

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

Smith, A.H., Hopenhayn-Rich, C., Bates, M.N., Goeden, H.M., Hertz-Picciotto, I., Duggan, H.M., Wood, R., Kosnett, M.J. & Smith, M. T. (1992). Cancer risks from arsenic in drinking water. Environ. Health Perspect., 97, 259-267.

Vrana K., Rapant, S., Bodiš, D., Marsina, K., Lexa, J., Pramuka, S., Maňkovská, B., Čurlík, J., Šefčík, P., Vojtaš, J., Daniel, J., & Lučiviansky, L. (1997). Geochemical Atlas of Slovak Republic at a scale 1 : 1 000 000. Journal of Geochem. Exploration, 60, 7-37.

Ward, M.H., de Kok, T.M., Levallois P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, T.B., VanDerslice, J. (2005). Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health – Recent Findings and Research Needs. Environmental Health Perspective. 113(11), s. 1607-1614.

Yang, C.Y., Chiu, H.F., Chiu, J.F., Wang, T.N., Cheng, M.F. 1997a. Magnesium and calcium in drinking water and cerebrovascular mortality in Taiwan. Magnes Res., 10(1),51-57.

Yang, CH.Y., Chiu, H.F., Chiu, J.F., Tsai, S.S., Cheng, M.F. 1997b. Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from colon cancer. Jpn. J. Cancer Res., 88, 928-933.

Yang, Ch-Y., Chiu, H-F., Cheng, B-H., Hsu, T-Y., Cheng, M-F., Wu, T-N. 2000. Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from breast cancer. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues. 60, (4), 231-241.

Yang, CH.Y., Chiu, H.F., Cheng, M.F., Tsai, S.S., Hung, CH.F., Lin, M.CH. 1999a. Esophageal cancer mortality and total hardness levels in Taiwan ´s drinking water. Environ. Research, Section A 81: 302-308.

Yang, CH.Y., Chiu, H.F., Cheng, M.F., Tsai, S.S., Hung, CH.F., Tseng, Y.T. 1999b. Pancreatic cancer mortality and total hardness levels in Taiwan ´s drinking water. J. Toxicol. Environ. Health A 56: 361-369.

Yang, CH.Y., Tsai, S.S., Lai, T.CH., Hung, CH.F., Chiu, H.F. 1999c. Rectal cancer mortality and total hardness in Taiwan ´s drinking water. Environ. Research, Section A 80: 311-316.

www.geology.sk/geohealth

www.who.int/classifications/icd/en/

www.statistics.sk

www.ehes.info

www.shmu.sk/en

www.nczisk.sk