Vplyv chemického zloženia podzemných vôd na úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia v Slovenskej republike

[1]K. Fajčíková, [1]V. Cvečková, [2]B. Stehlíková, [1]S. Rapant

[1] Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, Bratislava, katarina.fajcikova@geology.sk
[2] Fakulta ekonómie a podnikania, Paneurópska Univerzita, Tematínska 10, 851 05 Bratislava

GEOHEALTH
The impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic.

Podzemné vody predstavujú významnú geologickú zložku životného prostredia, ktorá výrazne podmieňuje kvalitu života a zdravie ľudí, keďže predstavujú hlavný zdroj pitnej vody.

- približne 90% obyvateľov Slovenska je zásobovaných podzemnou/pitnou vodou,
- 10% populácie Slovenska používa podzemnú vodu z individuálnych studní,
- iné zdroje pitnej vody na Slovensku: povrchová voda, balená voda...

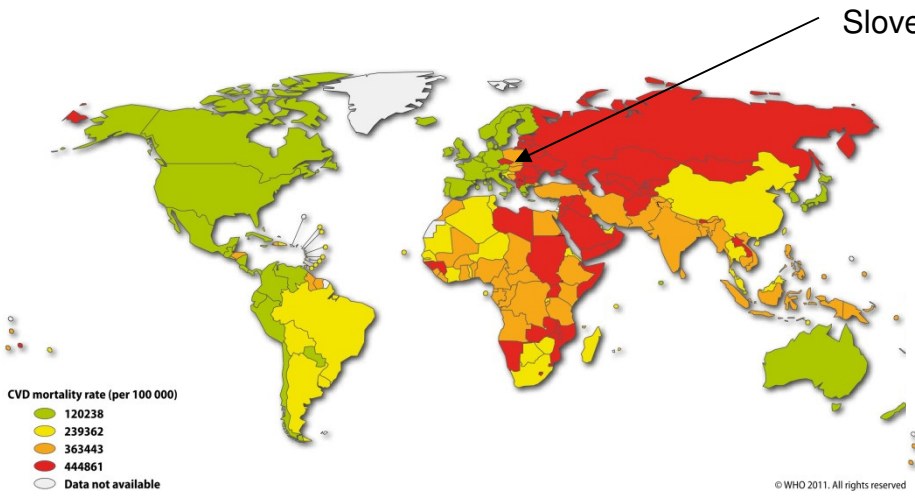
Chemické zloženie podzemných vôd je formované charakterom horninového prostredia, ktoré je primárnym zdrojom pôvodu a úrovní obsahov jednotlivých chemických prvkov / látok, **esenciálnych resp. toxických pre ľudské zdravie**.

... tieto prvky teda môžu mať na zdravotný stav ľudí pozitívny alebo negatívny vplyv.

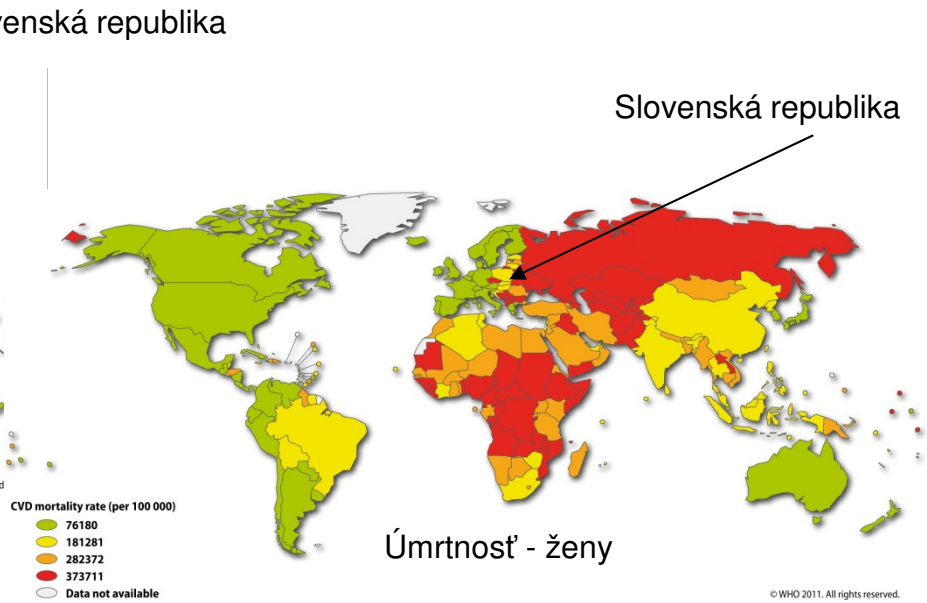
Zdravotný stav obyvateľstva podáva obraz o dosiahnutom stupni zdravia jedinca spoločenskej skupiny alebo populácie ako celku (Vagner, 1996 in Vilinová, 2012).

Medzi v súčasnosti najčastejšie hodnotené **indikátory zdravotného stavu obyvateľstva**, patrí *úmrtnosť resp. incidencia ochorení* a *demografický vývoj* (napr. stredná dĺžka života pri narodení, pôrodnosť, potratovosť a pod.).

Z jednotlivých druhov ochorení (z tzv. neprenosných chorôb) sa medzi hlavné príčiny úmrtí obyvateľstva vo svete radia predovšetkým **kardiovaskulárne ochorenia** (NCZI, 2015; WHO, 2011).



Úmrtnosť - muži



Úmrtnosť - ženy

Slovenská republika sa v celosvetovom meradle radí medzi popredné miesta v počte úmrtí obyvateľov na **kardiovaskulárne ochorenia**, čo potvrdzujú aj národné štatistiky (NCZI, 2015; 2016). Tieto ochorenia patria u nás k dlhodobo najčastejšej príčine úmrtí obyvateľstva (cca 50%, OECD, 2013).

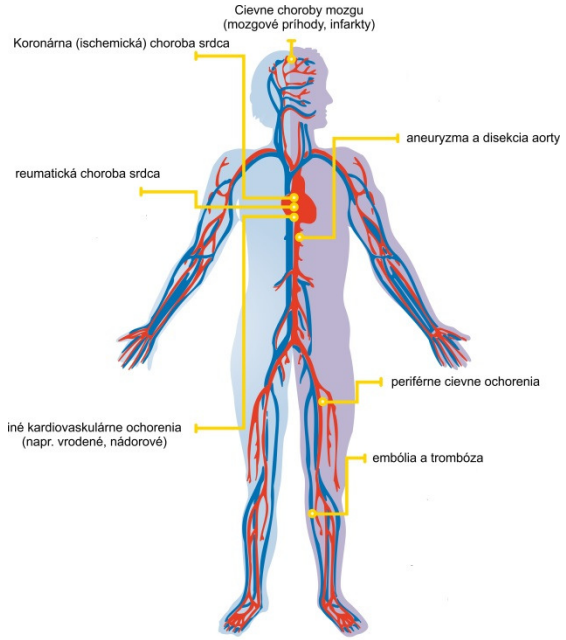
V zmysle Medzinárodnej klasifikácie chorôb (MKCH) zahŕňajú početné množstvo ochorení srdca, mozgu a ciev, ktoré sú klasifikované do kategórie chorôb obehovej sústavy (diagnózy I00-I99).

V zmysle WHO (2011) medzi základné skupiny kardiovaskulárnych ochorení patria:

- **Koronárna (ischemická) choroba srdca**
- **Cievne choroby mozgu (mozgové porážky, infarkty)**

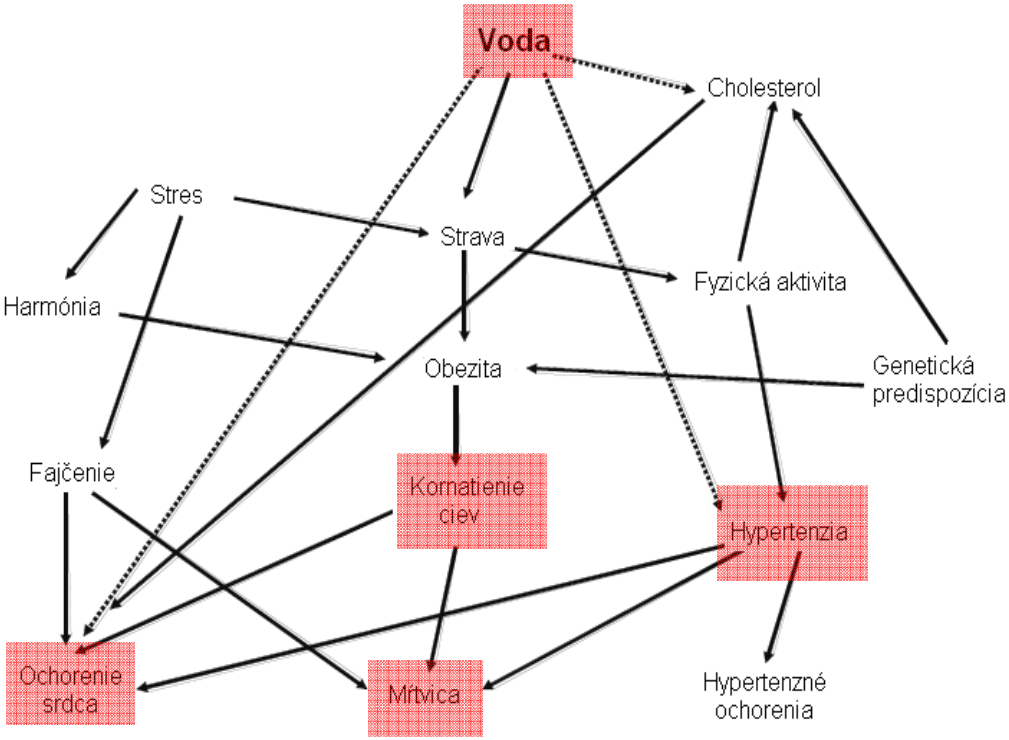
Najčastejšie sa vyskytujúce kardiovaskulárne ochorenia

- Iné kardiovaskulárne ochorenia (napr. vrodené choroby - nádory, kardiomyopatia-ochorenie srdcového svalu)
- Hypertenzná choroba srdca
- Choroby tepien, tepničiek a vlásočníc (periférne cievne ochorenia, ateroskleróza, aneuryzma a disekcia aorty, embólia a trombóza)
- Zápalové ochorenia srdca (myokarditída)
- Reumatická choroba srdca.



Hlavné rizikové faktory KVO:

- Stres,
- Genetické faktory,
- Obezita,
- Fajčenie,
- Nezdravé stravovacie návyky,
- **Environmentálne faktory** (kvalita vody, ovzdušia...).



Sieť príčin zvyšujúcich riziko kardiovaskulárnych ochorení (upravila Kováčiková 2009, pôvodný zdroj údajov Rockett I., 1994 In Calderon & Hunter, 2009)

Pitná voda patrí medzi významné faktory, ktoré popri iných rizikových faktoroch (životný štýl, genetická preddispozícia a i.) majú príčinnú súvislosť s rizikom **kardiovaskulárnych ochorení.**

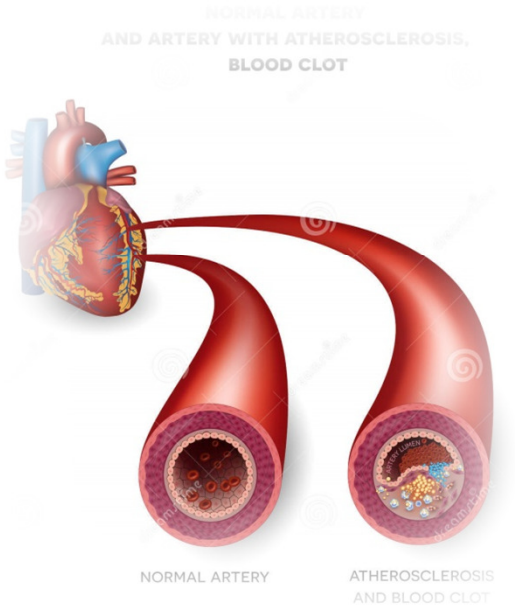
Pilotnou štúdiou venovanou priamej asociácii chemického zloženia vôd (tvrdosti vody) s kardiovaskulárnymi ochoreniami bola práca japonského chemika **Kobayashiho (1957)**.

Na jeho prácu nadviazal **Schroeder (1960)**, ktorý poukázal na význam hodnotenia viacerých druhov srdcových ochorení vo vzťahu k tvrdosti pitnej vody.

Ca, Mg, Ca+Mg

Mäkká voda – TVRDÉ CIEVY

Tvrdá voda – MÄKKÉ CIEVY



Vzťah medzi chemickým zložením podzemných/pitných vôd a zvýšenou úmrtnosťou na kardiovaskulárne ochorenia (KVO) resp. ich incidenciou je vo svete pomerne dobre preskúmaný.

Úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia je často spájaná s **deficitným obsahom Ca a Mg** prípadne **nízkou tvrdosťou vôd.** Na druhej strane nie všetky štúdie túto vzájomnú závislosť potvrdzujú (napr. Maheswaran et al. (1999).

Krajina	Štúdia	Druh ochorenia	Preukázaný vzťah
Veľká Británia	Pocock et al. (1980) Catling et al. (2004)	Kardiovaskulárne ochorenia	Tvrdosť vody
Švédsko	Rylander et al. (1991)	Kardiovaskulárne ochorenia, ischemická choroba srdca	Tvrdosť vody, Mg
	Nerbrand et al. (1992)	Ischemická choroba srdca	Tvrdosť vody
	Rubenowitz et al. (1996)	Akútny infarkt myokardu (muži)	Mg
	Rubenowitz et al. (1999)	Akútny infarkt myokardu (ženy)	Ca, Mg
	Nerbrand et al. (2003)	Kardiovaskulárne ochorenia	Ca
Fínsko	Kousa et al. (2006)	Akútny infarkt myokardu	Mg
Španielsko	Ferrándiz et al. (2004)	Ischemická choroba srdca, cievne choroby mozgu	Tvrdosť vody, Mg
Srbsko	Maksimović et al. (2010)	Kardiovaskulárne ochorenia	Mg
Taiwan	Yang et al. (1997)	Cievne choroby mozgu	Mg

Incidencia resp. úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia je tiež spájaná so zvýšenými obsahmi niektorých potenciálne toxických prvkov (PTP) v podzemných/pitných vodách, napr. As, Cd, Pb, Sb, Ba (Schroeder MD & Kraemer 1974, Bhatnagar 2006, Mitchell et al. 2011, Sturchio et al. 2013).

Cieľ práce

V predkladanej práci hodnotíme vplyv chemického zloženia podzemných/pitných vôd na úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia.

zistiť, ktoré prvky/zložky v podzemných/pitných vodách majú najväčší vplyv na úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia

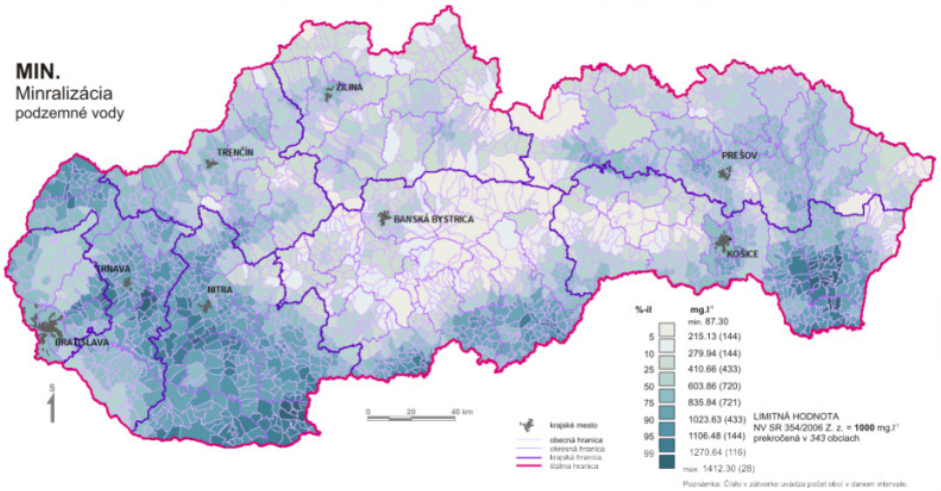
stanoviť limitné hodnoty pre vplyvné prvky (maximálne prípustné, minimálne potrebné), pri ktorých je úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia čo najnižšia

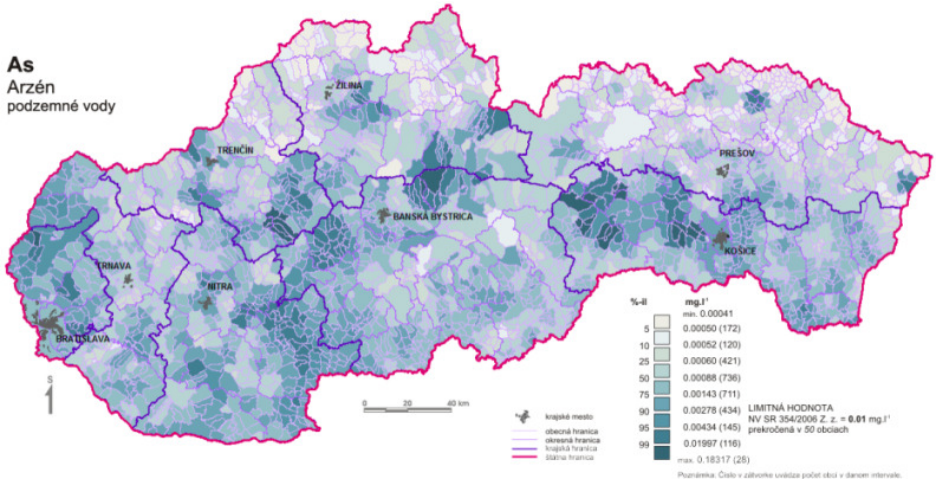
Materiál

Chemické zloženie podzemných vôd (34 parametrov chemického zloženia vôd – **tzv. environmentálne indikátory EI**):

pH, MIN., $ChSK_{Mn}$, Ca+Mg, Li, Na, K, Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, NH_4, F, Cl, SO_4, NO_2, NO_3, PO_4, HCO_3, SiO_2, Cr, Cu, Zn, As, Cd, Se, Pb, Hg, Ba, Al, Sb, Rn^{222}, Ra^{226}

- vyjadrené ako priemerné hodnoty pre obce Slovenskej republiky (2879 obcí, 4 vojenské obvody)





Úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia:

Skupinové diagnózy I00-I99 (všetky ochorenia obehového systému), I21-I25 (ischemické choroby srdca), I63-I64 (mozgové porážky a infarkty)

- *relatívna úmrtnosť* (relative mortality) vyjadruje počet úmrtí na vybrané ochorenie na 100 000 obyvateľov, bez rozlíšenia veku či pohlavia,

$$\text{Rel} = \frac{\text{počet úmrtí na choroby obehovej sústavy}}{\text{počet obyvateľov (osoboroky)}} \times 100\,000$$

- *nepriamo vekovo štandardizovaná úmrtnosť* SMR (standardized mortality ratio), ktorá zohľadňuje vekovú štruktúru obyvateľstva, pri vekovej štandardizácii sa zohľadňuje 19 vekových skupín, vyjadruje sa v % (vekový podiel živých aj zomrelých v 19 vekových skupinách, štandardizované na slovenský štandard),

- *predčasná úmrtnosť,* tzv. potenciálne roky strateného života PYLL (potential years of lost life) vyjadruje nedožité roky človeka do veku 65 rokov, (roky úmrtia vo veku 1-64 rokov bez rozlíšenia veku), jednotkou sú roky.

Charakteristika hodnotených zdravotných indikátorov (ZI) pre úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia

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 na vybranú príčinu úmrtia		
PYLLI00-I99	obehový systém	100 000 x [súčet nedožitých 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.nczisk.sk),
* priemer pre Slovenskú republiku za obdobie 1994 – 2003

ZDROJ DÁT: Štatistický úrad Slovenskej republiky

HODNOTENÉ OBDOBIE: 1994-2003

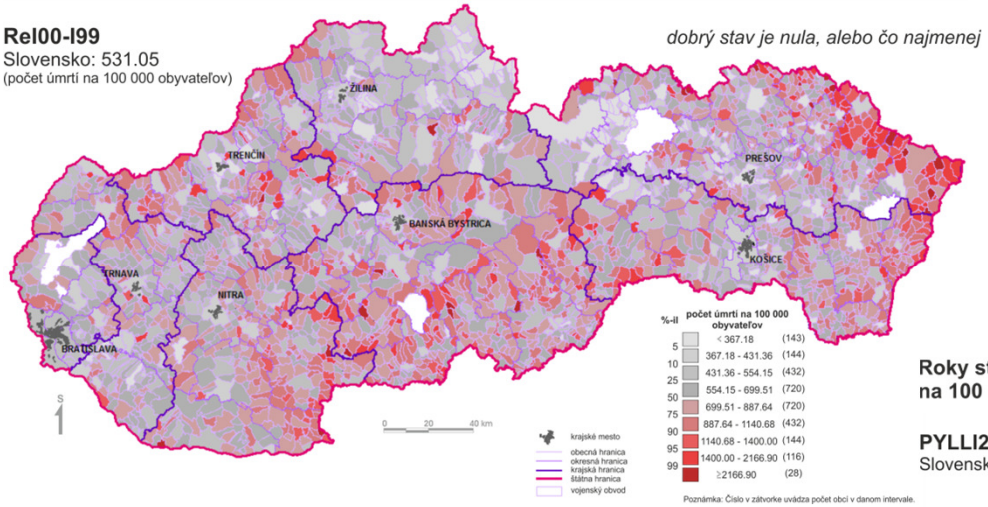
- vyjadrené ako priemerné hodnoty za 10 ročné obdobie pre obce Slovenskej republiky (2879 obcí, 4 vojenské obvody)

Mapová vizualizácia zdravotných indikátorov – obce SR

Relatívna úmrtnosť na choroby obehového systému v Slovenskej republike - obce

Rel00-I99
Slovensko: 531.05
(počet úmrtí na 100 000 obyvateľov)

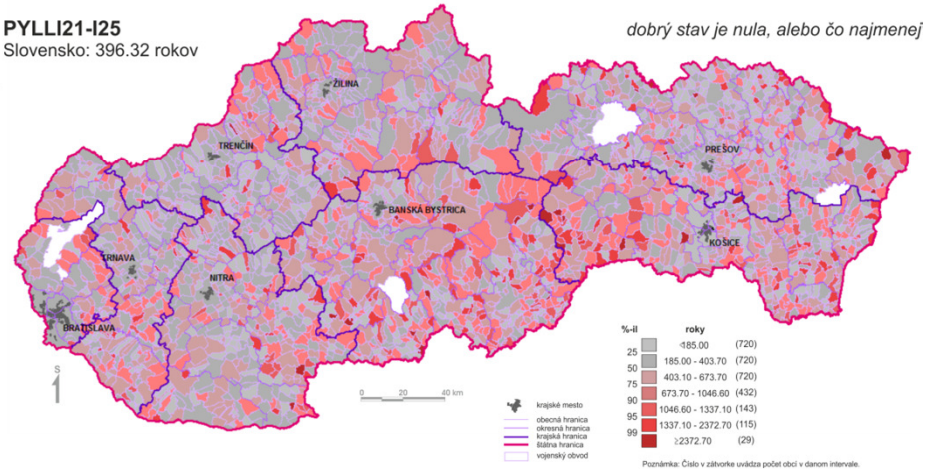
dobrý stav je nula, alebo čo najmenej



Roky strateného potenciálneho života (PYLL) z úmrtia na ischemické choroby srdca na 100 000 obyvateľov v Slovenskej republike - obce

PYLLI21-I25
Slovensko: 396.32 rokov

dobrý stav je nula, alebo čo najmenej



Metódy spracovania

- Rozdelenie environmentálnych a zdravotných indikátorov podľa geologickej stavby
- Štatistická analýza
- Neurónové siete

Rozdelenie environmentálnych a zdravotných indikátorov podľa geologickej stavby

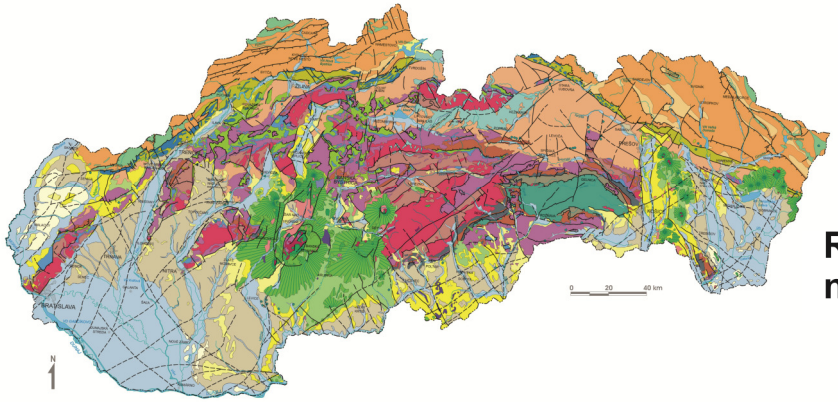
Dáta o chemickom zložení podzemných vôd (environmentálne indikátory) a vybrané ukazovatele úmrtnosti na kradiovaskulárne ochorenia (zdravotné indikátory) sme rozčlenili do 8 hlavných geologických celkov:

1 – paleozoikum: hlavne metasedimenty, metavulkanity,
2 – kryštalinikum: hlavne granitoidy, ruly, migmatity,
3 – karbonatické mezozoikum a bazálny paleogén: hlavne vápence, dolomity, vápnité zlepence,
4 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén: hlavne sliene, slienité vápence, dolomity, pieskovce a bridlice,
5 – flyšový paleogén: hlavne pieskovce, bridlice, ílovce,
6 – neovulkanity: hlavne andezity, bazalty a ich vulkanoklastiká,
7 – neogén: hlavne íly, ílovce, zlepence, piesky, štrky,
8 – kvartér: hlavne štrky, piesky, íly, úlomky hornín.

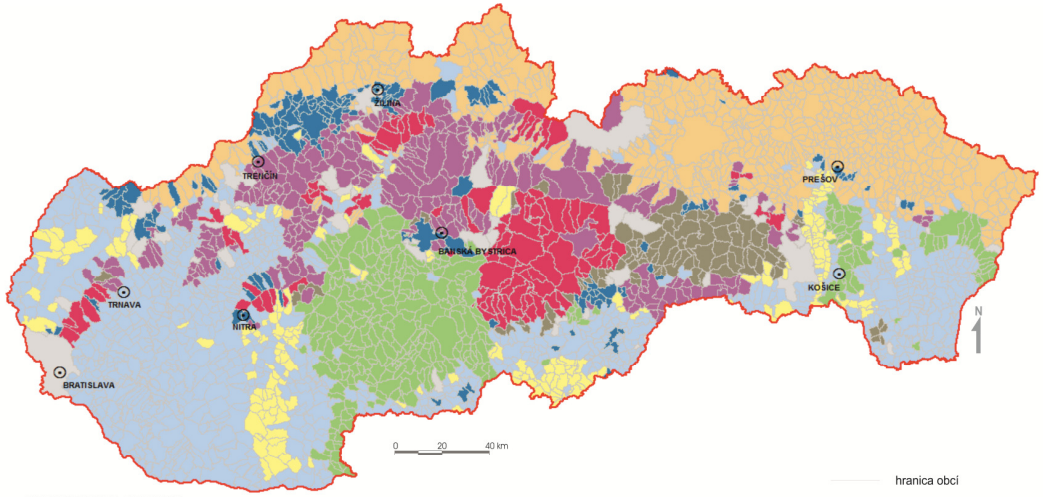
... za účelom analýzy vplyvu rozdielneho geologického prostredia, ktoré sa odráža na rozdielnom chemickom zložení podzemných vôd na úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia na Slovensku.

Rozdelenie environmentálnych a zdravotných indikátorov podľa geologickej stavby na úrovni obcí Slovenskej republiky

Geologická mapa Slovenskej republiky



Rozčlenenie geologickej stavby Slovenskej republiky na hlavné geologické celky



GEOLOGICKE CELKY

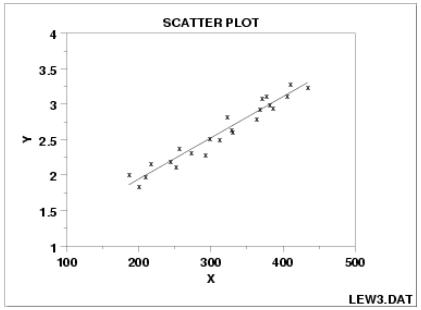
- kvartér; *štrky, piesky, hliny, úlomky hornín* (940)
- neogén; *ily, ílovce, pieskovce, zlepence, piesky, štrky* (221)
- neovulkanity; *andezity, bazalty a ich pyroklastiká* (304)
- flyšový paleogén; *pieskovce, bridlice, ílovce* (730)
- karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén; *vápence, dolomity, slieňovce, pieskovce a bridlice* (154)
- karbonatické mezozoikum a bazálny paleogén; *vápence, dolomity, zlepence* (269)
- kryštalinikum; *granitoidy a kryštalické bridlice* (114)
- paleozoikum; *metasedimenty, metavulkanity* (100)
- nezaradené; *komplikovaná geológia a veľké mestá* (51)

Poznámka: Číslo v zátvorke uvádza počet obcí v danom geologickom celku.

Štatistická analýza

Podrobenie súborov dát environmentálnych a zdravotných indikátorov klasickej štatistickej analýze formou:

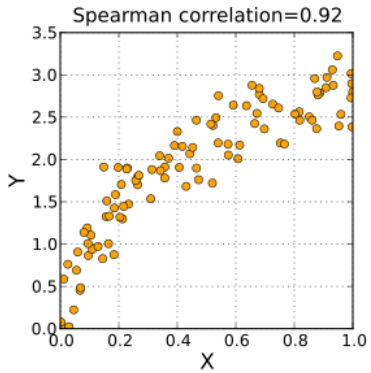
- Lineárna **Pearsonova korelácia**
- Poradová **Spearmanova korelácia**



... a zhodnotenie štatistickej významnosti vypočítaných korelácií:

P hodnota (hladina významnosti):

P < 0,05 overená závislosť (+)
P < 0,01 vysoká závislosť (++)
P < 0,001 veľmi vysoká závislosť (+++)



Neurónové siete

Vzťah medzi chemickým zložením

podzemných vôd a úmrtnosťou na kardiovaskulárne ochorenia

bol sledovaný pomocou

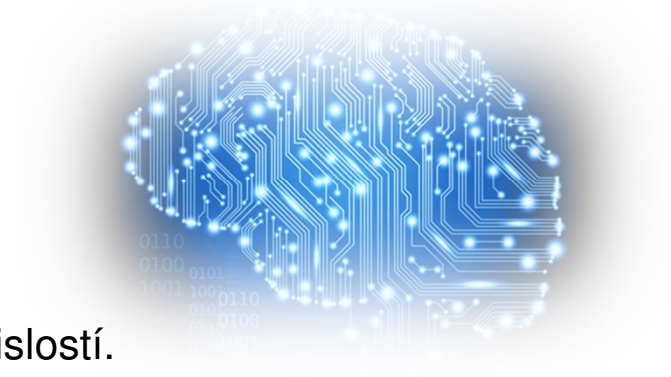
UMELEJ INTELIGENCIE

ANN – ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

(umelé neurónové siete)

Neurónové siete predstavujú inovatívnu štatistickú metódu spracovania environmentálnych a zdravotných dát. Ide o zložitú štatistickú metódu z kategórie umelej inteligencie.

Najmä zdravotné dáta vykazujú vysokú variabilitu, sú nerovnomerne rozdelené, často zaťažené chybou, neúplné...



Výhodou ANN je vystihnutie aj zložitých nelineárnych závislostí.

Kvalitu neurónovej siete môžeme hodnotiť pomocou viacerých metrík. Najčastejšie používanou je hodnota **korelačného koeficienta R**.

Štatistickú významnosť ANN udáva **koeficient determinácie R^2**.

Vzájomný vplyv dvoch premenných je hodnotený na základe **koeficientu citlivosti s_r**.

Prostredníctvom výpočtov neurónových sietí sme hľadali **najvýznamnejšie väzby medzi úmrtnosťou na kardiovaskulárne ochorenia** (vybranými zdravotnými indikátormi) a **jednotlivými chemickými prvkami v podzemných vodách** (ukazovateľmi chemického zloženia podzemných vôd).

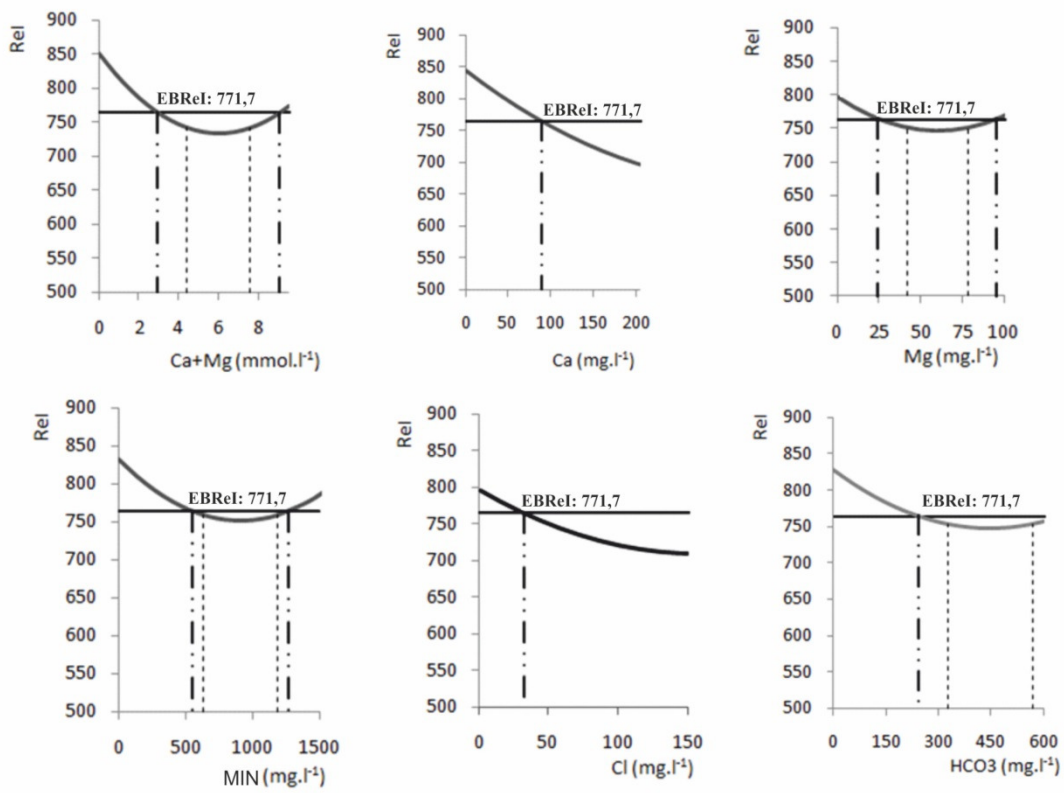
Pomocou ANN dokážeme:

- určiť poradie vplyvu jednotlivých chemických prvkov vo vode na úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia
- odvodiť limitné hodnoty (minimálne potrebné aj maximálne prípustné) príp. optimálne hodnoty jednotlivých chemických prvkov z hľadiska KVO
- určiť mieru vplyvu chemických prvkov na KVO prostredníctvom koeficientu citlivosti (senzitivity rate) s_r, vplyvné prvky $s_r > 1$, nevplyvné prvky $s_r < 1$

... celkový počet sietí 100 - mediánové hodnoty koeficientu citlivosti

Metodika odvodenia limitných/optimálnych obsahov

*stanovenie **limitných hodnôt** pre vplyvné prvky* (minimálne potrebné *a maximálne* prípustné), a ***optimálnych hodnôt*** pri ktorých je **úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia čo najnižšia.**

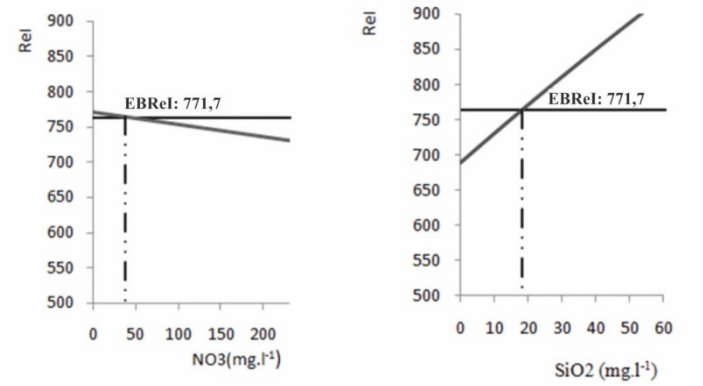


Príklad Rel00-I99 (všetky kardiovaskulárne ochorenia)

Limitné kritické obsahy
(priesečník priemeru ReI pre SR)

Optimálne obsahy
(pík paraboly±štandardná odchýlka)

EBReI: empirický Bayesovský vyrovnaný priemer pre Slovensko



Výsledky

Rozdelenie environmentálnych a zdravotných indikátorov podľa geologickej stavby

Geologický celok/okres	1	6	4	5	Krupina (6)	Bardejov (5)	SR
Počet obcí	100	303	154	727	36	86	
Zdravotný indikátor							
Rel00-I99	569,73	**638,78**	505,07	**463,32**	**889,20**	**492,82**	531,05
Rel21-I25	337,11	315,99	252,94	257,49	389,91	247,71	269,82
Rel63-I64	51,95	93,45	77,04	41,58	133,66	56,00	63,57
SMRI00-I99	111,73	108,50	98,86	100,03	131,06	100,71	100
SMRI21-I25	128,21	101,39	97,54	109,94	119,09	98,92	100
SMRI63-I64	84,78	125,53	121,31	72,61	168,12	97,26	100
PYLLI00-I99	1052,18	1050,95	937,66	831,99	**1518,17**	**779,92**	866,19
PYLLI21-I25	548,98	488,65	395,63	372,17	**683,12**	**310,97**	396,32
Environmentálny indikátor (v $mg.l^{-1}$)							
MIN	302,27	439,73	586,79	524,64	409,08	484,79	629,75
Ca + Mg ($mmol.l^{-1}$)	**1,68**	**2,11**	**3,45**	**3,02**	1,80	2,75	3,50
Ca	**43,15**	**56,13**	**99,86**	**88,53**	49,30	80,75	93,56
Mg	**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	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	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	0,00863	0,00241	0,00135	0,00079	0,00163	0,00114	0,00192
Cd	0,00050	0,00127	0,00052	0,00062	0,00296	0,00025	0,00102
Pb	0,00142	0,00134	0,00121	0,00125	0,00109	0,00094	0,00136
Sb	0,00720	0,00025	0,00034	0,00062	0,00016	0,00013	0,00094

Okres Krupina – budovaný neovulkanitmi (silikátové geologické prostredie), zdroj pitných vôd v rámci okresu

Okres Bardejov – budovaný flyšovým paleogénom (karbonatické geologické prostredie), zdroj pitných vôd v rámci okresu

Pozn.: 1 – paleozoikum, 4 – karbonaticko-silikátové mezozoikum a paleogén, 5 – flyšový paleogén, 6 – neovulkanity, SR – priemer pre Slovenskú republiku

Jednotky:
Rel – počet úmrtí na 100 000 obyvateľov
SMRI – %
PYLLI – roky
El – $mg.l^{-1}$, Ca+Mg v $mmol.l^{-1}$

Štatistická analýza

Pearsonova a Spearmanova korelácia medzi EI a úmrtnosťou na kardiovaskulárne ochorenia pre geologické prostredie vcelku.

Vo všeobecnosti nízke korelačné koeficienty, ktoré vo viac než 90% oscilujú na úrovni +/- 0,1.

V prípade makroprvkov **Ca, Mg** a **Ca+Mg** pozorujeme **inverzný vzťah** k indikátorom úmrtnosti na **kardiovaskulárne ochorenia** vo forme negatívnej korelácie.

Deficit Ca, Mg vo vodách a nízka „tvrdosť“ vody = zvýšená úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia.

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

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	-0,0208	0,396	-	-0,045	0,069	-
$Ca^{2+} + Mg^{2+}$ & PYlII	-0,0844	0,001	++	-0,121	0,000	+++
Ca^{2+} & ReI	-0,0818	0,001	++	-0,144	0,000	+++
Ca^{2+} & SMRI	-0,0306	0,211	-	-0,039	0,114	-
Ca^{2+} & PYlII	-0,0976	0,000	+++	-0,116	0,000	+++
Mg^{2+} & ReI	-0,0806	0,001	++	-0,174	0,000	+++
Mg^{2+} & SMRI	0,002	0,934	-	-0,057	0,020	+
Mg^{2+} & PYlII	-0,0452	0,065	-	-0,121	0,000	+++
MIN & ReI	-0,0671	0,006	++	-0,128	0,000	+++
MIN & SMRI	0,0001	0,996	-	-0,033	0,177	-
MIN & PYlII	-0,0702	0,004	++	-0,117	0,000	+++
NO_3^- & ReI	-0,0329	0,179	-	-0,095	0,000	+++
NO_3^- & SMRI	0,0777	0,002	++	0,053	0,030	+
NO_3^- & PYlII	0,0425	0,083	-	0,003	0,903	-
PO_4^{3-} & ReI	0,0634	0,01	+	0,099	0,000	+++
PO_4^{3-} & SMRI	0,1358	0,000	+++	0,099	0,000	+++
PO_4^{3-} & PYlII	0,0947	0,000	+++	0,077	0,002	++
As & ReI	-0,0137	0,576	-	0,028	0,248	-
As & SMRI	-0,0134	0,584	-	0,039	0,112	-
As & PYlII	-0,0197	0,421	-	0,092	0,000	+++
Cd & ReI	-0,0306	0,212	-	-0,013	0,599	-
Cd & SMRI	-0,0142	0,561	-	0,038	0,124	-
Cd & PYlII	-0,0291	0,234	-	0,054	0,028	+
Pb & ReI	-0,0281	0,251	-	-0,017	0,498	-
Pb & SMRI	0,0034	0,891	-	0,018	0,460	-
Pb & PYlII	-0,0072	0,77	-	0,008	0,738	-
Sb & ReI	-0,0323	0,187	-	-0,102	0,000	+++
Sb & SMRI	-0,0356	0,146	-	0,018	0,466	-
Sb & PYlII	-0,0106	0,665	-	0,028	0,258	-

Neurónové siete

Ako najvplyvnejšie chemické prvky/zložky v podzemných vodách na zdravotné indikátory – úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia sa prejavili: Ca+Mg, Ca, Mg, MIN (celková mineralizácia) a HCO_3.

Týchto 5 environmentálnych indikátorov sa vyskytovalo v prípade všetkých hodnotených zdravotných indikátoroch medzi desiatimi najvplyvnejšími EI.

Ostatné hodnotené environmentálne indikátory boli zastúpené medzi desiatimi najvplyvnejšími len pri niektorých zdravotných indikátoroch úmrtnosti na KVO. Z nich priemerný vplyv na hodnotené zdravotné indikátory kardiovaskulárnych ochorení ($xP < 10$) majú **Cl, SO_4, NO_3, Na a SiO_2.**

Koeficient senzitivity a poradie vplyvu pre 10 najvplyvnejších prvkov v podzemných vodách na zdravotné indikátory úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia podľa výpočtov ANN

Indikátor	Rel00-I99		Rel21-I25		Rel63-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+Mg	1,3700	1	1,1539	1	1,0778	1	1,6771	1	1,1593	1	1,0439	2	1,0462	1	1,1028	1	**1,1**
Ca	1,2110	2	1,0638	2	1,0371	2	1,3869	2	1,0684	2	1,0449	1	1,0062	3	1,0309	2	**1,8**
Mg	1,1500	3	1,0546	3	1,0191	6	1,2910	3	1,0678	3	1,0404	3	1,0024	6	1,0208	3	**3,2**
MIN	1,0530	4	1,0280	4	1,0321	3	1,0184	4	1,0028	9	1,0197	4	1,0021	7	1,0155	4	**4,1**
HCO_3^-	1,0260	5	1,0270	5	1,0260	4	1,0055	5	1,0111	4	1,0041	9	1,0100	2	1,0084	5	**4,1**
Cl	1,0270	6	1,0188	6	1,0214	5	1,0010	11	1,0021	11	1,0144	5	1,0017	8	1,0007	10	**6,4**
SO_4	1,0090	7	1,0085	7	1,0083	8	1,0011	10	1,0030	8	1,0021	11	1,0025	5	1,0010	8	**6,6**
NO_3	1,0040	8	1,0071	8	1,0023	10	1,0022	6	1,0018	12	1,0024	10	1,0008	11	1,0005	12	**7,9**
Na	1,0021	9	1,0014	13	1,0015	12	1,0007	13	1,0013	14	1,0019	12	1,0027	4	1,0010	7	**8,6**
SiO_2	1,0030	10	1,0013	14	1,0106	7	1,0006	14	1,0026	10	1,0068	6	1,0011	9	1,0001	18	**9,0**
Ba	1,0010	15	1,0019	11	1,0007	14	1,0003	16	1,0072	5	1,0050	7	1,0000	21	1,0002	16	10,7
K	1,0013	12	1,0012	15	1,0002	20	1,0006	15	1,0035	7	1,0006	17	1,0009	10	1,0003	14	11,2
^{222}Rn	1,0004	18	1,0001	26	1,0049	9	1,0001	18	1,0016	13	1,0045	8	1,0000	23	1,0011	6	12,3
pH	1,0012	19	1,0017	12	1,0002	19	1,001	12	1,0065	6	1,0003	21	1,0000	28	1,0009	9	12,8
PO_4	1,0020	11	1,0004	19	1,0001	22	1,0013	9	1,0007	17	1,0004	19	1,0001	19	1,0000	23	14,1
$CHSK_{Mn}$	1,0000	21	1,0000	31	1,0003	18	1,0016	8	1,0005	20	1,0005	18	1,0001	18	1,0003	13	14,9
Hg	1,0000	20	1,0027	9	1,0000	27	1,0001	19	1,0001	24	1,0001	25	1,0001	16	1,0001	20	16,2
Fe	1,0002	23	1,0019	10	1,0002	21	1,0001	20	1,0006	19	1,0000	30	1,0001	17	1,0000	29	17,1

3 skupiny najvplyvnejších chemických prvkov/zložiek v podzemných vodách:

1. Ca+Mg, Ca a Mg – najvyššie koeficienty citlivosti, ich vzťah ku kardiovaskulárnym ochoreniam je vo viacerých krajinách sveta pomerne dobre preskúmaný....

2. MIN a HCO_3 – skôr stochastický vplyv na KVO úmrtnosť, v podmienkach SR ich vnímame ako indikátory obsahu Ca a Mg, ktoré podmieňujú ich úrovne v podzemných vodách (dominujúci Ca-Mg-HCO_3 charakter podzemných vôd)

3. Cl, SO_4, NO_3 – klasické ukazovatele antropogénneho znečistenia podzemných vôd, ich zvýšené obsahy sú často doprevádzané zvýšenými obsahmi Ca, Mg a „tvrdosti“ vody, teda najvplyvnejšími environmentálnymi indikátormi na KVO úmrtnosť

Potenciálne toxické prvky – sa prejavujú ako nevplyvné vo vzťahu k hodnoteným zdravotným indikátorom - kardiovaskulárnym ochoreniam ($s_r \leq 1$)

V podmienkach Slovenskej republiky je ich vplyv vo vzťahu k výskytu v podzemných vodách pravdepodobne nižší ako sa doposiaľ predpokladalo. Nevylučujeme však negatívny vplyv lokálne zvýšených obsahov týchto prvkov na zdravie ľudí.

Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že z nami hodnotenej relatívne širokej škály analyzovaných prvkov v podzemných vodách majú **určujúci vplyv na úmrtnosť na KVO obsahy Ca a Mg, Ca +Mg.**

Odvodené limitné/optimálne hodnoty pre 10 najvplyvnejších prvkov v podzemných vodách Slovenskej republiky - príklad Rel00-I99.

Poradie	Parameter	s_r	R^2	Limitný obsah		Optimálny obsah		Hodnotené funkcie závislosti	Obsahy*	
				DH	HH	DH	HH		min	max
1	Ca+Mg	1,370	0,992	2,90	9,10	4,40	7,60	konvexná parabola	0,35	7,97
2	Ca	1,211	0,999	89,40	neexistuje	neexistuje	neexistuje	konvexná parabola	9,83	201,01
3	Mg	1,150	0,986	24,30	95,80	42,00	78,10	konvexná parabola	2,45	97,75
4	MIN	1,053	0,960	553,10	1263,20	629,40	1186,80	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	1,009	0,961	73,30	neexistuje	neexistuje	neexistuje	priamka s negatívnou smernicou	9,38	319,50
8	NO_3	1,004	0,939	37,60	neexistuje	neexistuje	neexistuje	priamka s negatívnou smernicou	1,33	227,09
9	SiO_2	1,003	0,999	neexistuje	18,20	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	3,12	59,29
10	PO_4	1,002	0,919	neexistuje	0,20	neexistuje	neexistuje	konkávna parabola	0,005	3,35

Pozn.: 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^{2+} + Mg^{2+} v $mmol.l^{-1}$), MIN – celková mineralizácia

V prípade **Ca, Mg, Ca +Mg sú nami vypočítané limitné hodnoty výrazne vyššie (2 až 3 krát)** ako udáva slovenská legislatíva – NV SR 496/2010 Z.z. pre vodu určenú na ľudskú spotrebu.

Pri týchto koncentráciách je úroveň úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia výrazne nižšia ako celoslovenský priemer.

Limitné hodnoty slovenskej normy pre pitnú vodu (NV č. 496/2010 Z. z.) v porovnaní s nami odvodenými limitnými hodnotami - príklad vplyv EI na ReI00-I99.

parameter	jednotka	limitná hodnota NV č. 496/2010 Z. z.	limitné hodnoty		optimálne hodnoty	
			DH	HH	DH	HH
Ca+Mg	$mmol.l^{-1}$	**1.1 – 5.0[b]**	**2,90**	9,10	4,40	7,60
Ca	$mg.l^{-1}$	**> 30 [b]**	**89,40**	–	–	–
Mg	$mg.l^{-1}$	**10 – 30 [b]**	**24,30**	95,80	42,00	78,10
MIN	$mg.l^{-1}$	1 000[a]	553,10	1263,20	629,40	1186,80
Cl	$mg.l^{-1}$	250 [a]	31,80	–	–	–
HCO_3	$mg.l^{-1}$	–	241,90	–	326,10	567,90
SO_4	$mg.l^{-1}$	250 [a]	73,30	–	–	–
NO_3	$mg.l^{-1}$	50 [a]	37,60	–	–	–
SiO_2	$mg.l^{-1}$	–	–	18,20	–	–
PO_4	$mg.l^{-1}$	–	–	0,20	–	–

Pozn.: a medzná hodnota, b odporúčaná hodnota, DH – dolná hodnota, HH – horná hodnota

Navrhované odporúčané hodnoty:

Ca >90 $mg.l^{-1}$,
Mg > 24 $mg.l^{-1}$
Ca+Mg >2,9 $mmol.l^{-1}$

Horné limity – menej dôležité vzhľadom na ojedinelý výskyt takýchto obsahov v podzemných vodách SR...
...nevyužívané na pitné účely zo zdrojov hromadného zásobovania

Hlavný záver: Zvýšená úmrtnosť na KVO na území Slovenskej republiky je spätá s nízkymi (deficitnými) obsahmi vápnika, horčíka a „tvrdosti“ vody v podzemných/pitných vodách.

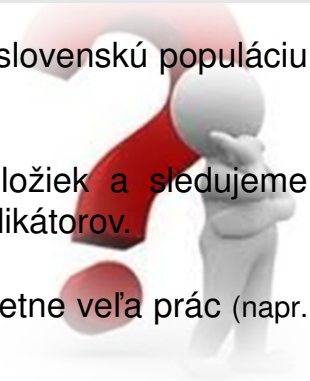
Možné neistoty:

- **Zdroj pitnej vody** môže mať lokálne odlišné chemické zloženie ako definujú nami určené priemerné obsahy jednotlivých chemických prvkov/zložiek v podzemných vodách / podiel balenej vody...

...náš model 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 hodnotených viac ako 20 000 chemických analýz vôd a 34 prvkov/zložiek a sledujeme úmrtnosť na kardiovaskulárne ochorenia prostredníctvom viacerých zdravotných indikátorov.

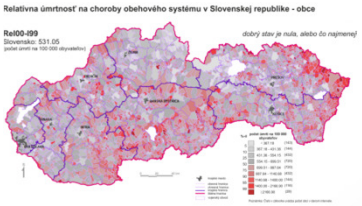
...o dôležitosti Ca a Mg pre kardiovaskulárne ochorenia bolo publikovaných nespočetne veľa prác (napr. Dawson et al., 1978, Shaper et al., 1980, Rylander et al., 1991, Rosborg I. (ed.), 2015).

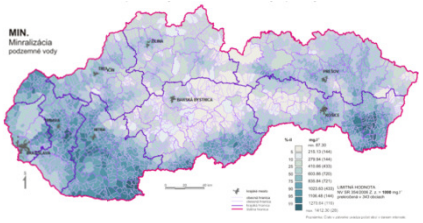


- **Chybovosť databázy zdravotných indikátorov** - zostavovania štatistických hlásení (určenie hlavnej diagnózy – príčiny úmrtia)

- **Rôzny podiel vplyvu iných ako environmentálnych faktorov** na zdravotný stav ľudí (životný štýl, socio-ekonomické faktory, ...)

Záver





Kardiovaskulárne ochorenia predstavujú v rozvinutých krajinách a teda aj na Slovensku popri onkologických ochoreniach rozhodujúcu príčinu úmrtí obyvateľov.

Podzemné vody predstavujú významný zdroj pitnej vody – geologická zložka životného prostredia s ktorou sú obyvatelia SR v „kontakte“ v každodennom živote.

- Na základe dosiahnutých výsledkov vyplýva, že úmrtnosť na KVO na území Slovenskej republiky je ovplyvňovaná chemickým zložením podzemných vôd, najmä Ca, Mg a ich sumou Ca+Mg (mmol.l^{-1}).
- Výrazne nižšia úmrtnosť na KVO v porovnaní s celoslovenským priemerom bola zistená pri obsahoch týchto parametrov v podzemných vodách v nasledovných úrovniach: Ca > 90 mg.l^{-1}, Mg > 24 mg.l^{-1} a pre Ca+Mg > 2,9 mmol.l^{-1}.
- Tieto nami určené obsahy sú približne 2 – 3 krát vyššie ako limitné obsahy stanovené slovenskou legislatívou (NV č. 496/2010 Z. z. – pitná voda).
- *Odporúčame zvážiť zvýšenie súčasných odporúčaných limitných hodnôt pre tieto ukazovatele pitných vôd.*

Ďakujem za pozornosť

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.

GEOHEALTH

The impact of geological environment on health status of residents of the Slovak Republic.

POĎAKOVANIE

Projekt je podporovaný z finančného nástroja LIFE+ a z príspevku MŽP SR