KOEFICIENT ROZSAHU KONTAMINÁCIE, JEHO VÝZNAM A VYUŽITIE V PRAXI

COEFFICIENT OF CONTAMINATION RANGE, ITS SIGNIFICANCE AND UTILIZATION

Jaromír Helma

ABSTRACT

The index of contamination (extent of pollution) - C_d (Backman et al., 1998) is well-known helpful criteria for the evaluation of the groundwater quality. But the index of contamination does not take into consideration toxicity of individual components and C_d lays stress on the size of overstepping normative values. The coefficient of contamination range K_r, which we used in our investigation, is additional criteria for the evaluation of groundwater quality, too, but K_r lays stress on the toxicity of individual components and number of overstepping normative values. Advantages of the K_r application are direct relation to scheme of earmarking of classes of groundwater quality during the compilation of the natural water quality map and seriousness of contamination is clear at first sight from the value of K_r. We applied K_r on the evaluation of the groundwater quality in Lučenec - Rimava basin.

KEY WORDS

seriousness of contamination, coefficient of contamination range, natural water quality map, scheme of determination of groundwater quality classes, group of indicators, toxicity, groundwater index of contamination

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

závažnosť znečistenia, koeficient rozsahu kontaminácie, mapa kvality prírodných vôd, schéma vyčleňovania tried kvality podzemných vôd, skupina ukazovateľov, toxicita, index kontaminácie podzemných vôd

ÚVOD

Jednou z dôležitých zložiek životného prostredia, ktorých kvalita sa hodnotí v rámci úloh „Súbor máp geologických faktorov životného prostredia“ patrí podzemná voda. Kvalita podzemnej vody sa hodnotí spolu s kvalitou povrchových a zrážkových vôd v rámci „Mapy kvality prírodných vôd“.

Prvá verzia „Metodiky zostavovania máp kvality prírodných vôd“ bola spracovaná v roku 1993 (Rapant, Bodiš, 1993). Neskôr bola metodika uvedenými autormi, na základe praktických skúseností s jej aplikáciou, niekoľkokrát modifikovaná, naposledy v roku 2003 (Rapant, Bodiš, 2003).

Okrem predpísaných metodických postupov pri zostavovaní mapy kvality prírodných vôd a stanovenej obsahovej náplni samotnej mapy, príloh resp. textových vysvetliviek sa viacerí autori (napr. Kordík, Slaninka, 2005) snažili vyjadriť závažnosť kontaminácie v rámci prieskumného územia resp. jednotlivých lokalít napríklad pomocou tzv. indexu kontaminácie (nazývaný aj index znečistenia, resp. úroveň znečistenia - C_d (Backman et al., 1998)). Index znečistenia je známy napríklad aj z aplikácií v rámci Atlasu krajiny SR (Rapant, Bodiš in Atlas krajiny, SR, 2002: Znečistenie podzemných vôd, Stupeň znečistenia riečnych sedimentov).

Index kontaminácie - C_d (Backman et al., 1998) je vhodným pomocným kritériom pre celkové hodnotenie kvality skúmanej zložky (voda, riečne sedimenty) na základe porovnania hodnôt analyzovaných parametrov s ich normatívmi (limitnými hodnotami) v zmysle platných predpisov. Hodnotenie na základe C_d (rovnica 2) je však iba jedným z viacerých diskutovaných prístupov odbornej obce ku celkovému hodnoteniu úrovne znečistenia skúmaného média. Jednotlivé skúmané látky (parametre) sú v prípade použitia C_d kladené na jednu úroveň bez ohľadu na ich toxicitu, pričom ale extrémne (vysoké) hodnoty jednej látky (tzv. faktor znečistenia - Cfi, rovnica 1) môžu výrazne ovplyvniť hodnotu C_d.

Ing. Jaromír Helma, PhD.
AuREX TRADE, s. r. o., Kukučínová 20, 974 01 Banská Bystrica, helma@aurextrade.sk

V takých prípadoch, znečistené médium, napr. voda, môže byť považovaná za veľmi vážne znečistenú, ak iba jedna z látok (aj keď menej toxických) niekoľkonásobne prekročí limitnú hodnotu, resp. naopak, môže sa stať, že voda bude považovaná za minimálne znečistenú, a to aj napriek tomu, že niekoľko látok (možno aj výrazne toxických) mierne prekročí limitné hodnoty.

$$C_{fi} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1 \qquad (1)$$

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} C_{fi} \qquad (2)$$

C_d - index kontaminácie (index znečistenia)
C_f - faktor kontaminácie i-tej zložky (záporné hodnoty sa nulujú)
C_{Ai} - analytická hodnota i-tej zložky
C_{Ni} - analytická hodnota i-tej zložky

Kvôli uvedeným nevýhodám aplikácie indexu kontaminácie - C_d, sme sa rozhodli v rámci zostavovania „Mapy kvality prírodných vôd“ v rámci úlohy „Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Lučenská a Rimavská kotlina“ navrhnúť a použiť tzv. **koeficient rozsahu kontaminácie - K_r**, ktorý by zohľadňoval toxicitu jednotlivých látok, ako aj počet prekročených limitných hodnôt skúmaných ukazovateľov (látok). Nijako však tým nechceme nahradiť alebo kritizovať používanie indexu kontaminácie - C_d, ktorý má svoj zmysel a taktiež aj výhody a nevýhody aplikácie v porovnaní s aplikáciou **koeficientu rozsahu kontaminácie - K_r** vyplývajúce práve z iného princípu stanovenia.

POSTUP STANOVENIA KOEFICIENTU ROZSAHU KONTAMINÁCIE

Koeficient rozsahu kontaminácie je vhodným doplnkom pre posúdenie závažnosti znečistenia z hľadiska toxicity, jeho rozsahu z hľadiska počtu prekročení limitných hodnôt viacerých ukazovateľov. Na rozdiel od schémy vyčleňovania tried kvality podzemných vôd v zmysle metodiky zohľadňuje početnosť prekročených limitov rôznych zložiek, ale zachováva aj princíp závažnosti znečistenia z hľadiska toxicity v nadväznosti na spomínanú schému. Jednoducho povedané - čím viac prekročených toxickejších zložiek, tým má znečistenie v danej oblasti vážnejší charakter.

Hodnota K_r pre danú vzorku sa vypočíta ako „vážená“ suma počtov prekročených limitných hodnôt podľa vyhlášky č. 151/2004 Z. z., predelená „váženým“ počtom skúmaných ukazovateľov. Hodnota tohto podielu je vynásobená číslom 100 (%). Počty prekročení skúmaných ukazovateľov (zložiek) sú rozdelené do troch skupín podľa toxicity v zmysle schémy vyčleňovania tried kvality podzemných vôd.

$$K_r = 100\frac{\sum_{i=1}^{n=3} v_i s_i}{\sum_{i=1}^{n=3} v_i u_i} = 100\frac{100s_1 + 10s_2 + 1s_3}{100u_1 + 10u_2 + 1u_3} = 100\frac{100s_1 + 10s_2 + 1s_3}{100.11 + 10.7 + 1.6} = 100\frac{100s_1 + 10s_2 + 1s_3}{1176} \qquad (3)$$

v_i - váha príslušnej skupiny hodnotených ukazovateľov
s_i - počet prekročených limitov príslušnej skupiny hodnotených ukazovateľov
u_i - počet skúmaných ukazovateľov jednotlivých (troch) skupín

Jednotlivým skupinám sme priradili rôzne váhy. Za účelom toho, aby už na základe samotnej hodnoty K_r bolo zrejmé, či boli prekročené „toxickejšie“ zložky alebo nie, sme priradili váhy nasledovne:

1. skupina ukazovateľov (s najväčšou toxicitou): $v_i = 100$
2. skupina ukazovateľov (so strednou toxicitou): $v_i = 10$
3. skupina ukazovateľov (s najmenšou toxicitou): $v_i = 1$

Vzhľadom k tomu, že u niektorých vzoriek databázy pre zostavovanie „Mapy kvality prírodných vôd regiónu Lučenská a Rimavská kotlina“ neboli stanovované koncentrácie NO_2^- a Ba, tak sme ich nepoužili vo výpočtoch koeficientu rozsahu kontaminácie. To znamená, že sme použili 11 zložiek z 1. skupiny (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, NH_4^+, NO_3^-, Sb, Pb, Se), 7 zložiek z druhej skupiny (Cl^-, F^-, Fe, Mn, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Zn) a 6 zložiek z tretej skupiny (Ca+Mg, $CHSK_{Mn}$, Mg, O_2, pH, namiesto $RL_{(105°C)}$ sme použili M - celková mineralizácia).

Z uvedeného vyplýva, že koeficient rozsahu kontaminácie v podstate predstavuje percentuálne vyjadrenie „závažnosti“ kontaminácie, pričom v prípade prekročenia limitných hodnôt všetkých ukazovateľov by bola jeho hodnota 100 %. Napríklad v prípade prekročenia všetkých hodnôt z 1. skupiny ukazovateľov by jeho hodnota pre danú vzorku bola 93,54 %. V prípade prekročenia iba jednej hodnoty z 1. skupiny ukazovateľov by jeho hodnota bola 8,50 %. V prípade prekročenia iba hodnôt z 2. skupiny ukazovateľov by

jeho hodnota bola 0,85 - 5,95 % podľa počtu prekročení (1 - 7). V prípade prekročenia iba hodnôt z 3. skupiny ukazovateľov by jeho hodnota bola 0,085 - 0,51 % podľa počtu prekročení (1 - 6). Kvôli zjednodušeniu nebudeme percentá ďalej uvádzať.

Vybrané kombinácie hodnôt K_r (nie všetky) takejto aplikácie sú v tab. 1. V prípade iného počtu ukazovateľov je samozrejme nutné si prepočítať tabuľku hodnôt K_r pre príslušnú aplikáciu.

Koeficient rozsahu kontaminácie charakterizuje jedným číslom znečistenie danej vzorky a pri priestorovej aplikácii charakterizuje intervalom izolínií rozsah kontaminácie určitej oblasti.

Výhodou použitia „vážených“ hodnôt početností je zrejmá aj v prípade štatistického spracovania a vyjadrenia distribúcie K_r pomocou histogramu (aplikácia na záujmové územie je na obr. 1), kde je ihneď zrejmé ako vážne je znečistením postihnutá skúmaná oblasť.

Výhodou aplikácie K_r je však najmä úzka nadväznosť na schému vyčleňovania tried kvality podzemných vôd v zmysle „Metodiky zostavovania máp kvality prírodných vôd“ (Rapant, Bodiš, 2003). Na základe vypočítanej hodnoty K_r vieme rozčleniť analyzované vzorky v databáze do jednotlivých tried (A, B, C, D). T. j. napríklad pre danú aplikáciu (tab. 1) platí:

Trieda A: $K_r = 0$

Trieda B: $0 < K_r \leq 0,51$ (alebo $0 < K_r < 0,85$)

Trieda C: $0,85 \leq K_r \leq 6,46$ (alebo $0,51 < K_r < 8,5$)

Trieda D: $K_r \geq 8,50$ (alebo $K_r > 6,46$)

Poznámka: Hodnota 6,46 = 5,95+0,51. Je nutné presne stanoviť hraničné hodnoty, aby sme pri zaokrúhľovaní hraničných (tabuľkových hodnôt) pri triedení neurobili chybu.

Tab. 1: Hodnoty koeficientu rozsahu kontaminácie K_r pre vybrané kombinácie prekročení limitných hodnôt ukazovateľov
V prípade prekročenia všetkých ukazovateľov sú spočítané posledné hodnoty (prvé z prava) v jednotlivých riadkoch, t. j. 93,54+5,95+0,51 = 100,0

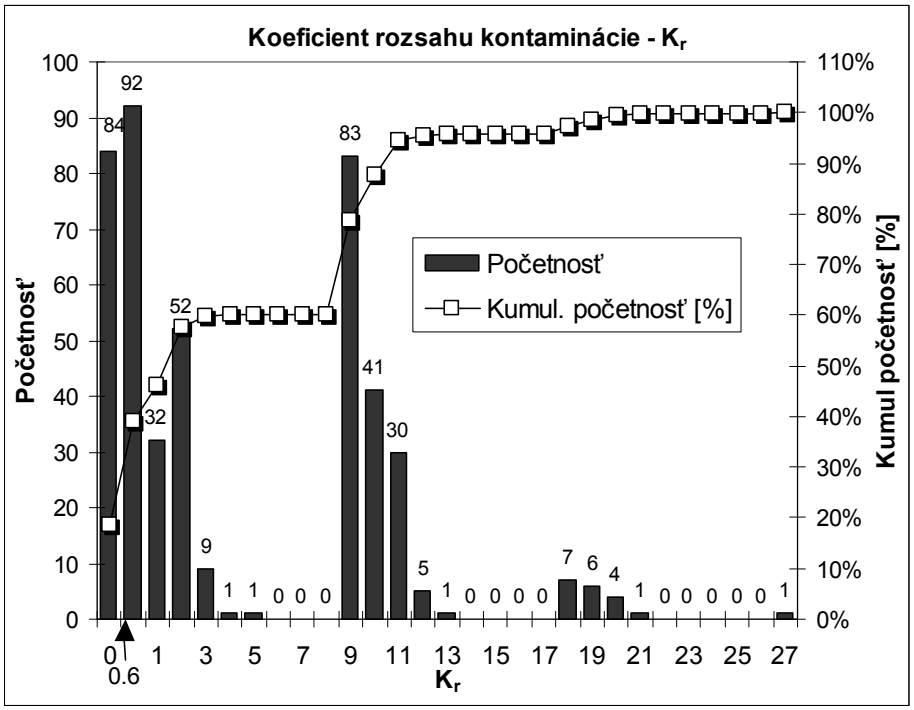
Tab. 1: Values of the coefficient of contamination range K_r for selected combinations of overstepping normative values of indicators
In the case of overstepping all indicators the sum of the last values in the individual rows (first values from right) equals one hundred (that is 93,54+5,95+0,51 = 100,0).

počet prekročení	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. skupina	8,50	17,01	25,51	34,01	42,52	51,02	59,52	68,03	76,53	85,03	93,54
2. skupina	0,85	1,70	2,55	3,40	4,25	5,10	5,95				
3. skupina	0,085	0,170	0,255	0,340	0,425	0,510					
suma skupín	**9,44**	**18,88**	**28,32**	**37,76**	**47,19**	**56,63**	**65,48**				

VÝSLEDKY APLIKÁCIE KOEFICIENTU ROZSAHU KONTAMINÁCIE V REGIÓNE LUČENSKO-RIMAVSKEJ KOTLINY

Aplikáciou koeficientu rozsahu kontaminácie (450 vzoriek obyčajných podzemných vôd) v regióne Lučensko-Rimavskej kotliny (tab. 1 a obr. 1) sme zistili, že v území sú pomerne často prekračované limitné hodnoty z 1. skupiny ukazovateľov (najmä NO_3^-, menej Al, NH_4^+ atď.), pričom ale väčšinou sa jedná iba o prekročenie limitnej hodnoty jedného ukazovateľa z 1. skupiny - hodnoty $K_r = 8$ až 13 (83+41+30+5+1 = 160 analýz), v prípadnej kombinácií s prekročením limitných hodnôt ukazovateľov 3. skupiny - $K_r = 8$ až 9 (83 vzoriek) alebo aj s prekročením limitných hodnôt ukazovateľov 1. a 2. skupiny - $K_r = 9$ až 13 (41+30+5+1 = 77 analýz). Iba ojedinele sú prekročené 2 limitné hodnoty - Kr = 17 až 21 (7+6+4+1) alebo 3 limitné hodnoty z 1. skupiny naraz - $K_r = 26$ až 27 (1 vzorka - Al, NH_4^+, NO_3^-).

Koeficient rozsahu kontaminácie bol v 84 zo 450 vzoriek rovný nule. To znamená, že v 84 vzorkách nebola prekročená ani jedna limitná hodnota z porovnávaných ukazovateľov. V 92 vzorkách bola hodnota K_r síce väčšia ako nula, ale menšia ako 0,6. To znamená, že v 92 vzorkách boli prekročené iba limitné hodnoty ukazovateľov z 3. skupiny, pričom presný interval $K_r = 0,085$ až 0,255 poukazuje na to, že boli prekročené iba 1 - 3 limitné hodnoty ukazovateľov z 3. skupiny naraz. Hodnoty koeficientu rozsahu kontaminácie z intervalu od 0,6 do 5 (presne od 0,85 do 4,59) odpovedajú prekročeniu limitných hodnôt ukazovateľov z 2. skupiny v prípadnej kombinácií s prekročenými limitnými hodnotami ukazovateľov 3. skupiny. Maximálna hodnota uvedeného intervalu ($K_r = 4,59$) bola zistená iba v jednej vzorke a odpovedá 5 prekročeným limitným hodnotám ukazovateľov z 2. skupiny a 4 prekročeným limitným hodnotám ukazovateľov z 3. skupiny. Taktiež iba jedna hodnota bola z intervalu 3 - 4 (presne $K_r = 3,74$), ktorá odpovedá 4 prekročeným limitným hodnotám ukazovateľov z 2. skupiny a 4 prekročeným limitným hodnotám ukazovateľov z 3. skupiny. Až 9 hodnôt K_r bolo z intervalu 2 až 3 (presne $K_r = 2,04$ - 2,89), čo odpovedá 2 alebo 3 prekročeným limitným hodnotám ukazovateľov z 2. skupiny s kombináciou 2 až 4 prekročených limitných hodnôt ukazovateľov z 3. skupiny.



Obr. 1: Distribúcia hodnôt koeficientu rozsahu kontaminácie K_r v záujmovom území
Obr. 1: Distribution of the values of the coefficient of contamination range K_r in the region

Ako sme už spomínali, z 1. skupiny boli najčastejšie prekračované limitné hodnoty NO_3^-, Al, NH_4^+. Z 2. skupiny boli najčastejšie prekračované limitné hodnoty Mn, Cl^-, SO_4^{2-} a z 3. skupiny Ca+Mg, O_2, M, $ChSK_{Mn}$.

Štatistické parametre (napr. aritmetický priemer, medián) koeficientu rozsahu kontaminácie môžu pomôcť napríklad pri porovnávaní rôznych regiónov resp. podzemných vôd jednotlivých hornín a geologických jednotiek z hľadiska rozsahu kontaminácie.

V záujmovom území sme v rámci prvého zvodneného horizontu na základe vytriedenej databázy analýz (bez minerálnych vôd hlbších zvodnených horizontov) vyčlenili hydrogeochemické skupiny podzemných vôd, viažuce sa na jednotlivé typy horninového prostredia znázornené na obr. 2 (vysvetlivky v zátvorke uvedených litostratigrafických indexov sú v tab. 2):

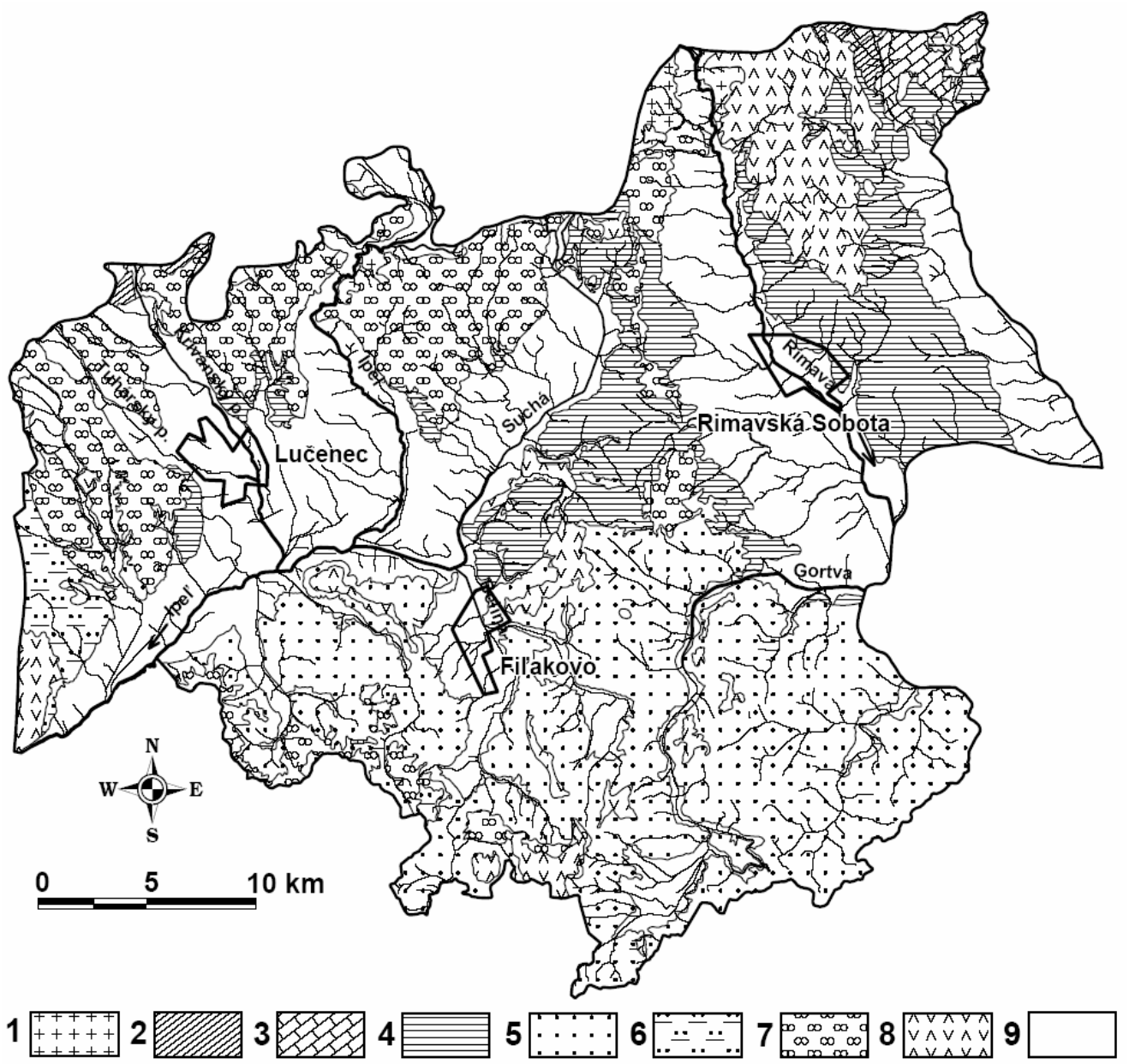
1. vody so silikátogénnou až silikátovo-karbonátogénnou mineralizáciou kryštalinika a paleozoika veporika a gemerika (KV, CPR, gA, DCGD), okrem dvoch vzoriek základného výrazného A_2, Ca-Mg-HCO_3 chemického typu (z deviatich vzoriek) to boli zmiešané typy, pričom okrem najviac zastúpenej A_2 zložky sa na druhom a treťom mieste z hľadiska percentuálneho podielu striedali $S_2(Cl)$, $S_1(NO_3)$ a $S_2(SO_4)$ zložky, priemerná celková mineralizácia M = 308,8 mg.l-1,
2. vody so silikátovo-karbonátogénnou a karbonátovo-silikátogénnou mineralizáciou piesčito-bridličnatých súvrství spodného triasu (kT1F, T1STB ± minimálne plošne rozšírené T1STS, z ktorého prakticky nie sú výsledky analýz podzemných vôd v území), prevažne základného nevýrazného A_2, Ca-Mg-HCO_3 resp. Ca-HCO_3 chemického typu, M = 329,5 $mg.l^{-1}$,
3. vody s karbonátogénnou mineralizáciou triasových karbonátov silicika-turnaika a meliatika (vT23ST ± dT23ST, vT2ST, vT23M, T23M) sú takmer výlučne základného výrazného A_2 typu, Ca-HCO_3, chemického typu, priemerná M = 636,2 $mg.l^{-1}$,
4. vody s karbonátogénnou až sulfátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov sečenského šlíru lučenského súvrstvia (NL) sú prevažne základného nevýrazného A_2 typu, menej základného výrazného A_2, základného nevýrazného $S_2(SO_4)$, zmiešaného A_2-$S_2(Cl)$-$S_2(SO_4)$ základného výrazného $S_2(SO_4)$, zmiešaného A_2-$S_2(SO_4)$-$S_1(NO_3)$, resp. A_2-$S_2(SO_4)$-$S_2(Cl)$, ale aj prechodného $S_2(SO_4)$-A_2 typu, prevládajú Ca-Mg-HCO_3 a Ca-Mg-HCO_3-SO_4 chemické typy, ale vyskytujú sa aj Ca-Mg-SO_4-HCO_3, Ca-HCO_3, Ca-HCO_3-SO_4, Ca-Mg-HCO_3-Cl, Ca-Mg-SO_4 chemické typy, priemerná M = 1110 $mg.l^{-1}$,
5. vody so silikátovo-karbonátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov fiľakovského súvrstvia (NFe, NČe), prevažne základného výrazného A_2 typu, menej základného nevýrazného A_2 typu, výrazne prevláda Ca-Mg-HCO_3 chemický typ,

lokálne sa vyskytujú aj Ca-Mg-HCO_3-SO_4, prípadne Mg-Ca-HCO_3 typy, priemerná M = 846,2 mg.l^{-1},

6. vody so silikátovo-karbonátogénnou až silikátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov šalgotarjánskeho súvrstvia a modrokamenského súvrstvia (NPo, NŠo ± Nk, Ns), Sú to rôzne základné výrazné, nevýrazné aj zmiešané typy. Prevládajú však ióny Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, do názvu typu sa dostali aj SO_4^{2-}, Na^+, Cl^-. priemerná M = 300,6 mg.l^{-1},
7. vody so silikátovo-karbonátogénnou až silikátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov poltárskeho a bukovinského súvrstvia (NP, NBe), prevažne základného nevýrazného A_2 typu, menej základného výrazného A_2 typu, prevažne Ca-Mg-HCO_3, menej Ca-HCO_3, ojedinele Ca-Na-HCO_3 chemického typu, prípadne Ca-HCO_3-Cl chemického typu, priemerná M = 527 mg.l^{-1},
8. vody so silikátogénnou mineralizáciou neovulkanitov (Nb, nVP, nBCP ± aŠ), prevažne základného výrazného A_2 typu, menej základného nevýrazného A_2 typu, prevažne Ca-Mg-HCO_3, menej Ca-HCO_3, prípadne Ca-Mg-HCO_3-SO_4 chemického typu, priemerná M = 455 mg.l^{-1},
9. vody s potamogénnou až potamogénno-petrogénnou mineralizáciou kvartérnych fluviálnych a proluviálnych sedimentov (fQb-r, fQr-w, pQ, fQ, fQh), sú síce najčastejšie reprezentované základným nevýrazným A_2 typom (16 vzoriek z 64), celkove však dominujú rôzne zmiešané typy: A_2-$S_2(SO_4)$-$S_2(Cl)$ (6), A_2-$S_2(SO_4)$-$S_1(Cl)$ (4), A_2-$S_2(Cl)$-$S_2(SO_4)$ (3) a pod., z chemických typov prevládajú Ca-Mg-HCO_3-SO_4 (14), Ca-Mg-HCO_3 (9) Ca-HCO_3-SO_4 (6), Ca-Mg-SO_4 (5), Ca-Mg-HCO_3-Cl (5), priemerná M = 990 mg.l^{-1}.

Tab. 2: Vysvetlivky litostratigrafických indexov
Tab. 2: Explanations of the lithostratigraphic indexes

litostr. index	litológia a stratigrafia
fQh	fluviálne sedimenty: hlinito-piesčité a ílovité sedimenty (holocén)
fQ	fluviálne sedimenty: piesčité štrky dnovej akumulácie nív prekryté hlinito-piesčitými a ílovitými sedimentmi (pleistocén – holocén)
pQ	proluviálne sedimenty: hlinito-piesčité, hlinito-štrkovité a hlinito-kamenité sedimenty náplavových kužeľov (pleistocén – holocén)
fQr-w	fluviálne sedimenty: piesčité štrky nízkych terás a spodnej strednej terasy (ris – würm)
fQb-r	fluviálne sedimenty: piesčité a zahlinené štrky stredných, vysokých a najvyšších terás (biber – ris)
nBCP	cerova a podrečianska bazaltová formácia (miocén – pleistocén)
NP	poltárske súvrstvie: pestré íly, piesky, štrky, prekryté deluviálnymi a eolicko-deluviálnymi sedimentmi (pont)
nVP	andezitové vulkanoklatiká pokoradzského súvrstvia (báden – sarmat)
Nb	lysecká andezitová a vinická formácia: pyroklastické a epiklastické sedimenty, andezitový porfýr, tufiticko-ílovcové vrstvy (báden)
aŠ	šiatorský intruzívny komplex: andezit Šiator – Karanč (báden)
Ns	sečianske vrstvy modrokamenského súvrstvia: sivé vápnité prachovce (karpat)
Nk	krtíšske a medokýšske vrstvy modrokamenského súvrstvia: piesky, vápnité piesky, rozpadavé pieskovce, miestami prekryté vápnitými prachovcami (karpat)
NŠo	plachtinské vrstvy šalgotarjánskeho súvrstvia: sivé rozpadavé ílovce a prachovce s bridličnatým rozpadom (otnang)
NPo	pôtorské vrstvy šalgotarjánskeho súvrstvia: sivé piesky, uhoľné íly a prachovce, sloje hnedého uhlia (otnang)
NBe	bukovinské súvrstvie: pestré íly, štrky, piesky s polohami ryodacitových tufov a tufitov (egenburg)
NČe	čakanovské vrstvy fiľakovského súvrstvia: sivé vápnité rozpadavé prachovce a jemnozrnné pieskovce (egenburg)
NFe	fiľakovské súvrstvie (okrem čakanovských vrstiev): pieskovce, zlepence, piesky, ryodacit. tufy (egenburg)
NL	sečenský šlír: vápnité rozpadavé prachovce s polohami piesku a ílu (eger)
vT23ST	vápence silicika - turnaika: dachsteinské, hallstattské, tisovecké, reiflingské, nadašské, steinalmské, gutensteinské vápence (stredný – vrchný trias)
dT23ST	wetersteinské dolomity silicika - turnaika (fasan – kordevol)
vT2ST	rekryštalizované vápence, vápnité fylity silicika – turnaika (anis)
T1STS	slienito-vápencové vrstvy silicika - turnaika (namal? – spat)
T1STB	piesčito-bridličnaté vrstvy s evaporitmi silicika - turnaika (griesbach - namal?)
vT23M	sivé, rohovcové a alodaptické vápence meliatika (kordevol – spodný norik)
T23M	kryštalické, miestami dolomitizované vápence meliatika (spodný anis)
DCGD	fylity, metapieskovce, magnezity, serpentinity, lydity, acidné metavulkano-klastiká, polohy kryštalických vápencov paleozoika dobšinskej a gelnickej skupiny gemerika (spodný devón – karbón)
gA	granitoidy, leukogranitoidy a aplity kryštalinika veporika (?alpínske)
kT1F	metamorfované kremenné pieskovce, subarkózy a piesčité bridlice federátskej skupiny gemerika (spodný trias)
CPR	rimavské a slatvinské súvrstvie revúckej skupiny veporika: metapieskovce, fylity, metavulkanoklastiká, vulkanoklastiká (karbón – perm)
KV	biotitické rohovcové fylity až ruly s častými žilami granitov kryštalinika veporika (?proterozoikum – paleozoikum)



Obr. 2: Zjednodušená geologická mapa Lučensko-Rimavskej kotliny (upravená na základe Účelovej hydrogeologickej mapy, Helma, Ballová in Maťová et al., 2006)

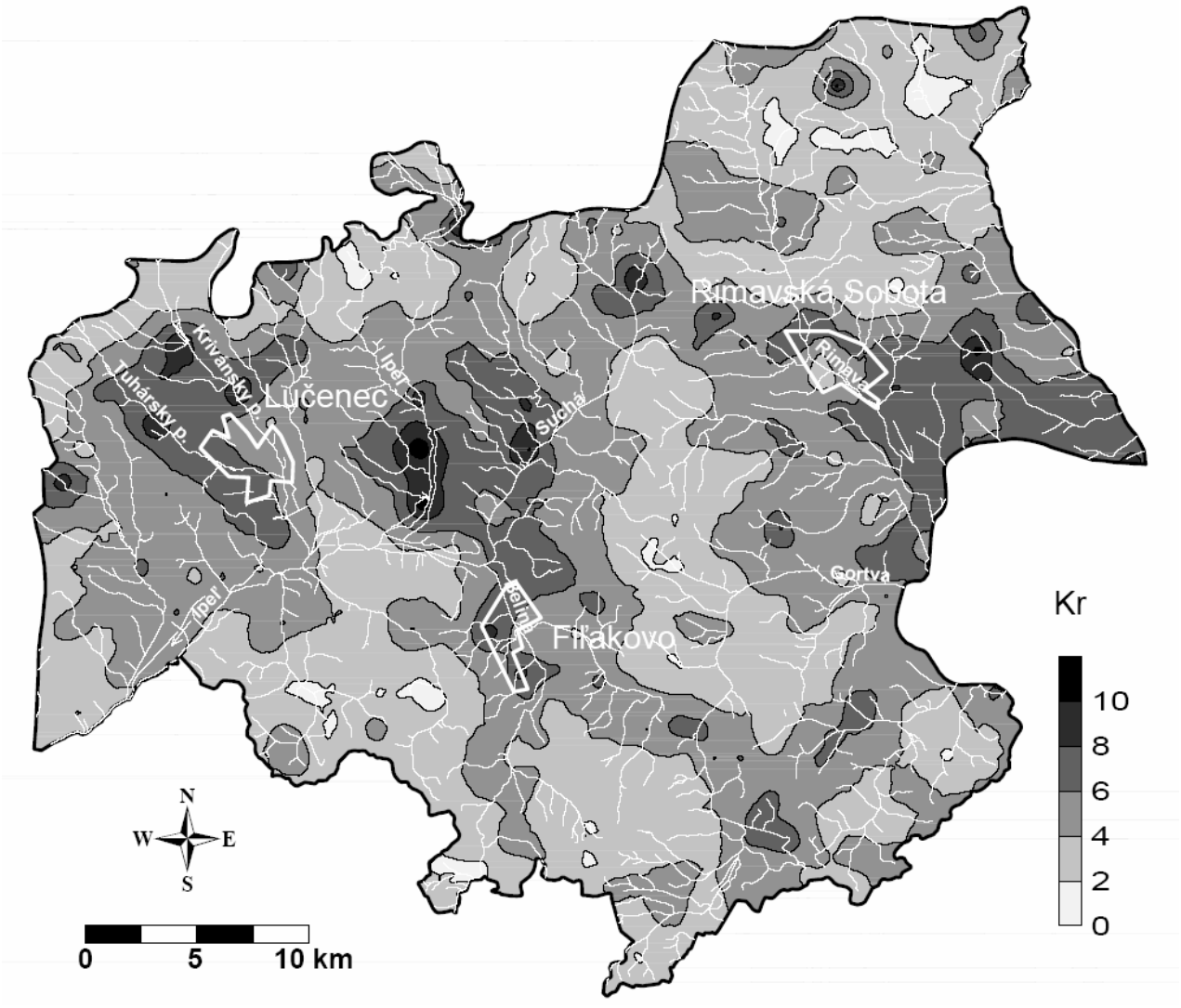
1 - kryštalinikum a paleozoikum veporika a gemerika (KV, CPR, gA, DCGD), 2 - piesčito-bridličnaté súvrstvia spodného triasu (kT1F, T1STB ± T1STS), 3 - triasove karbonáty silicika-turnaika a meliatika (vT23ST ± dT23ST, vT2ST, vT23M, T23M), 4 - neogénne sedimenty sečenského šlíru lučenského súvrstvia (NL), 5 - neogénne sedimenty fiľakovského súvrstvia (NFe, NČe), 6 - neogénne sedimenty šalgotarjánskeho a modrokamenského súvrstvia (NPo, NŠo ± Nk, Ns), 7 - neogénne sedimenty poltárskeho a bukovinského súvrstvia (NP, NBe), 8 – neovulkanity (Nb, nVP, nBCP ± aŠ), 9 - kvartérne fluviálne a proluviálne sedimenty (fQb-r, fQr-w, pQ, fQ, fQh)

Obr. 2: Simplified geological map of Lučenec – Rimava basin (fitted on the base of Specific hydrogeological map, Helma, Ballová in Maťová et al., 2006)

1 – crystalline rocks and Paleozoic of Veporicum and Gemericum units (KV, CPR, gA, DCGD), 2 – sandy shales Formation of Lower Triassic (kT1F, T1STB ± T1STS), 3 – Triassic carbonates of Silicicum-Turnaicum and Meliaticum units (vT23ST ± dT23ST, vT2ST, vT23M, T23M), 4 – Neogene sediments of Szecseny schlier of Lučenec Formation (NL), 5 - Neogene sediments of Fiľakovo Formation (NFe, NČe), 6 - Neogene sediments of Fiľakovo Salgótarián and Modrý Kameň Formation (NPo, NŠo ± Nk, Ns), 7 - Neogene sediments of Fiľakovo Poltár and Bukovina Formation (NP, NBe), 8 – Neogene volcanic rocks (Nb, nVP, nBCP ± aŠ), 9 – Quaternary fluviatile and proluvial sediments (fQb-r, fQr-w, pQ, fQ, fQh)

Tab. 3: Priemerné a mediánové hodnoty koeficientu rozsahu kontaminácie K_r pre hydrogeochemické skupiny podzemných vôd (skupina 1 až 9)
Tab. 3: Arithmetic average and median of the coefficient of contamination range K_r of hydrogeochemical groups of groundwater (group 1 to 9)

Ukazovateľ	1. KV, CPR, gA, DCGD	2. kT1F, T1STB	3. vT23ST	4. NL	5. NFe, NČe	6. NPo, NŠo	7. NP, NBe	8. Nb, nVP, nBCP	9. fQb-r, fQr-w, pQ, fQ, fQh
počet vzoriek	9	5	11	101	135	5	69	51	64
aritm. priemer K_r	3,127	0,289	1,121	5,648	3,714	4,014	4,043	2,893	6,564
medián K_r	0,170	0,170	0,000	2,891	0,935	1,786	0,935	0,085	8,546



Obr. 3: Mapa izolínií koeficientu rozsahu kontaminácie K_r v regióne Lučensko-Rimavskej kotliny
Obr. 3: Contour map of spatial distribution of the coefficient of contamination range K_r in the region Lučenec – Rimava basin

Podľa priemerných (6,564) a mediánových (8,546) hodnôt koeficientu rozsahu kontaminácie sú najviac resp. najvážnejšie znečistené vody s potamogénnou až potamogénno-petrogénnou mineralizáciou kvartérnych fluviálnych a proluviálnych sedimentov (fQb-r, fQr-w, pQ, fQ, fQh). Vysoké priemerné (5,648) a mediánové (2,891) hodnoty koeficientu rozsahu kontaminácie indikujú pomerne vysoký rozsah znečistenia vôd s karbonátogénnou až sulfátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov sečenského šlíru lučenského súvrstvia (NL).

Na štatisticky vysokých hodnotách K_r a teda na

závažnom znečistení vôd s potamogénnou až potamogénno-petrogénnou mineralizáciou kvartérnych fluviálnych a proluviálnych sedimentov má významný podiel pomerne časté prekročenie limitnej hodnoty NO_3^-, menej Al, Sb, NH_4^+ a i. z najtoxickejšej skupiny ukazovateľov. Z 2. skupiny ukazovateľov sa na veľkosti hodnoty K_r podieľajú najmä zvýšené koncentrácie Mn, Cl^-, SO_4^{2-}, menej PO_4^{3+}, Fe a iné.

Vysoké priemerné a mediánové hodnoty K_r vôd s karbonátogénnou až sulfátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov sečenského šlíru lučenského súvrstvia (NL) sú ovplyvňované najmä prekročením limitných hodnôt NO_3^-, menej Al, As, NH_4^+ a i. Z 2. skupiny ukazovateľov sa na veľkosti hodnoty K_r podieľajú najmä zvýšené koncentrácie Mn, SO_4^{2-}, Cl^-, menej PO_4^{3+}, Fe, Zn a iné.

To znamená, že znečistenie oboch vyššie uvedených typov vôd má podobný charakter. V podstatnej miere sa jedná o antropogénne znečistenie v dôsledkoch poľnohospodárskej, menej priemyselnej činnosti. Zvýšené koncentrácie SO_4^{2-} sú však aj geogénneho pôvodu a pochádzajú z evaporitov vyskytujúcich sa v neogénnych sedimentoch.

Z tab. 3 vyplýva, že relatívne dobrou kvalitou (relatívne nízke hodnoty aritmetického priemeru a mediánu hodnôt K_r) sa vyznačujú vody so silikátovo-karbonátogénnou až karbonátovo-silikátogénnou mineralizáciou piesčito-bridličnatých súvrství spodného triasu (kT1F, T1STB) - aritmetický priemer K_r = 0,289, medián K_r = 0,170, vody s karbonátogénnou mineralizáciou triasových karbonátov silicika-turnaika (vT23ST) – aritmetický priemer K_r = 1,121, medián K_r = 0,000, a vody so silikátogénnou mineralizáciou neovulkanitov (Nb, nVP, nBCP) - aritmetický priemer K_r = 2,893, medián K_r = 0,085.

Priestorová distribúcia hodnôt koeficientu rozsahu kontaminácie je zrejmá z mapy izolínií K_r (obr. 3). Z porovnania obrázkov 2 a 3 vyplýva, ako vyššie hodnoty izolínií K_r „kopírujú“ plošné rozloženie kvartérnych fluviálnych a proluviálnych sedimentov a neogénnych sedimentov sečenského šlíru lučenského súvrstvia.

ZÁVER

Za účelom jednoduchej charakterizácie závažnosti znečistenia podzemných vôd (jednou hodnotou) sme v rámci zostavovania „Mapy kvality prírodných vôd“ (Helma in Maťova et al., 2006) navrhli a použili tzv. **koeficient rozsahu kontaminácie - K_r**. **K_r** zohľadňuje toxicitu jednotlivých látok, ako aj počet prekročených limitných hodnôt skúmaných ukazovateľov (látok).

Hodnota **K_r** pre danú vzorku sa vypočíta ako podiel sumy prekročených limitných hodnôt podľa vyhlášky č. 151/2004 Z. z. a sumy sledovaných ukazovateľov, pričom jednotlivé sledované ukazovatele (zložky) sú rozdelené do troch skupín podľa toxicity v zmysle schémy vyčleňovania tried kvality podzemných vôd a je im podľa toho priradená odlišná „váha“ (1, 10, 100).

Hodnota podielu je vynásobená číslom 100 (%), z čoho vyplýva, že koeficient rozsahu kontaminácie v podstate predstavuje percentuálne vyjadrenie „závažnosti“ kontaminácie, pričom teoreticky, v prípade prekročenia limitných hodnôt všetkých ukazovateľov by bola jeho hodnota 100 %.

Výhodou priradenia rádovo odlišných váh jednotlivým, rôzne toxickým skupinám ukazovateľov je to, že z hodnoty **K_r** je ihneď zrejmé, ktoré limitné hodnoty (z ktorej skupiny ukazovateľov) boli prekročené, a teda akou mierou sa podieľajú na výslednej hodnote **K_r**, t. j. aké závažné je znečistenie. S tým úzko súvisí aj ďalšia výhoda, ktorou je úzka nadväznosť na schému vyčleňovania tried kvality podzemných vôd v zmysle „Metodiky zostavovania máp kvality prírodných vôd“ (Rapant, Bodiš, 2003). V podstate na základe vypočítanej hodnoty **K_r** vieme rozčleniť analyzované vzorky v databáze do jednotlivých tried (A, B, C, D).

Aplikáciou koeficientu rozsahu kontaminácie (450 vzoriek) v regióne Lučensko-Rimavskej kotliny (tab. 1 a obr. 1) sme zistili, že v území sú pomerne často prekračované limitné hodnoty z 1. skupiny ukazovateľov (najmä NO_3^-), pričom ale väčšinou sa jedná iba o prekročenie limitnej hodnoty jedného ukazovateľa z 1. skupiny - hodnoty K_r = 8 až 13 (spolu 160 analýz), v prípadnej kombinácií s prekročením limitných hodnôt ukazovateľov 3. skupiny - K_r = 8 až 9 (83 analýz) alebo aj s prekročením limitných hodnôt ukazovateľov 1. a 2. skupiny - K_r = 9 až 13 (77 analýz). Iba ojedinele sú prekročené 2 limitné hodnoty - K_r = 17 až 21 (18 analýz) alebo 3 limitné hodnoty z 1. skupiny naraz - K_r = 26 až 27 (1 vzorka - Al, NH_4^+, NO_3^-).

Na základe štatistických charakteristík (aritmetický priemer, medián) hodnôt koeficientu rozsahu kontaminácie sú najviac resp. najvážnejšie znečistené vody s potamogénnou až potamogénno-petrogénnou mineralizáciou kvartérnych fluviálnych a proluviálnych sedimentov a vody s karbonátogénno až sulfátogénnou mineralizáciou neogénnych sedimentov sečenského šlíru lučenského súvrstvia (tab. 3, obr. 3). Znečistenie oboch vyššie uvedených typov vôd (aritmetický priemer K_r = 6,56 resp. 5,65, medián K_r = 8,55 resp. 2,891) je charakteristické častým prekročením limitnej hodnoty NO_3^-, menej Al, NH_4^+, a i. z najtoxickejšej skupiny ukazovateľov. Z 2. skupiny ukazovateľov sa na veľkosti hodnoty K_r podieľajú najmä zvýšené koncentrácie Mn, SO_4^{2-}, Cl^-, menej PO_4^{3-}, Fe atď. V podstatnej miere sa jedná o antropogénne znečistenie v dôsledkoch poľnohospodárskej, menej priemyselnej činnosti. Zvýšené koncentrácie SO_4^{2-} sú však aj geogénneho pôvodu a pochádzajú z evaporitov vyskytujúcich sa v neogénnych sedimentoch.

V odbornej verejnosti sa už dlhší čas diskutuje

o synergickom efekte znečisťujúcich látok. Zložitosť tejto environmentálnej problematiky bude zrejme témou diskusií aj v najbližších rokoch. Dva sčasti rozdielne prístupy vyjadrené relatívne známym a často používaným **indexom kontaminácie - C_d** (Backman et al., 1998) na jednej strane a **koeficientom rozsahu kontaminácie - K_r** na strane druhej do určitej miery síce zohľadňujú synergický efekt aj keď čiastočne odlišným spôsobom.

Je možné, že v blízkej budúcnosti dôjde k priblíženiu týchto dvoch prístupov a k vytvoreniu jednotných kritérií pre hodnotenie znečistenia a jeho vyjadrenie jedinou referenčnou hodnotou. Napríklad, ak by sme k váhe jednotlivých skupín hodnotených ukazovateľov v rovnici 3 (v čitateli) pridali („prenásobili“) násobok prekročenia danej limitnej hodnoty (v podstate obdoba tzv. faktoru znečistenia – C_{fi}, ktorých suma predstavuje index kontaminácie C_d), tak by výsledná hodnota zohľadňovala oba prístupy.

Dúfame, že k vytvoreniu jednotných kritérií pre hodnotenie znečistenia alebo aspoň k rozvoju problematiky hodnotenia znečistenia prispeje malou mierou aj tento článok.

LITERATÚRA

Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002. 1. vyd. SAŽP Banská Bystrica.

Backman, B., Bodiš, D., Lahermo, P., Rapant, S., Tarvainen, T., 1998: Application of a groundwater cotamination index in Finland and Slovakia. Environmental Geology 36 (1-2). Springer Verlag. pp. 55-64.

Kordík, J., Slaninka, I., 2005: Textové vysvetlivky k Mape kvality prírodných vôd. In Ondrášik, M., Smolarová, H., Čížek, P., Gluch, A., Marsina, K., Siráňová, Z., Kordík, J. Slaninka, I., Marcin, D., Malík, P., Švasta, J., Potfaj, M., Dlapa, P., Ďuriš, M., Juráni, B., Mičuda, R., Šimkovič, I., Frankovská, J., Dananaj, I., Liščák, P., Jelínek, R., Pauditš, P., Ondrejka, P., Šefčíková, B., Iglárová, Ľ., Magalová, D., Okoličányiová, K., Pristaš, J., Hók, J., et al., 2005: Súbor regionálnych máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Myjavská pahorkatina a Biele Karpaty. Manuskript, archív ŠGÚDŠ Bratislava.

Rapant, S., Bodiš, D., 2003: Metodika zostavovania máp kvality prírodných vôd v mierke 1 : 50 000. Geol. Práce, Spr. (Bratislava), 108, 23-45.

Helma, J.: Mapa kvality prírodných vôd. Čiastková záverečná správa. In: Maťová, V., Kusein, M., Helma, J., Ballová, L., Sobocká, J., Poltárska, K., Šurina, B., Jaďuďa, M., Dodok, R., Komoň, J., Daniel, S., Brozman, F., Lučivjanský, L., Daniel, J., Novotný, L., Bašista, J., Vrabľová, K., Fussgänger, Coplák, M., Kuvik, M., Kubiš, M., 2006: Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Lučenská a Rimavská kotlina. Manuskript, archív ŠGÚDŠ Bratislava.

Helma, J., Ballová, 2006: Účelová hydrogeologická mapa. M 1 : 50 000. In: Maťová, V., Kusein, M., Helma, J., Ballová, L., Sobocká, J., Poltárska, K., Šurina, B., Jaďuďa, M., Dodok, R., Komoň, J., Daniel, S., Brozman, F., Lučivjanský, L., Daniel, J., Novotný, L., Bašista, J., Vrabľová, K., Fussgänger, Coplák, M., Kuvik, M., Kubiš, M., 2006: Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Lučenská a Rimavská kotlina. Manuskript, archív ŠGÚDŠ Bratislava.

COEFFICIENT OF CONTAMINATION RANGE, ITS SIGNIFICANCE AND UTILIZATION

SUMMARY

We suggested and used the coefficient of contamination range K_r (equation 3) during the compilation of the natural water quality map of the Lučenec - Rimava basin. K_r is additional criteria for evaluation of groundwater quality and seriousness of contamination. K_r is not equal to well-known C_d (equation 2) (Backman et al., 1998) which is called contamination index or extent of pollution. K_r lies stress on the toxicity of individual components and number of overstepping normative values in contrast to C_d which otherwise regards to number of overstepping normative values but lies stress on the size of overstepping normative values and does not take into consideration toxicity of individual components.

K_r (equation 3) is calculated as weighted sum of the number of overstepping normative values divided by weighted sum of the number of indicators. Thereafter the ratio multiplied by 100 (%) is K_r.

Input parameters:

v_i - weight of the group of indicators ($v_1 = 100$, $v_2 = 10$, $v_3 = 1$)

s_i - number of overstepping normative values of the group of indicators (in our application: $s_1 = 0 - 11$, $s_2 = 0 - 7$, $s_3 = 0 - 6$)

u_i - number of indicators of the group (in our application: $u_1 = 11$, $u_2 = 7$, $u_3 = 6$)

1. group of indicators (maximum toxicity): $v_1 = 100$ (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, NH_4^+, NO_3^-, Sb, Pb, Se),
2. group of indicators (medium toxicity): $v_2 = 10$ (Cl^-, F^-, Fe, Mn, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Zn),
3. group of indicators (minimum toxicity): $v_3 = 1$ (Ca+Mg, $CHSK_{Mn}$, Mg^{2+}, O_2, pH, TDS)

Advantages of the application of K_r are direct relation to scheme of earmarking of classes of groundwater quality during the compilation of natural water quality map (3 groups of indicators) in

terms of „Methodology of the compilation of natural water quality maps“ (Rapant, Bodiš, 2003) and seriousness of contamination is clear at first sight from the value of K_r (tab. 1, fig. 1).

On the base of K_r we can separate analyses to four classes accordance with methodology (Rapant, Bodiš, 2003):

Class A: $K_r = 0$

Class B: $0 < K_r \leq 0,51$ (or $0 < K_r < 0,85$)

Class C: $0,85 \leq K_r \leq 6,46$ (or $0,51 < K_r < 8,5$)

Class D: $K_r \geq 8,50$ (or $K_r > 6,46$)

We applied K_r on the evaluation of the groundwater quality (450 analyses) in the Lučenec - Rimava basin (fig. 2, tab. 2). For example analytical values oftentimes overstep normative values from the 1st group of indicators (mainly NO_3^-, less Al, NH_4^+ etc.) but mostly only one component from the 1st group of indicators overstep normative values - $K_r = 8 - 13$ (83+41+30+5+1 = 160 analyses) (fig. 1) Two - $K_r = 17 - 21$ (7+6+4+1 = 18 analyses) or three - $K_r = 26 - 27$ (1 analysis) components from the 1st group of indicators seldom overstep normative values simultaneously. We set apart 9 hydrogeochemical groups of groundwater in the region. The groundwater quality of the 9th group is the worst from all the groups on the base of aritmethic average (6,564) or median (8,546) of coefficient of contamination range K_r (tab. 3). The groundwater quality of the 4th group is relatively bad, too. The groundwater quality of the 2nd, 3rd or 8th group is relatively good. Spatial distribution of the K_r is on the figure 3.