

Vzťah chemického zloženia podzemných vôd fluvialných sedimentov v nive dolného toku Torysy k hydraulickým charakteristikám zvodnencov

LADISLAV TOMETZ¹, MÁRIA CHYTILOVÁ¹ a JURAJ KOTUČ²

¹Ústav geovied FBERG TU, Park Komenského 15, 042 00 Košice

²Environcentrum, s. r. o., Rastislavova 58, 040 01 Košice

**The relation of the chemical composition of the groundwater of fluvial sediments in the
overbank of the lower reach of Torysa river to the hydraulic characteristics of aquifers**

Abstract: This contribution provides the evaluation of spatial and statistical distribution of the permeability and transmissivity of aquifers associated with the Torysa river flood plain as well as evaluates the spatial, areal and statistical distribution of selected chemical composition indexes derived for groundwater within the aquifer. In the conclusion the correlations between the observed aquifer hydraulic parameters and related chemical composition of the groundwater are displayed. For comparison with the fluvial sediments of the Torysa river flood plain, the fluvial and proluvial deposits of the Sekčov catchment area between the village Kapušany and its junction with the Torysa river were investigated.

Key words: hydrogeology, Torysa river alluvium, hydraulic parameters, groundwater chemistry, correlation

Prírodné pomery hodnoteného územia

Dolný tok Torysy, ako aj prolúvium a údolná niva medzi Kapušanmi, sútokom Sekčova s Torysou až po jej ústie do Hornádu, sú súčasťou S a JV časti Košickej kotliny. Z geomorfologického hľadiska (Mazúr et al., 1986) je toto územie súčasťou celku Košická kotlina, časti Toryská pahorkatina s povrchom ležiacim v úrovni 200 až 400 m n. m. Na území prevláda mierne modelovaný zvlnený reliéf, prechádzajúci dolinami Torysy, Sekčova a Olšavy do rovinného reliéfu riečnych nív so šírkou 1,0 až 1,5 km.

Hodnotené územie klimaticky patrí do teplej oblasti, teplého a mierne vlhkého okrsku s chladnou zimou. Priemerná ročná teplota tu dosahuje podľa pozorovaní v Prešove 8,6 °C a priemerný dlhodobý ročný úhrn zrážok v Kapušanoch 619 a v Prešove 621 mm. Hydrologicky je územie súčasťou povodia Hornádu (4-32) a čiastkového povodia Torysy (4-32-04), z menšej časti na JV súčasťou čiastkového povodia Olšavy (4-32-05). Priemerné prietochné množstvo Sekčova na jeho ústí do Torysy je 2,3 m³·s⁻¹ a pod sútokom so Sekčovou 6,84 m³·s⁻¹.

Na geologickej stavbe územia sa podieľajú sedimenty neogénu a kvartéru. Staršie neogénne útvary možno pozorovať v kotlinovej pahorkatine a mladšie kvartérne na terasových stupňoch a v riečnych nivách. Riečne nivy Torysy a Olšavy ohraničuje tzv. varhaňovský chrbát (Janočko, 1990), typický svojím výzdvihovým trendom v kvartéri, čo sa odráža aj na jeho reliéfe.

Podľa regionálneho geologického členenia Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy (Vass et al., 1988) patrí hodnotené územie do Prešovskej kotliny. Sedimenty hlavnej molasy majú stratigrafické rozpätie od egenburgu po sarmat. Reprezentujú ich prevažne pelitické sedimenty – íly rôzneho charakteru, menej štrky a piesky.

Kvartérne fluvialne uloženiny sú viazané na nivy Torysy, Sekčova a Olšavy. Od povrchu ich tvoria povodňové hliny s priemernou hrúbkou 3 až 4 m, pod ktorou sa nachádzajú 3 až 5 hrubé vrstvy piesčitého štrku. Menej, čo do hĺbkového aj plošného rozsahu, sú tu zastúpené terasové štrky (ris, mindel).

Značnú plochu v severnej časti územia zaberajú proluviálne štrky mindelských náplavových kuželov s priemernou hrúbkou 5 až 6 m. Hrúbka riského náplavového kužela Šebastovky však dosahuje až 23 m. Pokryv týchto kuželov je tvorený sprašovými hlinami.

Skúmané územie je z hydrogeologického hľadiska súčasťou rajónu NQ 123 Neogén východnej časti Košickej kotliny (Šuba et al., 1992), ktorého prevažnú časť budujú sedimenty neogénu spolu s fluvialnými a proluviálnymi sedimentmi kvartéru. Jedným z najvýznamnejších hydrogeologických kolektorov územia sú fluvialne piesčité štrky dnovej výplne riečnych nív a nízkych terás s medzizrnovou priepustnosťou. Štrky dnovej výplne Torysy a Sekčova patria v daných podmienkach k najlepšie preskúmaným hydrogeologickým jednotkám. Menší vodárenský význam majú piesčité štrky náplavových kuželov.

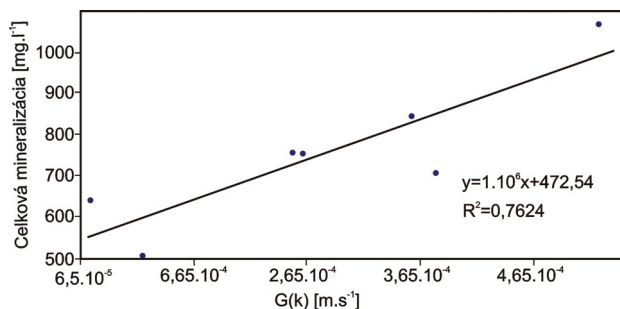


Obr. 1. Hranice povodia dolného toku Torysy s vyznačením hodnotených úsekov.

Fig. 1. Boundaries of the river basin of Torysa lower reach with location of evaluated parts of aquifers.

Regionálne zhodnotenie priepustnosti a prietochnosti kvartérnych sedimentov skúmaného územia

Spracovaním archívnych údajov o dokumentácii hydrogeologických vrstev skúmaného územia bolo možné regionálne zhodnotiť hydraulické vlastnosti hornín sedimentov kvartéru podľa metodiky spracovanej Jetelom (1985, 1995, 2001). Po zhodnotení kvality vstupných údajov a po vylúčení údajov vrstev s nedostatočnou dokumentáciou sa ich počet zredukoval na 146 údajov z hydrodynamických skúšok vyhovujúcich požiadavkám



Obr. 2. Závislosť celkovej mineralizácie od koeficientu filtrácie.

Fig. 2. Dependence of the total dissolved solids on hydraulic conductivity.

na potrebnú kvalitu vstupných podkladov kategórie II, subkategórie IIa a ojedinele subkategórie IIb (Jetel, 2001).

Po zázname údajov, formálnej unifikácii a po priradení k jednotlivým hydrogeologickým telesám alebo ich častiam boli stanovené hodnoty aproximatívnych hydraulických parametrov indexu prietochnosti Y a indexu priepustnosti Z (Jetel, 1985) pre jednotlivé skúmané úseky (obr. 1). Tie možno v daných podmienkach vyčleniť nasledovne:

- fluválne nívne sedimenty Sekčova (F1),
- proluviálne sedimenty v povodí Sekčova (P1),
- fluválne nívne sedimenty Torysy v oblasti Prešova (F2),
- fluválne nívne sedimenty Torysy v oblasti Haniský pri Prešove (F3),
- fluválne nívne sedimenty Torysy medzi Kendicami a Drienovom (F4),
- fluválne nívne sedimenty Torysy od Drienova po Lemešany (F5),
- fluválne nívne sedimenty Torysy od Šarišských Bohdanoviec po Košickú Polianku (F6).

Rozdelenie takto stanovených hodnôt indexu prietochnosti Y a indexu priepustnosti Z – po spracovaní základných opisných štatistických charakteristík v skúšaných úsekoch sedimentov študovaného územia – uvádzajú tab. 1 a 2.

Tab. 1

Rozdelenie hodnôt parametrov indexu prietochnosti Y v skúšaných úsekoch sedimentov

Distribution of the index of transmissivity Y in the tested intervals

Skúmaný úsek	Počet údajov	Rozpätie	Index prietochnosti Y		s_Y
			Md(Y)	M(Y)	
F1	28	4,58 – 6,77	5,64	5,70	0,51
P1	11	4,54 – 6,59	5,39	5,39	0,57
F2	27	5,31 – 6,93	6,02	5,97	0,39
F3	15	5,06 – 7,24	5,99	5,96	0,50
F4	20	50,5 – 6,24	5,35	5,45	0,34
F5	20	4,66 – 6,58	5,99	5,87	0,53
F6	25	5,00 – 6,35	5,91	5,77	0,38

Md(Y) – medián, M(Y) aritmetický priemer, s_Y – smerodajná odchýlka s parametrom n–1

Md(Y) – median, M(Y) – arithmetic mean, s_Y – standard deviation with parameter n–1

Tab. 2

Rozdelenie hodnôt parametrov indexu priepustnosti Z v skúšaných úsekoch sedimentov
Distribution of the index of permeability Z in the tested intervals

Skúmaný úsek	Počet údajov	Rozpätie	Index priepustnosti Z		s_z
			Md(Z)	M(Z)	
F1	28	3,83 – 6,40	5,31	5,30	0,63
P1	11	4,17 – 5,69	5,06	4,99	0,43
F2	27	2,64 – 6,74	5,67	5,59	0,7
F3	15	2,64 – 7,12	5,11	4,74	1,48
F4	20	5,05 – 6,24	5,35	5,45	0,34
F5	20	3,92 – 6,22	5,51	5,43	0,59
F6	25	4,40 – 5,97	5,43	5,30	0,47

Md(Z) – medián, M(Z) aritmetický priemer, s_z – smerodajná odchýlka s parametrom $n-1$

Md(Z) – median, M(Z) – arithmetic mean, s_z – standard deviation with parameter $n-1$

V údajoch tabuľky 1 možno vidieť malé rozdiely v priemerných hodnotách indexov prietochnosti medzi jednotlivými časťami kolektorov; väčšina skúmaných súborov vykazuje aritmetické priemery v rozpätí M(Y) = 5,41 až 6,00.

Najvyššiu úroveň výberových charakteristík indexu prietochnosti {M(Y) = 5,96 až 6,00} vykazujú údaje z úsekov Haniska (F3), Prešov (F2) a Kendice – Drienov (F4), najnižšiu prietochnosť majú prolúviálne uloženiny Sekčova (P1) {M(Y) = 5,41}.

Variabilita hodnôt indexu prietochnosti je malá (s_y = 0,31 až 0,39) v skúmaných súboroch údajov fluvialných sedimentov Torysy z úsekov Prešov (F2), Kendice – Drienov (F4) a Šarišské Bohdanovce – Košická Polianka (F6). Všetky ostatné súbory údajov vykazujú miernu variabilitu (s_y = 0,50 až 0,57).

O niečo výraznejšie sú rozdiely medzi výberovými charakteristikami rozdelenia indexu priepustnosti jednotlivých častí kolektorov (tab. 2). Aritmetické priemery väčšiny súborov ležia v intervale M(Z) = 5,30 až 5,59.

Tab. 3

Odhad charakteristík rozdelenia koeficientu prietochnosti T odvodený z charakteristík rozdelenia hodnôt indexu prietochnosti Y
Estimate of characteristics of the transmissivity coefficient T distribution being derived from the characteristics of the transmissivity index Y

Skúmaný úsek	Počet údajov	Charakteristiky Rozpätie	rozdelenia T Md(T)	[m ² ·s ⁻¹] G(T)	c _T
F1	28	4·10 ⁻⁵ – 8,9·10 ⁻³	5,5·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻⁴	IIIc
P1	11	3,7·10 ⁻⁵ – 5,7·10 ⁻³	3·10 ⁻⁴	3,1·10 ⁻⁴	IIIc
F2	27	2,4·10 ⁻⁴ – 1,3·10 ⁻²	1,4·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	IIb
F3	15	1,3·10 ⁻⁴ – 2,8·10 ⁻²	1,3·10 ⁻³	1,2·10 ⁻³	IIc
F4	20	3,9·10 ⁻⁴ – 5,6·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	IIb
F5	20	3·10 ⁻⁵ – 5,6·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	1·10 ⁻³	IIc
F6	25	1,1·10 ⁻⁴ – 3,2·10 ⁻³	1,1·10 ⁻³	0,8·10 ⁻³	IIb

Md(T) – medián hodnôt koeficientu prietochnosti, G(T) – geometrický priemer hodnôt koeficientu prietochnosti, c_T – trieda prietochnosti
Md(T) – median of transmissivity values, G(T) – geometric mean of transmissivity values, c_T – transmissivity class

Podobne ako pri indexoch prietochnosti vykazujú najvyššiu úroveň údaje z úseku Prešov (F2) {M(Z) = 5,59}, úseku Kendice – Drienov (F4) {M(Z) = 5,45} a častí Drienov – Lemešany (F5) {M(Z) = 5,43}. Neočakávaným faktom je minimálna úroveň výberových charakteristík priepustnosti skúmaného úseku Haniska (F3) {M(Z) = 4,74}, k menej priepustným patrí i náplavový kužeľ Sekčova (P1). Variabilita hodnôt indexu priepustnosti je rôzna. Fluvialne sedimenty v úsekoch Kendice – Drienov, Šarišské Bohdanovce – Košická Polianka i skúmané prolúviu sú z hľadiska hydraulickej heterogenity (s_z = 0,34 až 0,47) mierne nehomogénnym hydrogeologickým prostredím. Hodnoty s_z = 0,59 – 0,63 vyjadrujú miernu variabilitu hodnôt indexu priepustnosti, vyskytujúcu sa v súboroch hodnôt z úseku Drienov – Lemešany (F5) aj vo fluvialných uloženinách Sekčova (F1). V súbore hodnôt z Prešova (F2) sa prejavuje veľká variabilita (s_z = 0,70). Od ostatných súborov sa z hľadiska variability výrazne líši úsek Haniska (F3) s extrémne veľkou variabilitou hodnôt indexu priepustnosti (s_z = 1,48).

Pri prepočte zistených charakteristík rozdelenia aproximatívnych logaritmických parametrov Y a Z na zodpovedajúce štatistické charakteristiky rozdelenia hodnôt striktné hydraulických parametrov – T – koeficient prietochnosti a k – koeficient filtrácie – bol prijatý zovšeobecnený vzťah na stanovenie celkovej prepočtovej diferencie d pre kvartérne sedimenty Košickej kotliny v tvare

$$d = 0,07Y - 0,09,$$

ktorý odvodil Jetel (1996).

Na priamy prepočet indexu prietochnosti Y na zodpovedajúci odhad koeficientu prietochnosti T potom možno odvodiť rovnicu (Jetel, 1985)

$$T = \text{antilog}(1,07Y - 9,09).$$

Tab. 4

Odhad charakteristík rozdelenia koeficientu filtrácie k odvodený z charakteristík rozdelenia hodnôt indexu priepustnosti Z
Estimated distribution characteristics of hydraulic conductivity being derived from the characteristics of the distribution of permeability index Z

Skúmaný úsek	Počet údajov	Charakteristiky rozdelenia k [m·s ⁻¹]			c _k
		Rozpätie	Md(k)	G(k)	
F1	28	7,3·10 ⁻⁶ – 3,9·10 ⁻³	2,6·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻⁴	IVc
P1	11	1,6·10 ⁻⁵ – 6,6·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁴	IVb
F2	27	5,6·10 ⁻⁷ – 8,5·10 ⁻³	6,0·10 ⁻⁴	5,2·10 ⁻⁴	IVd
F3	15	5,4·10 ⁻⁷ – 2,2·10 ⁻²	1,7·10 ⁻⁴	0,7·10 ⁻⁴	IVf
F4	20	1,4·10 ⁻⁴ – 2,6·10 ⁻³	3,1·10 ⁻⁴	3,8·10 ⁻⁴	IVb
F5	20	8,7·10 ⁻⁶ – 2,4·10 ⁻³	4,4·10 ⁻⁴	3,6·10 ⁻⁴	IVc
F6	25	2,9·10 ⁻⁵ – 1,3·10 ⁻³	3,6·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁴	IVb

Md(k) – medián hodnôt koeficientu priepustnosti, G(k) – geometrický priemer hodnôt koeficientu priepustnosti, c_k – trieda priepustnosti
Md(k) – median of hydraulic conductivity values, G(k) – geometric mean of hydraulic conductivity values, c_k – hydraulic conductivity class

Obdobne je to tak aj pri konverzii indexu priepustnosti na koeficient filtrácie. Odhady takto stanovených hodnôt koeficientov prietochnosti a koeficientov filtrácie uvádzajú tabuľky 3 a 4.

V zmysle klasifikácie prietochnosti hornín (Krásný, 1993) potom možno predmetné kolektory zaradiť do II. triedy priepustnosti (úseky F2, F3, F4, F5 a F6) s malou až miernou variabilitou (b, c) a súbory F1 a P1 do III. triedy prietochnosti s miernou variabilitou.

V zmysle osemstupňovej klasifikácie priepustnosti hornín (Jetel, 1973, 1982) možno skúmané súbory zaradiť podľa príslušných hodnôt koeficientov filtrácie do IV. triedy priepustnosti. Ak je aplikovaná pri klasifikácii variability priepustnosti rovnaká stupnica ako navrhol Krásný (1993), možno ju v súboroch hodnôt z úsekov Kendice – Drienov (F4), Šarišské Bohdanovce – Košická Polianka (F6) i z prolúvií v povodí Sekčova (P1) označiť ako malú (b). Fluviálne sedimenty Sekčova (F1) a súbor hodnôt z úsekov Drienov – Lemešany (F5) vykazujú miernu variabilitu (c). Výnimkou je extrémne veľká (f) variabilita v súbore údajov z úseku pri Haniske (F3) a veľká variabilita (d) sa prejavuje v úseku pri Prešove (F2).

Hodnoty geometrických priemerov $G(T)$ a $G(k)$ možno aplikovať ako reprezentatívne charakteristiky strednej úrovne prietochnosti a priepustnosti pri bežnom porovnávaní vlastností kolektorov jednotlivých vhodne vyčlenených hydrogeologických telies. Keďže hodnoty $M(Y)$, $M(Z)$, $G(T)$ a $G(k)$ uvedené v tab. 1 až 4 predstavujú iba výberové priemery ovplyvnené náhodnými odchýlkami od skutočného priemeru základného súboru, bolo potrebné pre ne vyčíslit aj príslušné intervaly spoľahlivosti, vnútri ktorých leží s pravdepodobnosťou 90 % skutočný neznámy priemer, charakterizujúci kolektory daného úseku v skúmanom rozsahu hĺbok (tab. 5 a 6).

Z porovnania intervalov spoľahlivosti stanovenia priemerných hodnôt jednotlivých súborov je zrejmé, že sa tieto intervaly pre všetky súbory vzájomne viac či menej prekrývajú, takže rozdiely medzi výberovými priermi jednotlivých súborov nemusia byť štatisticky významné.

Z dôvodu menšieho prekrývania sa príslušných intervalov je vhodné podrobiť zistené rozdiely medzi priemernými hodnotami týchto súborov testu významnosti.

So štatistickou istotou $P > 90 \%$ (na hladine významnosti $\alpha < 0,10$) sú zistené rozdiely geometrických

priemerov koeficientu prietochnosti T a koeficientu filtrácie k v prevažnej väčšine súborov dané náhodnými odchýlkami výberových priemerov od jediného spoločného priemeru základného súboru.

S tou istou pravdepodobnosťou však možno tvrdiť, že medzi súborom údajov z prolúviálnych sedimentov (P1) s nižšou hodnotou priemernej prietochnosti ako v súbore dát z fluviálnych uloženín Torysy v úseku Kendice – Drienov (F4), a tiež v rámci vyššej priemernej prietochnosti v tomto úseku oproti nižšej hodnote tohto parametra v úseku Šarišské Bohdanovce – Košická Polianka (F6), existujú skutočné rozdiely v priemernej prietochnosti.

Hodnoty koeficientu filtrácie a koeficientu prietochnosti majú v štatisticky homogénnom prostredí (pri skúmaní objemov zhruba zodpovedajúcich efektívnym objemom pri hydrodynamických skúškach alebo menším) spravidla aspoň približne lognormálne rozdelenie (podrobnejšie pozri Jetel, 1985). O možnosti aproximovať zistené empirické rozdelenia koeficientov prietochnosti a koeficientov filtrácie v skúmaných súboroch údajov z kvartéru hodnoteného územia lognormálnym rozdelením svedčí aj približne symetrické rozdelenie hodnôt indexov Z a Y , ktoré predstavujú určité logaritmické transformácie týchto koeficientov. Z matematicko-štatistického hľadiska je potom najvýstižnejšou charakteristikou strednej hodnoty týchto koeficientov matematická nádej lognormálne rozdelených hodnôt $E_L(x)$. Predstavuje strednú hodnotu s maximálnou vierohodnosťou pre dané rozdelenie, t. j. takú strednú hodnotu, pre ktorú je pravdepodobnosť generovania daného empirického rozdelenia najvyššia. Určiť ju možno zo vzťahu (Aitchison a Brown, 1957)

$$E_L(x) = G(x) \cdot \psi_n(t')$$

kde $G(x)$ je geometrický priemer hodnôt x a symbol $\psi_n(t')$ označuje Aitchisonovu a Brownovu funkciu rozsahu súboru (počtu údajov) n a argumentu t' , určeného ako funkcia smerodajnej odchýlky $s_{\log x}$ logaritmov hodnôt x

$$t' = 2,65(s_{\log x})^2$$

Hodnoty funkcie $\psi_n(t')$, uvádzajú Aitchison a Brown (1957). Vybrané hodnoty tejto funkcie pre hodnoty argumentu $t' \leq 2,0$ uvádza aj Jetel (1985). Hodnoty

Tab. 5

Intervaly spoľahlivosti stanovenia priemerných hodnôt indexu prietochnosti Y a koeficientu prietochnosti T pre pravdepodobnosť 90 %
90-percent confidence intervals of mean values of transmissivity index Y and transmissivity coefficient T

Úsek	$M(Y)$	$G(T) [m^2 \cdot s^{-1}]$
F1	5,53 – 5,86	$1,3 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-3}$
P1	5,10 – 5,72	$5,9 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-3}$
F2	5,84 – 6,10	$4,2 \cdot 10^{-4} - 2,1 \cdot 10^{-3}$
F3	5,74 – 6,19	$-2,0 \cdot 10^{-3} - 4,4 \cdot 10^{-3}$
F4	5,88 – 6,12	$7,9 \cdot 10^{-4} - 1,9 \cdot 10^{-3}$
F5	5,66 – 6,08	$3,9 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-3}$
F6	5,64 – 5,90	$4,9 \cdot 10^{-4} - 1,1 \cdot 10^{-3}$

Tab. 6

Intervaly spoľahlivosti stanovenia priemerných hodnôt indexu priepustnosti Z a koeficientu filtrácie k pre pravdepodobnosť 90 %
90-percent confidence intervals of mean values of index of permeability Z and hydraulic conductivity k

Úsek	$M(Z)$	$G(k) [m \cdot s^{-1}]$
F1	5,10 – 5,50	$-1,2 \cdot 10^{-4} - 6,3 \cdot 10^{-4}$
P1	4,75 – 5,22	$-4,4 \cdot 10^{-6} - 2,4 \cdot 10^{-4}$
F2	5,36 – 5,82	$-2,9 \cdot 10^{-6} - 2,1 \cdot 10^{-3}$
F3	4,07 – 5,41	$-2,5 \cdot 10^{-3} - 2,7 \cdot 10^{-3}$
F4	5,32 – 5,58	$1,3 \cdot 10^{-4} - 6,3 \cdot 10^{-4}$
F5	5,20 – 5,66	$7,7 \cdot 10^{-5} - 6,4 \cdot 10^{-4}$
F6	5,14 – 5,46	$1,5 \cdot 10^{-4} - 3,7 \cdot 10^{-4}$

Tab. 7

Odhad matematickej nádeje lognormálne rozdelených hodnôt koeficientu prietochnosti T a koeficientu filtrácie k sedimentov skúšaných úsekov

Estimated mathematical expectation of lognormally distributed values of transmissivity T and hydraulic conductivity k in the tested intervals

Úsek	$E_L(T) [m^2 \cdot s^{-1}]$	$E_L(k) [m \cdot s^{-1}]$
F1	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$6,81 \cdot 10^{-4}$
P1	$6,44 \cdot 10^{-4}$	$1,83 \cdot 10^{-4}$
F2	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{-3}$
F3	$1,25 \cdot 10^{-3}$	—
F4	$1,70 \cdot 10^{-3}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$
F5	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$8,15 \cdot 10^{-4}$
F6	$1,13 \cdot 10^{-3}$	$4,63 \cdot 10^{-4}$

$E_L(T)$, $E_L(k)$ – matematická nádej lognormálne rozdelených hodnôt koeficientov prietochnosti T a filtrácie k

$E_L(T)$, $E_L(k)$ – actuarial expectation of lognormally distributed values of transmissivity T and hydraulic conductivity k

matematickej nádeje rozdelených hodnôt koeficientu prietochnosti T a koeficientu filtrácie k, stanovené pre jednotlivé skúmané súbory, ktoré mali dostatočný rozsah ($n \geq 10$), sú uvedené v tab. 7. Matematická nádej lognormálne rozdelených hodnôt koeficientu prietochnosti $E_L(T)$ sa pohybuje v rozpätí $1,13 \cdot 10^{-3}$ až $1,95 \cdot 10^{-3}$ s výnimkou o jeden rád nižšej hodnoty $E_L(T)_{P1} = 6,44 \cdot 10^{-4}$, stanovenej pre prolúviu v povodí Sekčova (P1). Hodnoty $E_L(k)$ ležia v rozpätí $1,83 \cdot 10^{-4}$ až $8,15 \cdot 10^{-4}$, tentoraz s výnimkou vyššej hodnoty $E_L(k) = 1,74 \cdot 10^{-3}$, platnej pre súbor údajov fluvialných nivných sedimentov Torysy v oblasti Prešova.

Regionálne zhodnotenie priestorovej distribúcie chemického zloženia podzemných vôd v skúmanom území

Pôvod rozpustených látok v podzemných vodách fluvialných sedimentov hodnoteného územia má v rozhodujúcej miere pôvod v chemickom a mineralogickom zložení hornín, v ktorých voda cirkuluje (litogénne), a v povrchovej vode (potamogénne). Podzemné vody prolúviu majú z uvedeného pohľadu výlučne litomorfný charakter.

Charakteristika chemického zloženia a kvality podzemných vôd skúmaného územia ako celku rozdeleného na jednotlivé úseky je zameraná na úroveň celkovej mineralizácie, zastúpenie typov vôd v Alekinovej a Gazdovej klasifikácii (Gazda, 1971), ako aj subfácií v molárnej klasifikácii (Jetel a Pačes, 1979).

V zmysle klasifikácie vôd podľa celkovej mineralizácie, ktorú zaviedol Alekin (1970), vody poriečnej zvodne v skúmaných kolektoroch patria k vodám so zvýšenou mineralizáciou (500 až $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), v úseku F2 (od severného okraja Prešova po ústie Sekčova) sa vyskytujú vody s veľkou mineralizáciou (nad $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Celková mineralizácia v skúmanom území dosahuje hodnoty $0,3$ – $2,6 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, s mediánom okolo $0,7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. Alekinova klasifikácia chemického zloženia prírodných vôd vyjadruje, že typ $C^{Ca_{II}}$ mierne prevláda nad typom

$C^{Ca_{IIIa}}$ a oba tieto typy majú výraznú prevahu nad typmi C^{Ca_I} a C^{Na_I} . V zmysle molárnej klasifikácie chemického zloženia vôd sú subfácie C-Ca-Na a C-Ca-Mg zastúpené podstatne výraznejšie ako subfácie C-Ca-Cl, C-Na-Cl a C-Ca-S. V Gazdovej klasifikácii prevažujú vody vyhraného a nevyhraného základného typu $Ca-(Mg)-HCO_3$. Súčet koncentrácií Ca^{2+} a Mg^{2+} (tvrdosť vody) podzemných vôd kvartérnych kolektorov nadobúda hodnoty $1,6$ až $8,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ s mediánom $4,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

V zmysle všeobecnej schémy vertikálnej hydrogeochemickej zonálnosti (Jetel, 1970) možno v skúmanom území pozorovať prítomnosť podzón $C^{Ca_{II}}$, C^{Ca_I} a C^{Na_I} vrchnej (hydrogénkarbonátovej) zóny aj podzóny $Cl^{Na_{II}}$ spodnej (chloridovej) zóny. Najhojnejšie zastúpenie však majú vody najvrchnejšej podzóny $Cl^{Na_{II}}$, typické pre zvodne v kvartérnych kolektoroch a v pripovrchovej zóne, ktoré boli predmetom výskumu. Výskyt ostatných spomínaných podzón možno odôvodniť malou hustotou údajov, lokálnymi špecifickými podmienkami (rozpúšťanie ložísk halitu v malých hĺbkach pod povrchom) a častým výskytom anomálií, daných výstupom vôd z väčšej hĺbky po poruchových zónach.

Reprezentatívna charakteristika chemického zloženia podzemných vôd fluvialných uloženín Sekčova v oblasti od Fintíc po ústie Sekčova (F1) sa opiera o výsledky analýz zo 17 vrtov. Celková mineralizácia rastie až na hodnoty okolo $2,6 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, tvrdosť vody má pomerne značné rozpätie ($1,9$ až $7,6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Ca+Mg). Podzemné vody majú veľmi pestré chemické zloženie. Najhojnejším typom je $C^{Ca_{IIIa}}$, ktorý mierne prevažuje nad ostatnými, približne rovnako zastúpenými typmi (C^{Ca_I} , $C^{Ca_{II}}$, C^{Na_I}).

V tejto oblasti sú prítomné i podzemné vody s dominujúcim podielom chloridov (typy $Cl^{Na_{II}}$, $Cl^{Ca_{IIIa}}$), o čom svedčia najhojnejšie subfácie C-Ca-Cl, C-Ca-Na, C-Ca-Mg a C-Na-Cl, a síranov (dokumentuje to stanovený typ $S^{Ca_{II}}$). Prítomnosť chloridov v podzemných vodách môže byť podmienená rozpúšťaním halitu, indikuje však ich znečistenie (splasťovými, odpadovými i niektorými priemyselnými vodami). Zvýšená koncentrácia síranov v podzemných vodách v oblastiach mestských a priemyselných aglomerácií tiež svedčí o znečistení týchto vôd.

Priemerná kvalita podzemných vôd prolúviálnych kuželov v Šarišských Lúkach a v Nižnej Šebastovej je za súčasného stavu údajov pre ich malý počet ($n = 4$) iba naznačená. Podzemné vody z vrtov v skúmanej prolúviu sú oproti ostatným úsekom podstatne menej mineralizované, hodnota celkovej mineralizácie sa tu pohybuje okolo $0,4$ až $0,7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, s obsahom $2,3$ až $4,1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ Ca+Mg. Typ $C^{Ca_{IIIa}}$ výrazne prevláda nad typom $C^{Ca_{II}}$. Z hľadiska molárnej klasifikácie možno konštatovať, že vody z každého vzorkovaného hydrogeologického vrtu v prolúviálnych sedimentoch predstavujú inú molárnu subfáciu.

Vody poriečnej zvodne v nive Torysy majú podobný charakter chemického zloženia. V Prešove (úsek F2) dokumentujú ich chemické zloženie údaje z 10 vrtov. V tomto úseku je celková mineralizácia v rámci skúmaného územia najvyššia, dosahuje hodnoty $0,6$ až $2,1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$

s mediánom $1,1 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$. Tvrdosť vody je tu vyjadrená hodnotami $2,0$ až $7,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Na tomto území boli zistené hlavne vody typov C^{CaIIIa} , menej C^{CaII} , subfácií C-Ca-S, C-Ca-Mg aj C-Ca-Na. V intraviláne obce Haniska boli 8 vrtmi navŕtané vody len jedného typu, a to C^{CaII} , patriaceho subfácii C-Ca-Na. Vody tejto pririečnej zvodne majú mineralizáciu $0,3$ až $1,3 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ s priemerom okolo $0,7 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$. Obsahujú $1,6$ až $7,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ Ca+Mg.

Informácie o chemickom zložení vôd v úseku medzi s. okolím Kendíc a s. okrajom Drienova (F4) poskytli údaje zo 14 skúšaných úsekov hydrogeologických vrtov. Mineralizácia poriečnej zvodne sa pohybuje okolo $0,3$ až $1,5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ s najvyšším obsahom Ca+Mg v skúmanej oblasti – rovným $3,3$ až $8,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Z hľadiska Alekinovej klasifikácie chemického zloženia boli zastihnuté vody typu C^{CaII} zastúpené v podstatne väčšej miere ako vody typu C^{CaIIIa} . V Petrovanoch možno pozorovať zvýšenú koncentráciu dusičnanov ($94,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) a síranov (S^{CaIV}), ktorá je zrejme prejavom intenzívnej poľnohospodárskej činnosti. V klasifikácii podľa molárnych koncentrácií ide prevažne o faciú C-Ca, najčastejšie v subfácii C-Ca-Mg.

O chemickom zložení vôd v území medzi Drienovom, Ličartovcami a Lemešanmi informuje súbor údajov (F5) z 12 skúmaných úsekov hydrogeologických vrtov. Celková mineralizácia sa v skúšaných úsekoch vrtov pohybuje okolo $0,6$ až $1,4 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ s mediánom $0,8 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$. Súčet koncentrácií Ca a Mg je rovný $3,6$ až $5,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Zastúpené sú typy C^{CaIIa} a C^{CaIIIa} , popri najčastejšej subfácii C-Ca-Na aj subfácia C-Ca-Mg.

Chemické zloženie v území od Šarišských Bohdanoviec po Košickú Polianku (F6) dokumentujú údaje zo 17 vrtov. Vody tu dosahujú mineralizáciu $0,5$ až $1,3 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, tvrdosť vody charakterizujú hodnoty $3,0$ až $5,7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Opäť dominujú typy C^{CaIIa} , C^{CaIIIa} i najčastejšie subfácie C-Ca-Na, tiež C-Ca-Mg. Zvýšená koncentrácia draslíka (subfácia C-Ca-K) v Košickej Polianke je zrejme zapríčinená sekundárnym zdrojom draslíka (splaškové vody, draselné hnojivá).

Chemické zloženie vody kvartérnych náplavov je výrazne modifikované antropogénnymi vplyvmi, ktoré sa prejavujú zvýšenou koncentráciou chloridov a síranov a celkovou mineralizáciou až $2,6 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$. Pririečna zvodň je intenzívne znečistená najmä v intraviláne Prešova, ostatné skúmané úseky vykazujú zhruba rovnakú úroveň kontaminácie. Významným zdrojom znečistenia podzemných vôd sú mestské a priemyselné odpadové vody (v Prešove) a poľnohospodárstvo (v obciach). Podzemné vody prolúviálnych kuželov sú pomerne málo znečistené. Celková mineralizácia je tu v porovnaní s nivami nižšia (s priemerom okolo $0,5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$). Toto tvrdenie však nemožno pokladať za jednoznačné pre malú hustotu údajov z týchto telies.

Analýza vzťahov medzi chemickým zložením podzemných vôd, hydraulickými parametrami skúmaných kolektorov a podmienkami prúdenia v poriečnych zvodniach Torysy a Sekčova

Pôvodným logickým očakávaným predpokladom výsledku predmetného hodnotenia bola skutočnosť, že

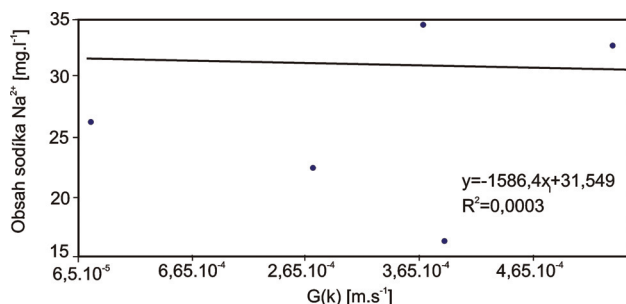
hodnoty celkovej mineralizácie vody, resp. hodnoty obsahu jednotlivých prvkov podieľajúcich sa na tvorbe chemického zloženia podzemnej vody sa budú so vzrastajúcou priepustnosťou znižovať. Po analýze vzťahov medzi chemickým zložením podzemných vôd a hydraulickými parametrami skúmaných kolektorov bolo možné dospieť k poznatku, že medzi celkovou mineralizáciou, resp. obsahom Na^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^{-} , SO_4^{2-} a HCO_3^{-} na jednej strane a geohydraulickými parametrami, predovšetkým geometrickým priemerom koeficientu filtrácie $G(k)$, na strane druhej existuje štatisticky významná závislosť (obr. 2 až 8), ktorá je však opačná, akou bola vyššie uvedená pôvodná predstava.

Hodnoty vypočítaných štatisticky významných koeficientov korelácie (obr. 2 až 8) sa pohybujú v intervale $r = 0,50 - 0,96$ a charakterizujú pozitívnu závislosť medzi skúmanými premennými. Koeficienty determinácie sú tu rovné hodnotám v rozpätí $r^2 = 0,253 - 0,917$. Z uvedeného vyplýva, že priemerná hodnota celkovej mineralizácie i priemerného obsahu jednotlivých prvkov v skúmanom priestore je z 25 až 92 % určená ich priemernou úrovňou priepustnosti. Z 8 až 75 % je potom priemerná hodnota celkovej mineralizácie a koncentrácia uvedených zložiek ovplyvňovaná inými faktormi (hlbkovou pozíciou, stratigrafickou pozíciou, litológiou, intenzitou prínosu zložiek z povrchovej vody a z príslušných kolektorov a pod.).

S veľmi vysokou štatistickou istotou ($P > 99\%$) možno konštatovať reálnu existenciu korelačného vzťahu medzi koncentraciami a priemernou priepustnosťou $G(k)$ pre celkovú mineralizáciu, Ca a Mg. Obdobne bolo možné s vysokou istotou prijať ($P \geq 95\%$) hypotézu reálnej prítomnosti korelačného vzťahu pre závislosť koncentrácie sulfátov a hydrogenuhličitanov.

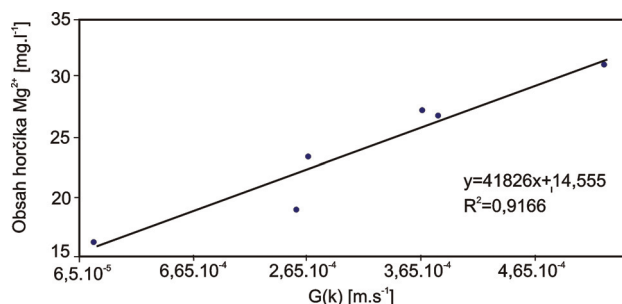
Vychádzajúc z vyššie uvedeného hodnotenia, možno konštatovať, že všetky skúmané súbory hodnôt sa od seba navzájom odlišujú celým radom charakteristík prúdenia a tvorby chemického zloženia podzemných vôd. V rôznych úsekoch študovaných zvodnencov sa uplatňuje rozličný podiel jednotlivých faktorov i odlišný stupeň ovplyvnenia chemického zloženia podzemných vôd z hľadiska dopĺňovania množstva podzemných vôd povrchovými tokmi (Torysou a Sekčovou). Pozdĺž toku sa chemické zloženie vody mení vplyvom antropogénnych efektov, hlavne rozdielného stupňa urbanizácie, čo má za následok sekundárne znečistenie. Zmeny chemického zloženia podzemnej vody sú spôsobené i vplyvom prítokov. Z uvedených dôvodov sa tu neuplatňuje jednoznačná jednoduchá negatívna závislosť medzi priepustnosťou a celkovou mineralizáciou, resp. koncentraciami hlavných makrozložiek, ako na iných územiach, kde boli predmetom skúmania pomery vo viac-menej homogénnych geologických telesách s monotónnym a jednotným vývojom chemického zloženia podzemných vôd a konštantným podielom jednotlivých mineralizačných faktorov.

Vo vodách prolúviálnych piesčitých štrkov skúmaného územia, pri priepustnosti (resp. prietočnosti) týchto kolektorov, veľmi podobnej priepustnosti ostatných skúmaných úsekov daných kolektorov, celková mineralizácia, resp. obsah jednotlivých zložiek, je podstatne (takmer



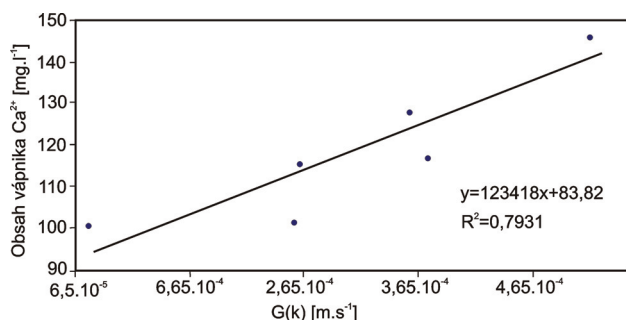
Obr. 3. Závislosť obsahu sodíka od koeficientu filtrácie.

Fig. 3. Dependence of the natrium content on hydraulic conductivity.



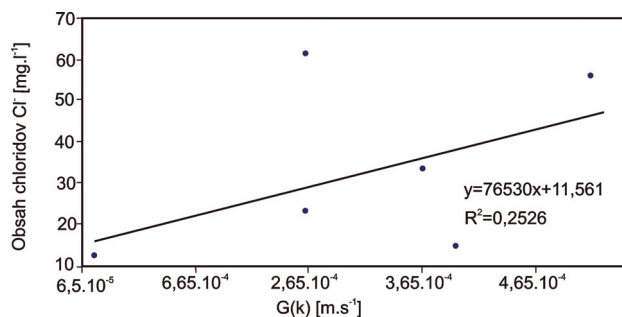
Obr. 4. Závislosť obsahu horčíka od koeficientu filtrácie.

Fig. 4. Dependence of the content of the magnesium on hydraulic conductivity.



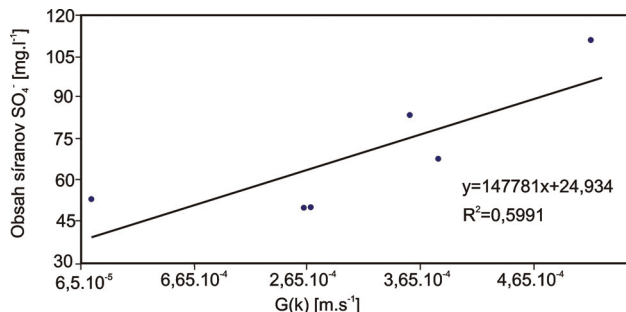
Obr. 5. Závislosť obsahu vápníka od koeficientu filtrácie.

Fig. 5. Dependence of the content of the calcium on hydraulic conductivity.



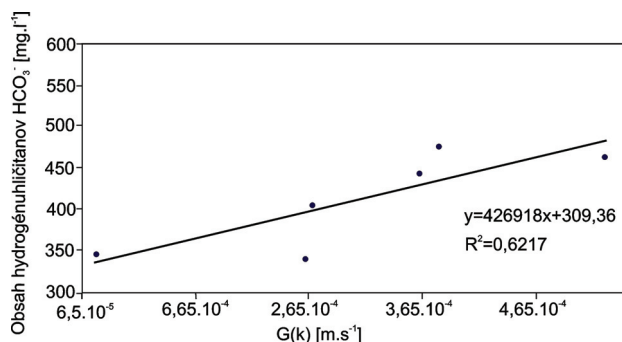
Obr. 6. Závislosť obsahu chloridov od koeficientu filtrácie.

Fig. 6. Dependence of the content of the chlorides on hydraulic conductivity.



Obr. 7. Závislosť obsahu síranov od koeficientu filtrácie.

Fig. 7. Dependence of the content of the sulphates on hydraulic conductivity.



Obr. 8. Závislosť obsahu hydrogénuhličitanov od koeficientu filtrácie.

Fig. 8. Dependence of the content of the hydrogen-carbonates on hydraulic conductivity.

o polovicu) nižšia ako celková mineralizácia fluvialných uloženín. Toto zistenie by mohlo potvrdzovať podané vysvetlenie vplyvu chemického zloženia povrchovej vody na chemické zloženie podzemných vôd, je však podložené len malým počtom údajov. Jednoznačné vysvetlenie príčinnej pozitívnej súvislosti medzi rastom koncentrácií a zväčšujúcou sa priemernou priepustnosťou je v skúmaných plytko uložených fluvialných a proluvialných kolektoroch zatiaľ otáznе. Jedným z možných vysvetlení by mohla byť predstava o výraznejšom vplyve napájania z povrchového toku v úsekoch s vyššou priepustnosťou. Keďže voda Torisy od Prešova po ústie má celkovú mineralizáciu 0,51

až 0,79 g.l⁻¹ (Rapant et al., 1995), pričom obsahuje zhruba okolo 200 mg.l⁻¹ antropogénne podmienenej mineralizácie, je zjavné, že vnikanie povrchovej vody z rieky zvyšuje celkovú mineralizáciu a koncentráciu jednotlivých zložiek v prierečnej zvodni. Táto skutočnosť svedčí v prospech podaného vysvetlenia pozitívnej závislosti jednotlivých koncentrácií vo vode prierečnej zvodne od priepustnosti a naznačuje jeho možnú realitu.

Zistenie pozitívnej korelácie medzi celkovou mineralizáciou, resp. koncentraciami väčšiny makrozložiek a priemernou priepustnosťou kolektorov prierečnej zvodne v podmienkach skúmaného územia možno pokladať za

prínos predmetného hodnotenia k poznaniu všeobecných hydrogeologických zákonitostí tvorby chemického zloženia podzemných vôd. Uvedenú závislosť by bolo potrebné overiť aj na ďalších tokoch s podobnými prírodnými a antropogénnymi danosťami.

Záver

Vychádzajúc zo zistených skutočností, možno hydraulické vlastnosti zvodnencov fluvialných sedimentov dolného toku Torysy, chemické zloženie ich vôd a vzájomný vzťah charakterizovať nasledovne.

Všetky skúmané úseky fluvialných piesčitých štrkov dnovej výplne nív Torysy a Sekčova i proluviálnych štrkov riských náplavových kužeľov z hľadiska úrovne priemernej priepustnosti v zmysle použitej klasifikácie (Jetel, 1982) prislúchajú III. triede priepustnosti (dosť silná priepustnosť), pričom intervaly spoľahlivosti hodnôt výberových geometrických priemerov koeficientu filtrácie $G(k)$ zahŕňajú rôznu úroveň priepustnosti – s výnimkou úsekov Kendice – Drienov (F4), Šarišské Bohdanovce – Košická Polianka (F6) a fluvialných uloženín Sekčova (F1), ktorých intervaly spoľahlivosti hodnôt $G(k)$ zodpovedajú tiež III. triede priepustnosti. Interval spoľahlivosti hodnoty $G(k)$ skúmaného úseku Haniska (F3) zahŕňa silnú priepustnosť II. triedy. Do intervalu spoľahlivosti stanovenia hodnôt $G(k)$ prolúvií (P1) spadá dosť silná priepustnosť III. triedy až po dosť slabú priepustnosť V. triedy. S intervalmi spoľahlivosti v rozsahu II. až V. triedy (silná až dosť slabá priepustnosť) zodpovedajú výberové priemery priepustnosti v úseku Prešov dosť silnej priepustnosti III. triedy. V úseku Drienov – Lemešany (F5) intervaly spoľahlivosti priemernej priepustnosti zahŕňajú priepustnosť II. a IV. triedy (dosť silná a mierna priepustnosť).

Z hľadiska šesťstupňovej klasifikácie prietochnosti (Krásný, 1993) sedimenty všetkých skúmaných úsekov predstavujú v rozsahu 90-percentného intervalu spoľahlivosti priemernej prietochnosti kolektory s vysokou a strednou prietochnosťou (II. až III. trieda). Vymedzené triedy naznačujú predpoklady využitia zvodnencov na vodovodné zásobovanie. Na odbery s menším regionálnym významom (menšie skupinové vodovody, väčšie obce a závody) je perspektívne využitie zvodnencov II. triedy. Zvodnence III. triedy majú predpoklady na využitie podzemnej vody väčšími odbermi pre miestne zásobovanie (menšie obce, poľnohospodárske závody).

Chemické zloženie podzemných vôd pririeknej zvodne v piesčitých štrkoch dnovej výplne nív Torysy a Sekčova i chemické zloženie podzemných vôd proluviálnych náplavov má prevažne kalciovo-magnéziovo-nátriovo-hydrogénkarbonátový charakter. Celková mineralizácia je výrazne zvýšená, najčastejšie sa pohybuje v rozpätí 0,3 až 2,6 g·l⁻¹. Výnimkou je prolúvium (P1), kde celková mineralizácia nadobúda hodnoty okolo 0,5 g·l⁻¹. Chemické zloženie vôd je pomerne pestré, ale najhojnejšie sú typy C_{CaII} a C_{CaIII} (Alekin, 1970). V klasifikácii podľa molárnych koncentrácií (Jetel a Pačes, 1979) ide prevažne o fáciu C-Ca najčastejšie v subfáciách C-Ca-Na a C-Ca-Mg. Vody vykazujú hodnoty koncentrácie Ca²⁺ + Mg²⁺

v širokom intervale (1,6 až 8,6 mmol·l⁻¹). Vysoké znečistenie pririeknej zvodne v nivách skúmaných tokov dokumentuje celková mineralizácia s hodnotami nad 1,3 g·l⁻¹, naproti tomu vody proluviálnych kužeľov (P1) v skúmanej oblasti sú mineralizované podstatne menej (okolo 0,5 g·l⁻¹). Kontamináciu fluvialných uloženín spôsobujú antropogénne faktory.

Najdôležitejším poznatkom predmetného hodnotenia je, že medzi celkovou mineralizáciou, resp. obsahom Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ a HCO₃⁻ na jednej strane a geohydraulickými parametrami na strane druhej existuje štatisticky významná závislosť, ale táto je opačná ako v pôvodnej predstave, t. j. čím vyššia je priepustnosť kvartérnych fluvialných uloženín Torysy a Sekčova, tým vyššie sú koncentrácie uvedených zložiek a celková mineralizácia vody. Možným vysvetlením príčinnej pozitívnej závislosti medzi rastom koncentrácií a zväčšujúcou sa priemernou priepustnosťou v skúmaných plytko uložených fluvialných kolektoroch by mohla byť predstava o výraznejšom vplyve napájania z povrchového toku v úsekoch s vyššou priepustnosťou. V prospech tohto vysvetlenia svedčí i podstatne nižšia hodnota celkovej mineralizácie vo vodách prolúvií. Pomerne vysoká úroveň celkovej mineralizácie povrchových vôd Torysy v skúmanom území (v priemere až 0,8 g·l⁻¹) naznačuje, že pri vnikaní povrchovej vody do pririeknej zvodne brehovou infiltráciou sa zvyšujú priemerné obsahy hlavných zložiek v pririeknej zvodni. V priepustnejších častiach fluvialných náplavov, kam môže povrchová voda prenikať s väčšou intenzitou, je toto zvýšenie výraznejšie, kým v menej priepustných častiach náplavov sa môže viac uplatňovať chemické zloženie vody dané priamou infiltráciou zrážkových vôd s nízkou celkovou mineralizáciou alebo laterálnym prítokom menej mineralizovaných podzemných vôd z prilahlých predkvartérnych kolektorov.

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

References

- ITCHISON, J. & BROWN, J. A. C., 1957: The lognormal distribution. Cambridge University Press, Cambridge.
- ALEKIN, O. A., 1970: Osnovy gidrochimii. *Gidrometeoizdat, Leningrad*, 443 s.
- GAZDA, S., 1971: Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. *Hydrogeol. Ročenka 1969 – 1970, Praha – Brno*, 122 – 126.
- JANOČKO, J., 1990: Vplyv kvartérnej tektoniky na vývoj územia v severnej časti Košickej kotliny. *Miner. Slov. (Bratislava)*, 21, 421 – 425.
- JETEL, J., 1970: Scheme of hydrochemical zoning in the Bohemian Cretaceous and Permocarboiferous. *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 45, 3, 183 – 186.
- JETEL, J., 1973: Logický systém pojmov – základní podmínka formalizace a matematizace v hydrogeologii. *Geol. Průzk.*, 15, 1, 13 – 17.
- JETEL, J., 1982: Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech. *Knih. Ústř. Úst. geol.*, 58, 248 s.
- JETEL, J., 1985: Metody regionálního hodnocení hydraulických vlastností hornin. *Metod. Příruč. Ústř. Úst. geol.*, 1, 147 s.

- JETEL, J., 1995: Utilizing data on specific capacities of wells and water-injection rates in regional assessment of permeability and transmissivity. *Slovak Geol. Mag. (Bratislava)*, 1, 7 – 18.
- JETEL, J., 1996: Hydrogeológia. In: Kaličiak, M. (ed.): *Vysvetlivky ku geologickej mape Slanských vrchov a Košickej kotliny-južná časť*. Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra, 123 – 158.
- JETEL, J., 2001: Neogén východnej časti Košickej kotliny – hydrogeologický rajón NQ-123. Bratislava, MŽP SR, Št. Geol. Úst. D. Štúra.
- JETEL, J. & PAČES, T., 1979: A simple chemical classification of natural waters based on molar concentrations. *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 54, 4, 233 – 235.
- KRÁSNÝ, J., 1993: Classification of transmissivity magnitude and variation. *Ground Water (US nat. Wat. Well Assoc. Columbus, O.)*, 31, 2, 230 – 236.
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M., BALATKA, B., LOUČKOVÁ, J. & SLÁDEK, J., 1986: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. Slovenská kartografia, n. p., Bratislava.
- RAPANT, S., VRANA, K. & BODIŠ, D., 1995: Geochemický atlas Slovenskej republiky – I. Podzemné vody. Bratislava, GÚDŠ, 58 s.
- ŠUBA, J., BUJALKA, P., CIBULKA, L., HANZEL, V., KULLMAN, E., PORUBSKÝ, A., POSPÍŠIL, P., ŠKVARKA, L., ŠUBOVÁ, A., TKÁČIK, P. & ZAKOVIČ, M., 1992: Hydrogeologická rajonizácia Slovenska. SHMÚ Bratislava, 308 s.
- VASS, D. et al., 1988: Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov panónskej panvy na území ČSSR. Mapa 1 : 50 000. Bratislava, GÚDŠ.

Rukopis doručený 19. 1. 2011

Revidovaná verzia doručená 10. 3. 2011

Rukopis akceptovaný red. radou 16. 3. 2011

The relation of the chemical composition of the groundwater of fluvial sediments in the overbank of the lower reach of Torysa river to the hydraulic characteristics of aquifers

Our hydrogeological survey done in the flood plain of lower Torysa river stream provides information not just about the values of defined hydraulic parameters, but points to relationship of these parameters to the chemical composition of the groundwater as well.

The vicinity of the lower Torysa river stream belongs to the N and NE part of the Košická kotlina Basin. According to the geomorphological division of the Slovak Republic, its territory links to Toryská pahorkatina Upland. Due to the regional hydrogeology of the Western Carpathians, area composes of the rayon NQ123 "The Neogene of the Košická kotlina Basin", built up mostly by Neogene, less Quaternary fluvial to proluvial deposits. For a definition of hydraulic characteristics, data of 146 hydrogeological projects were used, followed by setting-up of 7 sections labelled as F1-F6 for the fluvial and P1 for proluvial accumulations:

- Sekčov catchment flood plain sediments (F1)
- Sekčov catchment area associated proluvial sediments (P1)
- Torysa river flood plain sediments in the Prešov vicinity (F2)
- Torysa river flood plain sediments in the Haniska pri Prešove vicinity (F3)
- Torysa river flood plain sediments between Kendice and Drienovec area (F4)
- Torysa river flood plain sediments from Drienovec to Lemešany area (F5)
- Torysa river flood plain within the Šarišské Bohdanovce – Košická Polianka area (F6)

The calculations of the index of transmissivity and index of permeability were done following Jetel's methodology, where our dates based on his three-level classification (Jetel, 1985) fall under the group IIb. Resulting transmissivity and hydraulic conductivity were defined, based on calculations of indexes of transmissivity and permeability according

to the relation expressing a total calculated difference for the Quaternary sediments in the form of $d = 0.07Y - 0.09$. The transmissivity was defined by the formula $T = \text{antilog}(1.07Y - 9.09)$ and hydraulic conductivity according the $k = \text{antilog}(Z + d - 9)$. The range of the calculated values is shown in Tabs. 3 and 4. Based on this, we can propose that following the classification of transmissivity of rocks (Krásný, 1993), the aquifers may be integrated within the II. class of transmissivity (sections F2, F3, F4, F5 and F6) with the low and medium variability (b, c) and sections F1 and P1 may fit to the III. class of transmissivity with a medium variability. While in the sense of eight-level classification of permeability of rocks (Jetel, 1973, 1982), with known values of hydraulic conductivity, the aquifers should be integrated into the IV. class of permeability with low (F4, F6, P1) and medium (F5) variability, asides section F3 with extremely high variability and F2 of high variability. The chemical evaluation of characteristics of rocks focuses to find out the total dissolved solids and describes the water according to molar, Alekin and Palmer classification. Due to the classification of waters according to the total dissolved solids, introduced by Alekin (1970), the riverine groundwater bodies related waters within the investigated aquifers are considered as waters with increased mineralization ($500 - 1\,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), however, in the section F2 (from the northern border of Prešov to the delta of Sekčov) waters with high mineralization (over $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) occur. The total dissolved solids in the investigated area reached values from 0.3 to $2.6 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, with median around $0.7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. The Alekin's classification of chemical composition of the natural water expresses that type $C^{\text{Ca}}_{\text{II}}$ slightly prevails over the $C^{\text{Ca}}_{\text{IIIa}}$ type, while both of them considerably prevail over the C^{Ca}_{I} and C^{NaI} ones. Overall concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} (water hardness) within the groundwater of Quaternary aquifers reach

values in the range of 1.6–8.6 mmol·l⁻¹ with median 4.0 mmol·l⁻¹. Presented paper contains description of chemistry of individual investigated localities.

After the analysis, aimed to define an interaction between the groundwater chemistry and the hydraulic parameters, was done, the evidence of a real, significant statistical correlation for the T.D.S. (mostly due to Na²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ and HCO₃⁻ contents) with the hydraulic parameters and the hydraulic conductivity G(k) was expressed, however, contrary to our assumption, in the reverse relation. With a very high confidence (P ≥ 95 %), it is possible to accept a hypothesis of a correlated relation for a concentration of sulphates and hydrogen-carbonates as well.

At the end there may be stated, that the chemistry of the groundwater is considerably affected by the chemical composition of the surface waters supplying reservoirs

within rocks of the high permeability, shown for example by comparing fluvial and Neogene groundwater bodies. While for the fluvial aquifers the water chemistry changes due to the increase or decrease in the density of urbanization, for proluvial aquifers the level of total mineralization is lower than in fluvial ones. This could represent one of those evidences confirming a theory that with increasing permeability the value of the total mineralization increases as well. The accordance of positive correlation between the total mineralization and the average permeability of aquifers in the riverine groundwater body may be considered as a contribution to general knowledge about the hydrogeological patterns of chemical composition of the groundwater. To confirm this assumption, an accomplishment of forthcoming hydrogeological tests in streams of similar parameters is needed.