CHARAKTERISTIKA VÝTOKOVÝCH ČIAR PRAMEŇOV NA JUŽNÝCH SVAHOCH NÍZKYCH TATIER

CHARACTERISTICS OF RECESSION CURVES OF SPRINGS ON THE SOUTHERN SLOPES OF THE NÍZKE TATRY MTS.

Peter Malík, Erika Kováčová

ABSTRACT

Nízke Tatry Mts. form a dominant geomorphologic structure in the centre of Slovak Republic, ranging 80 km from west towards east in a width of 17 to 30 km from south to north. Its average altitude of 1090 m a.s.l., with the highest peak Ďumbier (2048 m a.s.l.) gives also a possibility of high effective rainfall, reaching maximum 1000 mm and average of 606 mm. An important role there plays also fact, that both on northern and southern rim of this mountain range huge Triassic carbonate rocks are outcropping, thus forming important regional aquifers. From these, groundwater outflows in huge amounts concentrated in important karstic springs, quantitatively monitored by Slovak Hydrometeorological Institute since 1970s. Also other spring type, bound to crystalline core of the mountains, was observed in some cases. Typical recession curves derived from these observations are discussed in the paper.

KEY WORDS

recession curves, hydrograph analyses, regime type, rock disruption, karstification degree, Nízke Tatry Mts.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

výtokové čiary, analýza hydrogramu, typ režimu, stupeň porušenosti horninového prostredia, stupeň skrasovatenia, Nízke Tatry

ÚVOD

Pohorie Nízke Tatry je geomorfologicky dominantnou štruktúrou, tiahnucou sa severom stredného Slovenska v 80 km predĺžení od západu na východ, v severojužnej šírke od 17 do 30 km. priemerná nadmorská výška tejto horskej oblasti je 1090 m, s najvyšším bodom dosahujúcim 2048 m n.m., čo dáva možnosť vzniku významných celkových zrážkových úhrnov od 900 do 1200 mm. Nižšie teploty vzduchu spojené s významnými akumuláciami snehovej pokrývky v zimnom období následne umožňujú tvorbu významných množstiev efektívnych zrážok s maximom až 1000 mm (31,7 $l.s^{-1}.km^{-2}$) a priemernou hodnotou 606 mm (19,2 $l.s^{-1}.km^{-2}$; Švasta a Malík, 2006). Významnú úlohu pri tvorbe podzemných vôd tu zohrávajú i geologické pomery oblasti, keď sú najmä severný a južný okraj pohoria lemované rozsiahlymi masami triasových karbonátov s krasovo-puklinovým typom priepustnosti. V oblasti južných svahov Nízkych Tatier prináležia stredno- a vrchnotriasové vápence a dolomity celému spektru tektonických jednotiek: obalovému tatriku, krížňanskému príkrovu veporika (resp. fatrika), chočskému príkrovu hronika a siliciku (Biely a Bezák, 1997). Tatrikum zaberá približne tretinu územia v sz. oblasti južných svahov Nízkych Tatier. Juhozápadná časť tohto územia patrí hroniku, vytvárajúcemu mohutnú sústavu nakopených čiastkových príkrovov. Najviac plošne zastúpené je veporikum. Tvorí mohutný pás, tiahnuci sa od centrálnych častí až po Telgárt na východe územia. Najvýchodnejšia časť, Heľpianske podolie, patrí najmenej plošne zastúpenému siliciku. V niektorých častiach územia, hlavne vo východnej časti Horehronského podolia ležia na tektonických jednotkách diskordantne uložené súvrstvia terciéru a kvartéru.

RNDr. Peter Malík, CSc., Mgr. Erika Kováčová
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, malik@geology.sk, kovacova@geology.sk

V uvedenej oblasti vystupujú významné vývery podzemných vôd vo forme prameňov i priamych

prestupov do povrchových tokov. Časť prameňov je dnes už zachytená pre vodárenské využitie ako zdroje kvalitných pitných vôd. Slovenský hydrometeorologický ústav tu (prevažne od sedemdesiatych rokov XX. storočia) realizoval a na mnohých prameňoch podnes realizuje pozorovania výdatnosti, ktoré (Kullman, 1990) môžu tvoriť významný podklad pre posúdenie nielen ich režimu, ale aj charakteru porušenosti horninového prostredia a i stupňa prirodzenej ochrany, ktorú toto prostredie môže poskytnúť podzemným vodám (Kullman, 2000; Malík, 2005, 2006). V rámci predkladanej práce boli hodnotené výtokové čiary zostavené na základe dostatočne dlhých časových radov poklesávajúcich výdatností spracované pre 24 prameňov odvodňujúcich mezozoické horninové komplexy a 9 prameňov odvodňujúcich horninové prostredie kryštalinika.

PRAMENE MEZOZOIKA JUŽNÝCH SVAHOV NÍZKYCH TATIER

V karbonatických horninách mezozoika bolo v oblasti južných svahov Nízkych Tatier Slovenským hydrometeorologickým ústavom pozorovaných 24 výverov podzemnej vody. Vyhodnotením 187 výtokových čiar z týchto prameňov a následnou analýzou poklesových radov výdatností bola zisťovaná prítomnosť rôznych druhov výtokových subrežimov. Základné charakteristiky prameňov z mezozoických hornín južných svahov Nízkych Tatier sú uvedené v tabuľke 1, hodnoty koeficientov vyprázdňovania podzemných vôd hodnotených prameňov získané analýzou výtokových čiar uvádza tabuľka 2.

Tab. 1: Minimálne, maximálne a priemerné hodnoty výdatnosti a teploty vody prameňov z mezozoických hornín južných svahov Nízkych Tatier

Tab. 1: Minimal, maximal and average values of discharge and groundwater temperature of monitored springs from Mesozoic rocks on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts.

Číslo SHMÚ	Názov prameňa	Lokalita	Horninové prostredie	pozorovanie od - do	Q_{min} [l.s^{-1}]	Q_{max} [l.s^{-1}]	Q_{priem} [l.s^{-1}]	T_{min} [°C]	T_{max} [°C]	T_{priem} [°C]
1201	Hron	Telgárt	gutensteinské vápence	1971-2003	1,18	33,10	7,74	5,2	8,8	6,3
1202	Teplica	Telgárt	gutensteinské vápence	1971-1997	5,85	39,30	11,23	4,0	10,8	7,5
1215	Na Jamine	Heľpa	ramsauské dolomity	1971-1980	0,95	2,04	1,21	6,4	10,1	8,1
1225	Javorová	Valaská	vápence, dolomity	1979-1990	0,01	201,00	10,13	2,8	12,2	8,9
1226	Vyvieračka	Valaská	vápence, dolomity	1979-2001	26,50	289,00	89,83	7,0	9,6	8,4
1227	Sokolova dol. 1	Polomka	ramsauské dolomity	1995-2003	3,55	102,00	14,71	4,6	6,4	5,5
1228	Sokolova dol. 2	Polomka	ramsauské dolomity	1995-2003	4,62	15,70	7,16	4,6	6,6	5,6
1230	Sokolova dol. 4	Polomka	ramsauské dolomity	1995-2003	0,44	15,90	2,69	5,1	6,9	6,2
1232	Sokolova dol. 6	Polomka	ramsauské dolomity	1995-1997	0,41	3,44	1,02	5,2	7,0	6,0
1233	Nemcova dolina	Polomka	ramsauské dolomity	1984-2003	9,24	49,40	15,86	6,2	8,3	7,2
1251	Stará Trangoška	Horná Lehota	gutensteinské vápence	1959-1968 1970-1972 1992-2003	10,80	235,00	89,30	4,0	8,0	5,2
1254	Mala Bendíčka	Podbrezová	ramsauské dolomity	1973-1990	0,03	1,13	0,41	3,6	10,8	6,2
1255	Hámor	Dolná Lehota	vajskovské zlepence	1981-1985	18,50	167,00	65,50	7,2	9,0	8,3
1261	Tŕstie	Medzibrod	gutensteinské vápence	1989-2003	2,35	13,80	5,72	7,8	10,6	9,3
1305	Pod motorestom	Nemecká	gutensteinské vápence	1977-2003	3,16	88,80	28,89	6,8	10,4	8,5
1306	Lúčny	Mýto pod Ďumbierom	rauwaky	1978-1982	5,86	12,70	7,81	1,8	12,8	6,5
1310	Za továrňou	Dolná Lehota	chočské dolomity	1979-1998	6,35	13,10	8,45	15,0	18,6	17,5
1311	Uhlište	Dolná Lehota	hlavné dolomity	1979-1998	17,50	274,00	50,39	1,3	9,8	5,9
1312	Vrabec	Dolná Lehota	gutensteinské vápence	1979-2003	10,20	106,00	31,03	2,2	10,2	6,2
1313	Horný 1, 2, 3	Dolná Lehota	chočské dolomity	1978-1999	6,60	30,60	13,76	3,4	10,3	6,7
1314	Horný 4	Dolná Lehota	chočské dolomity	1982-1999	9,86	21,40	15,34	3,4	10,2	6,7
1315	Dolný	Dolná Lehota	vajskovské zlepence	1978-2003	12,60	109,00	27,89	2,4	10,6	6,6
1316	Hostinské lúky	Bystrá	ramsauské dolomity	1990-2003	4,30	38,40	10,99	7,0	9,8	8,1
1317	Starý mlyn	Horná Lehota	chočské dolomity	1978-1999	4,83	27,20	11,88	8,0	8,5	8,1

Tab. 2: Hodnoty koeficientov vyčerpávania získané analýzou výtokových čiar prameňov z mezozoických hornín južných svahov Nízkych Tatier

Tab. 2: Values of recession coefficients derived by hydrograph analyses of monitored springs from Mesozoic rocks on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts.

Číslo SHMÚ	Názov prameňa	Lokalita	počet analyzovaných čiar	Q01	α01	Q02	α02	Q03	β01	Q04	β02
1201	Hron	Telgárt	10	6,00	5,00E-03			10,00	1,50E-02	16,00	7,00E-02
1202	Teplica	Telgárt	7	13,00	2,80E-03			11,00	3,70E-02		
1215	Na Jamine	Heľpa	5	1,35	1,10E-03	0,10	7,00E-02				
1225	Javorová	Valaská	5	100,00	5,80E-02						
1226	Vyvieračka	Valaská	10	101,00	4,00E-03	177,00	1,90E-01				
1227	Sokolova dol. 1	Polomka	11	15,00	4,31E-03	45,00	7,40E-02				
1228	Sokolova dol. 2	Polomka	17	9,00	4,00E-03	17,00	1,40E-01				
1230	Sokolova dol. 4	Polomka	8	5,00	1,30E-02			10,00	3,20E-02		
1232	Sokolova dol. 6	Polomka	3	0,65	2,00E-03	1,11	3,10E-02				
1233	Nemcova dolina	Polomka	7	20,00	2,60E-03			4,00	1,00E-02		
1251	Stará Trangoška	Horná Lehota	10	115,00	7,00E-03	30,00	9,00E-02	30,00	1,80E-01		
1254	Mala Bendíčka	Podbrezová	3	0,82	3,40E-02						
1255	Hámor	Dolná Lehota	5	60,00	4,20E-03	107,00	2,27E-02				
1261	Tŕstie	Medzibrod	16	6,30	2,40E-03			5,60	8,60E-03		
1305	Pod motorestom	Nemecká	8	45,00	7,20E-03			47,00	1,30E-02		
1306	Lúčny	Mýto pod Ďumbierom	5	7,70	2,00E-03			3,40	3,00E-02		
1310	Za továrňou	Dolná Lehota	5	9,60	1,90E-03	2,00	2,00E-02				
1311	Uhlište	Dolná Lehota	8	40,00	9,00E-03	135,00	1,10E-01	70,00	3,00E-01		
1312	Vrabec	Dolná Lehota	8	40,00	9,00E-03	67,00	2,00E-01				
1313	Horný 1, 2, 3	Dolná Lehota	8	14,00	8,00E-03	7,00	1,00E-01				
1314	Horný 4	Dolná Lehota	8	16,00	2,00E-03			4,41	9,00E-02		
1315	Dolný	Dolná Lehota	10	30,00	4,00E-03	28,00	6,00E-02	20,00	1,10E-01		
1316	Hostinské lúky	Bystrá	5	12,00	5,00E-03	37,00	4,40E-02				
1317	Starý mlyn	Horná Lehota	5	16,00	5,00E-03						

Analyzovaných 187 výtokových čiar poklesávajúcich hodnôt výdatností 24 prameňov umožnilo okrem určenia typu výtokového režimu charakterizovať aj stupeň porušenosti, resp. skrasovatenia horninového masívu a z toho vyplývajúci stupeň senzitivity (zraniteľnosti) podzemnej vody voči potenciálnemu kontaminantu, resp. stupeň prirodzenej ochrany, ktorý príslušný zvodnenec poskytuje podzemnej vode. Takéto hodnotenie bolo vykonané na základe príslušného zastúpenia jednotlivých laminárnych alebo turbulentných subrežimov vo výtokovej čiare (Kullman a Petráš, 1977, 1979, Kullman, 1983, 1990), a ďalej na základe veľkostí koeficientov α a β bližšie opisujúcich jednotlivé laminárne, resp. turbulentné subrežimy (Kullman, 2000; Malík, 2005, 2006).

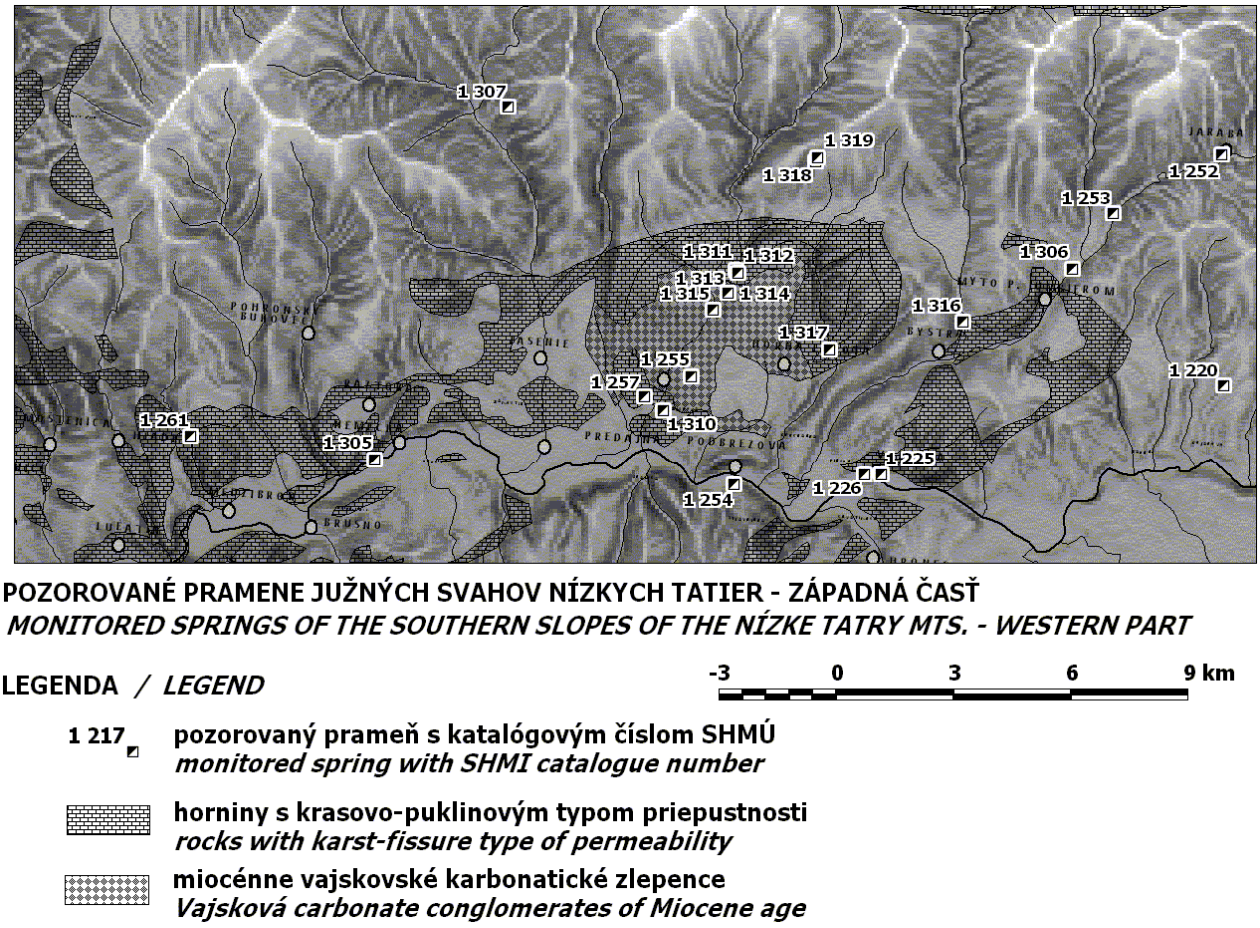
Najjednoduchší výtokový režim, charakterizovaný iba jedným laminárnym subrežimom s nízkymi hodnotami koeficientu α_{01} vykazujú pramene Javorová (č. 1225) vo Valaskej, Malá Bendíčka (č. 1254) v Podbrezovej a Starý mlyn (č. 1317) v Hornej Lehote. Zložitejší režim prúdenia, charakterizovaný kombináciou dvoch laminárnych subrežimov s nízkymi hodnotami koeficientov α_{01} a α_{02} majú pramene Sokolova dolina 6 (č. 1232) v Polomke, Hámor (č. 1255) a Za továrňou (č. 1310) v Dolnej Lehote. Podobné je to v prípade prameňov Na Jamine (č. 1215) v Heľpe, Sokolova dolina 1 (č. 1227), Sokolova dolina 2 (č. 1228) v Polomke, Horný 1, 2, 3 (č. 1313) v Dolnej Lehote, Hostinské lúky (č. 1316) v Bystrej, Vyvieračka (č. 1226) vo Valaskej a Vrabec (č. 1312) v Dolnej Lehote. Aj tu stále ide iba o dva laminárne subrežimy, hodnoty koeficientov α_{01} a α_{02} sú však o niečo vyššie.

Pramene Teplica (č. 1202) v Telgárte, Sokolova dolina 4 (č. 1230), Nemcova dolina (č. 1233) v Polomke, Tŕstie (č. 1261) v Medzibrode, Pod motorestom (č. 1305) v Nemeckej, Lúčny (č. 1306) v Mýte pod

OBRÁZOK Č.1. NA CELÚ STRANU

Obr. 1: Polohy prameňov pozorovaných Slovenským hydrometeorologickým ústavom na južných svahoch Nízkych Tatier – východná časť

Fig. 1: Position of springs monitored by Slovak Hydrometeorological Institute on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts. – eastern part



Obr. 2: Polohy prameňov pozorovaných Slovenským hydrometeorologickým ústavom na južných svahoch Nízkych Tatier – západná časť
Fig. 2: Position of springs monitored by Slovak Hydrometeorological Institute on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts. – western part

Ďumbierom, Horný 4 (č. 1314) v Dolnej Lehote vykazujú už prítomnosť koeficientov α_{01} a β_{01}, teda na priebehu vyprázdňovania zásob podzemných vôd sa uplatňuje jeden laminárny a jeden turbulentný subrežim, odpovedajúci pohybu podzemnej vody v krasových kanáloch. S dvoma laminárnymi subrežimami (α_{01} a α_{02}) sa na vyprázdňovaní zúčastňuje aj jeden turbulentný subrežim (β_{01}) v prípade prameňov Stará Trangoška (č. 1251) v Hornej Lehote, Uhlište (č. 1311) a Dolný (č. 1315) v Dolnej Lehote. Naopak, jeden laminární (α_{01}) a dva turbulentné subrežimy (β_{01} a β_{02}) boli zistené pre prameň Hron (č. 1201) v Telgárte.

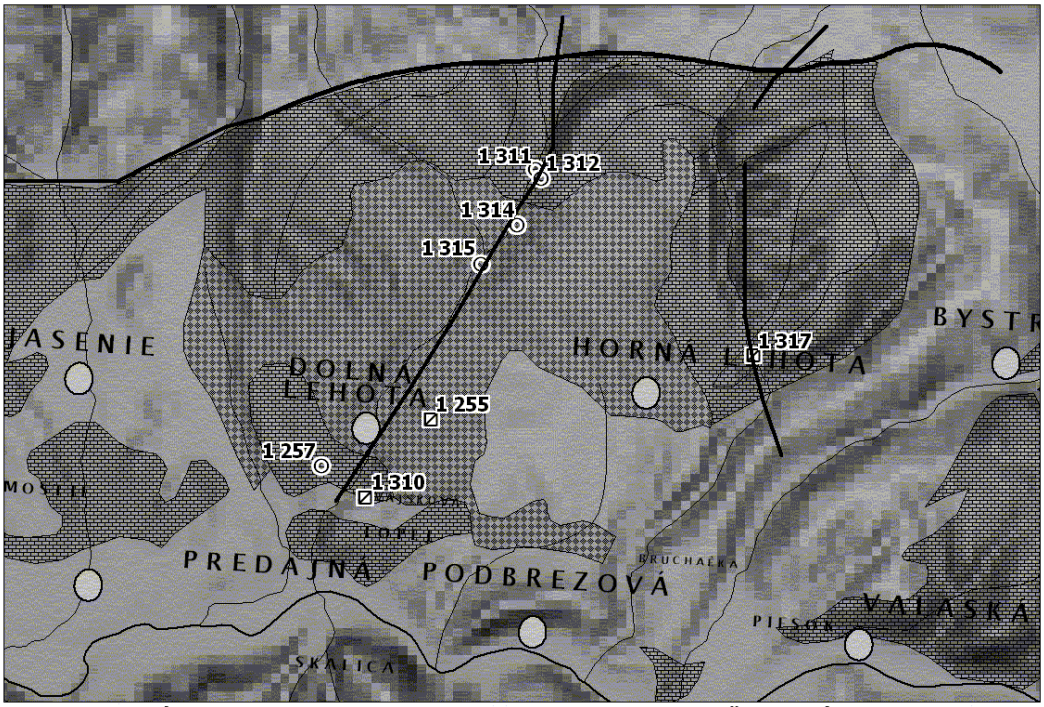
HYDROGEOLOGICKÁ ŠTRUKTÚRA V OBLASTI MEDZI PODBREZOVOU, KRPÁČOVOM, JASENÍM A LOPEJOM

Hydrogeologická štruktúra v oblasti medzi Podbrezovou, Krpáčovom, Jasením a Lopejom je charakteristická prítomnosťou štyroch nad sebou nasunutých krasovo-puklinových zvodnencov a zložitým spôsobom obehu podzemných vôd. Z hľadiska plošného zastúpenia triasových karbonátov je však zároveň vodárensky najvýznamnejšou hydrogeologickou štruktúrou na hornom Pohroní. V dosledku zložitej tektonickej stavby a prítomnosti otvorených zlomových pásiem prebieha sústreďovanie, formovanie a obeh podzemných vôd v troch základných systémoch, ktoré tu boli hydraulicky a hydrogeochemicky odlíšené (Kullman et al., 1983; Kullman, 1990). Prvý z nich predstavuje odvodňovanie pozdĺž hronského zlomu dvoma prameňmi v Krpáčove a na Táloch, nemohol však byť zhodnotený v dôsledku absencie potrebných údajov – výsledkov pozorovaní prameňov. Vajskovské zlomové pásmo a zlomové pásmo Suchej doliny tvorí druhý hydraulický systém odvodňovaný celkovo 6 prameňmi (prameň kráľa Matyáša – č. 1257, Uhlište – č. 1311, Vrabec – č. 1312, Horný 1, 2, 3 – č. 1313, Horný 4 – č. 1314 a Dolný – č. 1315. Prameň kráľa Matyáša – č. 1257 nebol zhodnotený z dôvodu nekomplexnosti údajov. Tretí osobitný hydraulický a hydrogeochemický systém tvoria krasovo-puklinové vody vlastnej hydrogeologickej štruktúry, odvodňované

celkovo šiestimi prameňmi, z ktorých boli zhodnotené pramene Hámor – č. 1255, Za továrňou – č. 1310 a Starý mlyn – č. 1317.

Prítomnosť turbulentného subrežimu bola identifikovaná len u prameňov druhého hydraulického systému – priečneho zlomového pásma Vajskovskej doliny. Medián hodnôt stupňa porušenosti a následnej senzitivity jednotlivých prameňov voči kontaminácii dosahuje hodnotu 5,0, hodnoty pre jednotlivé pramene sa pohybujú od 4,0 do 5,5. Poukazuje to na horninové prostredie s predpokladom existencie drveného zvodneného pásma s hustou sieťou otvorených drobných puklín v kombinácii s jednoduchým občasne fungujúcim kanálovým systémom značného dosahu (v tomto prípade zrejme priečneho zlomového pásma Vajskovskej doliny sprevádzaného otvorenou skrasovatenou poruchou v zóne prevzdušnenia).

Pramene tretieho hydraulického systému s krasovo-puklinovými vodami vlastnej hydrogeologickej štruktúry preukazujú vo výtokovej čiare iba laminárne subrežimy. Toto karbonátové horninové prostredie, okrem strednotriasových vápencov a dolomitov tvorené aj neogénnymi vajskovskými zlepencami s karbonatickými obliakmi, je pravdepodobne prestúpené tektonickými poruchami, vyplnenými drveným materiálom, prípadne v ojedinelých prípadoch prestúpené aj rovnomernou puklinovou sieťou s prevahou drobných puklín. Jednotlivé pramene majú hodnoty stupňa porušenosti od 2,0 do 2,7, s mediánom hodnôt 2,5.



Obr. 3: Pramene 2. a 3. hydraulického systému (Kullman, 1983, 1990) vajskovskej hydrogeologickej štruktúry medzi Podbrezovou, Krpáčovom, Jasením a Lopejom, pozorované SHMÚ

Fig. 3: Springs of the 2nd and 3rd hydraulic system (Kullman, 1983, 1990) of the Vajsková hydrogeological structure between Podbrezová, Krpáčovo, Jasenie and Lopej monitored by SHMI

PRAMENE KRYŠTALINIKA JUŽNÝCH SVAHOV NÍZKYCH TATIER

Vyhodnotením 94 výtokových čiar reprezentujúcich poklesové rady výdatností 9 prameňov vyvierajúcich v kryštalických horninách Nízkych Tatier bola dokázaná prítomnosť rôznych druhov výtokového režimu v tomto horninovom prostredí. Základné charakteristiky prameňov kryštalinika južných svahov Nízkych Tatier sú uvedené v tabuľke 3, hodnoty koeficientov vyprázdňovania podzemných vôd hodnotených prameňov získané analýzou výtokových čiar uvádza tabuľka 4.

Tab. 3: Minimálne, maximálne a priemerné hodnoty výdatnosti a teploty vody prameňov z hornín kryštalinika južných svahov Nízkych Tatier
Tab. 3: Minimal, maximal and average values of discharge and groundwater temperature of monitored springs from crystalline rocks on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts.

Číslo SHMÚ	Názov prameňa	Lokalita	Horninové prostredie	pozorovanie od - do	Q_{min} [l.s^{-1}]	Q_{max} [l.s^{-1}]	Q_{priem} [l.s^{-1}]	T_{min} [°C]	T_{max} [°C]	T_{priem} [°C]
1204	Rybáreň	Šumiac	ortoruly	1973-2003	11,50	94,60	33,50	5,8	7,9	6,9
1213	Piksová	Pohorelá	ortoruly	1971-1981	0,18	9,26	1,35	3,9	9,7	6,5
1217	Frudličky 1	Bacúch	pararuly, svorové ruly až svory	1959-1976	0,27	3,05	0,65	4,2	12,0	7,0
1220	Pri moste	Beňuš	pararuly, svorové ruly až svory	1971-1983	1,07	6,41	1,84	3,4	10,2	7,1
1252	Žliabok	Jarabá	biotitické a dvojsľudové ruly	1977-2003	0,74	13,40	2,30	3,2	9,2	6,3
1253	Na lúčkach	Mýto pod Ďumbierom	biotitické a dvojsľudové ruly	1977-1989	4,62	84,60	15,61	0,5	12,6	6,2
1307	Zo štôly	Jasenie	biotitické a dvojsľudové ruly	1979-2003	3,75	17,10	7,33	4,0	17,1	6,5
1318	Flotačná štôla	Dolná Lehota	biotitické a dvojsľudové ruly	1983-1989	0,24	11,10	1,11	5,3	7,9	6,7
1319	Dedičná štôla	Dolná Lehota	biotitické a dvojsľudové ruly	1983-1989	0,01	21,50	2,41	3,2	7,8	6,1

Tab. 4: Hodnoty koeficientov vyčerpávania získané analýzou výtokových čiar prameňov kryštalinika južných svahov Nízkych Tatier
Tab. 4: Values of recession coefficients derived by hydrograph analyses of monitored springs from crystalline rocks on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts.

Číslo SHMÚ	Názov prameňa	Lokalita	počet analyzovaných čiar	Q01	α01	Q02	α02	Q03	β01	Q04	β02	Q05	β03
1204	Rybáreň	Šumiac	23	44,00	4,30E-03			25,00	3,00E-02	17,00	1,10E-01	8,00	5,00E-01
1213	Piksová	Pohorelá	8	2,00	1,20E-02	4,00	8,20E-02						
1217	Frudličky 1	Bacúch	10	2,12	6,70E-03								
1220	Pri moste	Beňuš	5	2,10	2,50E-03	1,17	2,10E-02						
1252	Žliabok	Jarabá	9	2,20	3,60E-03	9,20	4,10E-02						
1253	Na lúčkach	Mýto pod Ďumbierom	10	26,00	9,00E-03	34,60	7,30E-02						
1307	Zo štôly	Jasenie	16	8,00	2,00E-03	8,40	4,00E-02						
1318	Flotačná štôla	Dolná Lehota	6	0,75	1,80E-03	2,00	3,20E-02						
1319	Dedičná štôla	Dolná Lehota	7					1,00	1,30E-02	9,70	1,70E-02		

Prameň Frudličky 1 (č. 1217) v obci Bacúch reprezentuje jednoduchý režim pravdepodobne spojený s prúdením v rámci hlbšie založenej poruchovej línie. Komplexnejšie sú výtokové režimy prameňov Pri moste (č. 1220) v obci Beňuš, Žliabok (č. 1252) v Jarabej, Zo štôly (č. 1307) v Jasení a Floatačná štôla (č. 1318) v Dolnej Lehote, ktoré sú charakterizované prítomnosťou dvoch laminárnych subrežimov a pravdepodobným obehom podzemných vôd v porušenej zóne pripovrchového rozvoľnenia kryštalinického horninového masívu. Pramene Piksová (č. 1213) v Pohorelej a Na lúčkach (č. 1253) v Mýte pod Ďumbierom sú charakterizované takisto dvoma laminárnymi subrežimami, avšak vyššími hodnotami koeficientov α_{01} i α_{02}. Jedná sa pravdepodobne o vyšší stupeň porušenosti pripovrchovej zóny, prípadne o prítomnosť vyšších hodnôt hydraulických gradientov pri prúdení v horninovom prostredí. Zaujímavosťou je zistená prítomnosť okrem jedného laminárneho výtokového subrežimu až troch turbulentných výtokových subrežimov prameňa Rybáreň (č. 1204) v Šumiaci. Takéto subrežimy sú charakteristické pre oblasti silne rozvinutého krasu a netypické pre oblasti kryštalinika, poukazujú však na špecifické podmienky obehu

podzemnej vody spôsobené prítomnosťou umelo vyrazených banských priestorov (Kováčová, 2005). Ešte výraznejší je podobný prípad výtoku banských vôd Dedičná štôla (č. 1319) v Dolnej Lehote, kde okrem dvoch turbulentných výtokových subrežimov nebol analýzou výtokových čiar zistený ani jeden laminárny subrežim. Podobnosť s rozvinutým krasom s najvyšším stupňom otvorenosti horninového prostredia voči potenciálnemu znečisťovaniu je spôsobená existenciou otvorených priestorov bývalej banskej štôlne, ktorá má schopnosť efektívne drénovať okolité horninové prostredie postihnuté zlomovou tektonikou.

ZÁVER

Na základe princípov hodnotenia typu režimu, charakteristiky porušenosti horninového prostredia a následne vyplývajúceho rizika zasiahnutia podzemných vôd potenciálnym znečistením podľa 10 stupňovej klasifikácie (Kullman, 2000) resp. jej detailnejšieho rozdelenia (Malík, 2005, 2006) bol každému prameňu – či už z obehu podzemných vôd v horninách mezozoika alebo kryštalinika – priradený výsledný stupeň porušenosti horninového prostredia obehu jeho vôd identifikovaný analýzou výtokových čiar. Zistené veľkosti týchto hodnôt uvádza tabuľka 5.

Poznanie geografickej polohy hodnotených prameňov a geologickej stavby študovaného územia umožnilo pomerne presne určiť litologický typ vývervovej oblasti jednotlivých prameňov. Oblasti výstupu podzemných vôd sú lokalizované v jednotlivých litologických typoch jednotiek tatrika, veporika, hronika a silicika V gutensteinských vápencoch tatrika, silicika a hronika bolo hodnotených 6 prameňov, v ramsaukých dolomitoch veporika 8 prameňov, v chočských dolomitoch hronika 4 pramene, v hlavných dolomitoch hronika 1 prameň. Vápence, dolomity a rohovcové vápence hronika tvoria vývervovú oblasť 2 prameňom, v rauvakoch hronika bol lokalizovaný 1 prameň a vo vajskovských zlepencoch miocénu boli pozorované 2 pramene (pozri tiež tabuľku 5). Na základe vyhodnotenia jednotlivých prameňov bol charakterizovaný režim vyprázdňovania podzemných vôd jednotlivých litologických typov, ktorý je v tabuľke 6 uvádzaný v podobe rozsahu a mediánu hodnôt stupňa porušenosti priradeného jednotlivým prameňom z týchto hornín (Kullman, 2000; Malík, 2005, 2006).

Podľa tabuľky 6 preukazujú najvyšší priemerný stupeň porušenosti v hodnote 5,0 z 10 dielnej Kullmanovej (2000) klasifikácie gutensteinské vápence, v ktorých bol priemerne dokumentovaný najzložitejší režim v podobe jedného laminárneho a dvoch turbulentných subrežimov. Je to v súlade s výsledkami skúmania režimu 3 prameňov v oblasti Tlstej vo Veľkej Fatre (Malík, 2005, 2006), kde bol zistený rovnaký medián hodnôt stupňa porušenosti o veľkosti 5,0. Pramene ramsauských dolomitov sú charakterizované prevažne dvoma subrežimami s laminárnym prúdením s rôznymi hodnotami koeficientov α. Dva pramene dokumentovali aj subrežim s turbulentným prúdením. Ramsauským dolomitom bol následne priradený priemerný stupeň porušenosti 3,6. Výtokové čiary prameňov odvodňujúcich chočské dolomity preukazujú prítomnosť laminárnych subrežimov vyprázdňovania, ojedinelý je výskyt turbulentného subrežimu. Stupeň porušenosti zvodnenca dosahuje priemernú veľkosť 3,3. Pramene vápencov, dolomitov a rohovcových vápencov sú charakterizované iba laminárnymi subrežimami vyprázdňovania s hodnotou stupňa porušenosti zvodnenca 3,3. Hlavné dolomity sú zaradené do vyššieho, piateho stupňa porušenosti v dôsledku prítomnosti kombinácie dvoch subrežimov s laminárnym prúdením a jedného subrežimu s turbulentným prúdením. V rauvakoch bol lokalizovaný jeden prameň preukazujúci laminárny a turbulentný subrežim, čo ich zaraďuje do 5,0 stupňa porušenosti. Pramene odvodňujúce vajskovské zlepence preukázali existenciu dvoch laminárnych subrežimov, poprípade kombináciu dvoch laminárnych s jedným turbulentným subrežimom vyprázdňovania podzemných vôd. Priemerná porušenosť zvodnenca tým dosahuje stupeň 4,1. V sledovanom území Nízkych Tatier bolo zhodnotených deväť prameňov odvodňujúcich horninové prostredie kryštalinika – rúl a pararúl tatrika a veporika. Vyhodnotením výtokových čiar prameňov a následnou charakteristikou ich režimu bola zvodnencom kryštalinika priradená mediánová hodnota stupňa porušenosti o veľkosti 3,0. Ak však vylúčime okrajové hodnoty získané z kvantitatívne monitorovaných výtokov banských vôd (Dedičná štôla v Dolnej Lehote a Rybáreň v Šumiaci – charakterizované stupňom porušenosti 9,0, resp. 8,0), pohybujú sa hodnoty stupňa porušenosti hornín kryštalinika charakterizované na základe výtokových čiar 7 prameňov v rozsahu 2,0 – 4,0 s mediánom 2,7. Takáto hodnota je analogická s mediánom stupňa porušenosti stanoveným pre dva pramene z bodvasilašských vrstiev v oblasti Dolného vrchu v Slovenskom krase (Malík a Vojtková, 2006) o veľkosti 3,0 (resp. individuálne hodnoty 2,3 a 3,7), teda z horninového prostredia ktoré je taktiež charakterizované ako hydrogeologický masív s obehom podzemných vôd v porušenej pripovrchovej zóne.

Stupeň porušenosti, resp. v prípade krasovatejúcich hornín stupeň skrasovatenia horninového masívu môže byť teda efektívne charakterizovaný na základe zastúpenia jednotlivých laminárnych alebo turbulentných subrežimov vo výtokovej čiare prameňov, odvodňujúcich podzemné vody z daného horninového prostredia. Zo stupňa porušenosti vyplýva následne i stupeň senzitivity (zraniteľnosti) podzemnej vody voči potenciálnemu kontaminantu, resp. stupeň prirodzenej

Tab. 5: Stupne porušenosti horninového prostredia identifikovaný analýzou výtokových čiar pre SHMÚ pozorované pramene na južných svahoch Nízkych Tatier
Tab. 5: Degrees of rock disruption identified by recession curve analyses of springs monitored by SHMI on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts.

Číslo SHMÚ	Názov prameňa	Lokalita	Horninové prostredie	stupeň porušenosti horninového prostredia
1201	Hron	Telgárt	gutensteinské vápence	**8,0**
1202	Teplica	Telgárt	gutensteinské vápence	**5,0**
1215	Na Jamine	Heľpa	ramsauské dolomity	**3,5**
1225	Javorová	Valaská	vápence, dolomity	**2,3**
1226	Vyvieračka	Valaská	vápence, dolomity	**4,3**
1227	Sokolova dol. 1	Polomka	ramsauské dolomity	**4,0**
1228	Sokolova dol. 2	Polomka	ramsauské dolomity	**3,5**
1230	Sokolova dol. 4	Polomka	ramsauské dolomity	**5,0**
1232	Sokolova dol. 6	Polomka	ramsauské dolomity	**2,5**
1233	Nemcova dolina	Polomka	ramsauské dolomity	**5,0**
1251	Stará Trangoška	Horná Lehota	gutensteinské vápence	**5,5**
1254	Mala Bendíčka	Podbrezová	ramsauské dolomity	**2,3**
1255	Hámor	Dolná Lehota	vajskovské zlepence	**2,7**
1261	Tŕstie	Medzibrod	gutensteinské vápence	**5,0**
1305	Pod motorestom	Nemecká	gutensteinské vápence	**5,0**
1306	Lúčny	Mýto pod Ďumbierom	rauvaky	**5,0**
1310	Za továrňou	Dolná Lehota	chočské dolomity	**2,5**
1311	Uhlište	Dolná Lehota	hlavné dolomity	**5,5**
1312	Vrabec	Dolná Lehota	gutensteinské vápence	**4,3**
1313	Horný 1, 2, 3	Dolná Lehota	chočské dolomity	**4,0**
1314	Horný 4	Dolná Lehota	chočské dolomity	**5,0**
1315	Dolný	Dolná Lehota	vajskovské zlepence	**5,5**
1316	Hostinské lúky	Bystrá	ramsauské dolomity	**3,7**
1317	Starý mlyn	Horná Lehota	chočské dolomity	**2,0**
1204	Rybáreň	Šumiac	ortoruly	**8,0**
1213	Piksová	Pohorelá	ortoruly	**4,0**
1217	Frudličky 1	Bacúch	pararuly, svorové ruly až svory	**2,0**
1220	Pri moste	Beňuš	pararuly, svorové ruly až svory	**2,7**
1252	Žliabok	Jarabá	biotitické a dvojsľudové ruly	**3,0**
1253	Na lúčkach	Mýto pod Ďumbierom	biotitické a dvojsľudové ruly	**4,0**
1307	Zo štôly	Jasenie	biotitické a dvojsľudové ruly	**2,7**
1318	Flotačná štôla	Dolná Lehota	biotitické a dvojsľudové ruly	**2,5**
1319	Dedičná štôla	Dolná Lehota	biotitické a dvojsľudové ruly	**9,0**

ochrany, ktorý príslušný zvodnenec poskytuje podzemnej vode. Takéto hodnotenie môže byť vykonávané na základe prítomnosti alebo absencie a veľkostí koeficientov α a β bližšie opisujúcich jednotlivé laminárne, resp. turbulentné subrežimy (Kullman, 2000; Malík, 2005, 2006). V prípade prameňov na južných svahoch Nízkych Tatier bol potvrdený drenážny význam priečneho zlomového pásma Vajskovskej doliny, drenážny charakter, vysoká priepustnosť, resp. skrasovatenie horninového prostredia rauvakov a gutensteinských vápencov a pomalší obeh podzemných vôd v oblasti vlastnej hydrogeologickej štruktúry v oblasti medzi Podbrezovou, Krpáčovom, Jasením a Lopejom (tretieho hydraulického a hydrogeochemického systému v zmysle Kullmana, 1983, 1990). Podobne pomalý obeh, charakterizovaný laminaritou subrežimov prúdenia vo väčšine prameňov bol zistený i v prípade hornín kryštalinika. Porušenie týchto hornín banskou činnosťou však viedlo k evidentným prejavom režimu prameňov podobným krasovému

Tab. 6: Stupne porušenosti horninového prostredia identifikované analýzou výtokových čiar pre jednotlivé litologické typy hornín mezozoika a kryštalinika na južných svahoch Nízkych Tatier
Tab. 6: Degrees of rock disruption identified by recession curve analyses for individual lithological types of Mesozoic and crystalline rocks on the southern slopes of the Nízke Tatry Mts.

Horninové prostredie – litologický typ	Počet hodnotených prameňov	Rozsah stupňa porušenosti	Medián stupňa porušenosti
gutensteinské vápence	**6**	**4,3 – 8,0**	**5,0**
rauvaky	**1**	**–**	**5,0**
hlavné dolomity	**1**	**–**	**5,5**
vajskovské zlepence	**2**	**2,7 – 5,5**	**4,1**
ramsauské dolomity	**8**	**2,3 – 5,0**	**3,6**
chočské dolomity	**4**	**2,0 – 5,0**	**3,3**
vápence, dolomity, rohovcové vápence	**2**	**2,3 – 4,3**	**3,3**
kryštalinikum (aj s banskými vodami)	**9**	**2,0 – 9,0**	**3,0**
kryštalinikum (mimo banských vôd)	**7**	**2,0 – 4,0**	**2,7**

(s turbulnetnými subrežimami) v prípade Dedičnej štôly v Dolnej Lehote a Rybárne v Šumiaci. Znamená to, že uvedená metodika umožňuje spoľahlivú charakterizáciu stupňa porušenosti horninového prostredia i stupňa prirodzenej ochrany podzemnej vody týmto prostredím a je možné aplikovať ju i na iné horninové prostredia než krasové karbonáty.

LITERATÚRA

Biely, A., & Bezák, V., (Eds.), Biely, A., Bujnovský, A., Vozárová, A., Klinec, A., Miko, O., Halouzka, R., Vozár, J., Beňuška, P., Bezák, V., Hanzel, V., Kubeš, P., Liščák, P., Lukáčik, E., Maglay, J., Molák, B., Pulec, M., Putiš, M., Slavkay, M. 1997: Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkych Tatier. Geologická služba Slovenskej republiky. Vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava, 232 s.

Kováčová, E. 2005: Zraniteľnosť krasovo-puklinových hydrogeologických štruktúr južných svahov Nízkych Tatier. Diplomová práca, Manuskript, archív Katedry hydrogeológie PRIF UK Bratislava, 117 s.

Kullman, E. 1983: Režim podzemných vôd s turbulentným prúdením v puklinovo – krasovom horninovom prostredí. Geologické práce, Správy 79, ŠGÚDŠ Bratislava. 237-262.

Kullman, E. 1990: Krasovo – puklinové vody. ŠGÚDŠ Bratislava, 184 s.

Kullman, E. 2000: Nové metodické prístupy k riešeniu ochrany a ochranných pásiem zdrojov podzemných vôd v horninových prostrediach s krasovo – puklinovou priepustnosťou. Podzemná voda, VI ročník, č.2/2000, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava. 31-41.

Kullman, E., Petráš, I. 1977: Čiary vyčerpávania prameňov a ich využitie pre hydrogeologickú charakteristiku horninového prostredia. Geologické práce, Správy 67, GÚDŠ Bratislava. 211-235.

Kullman, E., Petráš, I. 1979: Výtokové pomery prameňov a ich vzťah k horninovému prostrediu. In: Zborník prác HMÚ Bratislava, Zv.13, Vydavateľstvo Alfa Bratislava, 308 s.

Kullman, E., Kullmanová, A., Biely, A., Vrana, K., Gašparíková, V. 1983: Zhodnotenie hydrogeologických pomerov mezozoika južných svahov Nízkych Tatier s ocenením prognóznych využiteľných množstiev podzemných vôd. Manuskript – archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 205 s.

Malík, P. 2005: Senzitivita podzemných vôd voči kontaminácii podľa výtokových čiar prameňov v oblasti Tlstej, JZ časť Veľkej Fatry. Podzemná voda XI/2005, č.1, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava. 36-48.

Malík, P. 2006: Assessment of regional karstification degree and groundwater sensitivity to pollution using hydrograph analysis in the Velka Fatra Mts., Slovakia. Water Resources and Environmental Problems in Karst. Environmental Geology (2007) 51. 707-711.

Malík, P. & Vojtková, S. 2006: Hodnotenie zraniteľnosti hydrogeologickej štruktúry Dolný vrch v Slovenskom krase na základe režimu výdatnosti krasových prameňov. Podzemná voda XII./2006 č. 1, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava. 27-38.

Švasta, J. & Malík, P. 2006: Priestorové rozloženie priemerných efektívnych zrážok na území Slovenska. Podzemná voda XII./2006 č. 1, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava. 65-77.

CHARACTERISTICS OF RECESSION CURVES OF SPRINGS ON THE SOUTHERN SLOPES OF THE NÍZKE TATRY MTS.

SUMMARY

Nízke Tatry Mts. form a dominant geomorphologic structure in the centre of Slovak Republic, ranging 80 km from west towards east in a width of 17 to 30 km from south to north. Its average altitude of 1090 m a.s.l., with the highest peak Ďumbier (2048 m a.s.l.) gives also a possibility of high effective rainfall, reaching maximum 1000 mm and average of 606 mm. An important role there plays also fact, that both on northern and southern rim of this mountain range huge Triassic carbonate rocks are outcropping, thus forming important regional aquifers. From these, groundwater outflows in huge amounts concentrated in important karstic springs, quantitatively monitored by Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) since 1970s. Also other spring type, bound to crystalline core of the mountains, was observed in some cases. In total, 281 recession curves from 33 gauged springs were analyzed – 24 springs outflowing from Triassic carbonate rocks with 187 recession curves analyzed (results are shown in Tabs 1 and 2) and 9 springs outflowing from crystalline hard rocks with 94 recession curves analyzed (results shown in Tabs 3 & 4). The area of the southern slopes of the Nízke Tatry Mts. with the position of individual springs is shown on Figs. 1 – 3.

The spring discharge recession curve (depletion hydrograph) enables to assign the individual laminar and turbulent sub-regimes that occur in the karst-fissure rock environment (Kullman and Petráš 1977, 1979, Kullman 1983, 1990). From the differences in character of individual recession curve, the degree of rock disruption and karstification can be estimated. The whole groundwater circulation regime described by the superposition of laminar sub-regimes exponential equations and of turbulent sub-regimes linear equations can be then used in assessment of the anticipated possibility of absorption, attenuation and self-purification processes during the groundwater penetration through the rock environment. The extent of natural protection that is provided by the rock environment to groundwater accumulated – reciprocal value of groundwater sensitivity to pollution (groundwater vulnerability) can be displayed by 10 degrees defined by Kullman (2000) and reclassified by Malik (2005, 2006). The same scale shows also the degree of rock disruption and karstification of rock environment present in the spring's recharge area.

In the Mesozoic and crystalline rock environment in the southern slopes of the Nízke Tatry mountains (Tab. 5) the rock disruption values were ranging from 2,0 to 9,0 degrees of the 10-degree scale. After assignment of evaluated springs to particular rock types (Tab. 6), highest rock disruption / karstification rating is linked to gutenstein limestones, hauptdolomites and rauwacks. In the case of gutenstein limestones the median value from 6 analyzed springs (5,0; range of values 4,3 – 8,0) is in good coincidence with he results from the same rock type in the Tlstá hydrogeological structure (Veľká Fatra Mts., Central Slovakia) with the same value of 5,0 (Malík, 2005, 2006). Regime of groundwater flow there is mostly created by superposition of sub-regimes with turbulent flow and sub-regimes with laminar flow. Substantial role in groundwater discharge has a sub-regime with laminar flow. Rock environment is characterized by prevalence open karstic and non-karstic fissures in the waterlogged karst-fissure. The lower rock disruption / karstification was found in ramsau dolomites (3,6; range of values 2,5 – 5,0), choč dolomites (3,3; range 2,0 – 5,0), and limestones dolomites and cherty limestones (3,3; range of values 2,3 – 4,3). Mostly only a laminar groundwater flow was present in the recession curves, usually a combination of two or more laminar sub-regimes characterized by different discharge coefficient. Presence of turbulent flow sub-regimes was rare.

In the case of the hydrogeological structure of the area between Podbrezová, Krpáčovo, Jasenie and Lopej, an important drainage function of the Vajskovská dolina fault system, defined by Kullman (1983, 1990) was confirmed. The degree of rock disruption was ranging from 4,0 to 5,5 with the median value of 5,0 in the case of five springs placed on this fault line, while those, placed out from this drainage element within the main structure body – the "third" hydraulic system, defined by Kullman (1983, 1990) – were characterized by rock disruption values of 2,0 to 2,7 (median 2,5).

Similar slow groundwater circulation characterized by laminarity of sub-regimes present, was found in the case of springs from crystalline rocks – mostly gneisses. In the case of 7 analyzed springs, the rock disruption was linked to degrees in the range of 2,0 to 4,0, with median of 2,7. This is similar to those values from bodvasilas slates of 3,0 (median resp. individual values of 2,3 and 3,7), reported from the Dolný vrch area (Slovenský Kras, on the south of Slovakia) by Malík and Vojtková (2006). This rock environment is – like crystalline – considered as hydrogeological massive, with permeability bound to the uppermost zone of subsurface loosening. In the case of mine waters from crystalline (No. 1319 Dedičná štôla in Dolná Lehota and No. 1204 Rybáreň in Šumiac), the presence of turbulent sub-regimes revealed the karst-like nature of rock environment, caused by human mining activities. This also means, that the applied methodology enables reliable characterization of rock disruption degree,

and the resulting extent of natural protection provided by the rock environment to accumulated groundwater, and is applicable also in other rock media than karstified carbonates.