HYDROGEOLÓGIA A HYDROGEOCHÉMIA SPIŠSKEJ MAGURY

Ján Jetel

Geologický ústav D. Štúra Bratislava, pracovisko Košice, Werferova 1, 040 11 Košice

HYDROGEOLOGY AND HYDROGEOCHEMISTRY OF THE SPIŠSKÁ MAGURA MTS. (NORTH SLOVAKIA)

The region of Spišská Magura Mts. is built of flysch rocks of the Innercarpathian Paleogene. Groundwater circulates mainly in near-surface zone and in tectonically predisposed fractured zones. The main factor controlling spatial distribution of permeability is the exponential decrease of mean permeability with depth. Increase of mean permeability in tested intervals of wells with increasing proportion of sandstones displays only at considerable predominance of sandstones. Waters of Na-HCO_3 type in deeper parts of Paleogene contain high concentrations of H_2S, NH_4 and organic matter. Mean rate of groundwater recharge ranges to 1 460 $l.s^{-1}$, e.i. 3.66 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Exploitable groundwater amount in Paleogene sediments was estimated at 94 $l.s^{-1}$.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

hydrogeologický objekt, hydrodynamicé skúšky, prietočnosť, priepustnosť, odtokové pomery, merný podzemný odtok, využiteľné množstvo podzemnej vody

ÚVOD

V rokoch 1991-1993 vykonal Geologický ústav D. Štúra regionálny hydrogeologický výskum Spišskej Magury. Výsledky výskumu podrobne prezentujú Jetel et al. (1993). Rozsah územia (obr.1) sa v podstate zhoduje s geomorfologickým celkom Spišskej Magury, zahŕňa však navyše Ždiarsku brázdu, s. okraj Popradskej kotliny a z. výbežok Ľubovnianskej kotliny. Celková plocha územia je 399 km^2.

Výška hlavného hrebeňa Spišskej Magury sa pohybuje okolo 1 000 m n.m., viaceré vrcholy prevyšujú úroveň 1 100 m n.m. Najvyšším bodom je Repisko (1258m) na Z od Ždiaru, najvyšším bodom v. úseku je Veterný vrch (1112 m n.m.). Celé územie patrí do hlavného povodia Dunajca (3-01), u nás označovaného ako povodie Popradu. Územie na S od hlavného hrebeňa sa odvodňuje do čiastkového povodia Dunajca (3-01-01), j. časť územia do čiastkového povodia Popradu (3-01-03).

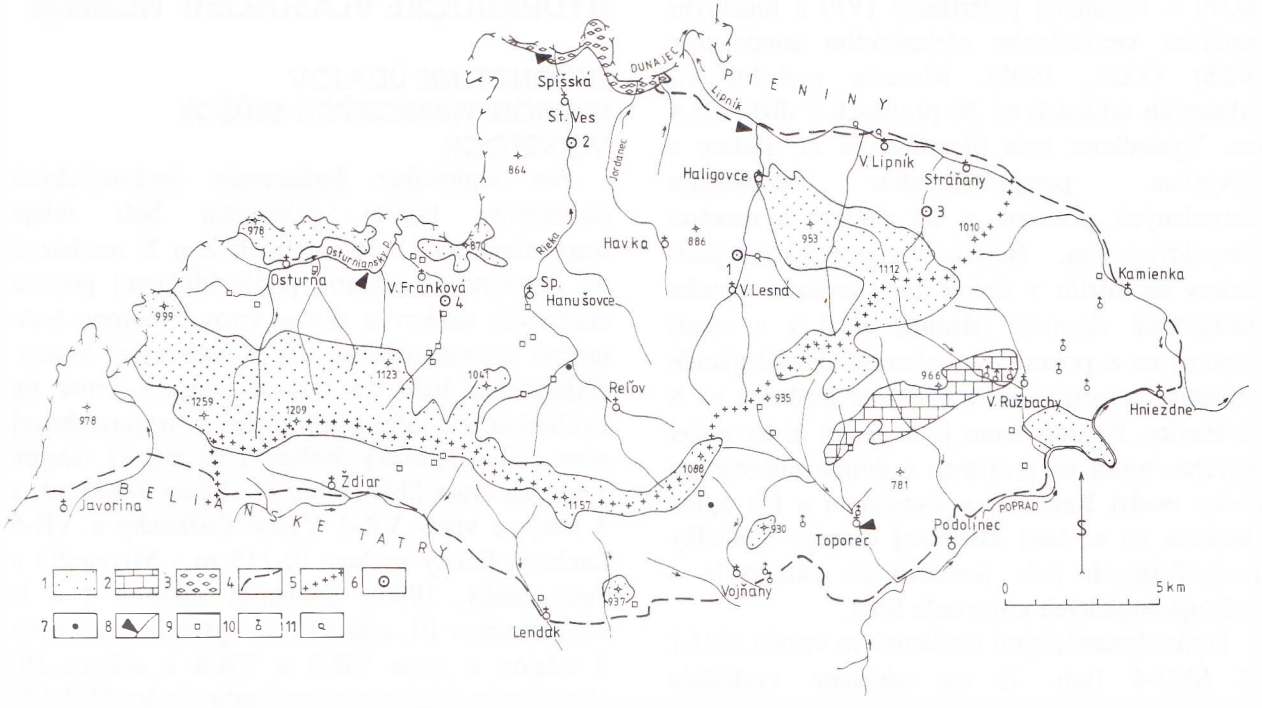
Priemerné ročné teploty vzduchu sa v rokoch 1931-1960 pohybovali zväčša medzi 5 a 6°C, priemerné ročné úhrny zrážok (1931-1960) sú najvyššie pri úpätí Belianskych Tatier pri Ždiari (vyše 1 200 mm), najnižšie zrážkové úhrny pod 800 mm má dolná časť Staroveskej kotliny, doliny Dunajca a Lipníka, Ružbašské predhorie a dolina Popradu.

V hydrogeologickej rajonizácii predstavuje skúmané územie z. časť rajóna PQ 141 Paleogén Spišskej Magury, Ľubovnianskej vrchoviny, sz. časti Spišsko-šarišského medzihoria a Pienín. Súčasťou však nie sú čiastkové rajóny Pienín a náplavov Popradu.

Prehľadné geologické zhodnotenie s. a v. časti územia podali Nemčok et al. (1990), kde sa uvádza aj prehľad starších prác. Z hydrogeologických prác treba spomenúť vysvetlivky k hydrogeologickej mape 1:200 000 (Zakovič, 1974, Hanzel et al., 1974) a registráciu prameňov Halušku (1973). Cenný aktuálny prehľad podal Halečka (1990, 1991). Časť územia bola predmetom práce Cibuľku (1992). Podrobný prehľad starších prác o hydrogeológii územia vrátane minerálnych vôd Vyšných Ružbách podáva Jetel et al. (1993).

GEOLOGICKÁ STAVBA

Súhrnný prehľad o území najnovšie podal Nemčok (1993). Dominantné postavenie tu majú sedimenty centrálnokarpatského paleogénu, ohraničené na JZ mezozoikom Belianskych Tatier a na SV bradlovým pásmom. V jv. časti územia vystupuje v s. a z. okolí Vyšných Ružbách tektonicky ohraničené mezozoikum ružbašského ostrova. Bazálna litofácia paleogénu (borovské súvrstvie) sa vyskytuje iba ako zvyšky na striedajúcich sa s ílovcami. Najmladším členom paleogénu sú flyšové sedimenty s prevahou strednozrnných až hrubozrnných pieskovcov, odpovedajúce pravdepodobne bielopotockým pieskovcom. Budujú hlavný hrebeň pohoria (obr. 1). Nemčok (1993) ich radí k spodnému oligocénu. Stavbu územia charakterizuje monoklinálne uloženie s približne v.-z. smerom osí vrás s miernym úklonom k S. Systém kompresných porúch smeru SV-JZ sa stýka s extenznými poruchami smeru SZ-JV, stáčajúcimi sa do smeru



Obr. 1: Skúmané územie a situácia hydrogeologických objektov

1 - pieskovcová litofácia (bielopotocké súvrstvie - paleogén), 2 - ružbašské mezozoikum (trias, jura, krieda). 3 - fluviálne štrky v nive Dunajca (kvartér), 4 - hranica skúmaného územia, 5 - rozvodnica, 6 - výskumné vrty SMJ-1, -2, -3, -4, 7 - hlboké vrty VR-6 pri Vojňanoch a VR-7 pri Reľove, 8 - stanica merania povrchových prietokov, 9 - významný zachytený prameň, 10 - uhličitý minerálny prameň, 11 - sírny minerálny prameň. Pozn.: Nevyšrafované plochy vnútri hraníc skúmaného územia odpovedajú šambronským vrstvám (paleogén)

Fig. 1: The studied area and the sites of hydrogeological objects.

1 - sandstone lithofacies (Biely Potok Formation - Paleogene), 2 - the Mezozoic of Vyšné Ružbachy (Triassic, Jurassic, Cretaceous), 3 - fluvial gravels in the flood plain of the Dunajec River, 4 - the boundary of studied area, 5 - watershed divide, 6 - research boreholes SMJ-1, -2, -3, -4, 7 - deep boreholes VR-6 near Vojňany and VR-7 near Reľov, 8 - streamflow gage station, 9 - important spring catchment, 10 - carbon-dioxide mineral spring, 11 - hydrogen-sulfide mineral spring.

mezozoiku ružbašského ostrova a na s. úpätí Belianskych Tatier (zlepence s blokmi mezozoických hornín). Dominujúcim litotypom paleogénu územia sú šambronské vrstvy (vrchný eocén), tvorené flyšovými turbiditmi s prevahou jemnozrnných pieskovcov a prachovcov SSV-JJZ (najvýznamnejším predstaviteľom je haligovské pásmo, predisponujúce priebeh Lesnianskeho potoka medzi Veľkou Lesnou a Haligovcami). Rastúci úklon vrstiev a ich horizontálna deformácia na SV územia svedčí o zóne kompresie v blízkosti bradlového pásma.

POUŽITÁ METODIKA

Hlavnými použitými metódami boli geofyzikálne metódy, hydrogeologické vrty, hydrogeologické mapovanie, spracovanie a zhodnotenie archívnej dokumentácie starších prác, režimové sledovanie povrchových tokov a zostavenie hydrogeologickej mapy v mierke 1:50 000.

Cieľom geofyzikálnych prác bolo určenie miest zvýšenej priepustnosti vhodných na situovanie hydrogeologických vrtov. Bola použitá kombinácia symetrického odporového profilovania (SOP) a vynútenej polarizácie (VP) s lokálnym použitím vertikálneho elektrického sondovania (VES) (Tkáč, 1992). Merania prebehli vo vybraných dolinách na 30 profiloch v dĺžke 65,4 km. Výsledkom bola identifikácia 21 úsekov s najvyššou perspektívnosťou zastihnutia sústredených prítokov a 34 úsekov s menšou perspektívnosťou. Najviac najperspektívnejších úsekov sa zistilo v doline Lesnianskeho potoka (haligovské zlomové pásmo), ďalej v s. okolí Toporca na z. pokračovaní zlomov ohraničujúcich ružbašské mezozoikum a v doline Jordanca na S od Havky. Naproti tomu je nápadný nízky počet takýchto miest na profiloch v doline Staroveskej Rieky medzi Reľovom a Dunajcom a ich úplná absencia vo v. časti Ždiarskej brázdy. Výsledky geofyzikálnych prác poslúžili na situovanie 4 hydrogeologických vrtov radu SMJ.

Hydrodynamickými skúškami vo vrtoch SMJ-1 až SMJ-4 (tab. 1) sa oddelene vyskúšala najvrchnejšia časť pripovrchovej zóny (prípadne spolu s nevýznamnými kvartérnymi kolektormi) do hĺbky okolo 10 m, hlavná časť pripovrchovej zóny (zhruba v hĺbkach od 10 m do 50-60 m) a hlbšie partie od hĺbky okolo 50-60 m do konečnej hĺbky 150-200 m. Na hodnotenie hydraulických vlastností hornín z hydrodynamických skúšok sa použili dva druhy údajov. Z vrtov nášho výskumu (tab. 1) sa získali hodnoty koeficientov filtrácie a prietočnosti priamo interpretáciou neustáleného prúdenia pri odberových a stúpacích skúškach (metóda priamky). Dokumentácia starších vrtov dovolila iba stanovenie aproximatívnych parametrov - indexu priepustnosti Z a indexu prietočnosti Y - z údajov o mernej výdatnosti. Použitú metodiku regionálneho hodnotenia geohydraulických parametrov opisuje Jetel (1985ab, 1993, 1995b).

Po dobu dvoch hydrologických rokov od 1. 11. 1991 do 31. 10. 1993 sa na 4 meracích objektoch sledovali stavy hladín v povrchových tokoch (obr. 1) a im odpovedajúce prietoky v denných alebo týždenných intervaloch. Na zostavenie mapy v mierke 1:50 000 sme použili metodiku GÚDŠ (Malík - Jetel, 1991) s aplikáciou podrobne opísanou v záverečnej správe (Jetel et al., 1993).

HYDRAULICKÉ VLASTNOSTI HORNÍN

ZHODNOTENIE ÚDAJOV HYDRODYNAMICKÝCH SKÚŠOK VO VRTOCH

Pre regionálne hodnotenie hydraulických parametrov hornín paleogénu boli údaje o aproximatívnych parametroch Z a Y rozdelené do čiastkových súborov podľa hĺbkovej pozície skúšaných úsekov a druhu vrtov. Súhrnne bolo možné charakterizovať iba šambronské vrstvy. K dispozícii bolo 16 údajov starších vrtov na vyhľadávanie podzemnej vody v pripovrchovej zóne (súbor I, hĺbky úsekov 7-50 m), 11 údajov z nových vrtov SMJ (súbor II - hĺbky 8-200 m), a 3 údaje z vrtov VR-3 Vyšné Ružbachy a VR-6 Lacková (hĺbky úsekov 10-115 m - Mlynarčík a Petrivaldský, 1990). Spojením súborov I a II vznikol súbor III, súbor IV sa vytvoril pripojením 3 údajov z vrtov VR-3 a VR-6 k súboru III. Vypustením údajov z anomálneho úseku SMJ-1/C a SMJ-4/A vznikol súbor IIb, súbor IIp tvorí 7 údajov súboru II z pripovrchovej zóny. Súbory II, IIb, III a IV sú značne nehomogénne vzhľadom na veľmi rozdielne hĺbkové pozície úsekov. Pre pripovrchovú zónu šambronských vrstiev je najvýstižnejší súbor IIIp (23 údajov starších aj nových vrtov z úsekov v pripovrchovej zóne hlbokých 8-63 m).

Charakteristiky rozdelenia hodnôt Z a Y v jednotlivých súboroch uvádza tab. 2 a obr. 2. Podobne ako v iných flyšových komplexoch (Jetel, 1985c, 1991, 1992, 1994) potvrdilo sa aj v skúmanom území, že priemernú priepustnosť určuje predovšetkým hĺbková pozícia skúšaného úseku pod povrchom. Závislosť indexu priepustnosti Z od hĺbky H stredu skúšaného úseku

Vrt		Skúšaný objekt (m)	Q_{max} ($l.s^{-1}$)	s (m)	h_d (m)	T ($m^2.s^{-1}$)	k ($m.s^{-1}$)
SMJ-1	A	6,4 - 10,5	0,22	3,9	5,8	$2,6.10^{-5}$	$4,1.10^{-6}$
	B	9,6 - 54,7	0,60	19,4	22,4	$2,7.10^{-5}$	$6,0.10^{-7}$
Veľká Lesná	C	65,1 - 113,5	9,85	54,0	0,3 n	$3,8.10^{-4}$	(3.10^{-6})
		120,6 - 200,1					
	D	ako úsek C	11,11	41,6	12,7 n	$3,8.10^{-4}$	(3.10^{-6})
SMJ-2	A	0,0 - 15,2	0,04	5,1	5,9	$1,1.10^{-5}$	$7,6.10^{-6}$
	B	9,7 - 60,1	2,08	18,6	19,6	$7,6.10^{-5}$	$1,7.10^{-6}$
Spišská Stará Ves	C	62,8 - 111,5	2,80	31,2	31,1	$9,8.10^{-5}$	$1,1.10^{-6}$
		117,6 - 160,1					
		9,7 - 60,1	2,50	33,8	33,7	$1,7.10^{-4}$	$1,2.10^{-6}$
	D	62,8 - 111,5					
		117,6 - 160,1					
SMJ-3	A	8,2 - 52,9	3,33	31,0	31,0	$1,3.10^{-4}$	$2,7.10^{-6}$
		59,9 - 62,7					
Stráňany	B	64,0 - 156,1	1,00	58,7	54,2	$1,4.10^{-5}$	$1,5.10^{-7}$
		8,2 - 52,9	3,23	34,9	34,7	$1,4.10^{-4}$	$1,1.10^{-6}$
	C	59,9 - 62,7					
		64,0 - 156,1					
SMJ-4	A	0,00 - 8,1	0,50	6,4	7,2	$1,8.10^{-6}$	$2,5.10^{-7}$
	B	8,6 - 54,8	0,71	12,5	10,5	$2,3.10^{-4}$	$5,0.10^{-6}$
Veľká Franková	C	58,7 - 150,0	1,64	48,9	37,9	$5,1.10^{-5}$	$5,6.10^{-7}$
	D	8,6 - 54,8	1,48	46,5	42,5	$2,8.10^{-4}$	$2,1.10^{-6}$
		58,7 - 150,0					

Tab. 1: Vybrané údaje o skúšaných úsekoch vrtov SMJ.

Q_{max} = maximálna odoberaná výdatnosť pri odberových skúškach, s = zníženie odpovedajúce hodnote Q_{max}, h_d = hĺbka dynamickej hladiny pod terénom pri odbere Q_{max} T, k = prijaté hodnoty koeficienta prietočnosti a koeficienta filtrácie, n. pri hodnote h_d = výška dynamickej hladiny nad terénom hodnota v zátvorke je fiktívna hodnota vztiahnutá na celý otvorený úsek, v ktorom sú však prítoky sústredené iba do obmedzených intervalov.

Pozn.: Hodnoty Y a Z neboli odvodené z Q_{max}, ale z hodnôt nameraných pri iných depresiách.

Tab. 1: Selected data on tested intervals of the wells SMJ

Q_{max} - maximum with drawn discharge during aquifer tests, s - drawdown corresponding to Q_{max}, h_d - dynamic water-level depth below ground surface corresponding to Q_{max}, T and k - accepted values of transmissivity and hydraulic conductivity, n. at h_d - dynamic water-level elevation above ground surface corresponding to Q_{max}. The value of k in brackets is a fictitious value related to total length of open interval without regard to local concentration of real inflows.

Note: The values of Z and Y were not calculated from Q_{max} but from values measured at other drawdowns.

charakterizuje tab. 3. Exponenciálny pokles priemernej priepustnosti s hĺbkou má pritom odlišný priebeh v rôznych hĺbkových intervaloch. Pokles v malých hĺbkach je výrazne rýchlejší - s väčšou absolútnou hodnotou regresného koeficientu b pre lineárne rovnice typu

Z = a + bH a koeficientu exponenciálneho poklesu A v rovniciach typu $k(H) = k_0 \exp(-AH)$ (Jetel, 1995a) ako vo väčších hĺbkach (k = koeficient filtrácie). Tak pre hĺbky do 20 m v šambronských vrstvách opisuje tento pokles vzťah

$$Z(H) = 4,75 - 0,0666\ H \quad (r = -0,64), \quad (1)$$

kým napr. pre súbor IIb v rozsahu hĺbok H = 20-100 m vychádza optimálne vyjadrenie

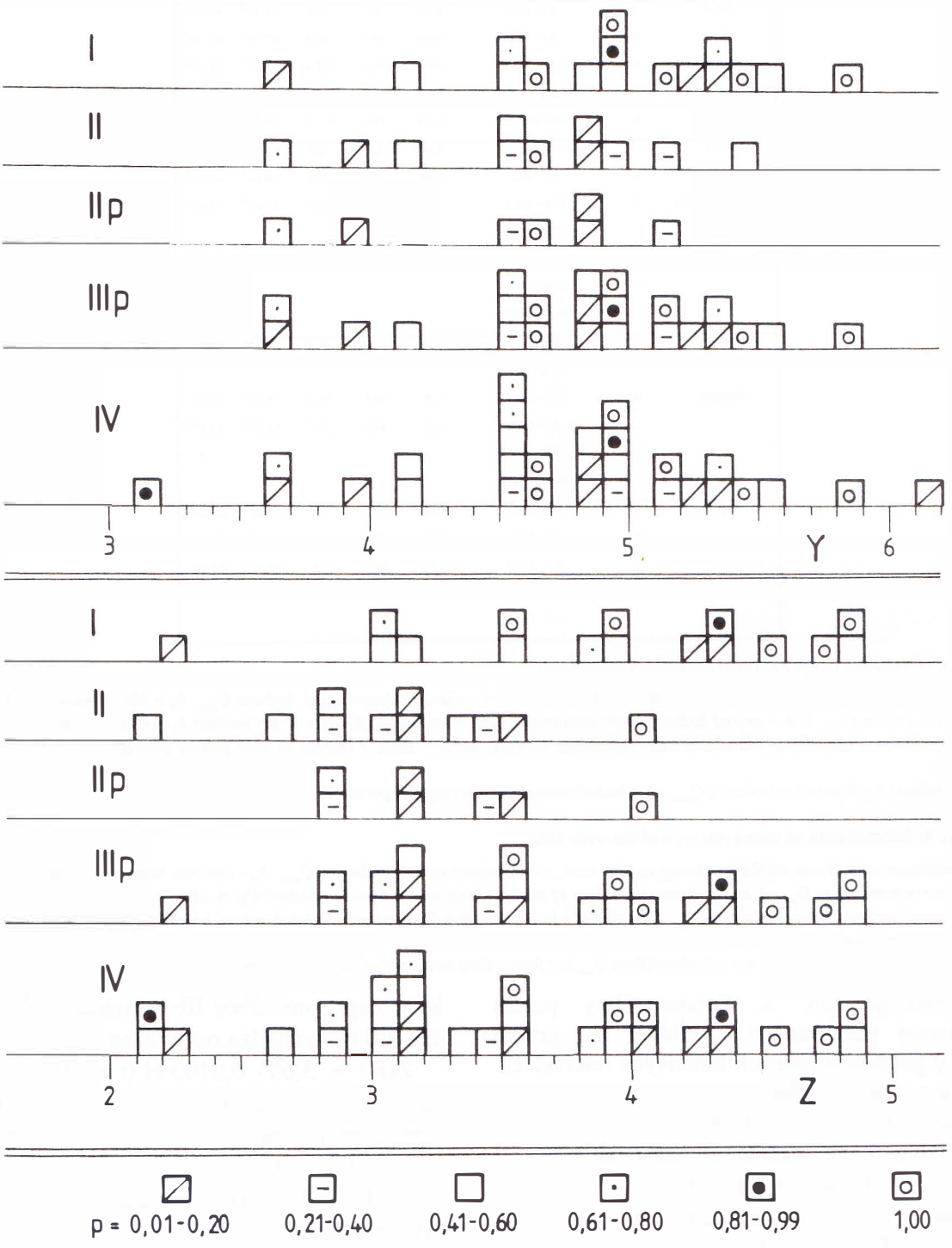
$$Z(H) = 3,65 - 0,0103\ H \quad (r = -0,75). \quad (2)$$

Závislosť priamo stanovených hodnôt koeficientu filtrácie k zo súboru IIb (vrty SMJ) opisuje rovnica

$$k(H) = 4,80.10^{-6} \exp(-2,26.10^{-2}\ H) \quad (3)$$

(H v metroch, k v $m.s^{-1}$).

V ďalšom sme podrobili korelačno - regresnému rozboru vzťah medzi priepustnosťou a litológiou, vyjadrený ako závislosť indexu priepustnosti Z od pomeru p sumárnej hrúbky pieskovcov a zlepencov k celkovej dĺžke



Obr. 2: Index prietočnosti Y a index priepustnosti Z v šambronských vrstvách

p - podiel pieskovcov a zlepencov na celkovej dĺžke otvoreného úseku vo vrte. Vymedzenie súborov I - IV je uvedené v texte.

Fig. 2: Transmissivity index Y and permeability index Z in the Šambron Beds.

p - the proportion of sandstones and conglomerates in the total length of tested open interval in the well. The data sets I - IV are defined in the text.

Súbor	Y_{min}	Y_{max}	Md(Y)	M(Y)	s_Y	Z_{min}	Z_{max}	Md(Z)	M(Z)	s_Z
I	3,68	5,81	5,00	4,97	0,544	2,22	4,89	3,93	3,88	0,764
II	3,70	5,48	4,68	4,62	0,527	2,16	4,07	3,14	3,13	0,508
IIp	3,70	5,15	4,68	4,53	0,516	2,87	4,07	3,20	3,32	0,424
III	3,68	5,81	4,89	4,83	0,555	2,16	4,89	3,51	3,57	0,761
IIIp	3,70	5,57	4,89	4,83	0,564	2,22	4,89	3,56	3,71	0,720
IV	3,16	6,13	4,86	4,81	0,657	2,16	4,89	3,49	3,53	0,775

súbor	I	II	IIp	III	IIIp	IV
n	16	11	7	27	23	30
M(H)	13	54	22	30	16	30

Tab. 2: Charakteristiky rozdelenia zistených hodnôt indexu prietočnosti Y a indexu priepustnosti Z v skúšaných úsekoch šambronských vrstiev paleogénu Spišskej Magury.

Y_{min}, Z_{min}, Y_{max}, Z_{max} = minimálna a maximálna zistená hodnota indexu Y a Z, Md(Y), Md(Z) = medián hodnôt Y a Z, M(Y), M(Z) = aritmetický priemer hodnôt Y a Z, s_Y a s_Z = odhady smerodajnej odchýlky základného súboru hodnôt Y a Z odvodené zo zistenej smerodajnej odchýlky výberového súboru, n = počet údajov, M(H) = aritmetický priemer hĺbok stredu skúšaného úseku (m). Jednotlivé súbory sú definované v texte.

Tab. 2: The distribution characteristics of transmissivity index Y and permeability index Z in tested intervals of the Šambron Beds (Paleogene - Spišská Magura Mts.).

Y_{min}, Y_{max}, Z_{min}, Z_{max} - respective minimum and maximum value, Md(Y) and Md(Z) - respective median, M(Y) and M(Z) - respective arithmetic mean, s_Y and s_Z - the standard deviation of general population estimated from sample standard deviation, n - number of data, M(H) - arithmetic mean of depth of middle point in tested interval. The sets I - IV are defined in the text.

Súbor	n	r	a	b	P (%)	R(H) (m)	M(H) (m)
I	16	-0,640	4,75	-0,0666	>95	4 - 27	13
II	11	-0,437	3,38	-0,0047	>82	4 - 133	54
IIb	9	-0,754	3,65	-0,0103	>95	8 - 111	51
III	27	-0,505	3,89	-0,0107	>95	4 - 133	50
IIIp	23	-0,536	4,29	-0,0366	>95	4 - 35	16
IV	30	-0,391	3,79	-0,0087	>95	4 - 133	30

Tab. 3: Závislosť indexu priepustnosti Z od hĺbky H stredu skúšaného úseku vo vrte, vyjadrená regresnou rovnicou Z(H) = a + bH.

n = počet údajov, r = výberový koeficient lineárnej korelácie, a = lokujúca regresná konštanta, b = regresný koeficient (m^{-1}), P = štatistická istota existencie korelačného vzťahu daná vzťahom P = 100(1 - α), kde = hladina významnosti, R(H) a M(H) = rozpätie a aritmetický priemer hodnôt H (v metroch). Identifikácia súborov je uvedená v texte.

Tab. 3: The relationship between permeability index Z and depth H of middle point in tested interval expressed by regression equation Z(H) = a + bH.

n - number of data, r - sample coefficient of linear correlation, a - regression constant, b - regression coefficient (m^{-1}), P - statistical confidence of linear correlation defined as P = 100(1 - α), where = significance level, R(H) and M(H) - range and arithmetic mean of H-values (m). The sets I - IV are defined in the text.

skúšaného otvoreného úseku. Výsledky s parametrami lineárnych regresných rovníc uvádza tab. 4. Na rozdiel od paleogénu Hornádskej kotliny (Jetel a Vranovská, 1990) a väčšiny ďalších regiónov centrálnokarpatského paleogénu a flyšového pásma (Jetel et al., 1990) sa v Spišskej Magure prejavuje určitá pozitívna korelácia medzi priepustnosťou a podielom pieskovcov, ktorú naznačuje už obr. 2. Štatistická významnosť korelačného vzťahu medzi Z a p sa so štatistickou istotou vyššou ako 95 % preukázala pre súbory III a IIIp. Pre súhrnný súbor z pripovrchovej zóny (IIIp) vyjadruje tento vzťah pri koeficiente lineárnej korelácie r = 0,454 regresná rovnica

$$Z(p) = 3{,}18 + 0{,}968\ p. \quad (4)$$

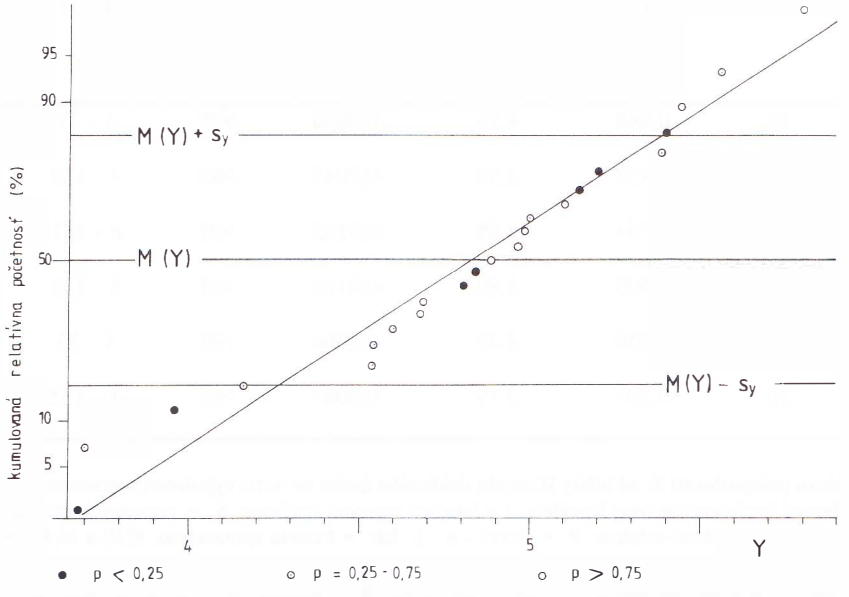
Súbor	n	r	a	b	P (%)	R(p)	M(p)
I	16	0,375	3,32	0,885	92	0,13 - 1,00	0,63
II	11	0,209	-	-	46	0,17 - 1,00	0,41
IIb	9	0,250	-	-	48	0,17 - 1,00	0,37
IIp	7	0,412	3,09	0,559	68	0,17 - 1,00	0,40
III	27	0,440	2,98	1,092	>95	0,13 - 1,00	0,54
IIIp	23	0,454	3,18	0,968	>95	0,13 - 1,00	0,57
IV	30	0,300	3,12	0,753	89	0,13 - 1,00	0,55

Tab. 4: Závislosť indexu priepustnosti Z od podielu pieskovcov p na celkovej dĺžke otvoreného úseku, vyjadrená regresnou rovnicou Z(p) = a + bp.

b = regresný koeficient (bezrozmerný), R(p) a M(p) = rozpätie a aritmetický priemer hodnôt p. Ostatné symboly ako v tab. 3.

Tab. 4: The relationship between permeability index Z and the proportion p of sandstones and conglomerates in total length of tested interval expressed by regresion equation Z(p) = a + bp.

b - regresion coefficient (dimensionless), R(p) and M(p) - range and arithmetic mean of p-values. Other symbols - see Tab. 3.



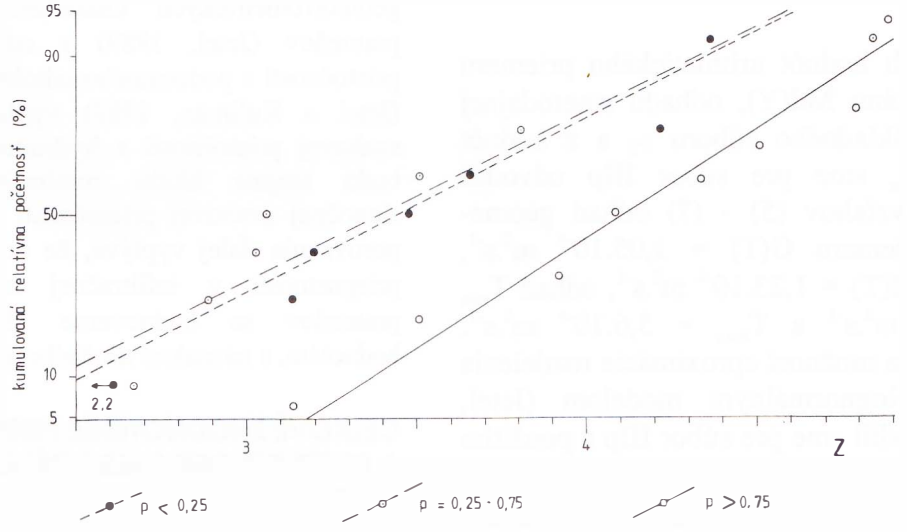
Obr. 3. Rozdelenie hodnôt indexu prietočnosti Y v pripovrchovej zóne šambronských vrstiev (súbor IIIp). M(Y) - aritmetický priemer hodnôt Y, s_Y - smerodajná odchýlka, p - ako na obr. 2.

Fig. 3: The distribution of transmissivity index Y in the near-surface zone of the Šambron Beds (set IIIp). M(Y) - arithmetic mean of Y-values, s_Y - standard deviation, p - see Fig. 2

Na obr. 3 je nápadné obmedzenie výskytu údajov z úsekov s výraznou prevahou pieskovcov (nad 75 %) iba na pravú časť grafu (Y>4,7). Na obr. 4 sú oddelene zobrazené 3 podsúbory podľa hodnoty p, ktorých charakteristiky podáva tab. 5. Z porovnania charakteristík a z obr. 4 je prejav pozitívneho vplyvu prevahy pieskovcov na výrazne vyššiu priepustnosť v pripovrchovej zóne šambronských vrstiev nesporný. Je zaujímavé, že sa výrazne uplatňuje až pri značnej prevahe pieskovcov, kým pri hodnotách p menších ako 0,75 sa rozdiely v priepustnosti medzi podsúborom s podielom 25 - 50 % a podsúborom s veľmi nízkym podielom pieskovcov neprejavujú. Tento poznatok je významný pre metodiku ďalšieho výskumu vzťahov priepustnosti a litológie. Nízku štatistickú významnosť korelácie Z = f(p) v súboroch I, IIp, IV a jej absenciu v súboroch II a IIb možno vysvetliť skresľujúcim efektom rozdielov v hĺbkovej pozícii.

Keďže z vrtov SMJ sú popri hodnotách Z k dispozícii aj priamo stanovené hodnoty koeficientu k, skúmali sme aj koreláciu medzi logaritmickou transformáciou Z_k (Jetel, 1985a, 1995b) a podielom p. Aj keď išlo o údaje s najvyššou spoľahlivosťou určenia podielu p, stanoveného podrobným štúdiom vrtných jadier, korelácia sa tu nepotvrdila a výberové korelačné koeficienty mali dokonca záporné hodnoty (II: -0,20, IIp: -0,24).

Z charakteristík distribúcie hodnôt Z a Y sme známym postupom (Jetel, 1985ab, 1993, 1995b) odvodili odhady príslušných charakteristík



Obr. 4: Rozdelenie hodnôt indexu priepustnosti Z v pripovrchovej zóne šambronských vrstiev (súbor IIIp). p - ako na obr. 2.
Fig. 4: The distribution of permeability index Z in the near-surface zone of the Šambron Beds (set IIIp). p - see Fig. 2.

p	n	Md(Z)	M(Z)	s_z
do 0,25	7	3,48	3,46	0,722
0,26 - 0,75	7	3,06	3,40	0,745
nad 0,75	9	4,07	4,12	0,577

Tab. 5: Charakteristiky rozdelenia hodnôt indexu priepustnosti Z v troch podsúboroch súboru IIIp, vymedzených podľa podielu pieskovcov p. Symboly ako v tab. 2.
Tab. 5: The distribution characteristics of permeability index Z divided according to proportion p of sandstones (see Tab. 2 and Tab. 4).

rozdelenia hodnôt koeficientu filtrácie k a prietočnosti T. Pritom sme použili zovšeobecnené hodnoty prepočtovej diferencie d, odvodené z regresného vzťahu d = f(Y) podľa skutočných zistených hodnôt d vo vybraných úsekoch vrtov SMJ. Ako optimálny variant približného vyjadrenia priemernej celkovej prepočtovej diferencie (Jetel, 1995b) pre bežné vrty v paleogéne daného regiónu sme odvodili nasledujúce odhady:

- pre pripovrchovú zónu

$$d = 0{,}05\ Y - 0{,}10 \quad (5)$$

- pre hlbšie úseky niže pripovrchovej zóny

$$d = 0{,}23\ Y - 0{,}91 \quad (6)$$

- priemerný odhad bez zreteľa na hĺbkovú pozíciu

$$d = 0{,}17\ Y - 0{,}63. \quad (7)$$

Zo zistených hodnôt aritmetického priemeru M(Y), mediánu Md(Y), odhadu smerodajnej odchýlky základného súboru s_Y a z hodnôt Y_{min} a Y_{max} sme pre súbor IIIp odvodili s použitím vzťahov (5) - (7) odhad geometrického priemeru G(T) = $1{,}05.10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$, mediánu Md(T) = $1{,}23.10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$, odhad T_{min} = $5{,}0.10^{-6}$ $m^2.s^{-1}$ a T_{max} = $5{,}6.10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$. Vzhľadom na možnosť aproximácie rozdelenia hodnôt T lognormálnym modelom (Jetel, 1985a) odvodili sme pre súbor IIIp s použitím Aitchisonovej a Brownovej funkcie Ψ (Jetel, 1985a) odhad matematickej nádeje lognormálne rozdelených hodnôt prietočnosti E(T) = $2{,}3.10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$. Obdobným postupom sme odvodili odhady charakteristík rozdelenia priemerného koeficientu filtrácie k skúšaných úsekov pripovrchovej zóny šambronských vrstiev G(k) = $8{,}0.10^{-6}$ $m.s^{-1}$, Md(k) = $5{,}8.10^{-6}$ $m.s^{-1}$, k_{min} = $1{,}7.10^{-7}$ $m.s^{-1}$, k_{max} = $1{,}2.10^{-4}$ $m.s^{-1}$ a E(k) = $2{,}5.10^{-5}$ $m.s^{-1}$.

95-percentný interval spoľahlivosti stanovenia geometrických priemerov G(T) a G(k) v pripovrchovej zóne šambronských vrstiev je daný medznými hodnotami G(T) = $5{,}5.10^{-5}$ - $2{,}1.10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$ a G(k) = $3{,}5.10^{-6}$ - $1{,}8.10^{-5}$ $m.s^{-1}$.

Charakteristiku hydraulických parametrov kvartérnych kolektorov náplavov Dunajca a ružbašského mezozoika podáva Jetel et al. (1993).

ODHADY PRIETOČNOSTI A PRIEPUSTNOSTI NEPRIAMYMI METÓDAMI

Vzhľadom na malý počet vrtov a ich nerovnomerné rozmiestnenie malo pri hodnotení Spišskej Magury značný význam využitie nepriamych metód odhadu priemernej prietočnosti a priepustnosti. Ich výsledky podrobne opisuje Jetel et al. (1993).

Porovnanie odhadov dnovej (dolinovej) prietočnosti (Jetel, 1990) podľa údajov o podzemnom odtoku metódou, ktorú opísali Jetel a Kullman (1989), naznačuje možnosť určitého nadhodnotenia oproti charakteristikám získaným z vrtov. Z porovnania odhadov priemernej priepustnosti podľa hydrochemických a geomorfometrických charakteristík zostupných prameňov (Jetel, 1989) s odhadmi svahovej prietočnosti z podzemného odtoku a reliéfu terénu (Jetel a Kullman, 1989) vyplýva, že odhady svahovej prietočnosti z hydrometrických údajov budú zrejme blízke minimálnym hodnotám skutočnej svahovej prietočnosti (Jetel, 1990). Z porovnania ďalej vyplýva, že odhady priemernej priepustnosti v infiltračnej zóne zostupných prameňov sa hodnoverne blížia skutočným hodnotám, s náznakmi možného podhodnotenia.

CELKOVÉ ZHODNOTENIE PRIETOČNOSTI A PRIEPUSTNOSTI PALEOGÉNU SPIŠSKEJ MAGURY

Komplexným zhodnotením informácií z hydrodynamických skúšok vo vrtoch a odhadov odvodených nepriamymi metódami sme dospeli k zovšeobecňujúcej charakteristike prietočnosti a priepustnosti hornín paleogénu Spišskej Magury. Prietočnosť dolinovej kategórie, charakterizujúca depresné časti územia s hladinou prvej zvodne blízko k povrchu (Jetel, 1990), je v najlepších prípadoch reprezentovaná hodnotami koeficientu prietočnosti T okolo 1.10^{-4} až 5.10^{-4} $m^2.s^{-1}$. Vyššie hodnoty sa vyskytujú ojedinele v niektorých úsekoch zlomových pásiem a predstavujú prietočnosť puklinových zón. Najčastejšie sú tu zvodnence s hodnotami dolinovej prietočnosti T = 4.10^{-5} - 1.10^{-4} $m^2.s^{-1}$. Priemerná svahová prietoč-

nosť je v najväčšej časti územia charakterizovaná hodnotami T v rozpätí 5.10^{-6} - 4.10^{-5} $m^2.s^{-1}$. Túto úroveň prietočnosti očakávame aj v hlbších častiach horninového masívu mimo dosahu puklinových zón.

Priemerné hodnoty koeficientu filtrácie sa v najlepšie priepustných najvrchnejších častiach pripovrchovej zóny pohybujú zhruba v rozpätí k = 1.10^{-5} - 3.10^{-5} $m.s^{-1}$. Väčšina priemerných hodnôt v pripovrchovej zóne má potom rozpätie k = 3.10^{-7}- 1.10^{-5} $m.s^{-1}$. V najhlbších častiach pripovrchovej zóny môžu priemerné hodnoty klesnúť pod k = 3.10^{-7} $m.s^{-1}$. V pieskovcovej litofácii paleogénu (bielopotockom súvrství) možno očakávať zhruba 2x až 3x vyššiu priemernú priepustnosť ako v šambronských vrstvách.

V porovnaní s obdobnými sedimentmi centrálnokarpatského paleogénu na bezprostredne priľahlom území Poľska sú zistené priepustnosti šambronských vrstiev v Spišskej Magure výrazne vyššie ako hodnoty, ktoré uvádzajú pre podhaliansky flyš Malecka a Murzynowski (1978). S výnimkou karbonátového eocénu je tam však takisto hlavným kolektorom paleogénu pripovrchová zóna (Chowaniec, 1991).

ODTOKOVÉ POMERY

Hlavným cieľom sledovania povrchových prietokov na staniciach Osturňa - Osturniansky potok (plocha 39,59 km^2), Spišská Stará Ves - Rieka (64,17 km^2), Haligovce - Lesniansky potok (31,93 km^2) a Toporec - Toporský potok (21,07 km^2) bolo stanovenie základného odtoku. Pre objektivizáciu výsledkov sme využili väčší počet interpretačných metód, pričom sme prijatú výslednú hodnotu stanovili ako priemer $Q_6 = [(Q_R + Q_F)/2 + Q_W + Q_C + 2Q_K + Q_{330}] / 6$, (8) kde Q_R a Q_F sú hodnoty základného odtoku získané analýzou hydrogramu podľa Riggsa (1953) - pozri tiež Balco (1990) - a podľa Fostera (1948), Q_W = aritmetický priemer mesačných miním (Wundt, 1958), Q_C = aritmetický priemer denných prietokov v slede 30 dní z obdobia minimálnych prietokov (Castany et al., 1970), Q_K = stanovenie podľa Killeho (1970), Q_{330} = 330-denná voda. Podrobnú analýzu použitých údajov a postupov podáva Jetel et al. (1993), výsledné priemerné hodnoty základného odtoku uvádza tab. 6. Priemerný základný odtok z celej plochy územia, ktorý interpretujeme ako priemerný odtok podzemnej vody, bol pre sledované obdobie stanovený takto:

povodie Osturnianskeho potoka .. 211,4 $l.s^{-1}$
povodie Rieky ..... 251,5 $l.s^{-1}$
povodie Lesnianskeho potoka ..... 60,6 $l.s^{-1}$
povodie Toporského potoka ..... 50,1 $l.s^{-1}$
ostatné povodia (analógiou) ..... 887,0 $l.s^{-1}$

spolu po zaokruhleni 1460 $l.s^{-1}$. Túto hodnotu sme prijali ako prognózne prírodné zdroje podzemnej vody v skúmanom území. Odpovedá mernému odtoku podzemnej vody 3,66 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Nápadný je rozdiel medzi povodiami v z. časti územia (Osturniansky potok, Rieka) s merným podzemným odtokom q = 3,92 - 5,34 $l.s^{-1}.km^{-2}$ a v. časťou územia (1,90 - 2,38 $l.s^{-1}.km^{-2}$). Vysvetlenie týchto rozdielov (vyššie zrážky, vyšší podiel

Stanica	Q_6	q
Osturňa	211,4	5,34
Spišská Stará Ves	251,5	3,92
Haligovce	60,6	1,90
Toporec	50,1	2,38

Tab. 6: Odhady základného odtoku a merného podzemného odtoku z výsledkov sledovania prietokov na povrchových tokoch v rokoch 1992-1993

Q_6 = priemerný základný odtok v $l.s^{-1}$, stanovený podľa vzťahu (8), q = odpovedajúci merný podzemný odtok v $l.s^{-1}.km^{-2}$.

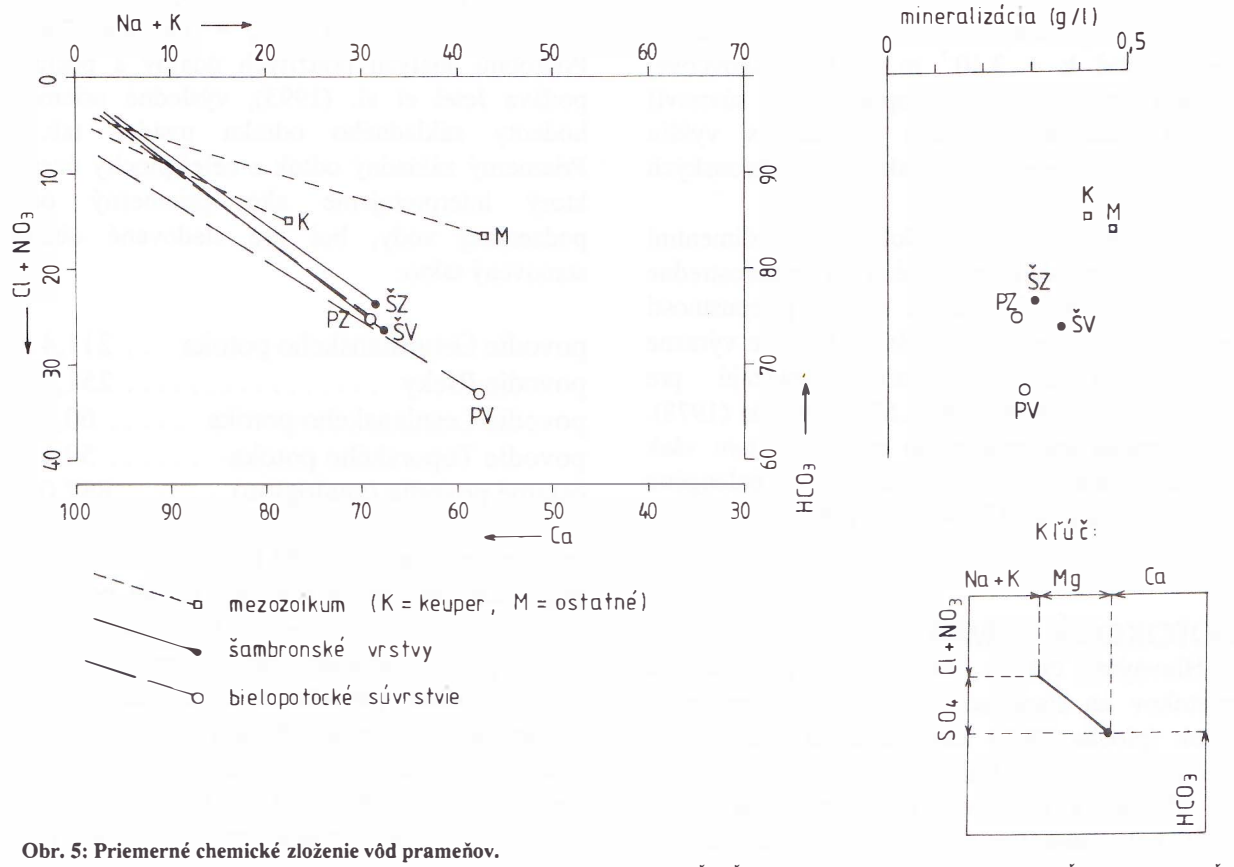
Tab. 6: The estimates of base flow and specific groundwater runoff derived from the results of streamflow monitoring during 1992-1993

Q_6 - mean base flow in litres per second calculated from Eq. 8, q - corresponding specific groundwater runoff, in litres per second per square kilometres.

bielopotockých pieskovcov) podáva Jetel et al. (1993). Za minimálny podzemný odtok z územia sme pre roky 1992-1993 prijali hodnotu 1090 $l.s^{-1}$. Odpovedá priemeru z hodnoty Q_R pre mesiac s najnižším základným odtokom a z Q_{355}.

Koeficient podzemného odtoku (podiel podzemného odtoku na celkovom množstve úhrne spadnutých zrážok) sa pohybuje od 6-9 % v povodí Lesnianskeho a Toporského potoka po 15-19 % v povodí Osturnianskeho potoka.

0,36 $g.l^{-1}$ v šambronských vrstvách (obr.5). Výrazne prevažuje typ C^{Ca}_{IIIa} a C^{Ca}_{II}, podľa molárnej klasifikácie (Jetel a Pačes, 1979) je najčastejšie zastúpená subfácia C-Ca-Mg, za ktorou nasleduje ako druhá subfácia C-Ca-S. V Gazdovej klasifikácii (Gazda, 1971) patria takmer všetky vody prameňov obyčajných vôd základnému typu Ca-(Mg)-HCO_3, s prevahou výrazného typu.



Obr. 5: Priemerné chemické zloženie vôd prameňov.

PV, PZ - bielopotocké súvrstvie vo východnej (PV) a západnej (PZ) časti územia, ŠV, ŠZ - šambronské vrstvy vo východnej (ŠV) a západnej (ŠZ) časti územia, K - keuper ružbašského mezozoika, M - ostatné členy ružbašského mezozoika. Schéma konštrukcie vektorového grafu je uvedená v pravej dolnej časti obrázku.

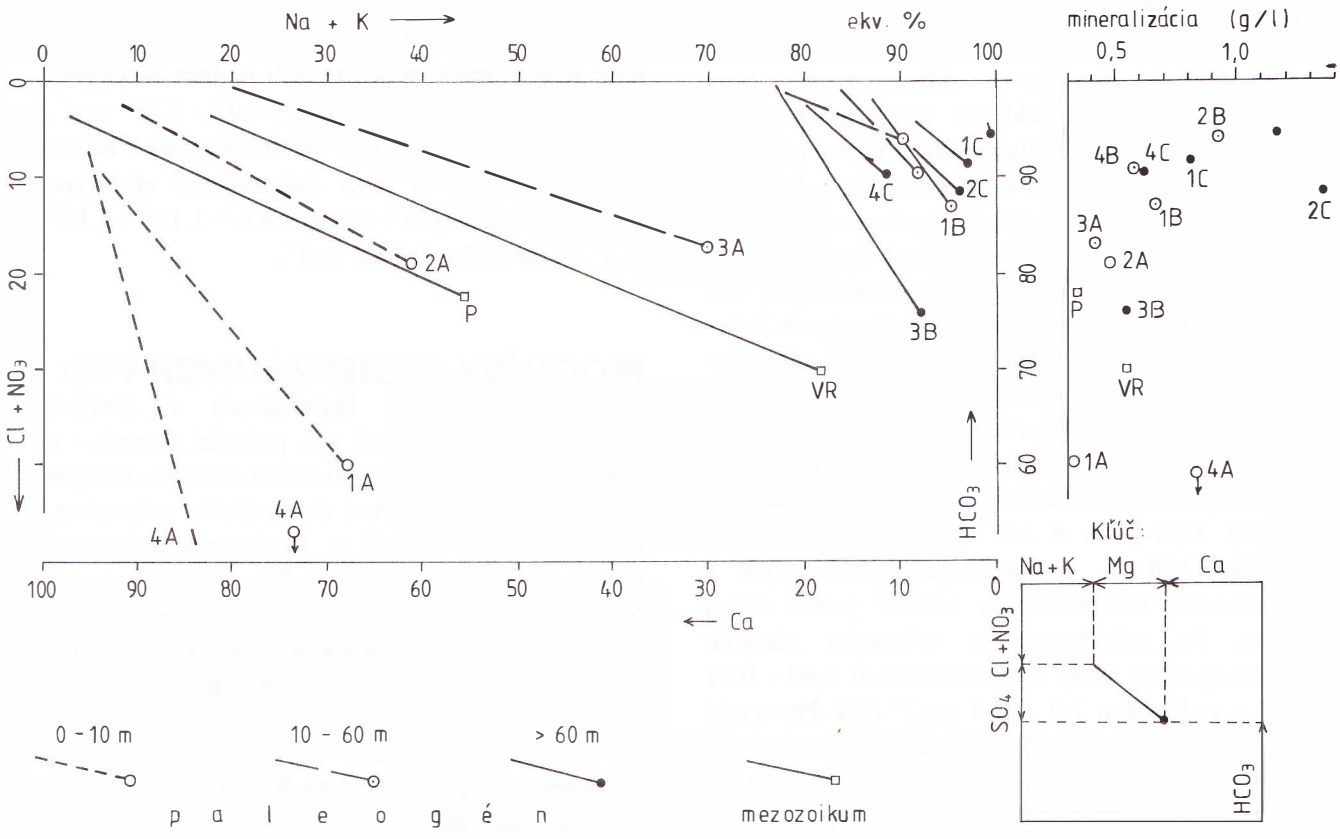
Fig. 5: Average chemical composition of spring waters.

PV, PZ - Biely Potok Formation in the eastern (PV) and western (PZ) part of the area, ŠV, ŠZ - Šambron Beds in the eastern (ŠV) and western (ŠZ) part of the area, K - Keuper Beds in the Mezozoic of Vyšné Ružbachy, M - other members of the Mezozoic of Vyšné Ružbachy. The scheme of vector graph construction is given in the lower right part of the figure.

CHEMICKÉ ZLOŽENIE A KVALITA PODZEMNÝCH VÔD

Celková mineralizácia vôd prameňov v horninách paleogénu Spišskej Magury vykazuje rozpätie 0,19 - 0,54 $g.l^{-1}$ so strednými hodnotami okolo 0,29 $g.l^{-1}$ v bielopotockom súvrství a okolo

Na zložení vôd z vrtov (obr. 6) možno sledovať vývoj vertikálnej zonálnosti. V najvrchnejšej časti pripovrchovej zóny (do hĺbky 8-10 m) boli v horninách paleogénu zastihnuté zväčša vody podzóny C^{Ca}_{II} s mineralizáciou 0,32 - 0,49 $g.l^{-1}$, spravidla v podobe typu C^{Ca}_{IIIa} a C^{Ca}_{II}, Gazdovho



Obr. 6: Chemické zloženie vôd z vrtov.

Paleogén: 1A - vrt SMJ-1, úsek A (obdobne aj 1B, 1C, 2A atď.). Mezozoikum: VR - vrt VR-3 Vyšné Ružbachy, P - vrt VR-4 Podolínec. Konštrukcia grafu ako na obr. 5.

Fig. 6: Chemical composition of water from wells.

Paleogene: 1A - well SMJ-1, interval A (analogously also 1B, 1C, 2A, etc.), Mezozoic: VR - well VR-3 (Vyšné Ružbachy), P - well VR-4 (Podolínec). Graph construction - see Fig. 5.

výrazného typu Ca-(Mg)-HCO_3, najčastejšie v subfácii C-Ca-Mg. Ojedinele sa v tomto pásme vyskytujú sulfátové vody typov S^{Ca}_{II} až S^{Ca}_{IV}. V hlbších partiách pripovrchovej zóny (10 - 60 m pod povrchom) boli zastihnuté vody podzóny C^{Ca}_{I} alebo hlbšej podzóny C^{Na}_{I}. Vody podzóny C^{Ca}_{I} vystupujú vo forme typov C^{Ca}_{I} a C^{Mg}_{I} s mineralizáciou 0,41 - 0,55 $g.l^{-1}$. Predstavujú subfáciu C-Ca-Mg a C-Mg-Ca a Gazdov výrazný typ Ca-Mg-HCO3. Vody podzóny C^{Na}_{I} zastihnuté v hĺbkach do 60 m patria výraznému typu Na-HCO_3 a subfácii C-Na-S a C-Na-Mg, s mineralizáciou 0,58 - 0,93 $g.l^{-1}$. Príznačná je prevaha Mg nad Ca: r(Mg/Ca) = 1,03 - 2,12.

Vody podzóny C^{Na}_{I} sú charakteristické aj pre hlbšie partie paleogénu poniže pripovrchovej zóny. Doteraz zastihnuté vody dosahovali mineralizáciu 0,57 - 1,36 $l.g^{-1}$, s najhojnejšou subfáciou C-Na-Cl a opäť s prevahou Mg nad Ca.

Ukazovatele kvality vo vrchných častiach pripovrchovej zóny sú pomerne priaznivé. Vody prameňov spravidla vyhovujú požiadavkám na pitnú vodu, ojedinele s vyššími obsahmi Mn. Obsahy dusičnanov sú nízke (3-4 $mg.l^{-1}$). Kvalita vody z vrtov závisí od hĺbkovej pozície. V hĺbkach do 8-10 m spravidla vyhovuje požiadavkám na pitnú vodu, ojedinele s prekročením medzných hodnôt pre Mn, Fe a organické látky. S problémami sa stretneme až v nátrium-hydrogénkarbonátových vodách podzóny C^{Na}_{I}. Ich hlavným nedostatkom je popri alkalickej reakcii a nízkych obsahoch Ca a Mg zvýšený obsah amónnych iónov a miestami aj H_2S. Vody typu Na-HCO_3 z hlbších partií vykazujú miestami ešte vyššie pH (až 9,0) a vyššie obsahy organických látok a H_2S. Požiadavkám na pitné vody vyhovujú spravidla vody poriečnej zvodne Dunajca (ojedinele s vyšším Fe a Mn).

MINERÁLNE VODY

V skúmanom území sa vyskytujú dva geneticky odlišné a priestorovo diferencované typy minerálnych vôd - uhličité vody na j. okraji územia, viazané na podtatranské zlomové pásmo, a sírne vody, viazané na s. časť územia v blízkosti styku paleogénu s bradlovým pásmom (obr. 1). Popri konštatovaní pretrvávajúcej hypotetičnosti predstavy o napájaní uhličitých minerálnych vôd Vyšných Ružbách z mezozoika Belianskych Tatier boli formulované ďalšie hypotézy možného napájania - po ojedinelých hlboko otvorených vertikálnych komunikáciách z paleogénu Spišskej Magury do podložného mezozoika alebo po laterálnych komunikáciách od bradlového pásma.

Vrt SMJ-1 na S od Veľkej Lesnej zastihol v hĺbke 126 m v porušených pieskovcoch a zlepencoch šambronských vrstiev preliv sírnej vody. Po zabudovaní je výdatným zdrojom studenej sírnej vody s mineralizáciou 0,69 - 0,81 $g.l^{-1}$ a s obsahom 7,0 - 11,4 $mg.l^{-1}$ H_2S. Pre trvalé dlhodobé využívanie možno rátať s využiteľným voľným prelivom 5 $l.s^{-1}$, pri občasnom využívaní až 8 - 9 $l.s^{-1}$. Vrt SMJ-4 na J od Veľkej Frankovej je zdrojom sírnej vody s mineralizáciou 0,53 - 0,65 $g.l^{-1}$ a s obsahom 2,1 $mg.l^{-1}$ H_2S. Trvale možno využívať voľný preliv 0,2 $l.s^{-1}$ alebo čerpanie 1,0 $l.s^{-1}$.

SYSTÉM PRÚDENIA PODZEMNEJ VODY

Najväčšia časť lokálnych subsystémov prúdenia (Tóth, 1963) prechádza do povrchového odtoku rozptýleným prestupom, malá časť v prameňoch. Priemerné výdatnosti prameňov zriedkavo prekračujú 1 $l.s^{-1}$. Priemerné výdatnosti namerané pri mapovaní sa pohybujú okolo 0,15 $l.s^{-1}$, z toho priemerne okolo 0,26 - 0,30 $l.s^{-1}$ v priaznivejšej vyššie položenej z. časti územia a okolo 0,07 - 0,15 $l.s^{-1}$ v strednej a v. časti územia.

Z priemerných hodnôt koeficientu filtrácie pripovrchovej zóny hornín paleogénu a z priemerných sklonov svahov územia J = 0,207 - 0,261 možno odvodiť odhad pravdepodobného rozpätia najčastejších hodnôt filtračných rýchlostí v blízkosti povrchu v = 6.10^{-8} - 2.10^{-6} $m.s^{-1}$. Pri predpokladanom priemernom koeficiente účinnosti filtračného prierezu v pripovrchovej zóne m_A = 0,05 - 0,10 vyjde potom pre najvrchnejšiu časť tejto zóny rozpätie najčastejších hodnôt efektívnej rýchlosti podzemnej vody u = 2.10^{-5} - 8.10^{-5} $m.s^{-1}$, t.j. zhruba 2 - 7 $m.d^{-1}$. Pre väčšinu územia a hlbšie časti pripovrchovej zóny odhadujeme efektívne rýchlosti najčastejšie v medziach u = 1.10^{-6} - 2.10^{-5} $m.s^{-1}$, t.j. približne 0,1 - 2 $m.d^{-1}$.

PROGNÓZY GEOTERMÁLNYCH VÔD

V mezozoických karbonátoch v podloží paleogénu možno najmä v s. polovici územia - v Zamagurí - predpokladať možnosť získania zdrojov geotermálnych vôd vrtmi do podložia paleogénu, hlbokými 1 500 - 2 000 m. Očakávané výdatnosti možno predbežne oceniť na 0,5 - 20 $l.s^{-1}$ na vrt (priemerne okolo 5 $l.s^{-1}$). Teploty vôd po ich narazení na báze paleogénu sa budú pohybovať zväčša v rozpätí 51 - 66°C. Pôjde spravidla o typ Ca-Mg-HCO_3 s mineralizáciou niekoľko málo $g.l^{-1}$. V súčasnosti by bolo najvýhodnejšie využiť zakonzervovaný vrt VR-7 na S od Reľova, hlboký 1 200m (Mlynarčík a Petrivaldský, 1990), kde možno očakávať narazenie mezozoika po prehĺbení o 400 - 500 m s možnosťou získania vody s teplotou okolo 53 - 57°C.

VYUŽITEĽNÉ MNOŽSTVO PODZEMNEJ VODY

Prognózne využiteľné množstvo podzemnej vody v regióne sme odvodili ako sumu 5 zložiek:

- využiteľných výdatností fiktívnych vrtov v miestach určených geofyzikálnym meraním (31 $l.s^{-1}$ pitnej a 3 $l.s^{-1}$ minerálnej vody),
- odhadu využiteľných výdatností fiktívnych vrtov v dolinách bez geofyzikálneho merania (20 l.s-1 pitnej a 6 $l.s^{-1}$ minerálnej vody),
- využiteľných výdatností overených vrtmi SMJ, situovanými na základe geofyzikálnych meraní (1,6 $l.s^{-1}$ pitnej vody a 6,0 $l.s^{-1}$ minerálnej vody),
- sumy doterajších odberov z vrtov a prameňov vrátane overených výdatností starších sčasti nevyužitých vrtov (14 $l.s^{-1}$),
- výdatností doposiaľ nevyužitých výdatnejších prameňov (27 $l.s^{-1}$).

Suma týchto zložiek predstavuje v paleogéne Spišskej Magury 94 $l.s^{-1}$ pitnej vody a 15 $l.s^{-1}$ minerálnej vody. Z kvartérnych kolektorov poriečnej zvodne v nive Dunajca medzi Lysou nad Dunajcom a Červeným Kláštorom možno získať prognózne množstvo 31 $l.s^{-1}$. Pre územie paleogénu a kvartéru Spišskej Magury tak vychádza spolu 125 $l.s^{-1}$ pitnej vody. V tom nie je zahrnutá prognóza 15 $l.s^{-1}$ minerálnej vody v území paleogénu ani prognózy pre územie ružbašského mezozoika (58 $l.s^{-1}$ vodárensky využiteľnej podzemnej vody a 25 $l.s^{-1}$ uhličitých minerálnych vôd).

Po vztiahnutí vyčíslenej prognózy obyčajných podzemných vôd z paleogénu a kvartéru Spišskej Magury (bez ružbašského mezozoika) na plochu územia vychádza modul využiteľného množstva 0,32 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Vyčíslené prognózne množstvo 125 $l.s^{-1}$ tvorí iba 8,6 % z prírodných zdrojov podzemných vôd vytvorených infiltráciou v území budovanom paleogénom, čo svedčí o značnej rozptýlenosti využiteľných zdrojov z hľadiska racionálneho a ekonomického zachytenia.

LITERATÚRA

Balco, M. 1990: Malá vodnosť slovenských tokov. Veda, Bratislava, 264 s.

Castany, G., Margat, J., Albinet, M. a Dellaroziere-Bouillin, O. 1970: Evaluation rapide des ressources en eaux dun région. In: Intern. Symp. on Ground-Water, AIH, Ente Sviluppo Agricolo in Sicilia, Palermo, 462-482.

Cibuľka, M. 1992: Hydrogeologické pomery paleogénu Spišskej Magury v povodí Rieky. Dipl. práca - Manuskript, Prírodoved. fak. Univ. Komen., Katedra podz. vôd, Bratislava, 58 s.

Foster, E.E. 1948: Rainfall and runoff. McMillan, New York.

Gazda, S. 1971: Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. Hydrogeol. Ročenka 1969-1970, Praha, 122-126.

Halečka, J. 1990: Prognózy zdrojov pitných vôd v okrese Stará Ľubovňa a ich možné využitie do r. 2010. Manuskript - Hydroekoprieskum, Spiš. Podhradie, 88 s.

Halečka, J. 1991: Prognózy zdrojov pitných vôd v okrese Poprad a ich možné využitie do roku 2010. Hydrogeologická štúdia. Manuskript-Hydroekoprieskum, Spišská Nová Ves, 102 s.

Haluška, M. 1973: Povodie Popradu - registrácia prameňov. Manuskript - Geofond, Bratislava.

Hanzel, V. 1992: Hydrogeológia Belianskych Tatier a severných svahov Vysokých Tatier. - Západné Karpaty, Sér. Hydrogeol. inž. geol. 10, 7-51.

Hanzel, V. (ed.) 1984: Základná hydrogeologická mapa ČSSR 1:200 000 list Poprad. Geol. ústav D. Štúra, Bratislava.

Chowaniec, J. 1991: Region karpacki. In: J. Malinowski (ed.), Budowa geologiczna Polski. VII. Hydrogeologia. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 204-215.

Jetel, J. 1985a: Metody regionálního hodnocení hydraulických vlastností hornin. Metod. Příruč. Ústř. Úst. geol., 1, Praha, 147 s.

Jetel, J. 1985b: Využití vztahů mezi specifickou vydatností a koeficientem průtočnosti při hydrogeologických výpočtech. Geol. Průzk., 27, 2, 42-45.

Jetel, J. 1985c: Vertical variations in permeability of flysch rocks in the Czechoslovak Carpathians. Kwart. geol., 29, 1, 167-178.

Jetel, J. 1989: Relationship between hydrogeochemical characteristics of near-surface zone of rock massif and hydrodynamic conditions. Západné Karpaty, Hydrogeol. inž. Geol., 8, 67-104.

Jetel, J. 1990: Praktické dôsledky priestorovej neuniformity prietočnosti pripovrchovej zóny v hydrogeologickom masíve. Geol. Průzk., 32, 2, 42-46.

Jetel, J. 1991: Faktory priestorového rozdelenia priepustnosti a prietočnosti v horninách karpatského flyšu. Vodohosp. Čas., 39, 3-4, 260-268.

Jetel, J. 1993: Stanovenie hydraulických parametrov hornín pre regionálne prognózy. Manuskript -

Jetel, J. 1994: Priepustnosť a prietočnosť pripovrchovej zóny západného úseku flyšového pásma Západných Karpát. Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. inž. Geol. 12, 7-62.
Jetel, J. 1995a: Nové pohľady na hydrogeológiu karpatského flyšu a centrálnokarpatského paleogénu. In: M. Kaličiak (ed.) : III. geol. dni Jána Slávika - Zbor. ref. z konf. Košice 1994, Geol. ústav D. Štúra, Bratislava, 137-139.
Jetel, J. 1995b: Utilizing data on specific capacities of wells and water-injection rates in regional assessment of permeability and transmissivity. Slovak geol. Magazine, 1, 7-18.
Jetel, J., Čechová, A. a Vranovská, A. 1990: Hydraulické parametre hornín paleogénu Západných Karpát a zákonitosti ich priestorového a štatistického rozdelenia. Manuskript - Geofond, Bratislava, 107 s.
Jetel, J. a Kullman, E. 1989: Nepriame určenie priemernej prietočnosti z podzemného odtoku a výdatnosti prameňov. Region. Geol. Západ. Karpát, 25, 249-257.
Jetel, J., Nemčok, J. a Tkáč, J. 1993: Hydrogeologický výskum Spišskej Magury - záverečná správa. Manuskript - Geofond, Bratislava, 222 s.
Jetel, J. a Pačes, T. 1979: A simple chemical classification of natural waters based on molar concentrations. Věst. Ústř. Úst. geol., 54, 4, 233-235.
Jetel, J. a Vranovská, A. -1990: Hydraulické vlastnosti hornín. In: J. Jetel, J. Molnár a A.Vranovská: Hydrogeologický výskum Hornádskej kotliny - záverečná správa. Manuskript - Geofond Bratislava, 59-110.
Kille, K. 1970: Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjahrigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflsse.Zeitsch. deutsch. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeolog. Hydrogeochem., Hannover, 89-95.
Malecka, D. a Murzynowski, W. 1978: Rejonizacja hydrogeologiczna Karpat fliszovych. Biblioteczka Wiadom. Inst. Melioracji i Uzytków Zielonych, 56, Pastw. Wydaw. Roln. i Lene, Warszawa, 50 s.
Malík, P. a Jetel, J. 1991: Metodika zostavovania hydrogeologických máp v mierke 1:50 000. Geol. úst. D. Štúra - Slov. geol. úrad Bratislava, 29 s.
Mlynarčík, M. a Petrivaldský, P. 1990: Záverečná správa z II. podetapy hydrogeologického prieskumu - Vyšné Ružbachy - ochranné pásma. Manuskript - Geofond, Bratislava.
Nemčok, J. 1990: Geologická mapa Pienín, Čergova, Ľubovnianskej a Ondavskej vrchoviny. Geolog. úst. D. Štúra, Bratislava.
Nemčok, J. 1993: Geologické pomery paleogénu Spišskej Magury. In: J. Jetel et al. : Hydrogeologický výskum Spišskej Magury - záverečná správa. Manuskript - Geofond, Bratislava, 21-27.
Nemčok, J. et al. 1990: Vysvetlivky ku geologickej mape Pienín, Čergova, Ľubovnianskej a Ondavskej vrchoviny. Geol. úst. D. Štúra, Bratislava, 131 s.
Riggs, H. 1953: A method for forecasting low flow of streams. Trans. Amer. Geophys. Union, 34, 3.
Tkáč, J. 1992: Spišská Magura - Hydrogeofyzika - Záverečná správa. Manuskript - archív Geol. úst. D. Štúra, Bratislava, 15 s.
Tóth, J. 1963: A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. J. geophys. Res., 68, 16, 4795-4812.
Wundt, W. 1958: Die Kleinstwasserfhrung der Flsse als Mass fr die verfgbaren Grundwassermengen. Forsch. deutsch. Landeskunde, 104, Remagen, 47-57.
Zakovič, M. 1974: Hydrogeologické pomery paleogénu. In: V. Hanzel et al.: Hydrogeologická mapa 1:200 000 list Poprad. Manuskript - archív Geol. úst. D. Štúra, Bratislava, 148-167.

HYDROGEOLOGY AND HYDROGEOCHEMISTRY OF THE SPIŠSKÁ MAGURA MTS.
(NORTH SLOVAKIA)

RESUMÉ

The region of the Spišská Magura Mts. is built by flysch rocks of the Innercarpathian Paleogene. Groundwater flow is concentrated predominantly in the near-surface zone reaching the depth of 20 - 50 m on the average. The main factor controlling the mean permeability is the exponential decrease of permeability with depth. As to the effect of lithology, the mean permeability in the tested intervals of wells increases only if the proportion of sandstones is higher than 75%. The maximum permeabilities and transmissivities are bound to tectonically dependent fissure zones without any relation to lithology. By summarizing the aquifer tests data along with the indirect estimates of transmissivity and permeability (from run-off data and correlation between hydrochemical and geomorphometric characteristics of descending springs) spatial distribution of hydraulic parameters in the Paleogene rocks was described. The most common range of transmissivity in the depression parts of the region is $T = 4 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$, the mean hydraulic conductivity in the near-surface zone being most often in the range $k = 3 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-5}$ $m.s^{-1}$.

Groundwater chemistry shows vertical zonality. The Na-HCO_3 waters in deeper parts of the Paleogene have often elevated contents of NH_4 , H_2S and organic matters along with high pH (9,0).

The mean base flow inferred from the biennal streamflow monitoring amounted to 1 460 $l.s^{-1}$, e.i. 3.66 $l.s^{-1}.km^{-2}$. The groundwater amount economically exploitable from the Paleogene rocks of the region was estimated at 94 $l.s^{-1}$.