

# Důlní vody v jihlavském rudním revíru

## Mine drainage in Jihlava ore district

KAREL MALÝ, EVA KOIŠOVÁ

Muzeum Vysočiny Jihlava, Masarykovo nám. 55, CZ – 586 01 Jihlava; e-mail: maly@muzeum.ji.cz, koisova@muzeum.ji.cz

**Abstract:** Chemistry of nine spring waters was studied in the sites of Jihlava ore district. These waters are believed to flow through the old silver and polymetal mines. Increased content of Zn (max 8500 mg l<sup>-1</sup>), Cd (max 221 mg l<sup>-1</sup>) and higher contents of Fe (max 0.70 mg l<sup>-1</sup>) was found in the five sites. Based on the results, it can be concluded that these waters are actually mine waters. Also higher contents of <sup>222</sup>Rn (186 Bq l<sup>-1</sup>) were found in one of the localities.

**Key words:** Jihlava Ore District, mine drainage, chemistry

### ÚVOD

Jihlava a její okolí byly minimálně od středověku oblastí, kde probíhala intenzivní prospekce, těžba a zpracování polymetalických rud se stříbrem (Pluskal et Vosáhlo 1998). Při dokumentaci pozůstatků této těžby jsou dodnes běžně nacházena místa, kde dochází k výtokům vody ze starých důlních děl.

Na některých místech jsou důlní díla kolektorem vody zcela nepochybně. Jinde však prameny souvisí s důlními díly pouze podle ústní tradice a jejich vzájemný vztah je nejvýše prostorový. Voda z některých těchto pramenů je individuálně využívána jako voda pitná.

Práce si klade několik cílů:

- zjistit, zda vybrané prameny v Jihlavě a jejím okolí jsou místy s výtoky vod z důlních děl,
- zjistit, jaké jsou vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti těchto vod,
- zjistit, jakým způsobem se fyzikálně-chemické vlastnosti těchto vod mění v průběhu roku, případně čím jsou tyto změny způsobeny,
- zjistit, zda tyto prameny představují vzhledem k očekávané kontaminaci barevnými kovy riziko pro životní prostředí,
- zjistit, zda voda z těchto pramenů splňuje hygienická kritéria kladená na vodu pitnou.

### METODY

Lokalizace pramenů byla provedena pomocí systému GPS v souřadnicích WGS-42. Přímo v terénu byla pak v měsíčních intervalech měřena vydatnost pramene (podle vydatnosti do odměrné nádoby o objemu 1 l nebo 10 l), teplota (s pomocí digitálního laboratorního přístroje WTW 320 s přesností na 0,1 °C nebo laboratorním teploměrem s přesností 0,5 °C) a pH (s pomocí digitálního přístroje Checker 3HI 1208 s přesností 0,1; s automatickým přepočtem na

pH při teplotě 25 °C). U některých pramenů nebylo možné všechny sledované parametry změřit – v dále uváděných tabulkách proto tyto hodnoty nejsou uvedeny.

Vzorky pro chemické rozborby byly odebírány do PE lahví o objemu 0,5 nebo 1 l, vzorky pro stanovení koncentrace radonu do tzv. Marinelliho nádobek o objemu 0,5 l. Vzorky pro stanovení radonu byly odebrány jednorázově, vzorky pro stanovení vybraných kovů třikrát a vzorky pro sledování fyzikálně-chemických vlastností vod v pravidelných měsíčních intervalech 12x v průběhu roku.

Analýzy prováděla akreditovaná laboratoř ČEZ Jaderné elektrárny Dukovany podle zde zavedené metodiky: chloridy, sírany a dusičnany - kapilární iontovou elektroforézou, rozpuštěné látky – odparkem, vápník a hořčík – plamennou atomovou absorpční spektrofotometrií, železo – fotometricky, kadmium, olovo, měď, mangan a zinek – plamennou atomovou absorpční spektrofotometrií, <sup>222</sup>Rn - spektrometrií gama.

### POPIS LOKALIT

Dokumentováno bylo devět lokalit:

#### *Malý Beranov – štola sv. Jiří*

Štola se nachází na pravém břehu řeky Jihlavy asi 750 m sz. od středu obce (N 49° 23,913'; E 15° 37,820'), uzavřený vstup do štoly je za rodinným domem. Voda je ze štoly odváděna pod zemí plastovým potrubím, které ústí asi 0,5 m nad hladinou řeky.

Podle Jaroše a France (Jaroš et Franc 1991) byla štola sv. Jiří nejdelší dědičnou štolou v jihlavském rudním revíru, sledovala zrudnělou poruchu SV–JZ směru v mylonitizovaných biotitových rulách. Průzkum provedený počátkem 70. let dvacátého století zdokumentoval průběh křemenné žíly ve štole do vzdálenosti 286 metrů, kde dílo končí závalem. Štola byla v minulosti údajně využívána jako zdroj pitné vody.

### Jihlava – Staré Hory

V blízkosti ulice Na Dolech, cca 200 m pod železničním přejezdem byly dokumentovány čtyři prameny. Na levém břehu Jihlavy jsou to lokality dále značené jako SH1 (N 49° 24,748'; E 15° 33,988'), SH2 (N 49° 24,749'; E 15° 34,001'), SH3 (N 49° 24,751'; E 15° 34,010'). Voda z pramene SH1 vytéká z betonové trubky asi 0,5 m nad hladinou řeky, běžně zapáchá po splašcích. Voda z pramene SH2 vytéká z plastové, obezděné trubky asi 0,3 m nad hladinou řeky. Pramen SH3 představuje přírodní, neupravený výtok vody se sraženinami rezavě hnědých hydroxidů železa asi 0,5 m nad hladinou řeky. Čtvrtá lokalita (SHS) je upravený pramen asi 10 m od mostu přes Jihlavu, v těsné blízkosti silnice (N 49° 24,763'; E 15° 33,987'), výtok vody je sveden do kovové trubky.

Podle Jaroše a France (Jaroš et Franc 1991) může alespoň jeden z výše uvedených pramenů představovat výtok z některého důlního díla na tzv. starohorském couku – nejmohutnější zrudnělé struktuře jihlavského rudního revíru o délce přes 8 km.

### Jihlava – Helenín (Zlatá studánka)

Lokalitou je krytý pramen („studna“) s hladinou v hloubce asi 3 m v místní části Helenín, asi 2 km sv. od centra Jihlavy, při okraji lesní cesty nad zahrádkářskou kolonií (N 49° 24,304'; E 15° 36,892'). Studna nemá zjevný odtok, je však velmi pravděpodobné, že výtok vody asi 100 m daleko v těsné blízkosti řeky je dotován právě odsud.

Studna se nachází pod severním ukončením tzv. Couku Zlaté studánky. Podle Jaroše a France (Jaroš et Franc 1991) se v lidové tradici uvádí, že voda měla zvýšenou radioaktivitu, byla léčivá a využívala se také jako pitná pro helenínskou tovární kolonii.

### Jihlava – Pančava

Pramen se nachází asi 2 km jv. od centra Jihlavy, po levé straně silnice z Jihlavy do Brtnice (N 49° 22,975'; E 15° 36,460'). Voda je svedena do kovového potrubí a odtéká do bezejmenné vodoteče.

Jaroš et Franc (1991) považují pramen za výtok vody ze štoly sv. Antonína z Padovy. Na druhé straně údolí (ústní sdělení p. Vilímek) byl ještě na konci 90. let 20. stol. pramen s železitou vodou; dnes už není patrný.

### Jihlava – Skalka (Na Skalce)

Upravený pramen se nachází v údolí Koželužského potočká, asi 500 m jz. od centra Jihlavy a asi 100 m od konce ulice U Koželuhů (N 49° 23,390'; E 15° 34,773'). Výtok vody je sveden do kovové trubky, voda je běžně využívána jako individuální zdroj (podle ústního podání „kvalitní“) pitné vody.

Jaroš et Franc (1991) uvádí, že jde v podstatě o jediný pozůstatek dolů, které ležely v jižním pokračování tzv. starohorského couku.

### Rančívov

Asi 2,5 km j. od centra Jihlavy, vpravo ve svahu nad silnicí Jihlava – Znojmo je zachován důlní areál tzv. rančívovských šachet (Jaroš et Franc 1991). Areál je rozdělen místní silnicí, v jižní části v několika místech pramení voda. V sušším období je však výtok vody minimální, vzorkovací místo proto představuje drobná vodoteč, která vzniká až spojením těchto výtoků ve svahu pod důlním areálem (N 49° 22,207'; E 15° 35,006').

Rudní mineralizaci na všech výše uvedených lokalitách lze přiřadit k typu pol (Bernard 1981); hlušinou je křemen, karbonáty (kalcit, dolomit-ankerit, místy i siderit) a baryt; mezi rudními nerosty převládá sfalerit, galenit a pyrit, ostatní (chalkopyrit, tetraedrit, pyrotin, arzenopyrit aj.) jsou již vzácné.

## VÝSLEDKY

### Fyzikálně-chemické vlastnosti

Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti vod shrnuje tab. 1.

Tab. 1. Fyzikálně-chemické vlastnosti vod.  
Tab. 1. Physical-chemical properties of water.

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
<b>duben</b>	0,15	347	451	9,6	6,8	42	16	< 0,01	20	120	25
<b>květen</b>	0,25	355	445	11,2	7,0	39	17	< 0,02	21	120	15
<b>červen</b>	0,24	411	450	15,2	6,8	42	16	< 0,02	20	124	17
<b>červenec</b>	0,18	386	429	18,8	6,9	40	16	< 0,02	20	123	18
<b>srpen</b>	0,18	311	444	10,6	6,7	41	15	< 0,02	20	128	17
<b>září</b>	0,19	360	445	9,1	6,8	40	16	< 0,02	19	122	14
<b>říjen</b>	0,21	328	439	8,5	6,8	42	17	0,03	21	128	11

listopad	0,19	270	436	7,1	6,9	42	16	< 0,02	22	84	64
prosinec	0,17	302	431	8,0	6,8	43	16	< 0,02	20	127	9
leden	0,33	356	435	7,9	6,7	45	16	< 0,02	19	122	8
únor	0,36	342	465	7,9	6,7	44	17	< 0,01	19	100	65
březen	0,24	322	461	8,9	6,7	41	16	< 0,02	21	114	48

## Staré Hory – SHS

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben	0,46	552	748	10,9	7,2	110	23	0,01	35	135	5
květen	0,44	534	752	10,8	7,3	109	23	0,02	36	145	4
červen	0,39	711	755	12,6	7,9	110	23	0,02	35	143	4
červenec	0,42	561	773	14,3	7,1	109	22	0,02	37	142	4
srpen	0,35	473	759	12,3	7,1	110	23	0,02	36	147	5
září	0,38	556	757	10,0	7,1	107	24	0,02	32	140	4
říjen	0,35	668	748	9,8	7,0	112	24	0,03	36	150	4
listopad	0,36	461	753	8,9	7,3	113	24	0,02	42	177	4
prosinec	0,36	508	755	8,7	7,1	114	24	0,02	35	144	2
leden	0,38	564	795	8,8	7,4	117	24	0,01	34	137	3
únor	0,36	551	755	8,2	7,4	114	24	< 0,01	40	147	8
březen	0,42	562	789	9,5	7,2	107	24	0,01	36	148	4

## Staré Hory – SH1

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben		497	753	8,3	7,9	85	24	0,02	65	85	45
květen		512	746	13,5	8,0	85	24	0,04	63	86	48
červen		697	750	15,3	7,7	86	24	0,03	62	85	45
červenec		683	722	16,4	7,8	81	23	0,02	58	76	49
srpen		473	740	17,5	5,0	41	13	0,02	29	48	51
září		529	729	13,1	7,8	85	25	0,02	54	85	50
říjen		519	748	9,6	7,7	87	25	0,02	57	91	41
listopad		433	777	5,4	7,7	41	13	0,02	27	40	46
prosinec		626	995	5,3	7,7	91	24	0,06	146	96	44
leden		722	1160	5,6	7,8	115	28	0,03	182	84	40
únor		915	1345	5,2	7,7	109	27	0,06	253	88	44
březen		705	1055	6,9	7,8	96	28	0,03	158	80	40

## Staré Hory – SH2

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben	0,45	514	740	9,7	7,5	105	23	0,01	35	125	11
květen	0,46	524	744	11,6	7,6	106	23	0,02	39	132	14
červen	0,45	705	745	12,5	7,7	106	23	0,02	38	134	11
červenec	0,59	538	758	12,9	7,5	108	22	0,02	39	131	15
srpen	0,35	476	750	13,2	7,5	105	23	0,08	39	138	12
září	0,30	568	751	10,4	7,8	105	24	0,02	35	132	8
říjen	0,32	556	754	9,3	7,7	110	24	0,05	38	134	10
listopad	0,37	460	752	8,3	7,6	111	29	0,07	36	133	5
prosinec	0,38	498	756	6,5	7,5	112	24	0,01	37	139	6
leden	0,44	398	766	7,1	7,7	116	24	0,06	42	127	8
únor	0,46	548	758	5,2	7,6	104	23	0,10	59	130	15
březen	0,45	527	736	8,2	7,5	106	23	0,05	46	132	11

## Staré Hory – SH3

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben		573	793	7,0	7,2	116	25	0,18	35	120	5
květen		559	793	13,0	7,3	119	26	0,38	35	132	14
červen		713	780	14,0	7,1	113	24	0,38	36	128	1
červenec		705	984	15,3	7,1	110	25	0,34	35	134	9
srpen		785	768	17,1	7,3	109	23	0,35	38	133	12
září		567	775	12,2	7,0	109	25	0,24	36	126	3
říjen		661	865	10,1	7,1	112	24	0,39	36	150	4
listopad		605	924	7,5	7,0	141	39	0,70	36	133	5
prosinec		614	913	7,6	6,9	139	30	0,28	42	168	1
leden		700	995	7,3	7,2	158	33	0,24	51	170	1
únor		653	912	5,4	7,3	133	29	0,45	56	148	5
březen		637	821	6,8	7,3	112	26	0,41	42	124	7

## Helenín – HE 1

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben		358	450	7,8	6,7	52	14	0,01	20	90	60
květen		345	445	9,1	6,6	48	14	< 0,02	19	92	61
červen		491	450	10,6	6,5	51	14	< 0,02	18	87	58
červenec		327	427	14,1	6,6	54	15	0,01	22	95	55
srpen		315	471	11,5	6,6	53	14	0,16	21	97	60
září				9,4	6,7						
říjen		328	464	10,5	6,6	52	15	0,04	20	87	52
listopad		283	471	6,3	6,8	54	15	< 0,02	34	136	12
prosinec		316	470	5,8	6,7	57	15	< 0,02	21	95	51
leden		289	330	6,8	7,1	40	10	< 0,01	10	68	40
únor		261	318	6,3	7,0	35	10	0,02	11	74	38
březen		311	425	7,1	6,8	40	12	0,01	15	91	58

## Pančava – PA

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben	0,27	383	435	7,8	6,4	42	14	0,01	35	60	55
květen	0,28	344	433	9,1	6,4	37	15	< 0,02	35	56	48
červen	0,28	449	430	10,6	6,5	39	14	< 0,02	36	56	49
červenec	0,25	352	437	14,1	6,4	41	14	0,01	35	56	52
srpen	0,21	273	428	11,5	6,3	40	14	< 0,02	37	57	48
září	0,24	342	425	9,4	6,3	39	15	< 0,02	34	55	53
říjen	0,20			10,5	6,4						
listopad	0,21	259	422	6,3	6,5	41	14	< 0,02	36	51	6
prosinec	0,22	300	445	5,8	6,4	45	14	< 0,02	44	63	53
leden	0,50	482	771	6,8	6,8	42	12	0,01	144	49	46
únor	0,41	487	755	6,3	6,6	45	13	< 0,01	151	55	42
březen	0,45	394	449	7,2	6,5	44	14	0,01	88	52	50

## Na Skalce – SK

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben	0,73	305	384	6,7	6,5	40	13	0,02	25	40	50
květen	0,75	276	381	8,9	6,5	38	13	< 0,02	28	43	51
červen	0,63	551	390	9,9	6,3	41	13	< 0,02	26	45	53

červenec	0,56	369	405	12,3	6,5	44	14	< 0,02	28	44	54
srpen	0,58	224	394	10,9	6,3	41	13	< 0,02	29	48	51
září	0,61	529	729	10,5	7,8	85	25	0,02	54	85	50
říjen	0,61	350	398	9,2	6,5	42	14	0,03	30	53	46
listopad	0,66	211	393	6,9	6,6	41	13	< 0,02	27	40	46
prosinec	0,63	267	387	7,1	6,5	42	13	< 0,02	27	41	49
leden	0,52	207	352	7,3	6,5	41	12	< 0,01	21	34	61
únor	0,50	319	368	6,8	6,5	40	12	< 0,01	20	36	75
březen	0,69	321	382	6,8	6,4	42	12	< 0,01	24	41	70

## Rančířov – RA

	vydatnost	rozpuštěné látky	konduktivita	teplota	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	l.s <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μS.cm <sup>-2</sup>	°C		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
duben		270	375	8,6	7,3	32	13	0,03	35	55	10
květen		247	346	15,3	7,5	27	11	0,08	31	56	12
červen				14,2	7,3						
červenec		254	401	15,1	7,2	34	14	0,04	37	66	12
srpen		242	415	14,4	7,3	36	14	0,05	41	61	9
září		311	414	10,3	7,2	36	15	0,02	39	54	8
říjen		328	394	9,1	6,8	34	13	0,21	38	58	10
listopad		225	405	6,1	6,7	36	15	0,09	18	113	8
prosinec		258	393	5,6	6,8	41	12	0,02	31	66	7
leden		324	332	5,1	7,1	36	9	0,06	26	56	7
únor		217	310	6,1	7,1	32	8	0,08	24	60	11
březen		255	324	7,6	7,1	37	11	0,06	31	59	12

(nejsou-li hodnoty v tabulce uvedeny, nebyl údaj stanoven)

Vydatnost sledovaných pramenů se ve většině případů pohybuje od 0,2 do 0,8 l s<sup>-1</sup>. U většiny pramenů vydatnost výrazně kolísá v průběhu roku (o více než 50 %), nejmenší kolísání vydatnosti bylo zjištěno u pramene Na Skalce. Kolísání vydatnosti je u různých pramenů různé v průběhu roku, nejnižší vydatnosti však prameny mají obvykle v letních měsících a na počátku podzimu.

Podle celkového obsahu rozpuštěných látek (a konduktivity) lze konstatovat, že voda pramenů je málo mineralizovaná. Nejnižší celkový obsah rozpuštěných látek má pramen Rančířov (průměrně 266 mg l<sup>-1</sup>); relativně vyšší obsahy rozpuštěných látek byly zjištěny u všech pramenů ve Starých Horách (SHS, SH1, SH2, nejvyšší u SH3). Pouze u pramene Pančava byla zjištěna statisticky významná závislost mezi vydatností pramene a celkovým obsahem rozpuštěných látek (koeficient korelace 0,800).

Průměrná roční teplota vody pramenů se pohybuje mezi 8,6 až 10,4 °C. Nejnižší naměřenou teplotu měla voda v prameni Rančířov (5,1 °C při lednovém odběru vzorků), nejvyšší teplotu voda pramene Malý Beranov (18,8 °C při červencovém odběru vzorků).

Prameny ve Starých Horách mají pH vody obvykle mírně zásadité, pramen v Rančířově má pH vody v úzkém rozmezí kolem 7 a u ostatních pramenů se pH pohybuje v mírně kyselé oblasti od 6,3 do 7.

Průměrné roční koncentrace Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup> jsou relativně zvýšené u pramenů v oblasti Starých Hor. Kolísání koncentrací Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup> je v průběhu roku u některých pramenů nevýrazné (Malý Beranov, Pančava, Staré Hory SHS, Staré

Hory SH2), u jiných se naopak koncentrace těchto iontů mění o desítky procent prameny Skalka a Staré Hory SH1).

Obsah Fe<sup>2+</sup> je ve vodách všech pramenů s výjimkou pramene Staré Hory SH3 nízký, často pod hranici detekce použité analytické metody. Pramen Staré Hory SH3 je obsahem železa mezi sledovanými prameny výjimečný – množství Fe<sup>2+</sup> je více než desetinásobně ve srovnání s ostatními sledovanými prameny.

Průměrné roční obsahy Cl<sup>-</sup> jsou u všech pramenů relativně nízké, pohybují se v prvních desítkách mg l<sup>-1</sup>. Extrémní nárůst v obsahu Cl<sup>-</sup> byl zjištěn v zimních (příp. časně jarních) měsících u pramenů Staré Hory SH1 a Pančava.

Relativně zvýšené obsahy SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mají prameny v Malém Beranově (maximálně 128 mg l<sup>-1</sup>) a ve Starých Horách (SH3 maximálně 170 mg l<sup>-1</sup>, SH2 maximálně 139 mg l<sup>-1</sup>, SHS maximálně 177 mg l<sup>-1</sup>).

Nejvyšší zjištěný obsah dusičnanů má voda pramene Na Skalce (75 mg l<sup>-1</sup> při únorovém vzorkování). Nízké obsahy NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mají vody z pramenů Rančířov a Staré Hory SHS, SH2 a SH3 (vůbec nejnižší zjištěný obsah NO<sub>3</sub><sup>-</sup> byl ve vodě z pramene SHS v prosinci: 2 mg l<sup>-1</sup>).

## Obsahy kovů

Zjištěné obsahy vybraných kovů jsou shrnuty v tab. 2. Obsah Cu se pohybuje od hranice detekce použité metody do 16 mg l<sup>-1</sup> (Rančířov). Obsah Pb je ve většině případů pod hranici detekce použité analytické metody (méně než 1 mg l<sup>-1</sup>), stabilní obsahy v úrovni prvních mg l<sup>-1</sup> byly zjištěny pouze v Rančířově. Zvýšené obsahy Zn lze konstatovat ve vodách

lokalit Helenín – Zlatá studánka, Jihlava – Pančava, Rančířov a Malý Beranov (zde byl zjištěn vůbec nejvyšší obsah Zn 8500 mg l<sup>-1</sup>). Mangan je typický pro všechny prameny v Jihlavě – Starých Horách (nejvyšší obsah 988 mg l<sup>-1</sup> Mn v prameni Jihlava – Staré Hory SH3) a v Rančířově. Vysoké obsahy Cd má voda pramenů v Malém Beranově a Jihlavě – Pančavě (max. 221 mg l<sup>-1</sup>).

Tab. 2. Koncentrace vybraných kovů ve vodě (mg l<sup>-1</sup>).Tab. 2. Concentration of selected metals in water (mg l<sup>-1</sup>).

Malý Beranov					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	10	1	8500	<20	100
listopad	5	<1	8200	<20	Nest.
prosinec	4	1	179	<20	4
Staré Hory, SHS					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	1	<1	35	451	1
listopad	1	<1	25	430	Nest.
prosinec	<1	<1	13	424	1
Staré Hory, SH1					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	1	<1	18	70	<1
listopad	8	1	34	130	Nest.
prosinec	2	<1	<10	121	<1
Staré Hory, SH2					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	7	<1	32	383	2
listopad	2	3	17	346	Nest.
prosinec	1	<1	14	308	1
Staré Hory, SH3					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	6	2	34	988	<1
listopad	7	<1	13	459	Nest.
prosinec	1	<1	12	431	<1
Helenín, Zlatá studánka					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	4	<1	177	<20	2
listopad	1	<1	136	<20	Nest.
prosinec	1	<1	115	20	2
Jihlava, Pančava					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	Nest.				
listopad	5	<1	139	<20	Nest.
prosinec	5	<1	1085	<20	221
Jihlava, Na Skalce					
	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	1	<1	65	24	1
listopad	<1	<1	10	<20	Nest.
prosinec	<1	<1	<10	20	<1

**Rančířov**

	Cu	Pb	Zn	Mn	Cd
říjen	16	2	1200	147	9
listopad	7	2	1600	156	Nest.
prosinec	6	2	903	118	10

**Koncentrace radonu <sup>222</sup>Rn**

Zjištěné koncentrace radonu shrnuje tab. 3. Vzorky byly jednorázově odebrány současně se vzorky pro stanovení fyzikálně-chemických vlastností vody v březnu. Koncentrace radonu v jednotlivých pramenech je výrazně odlišná: nejnižší koncentrace byla zjištěna ve vodě vytékající ze štoly sv. Jiří v Malém Beranově (5 Bq l<sup>-1</sup>), nejvyšší pak na lokalitě Jihlava – Na Skalce (186 Bq l<sup>-1</sup>).

Tab. 3. Koncentrace radonu <sup>222</sup>Rn ve vodě (Bq l<sup>-1</sup>).Tab. 3. Concentration of <sup>222</sup>Rn in water (Bq l<sup>-1</sup>).

Lokalita	<sup>222</sup> Rn (Bq l <sup>-1</sup> )
Malý Beranov, štola sv. Jiří	5
Staré Hory – SH1	8
Staré Hory – SH2	20
Staré Hory – SH3	Nest.
Staré Hory – SHS	55
Helenín – Zlatá studánka	44
Jihlava – Na Skalce	186
Jihlava – Pančava	56
Rančířov	30

**DISKUZE A ZÁVĚRY**

Všechny sledované prameny mají relativně nízkou vydatnost. Podle fyzikálně-chemických vlastností lze vyčlenit dvě skupiny vod: 1) všechny prameny v Jihlavě – Starých Horách jsou od ostatních odlišné mírně vyšším pH, vyšším obsahem rozpuštěných látek (resp. konduktivitou) a zvýšenými koncentracemi Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a manganu (což je pravděpodobně způsobeno běžnou přítomností primárních i sekundárních nerostů Mn na zdejších mineralizovaných strukturách – např. Malý 2009); 2) vody ostatních pramenů mají relativně nižší pH a nižší obsah rozpuštěných látek.

Zvýšeným (již podle železitých sraženin očekávaným) obsahem železa je výjimečný pramen Staré Hory SH3.

Prudký nárůst koncentrací Cl<sup>-</sup> v zimním a jarním období u pramenů Pančava, Jihlava – Staré Hory SH1 a SH3 lze vysvětlit kontaminací podzemní vody povrchovými splachy po „solení“ silnic. Zvýšené obsahy dusičnanů u pramenů Jihlava – Helenín, Jihlava – Na Skalce jsou pravděpodobně důsledkem splachů z blízkých polí; u pramene Staré Hory SH1 pak jde zřejmě o kontaminaci splaškovými vodami.



Obsahem zinku a kadmia jsou výjimečné prameny v Malém Beranově, Heleníně, Jihlavě – Pančavě a Rančívově. Oba prvky jsou zřejmě dobrým indikátorem toho, že sledované vody jsou skutečně vodami „důlními“, protože u lokalit Malý Beranov, Helenín a Rančívov je to vysoce pravděpodobné již z topografické situace na lokalitě. Zjištěné koncentrace kadmia jsou v některých případech neobvykle vysoké a (včetně koncentrace Zn) silně kolísají – tyto skutečnosti vyžadují další ověření.

Množství  $^{222}\text{Rn}$  je relativně vyšší, ale pohybuje se v očekávaných hodnotách vzhledem ke geologickému podloží lokalit (např. Pacherová et al. 2006). Výjimkou je pramen Jihlava – Na Skalce: zde je vysoká koncentrace  $^{222}\text{Rn}$  ve vodě interpretována jako důsledek toho, že se voda pohybuje po výrazné tektonické poruše starohorského zlomu, který je zároveň migrační cestou pro radon.

Lze předpokládat, že prameny Malý Beranov, Jihlava – Pančava, Jihlava – Helenín, Rančívov a Jihlava – Staré Hory SH3 jsou buď přímo výtoky vody ze starých důlních děl nebo jsou alespoň zčásti těmito výtoky dotovány; svědčí o tom zjištěné koncentrace Zn a Cd, u pramene Staré Hory SH3 pak vyšší obsahy železa a síranů.

Vzhledem k nízké vydatnosti nepředstavuje žádný ze sledovaných pramenů výrazné riziko z hlediska kontaminace povrchových vod. U žádného z pramenů nelze doporučit využívání jeho vody jako vody pitné (což se v současné době děje): často jsou překročeny vyhláškou dané maximální koncentrace dusičnanů ( $50 \text{ mg l}^{-1}$  podle vyhl. č. 376/2000 Sb.), u některých pramenů lze oprávněně předpokládat

kontaminaci povrchovými splachy (zvýšené obsahy dusičnanů a chloridů) nebo splaškovou vodou; ve většině případů jsou překročeny i povolené obsahy  $^{222}\text{Rn}$  ( $20 \text{ Bq l}^{-1}$  podle vyhl. č. 307/2002 Sb.).

## PODĚKOVÁNÍ

Za pomoc s terénní částí práce děkujeme J. Rehákové. Za provedení analytických prací děkujeme kolektivu pracovníků chemické laboratoře JE Dukovany. Část výzkumu byla podpořena grantem MK ČR DE07P04OMG008.

## LITERATURA

- BERNARD J. H. et al. (1981): Mineralogie Československa. – Academia. Praha.
- JAROŠ Z. et FRANC A. (1991): Staré jihlavské dolování (podklad pro vyhlášení kulturních památek). – Ms. [Depo. in: Knihovna Muzeum Vysočiny Jihlava].
- MALÝ K. (2009): Chemismus karbonátů jihlavského rudního revíru. – Acta rer. natur., 6–7: 57–63.
- PACHEROVÁ P. et BARNET I. (2006): Korelace koncentrací radonu ve vodě ze studní a koncentrací radonu v půdním vzduchu na území okresů Písek, Jihlava, Jindřichův Hradec a Žďár nad Sázavou. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2005, 137–138, ČGS, Praha.
- PLUSKAL O. et VOSÁHLO J. (1998): Jihlavský rudní obvod. – Vlastiv. sbor. Vysočiny, sect. natur., 13: 157–191.