

jen malé stopy deformací (srv. obr. 6 in Chlupáč 1993). Vápence jsou zde vyvinuty ve zřejmém nadloží silně svraštělých grafických fylitů s lydity, které jsou charakteristické pro nižší silur, na daném místě však neposkytly nálezy makrofauny. Nadloží vápenců není přímo odkryto, při stavbě lesní silnice nedaleko nad výskytem vápenců byly zastiženy pouze sericitické, zvětrávacími procesy silně postižené fylity nejistého stáří.

## Závěr

Orientační výzkumy v jižní i střední části Ještědského pohoří rozšířily dále k JV oblast s paleontologicky prokázaným devonem, který zde bez zjistitelné úhlové diskordance sousedí s horninami, jejichž stáří je s největší pravděpodobností silurské a jež budují podstatnou část Rašovského hřbetu. Mezi silurským a devonsko-spodnokarbonickým sledem není rozdíl v tektonickém a metamorfismu postižení a lze předpokládat konkordantní uložení.

Styk devonsko-spodnokarbonického komplexu s tektonicky nadložným starším komplexem světlých sericitických kvarcitu a fylitů je ve střední části Ještědského pohoří tektonický. S největší pravděpodobností jde o plochý násun typu střížného příkrovu, podle něhož byla jednotka se světlými kvarcitem patrně ordovického stáří nejspíše od SZ přesunuta přes silně zvrásněnou a zešupinatěnou jednotku devonských až spodnokarbonických vápenců, fylitů a příp. i vulkanitů, což v hlavních rysech souhlasí s dřívější Gallwitzovou (1930) koncepcí. Směr tektonického transportu (snad od SZ k JV) bude třeba ověřit dalšími výzkumy. Zvrásnění i metamorfóza je průkazně variská a spadá nejspíše do sudetské (viséské) fáze variské orogeneze.

## Literatura

- Gallwitz, H. (1930): Geologie des Jeschkengebirges in Nordböhmien. – Abh. Sächs. geol. Landesamt., 10, 1–63. Leipzig.
- Chaloupský, J. (1966): Kaledonská a variská orogeneze v ještědském krystaliniku. – Sbor. geol. Věd. Geol., 10, 7–37. Praha.
- Chaloupský, J., ed. (1989a): Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Ústř. úst. geol. Praha.
- (1989b): Synoptic geological map of the Krkonoše and Jizerské hory Mts. Ústř. úst. geol. Praha.
- Chlupáč, I. (1993): Stratigraphic evaluation of some metamorphic units in the N part of the Bohemian Massif. – Neu. Jb., Geol. Paläont., Abh., 188, 363–388. Stuttgart.
- (1997): Palaeozoic ichnofossils in phyllites near Železný Brod, northern Bohemia. – J. Czech Geol. Soc., 42, 1–2, 75–94. Praha.
- Chlupáč, I. - Hladil, J. (1992): New Devonian occurrences in the Ještěd Mts., North Bohemia. – Čas. Mineral. Geol., 37, 185–191. Praha.
- Chlupáč, I. - Horný, R. (1955): Zpráva o paleontologickém výzkumu fylitové zóny v západosudetském krystaliniku. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1954, 57–59. Praha.
- Kachlík, V. (1997): Litostratigrafie a stavba železnobrodského krystalinika: výsledek variských tektodeformačních procesů. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1996, 30–31. Praha.
- Kodym, O. - Svoboda, J. (1948): Kaledonská příkrovová stavba Krkonoš a Jizerských hor. – Sbor. Stát. geol. Úst., 15, 109–160. Praha.
- Krutský, N. (1961): Předběžná zpráva o průzkumu a mapování karbonátových ložisek v Ještědském pohoří. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1959, 19–21. Praha.
- Sedlář, J. - Krutský, N. (1963): Závěrečná zpráva Ještědsko 1959–1962. Surovina: vápence, cementářské suroviny. – MS Geofond. Praha.
- Watznauer, A. (1934): Obersilurische Graptolithen aus dem Jeschkengebirge. – Firgenwald, 7, 70. Reichenberg.
- (1938): Beitrag zur Stratigraphie der Jeschkenschiefere. Das Obersilur und sein Liegendet. – Mitt. Ver. Naturfreunde, 60, 16–20. Reichenberg.

Ústav geologie a paleontologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2

## Beryllium v podzemních vodách v oblasti Horních Dubenek na Jihlavsku

### Beryllium in groundwater in Jihlava region

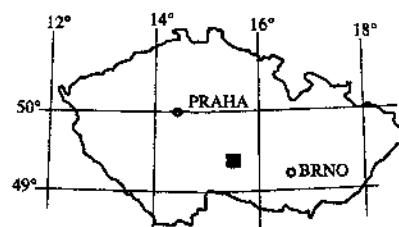
RENÁTA KADLECOVÁ - VLADIMÍR MAJER

(23-32 Kamenice nad Lipou, 23-41 Třešt)

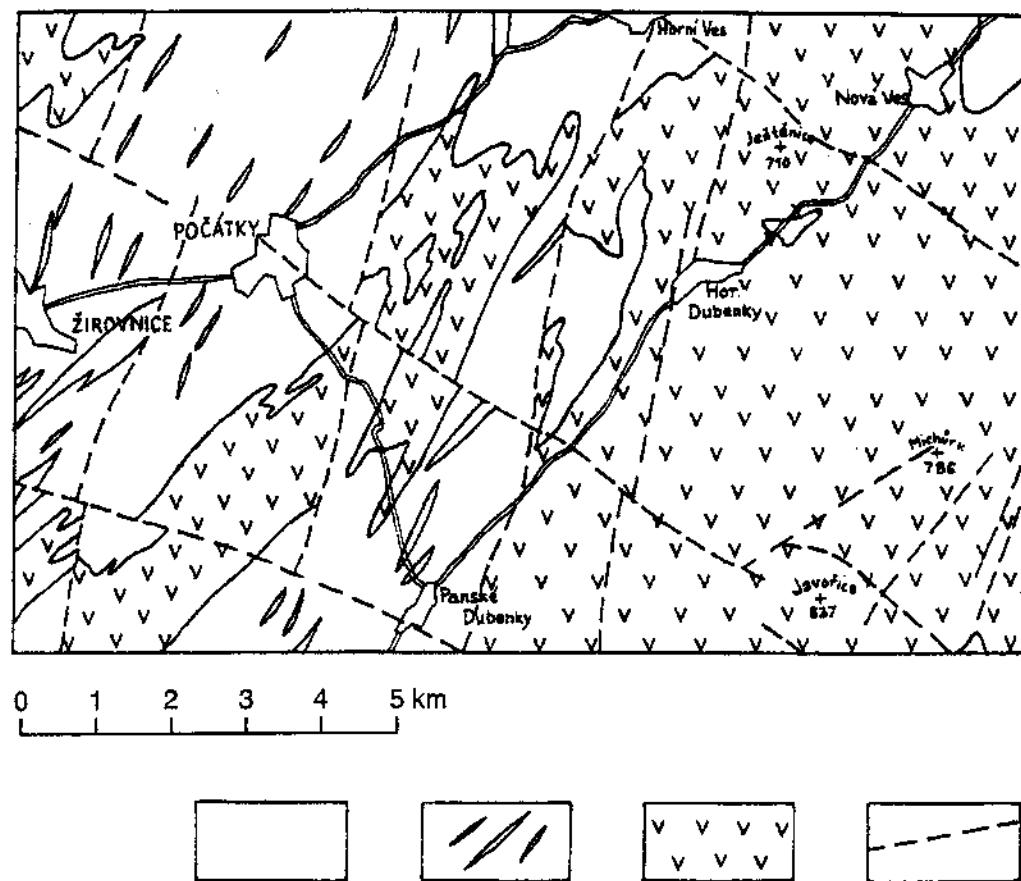
*Beryllium, Groundwater, Granite*

Na přelomu let 1997 a 1998 se pracovníci Českého geologického ústavu zabývali v rámci činnosti státní geologické služby zvýšeným výskytem berylia v podzemní vodě v obci Horní Dubenky u Počátek (obr. 1).

Obec leží na moldanubickém plutonu, tvořeném drobně až středně zrnitým porfyrickým granitem mrákotínského typu. Ve vrcholových partiích Skelného a Kamenného vrchu převládá jeho jemnozrná forma. V mělkých terénních depresích a podél povrchových toků se vyskytuje deluviofluvialní, deluviofluviální a fluviální převážně hlinito-písčité sedimenty (Jenček et al. 1993). Jímací území obecního vodo-



vodu Horních Dubenek se nachází na z. svahu Skelného vrchu v nadmořské výšce od 712 do 787 m a na Růžičkově louce 688 m n. m. Podzemní voda je jímána studnami, které využívají mělký kolektor zvětralinového pláště granitů s rychlým oběhem podzemní vody. Souhrnná vydatnost jímacího území indikuje nízkou transmisivitu zvětralinové-



Obr. 1. Geologické schéma okolí Horních Dubenek

ho pláště. Studny situované na z. svahu Skelného vrchu mají celé hydrogeologické povodí zalesněné. V povodí studní na Růžičkové louce se vyskytují louky a pole.

Při detailnějším zjišťování výskytu zvýšených obsahů berylia v okolí obce bylo odebráno ca 10 vzorků vody z jímacích území v Horních Dubenkách a v okolních obcích ke stanovení základní chemické analýzy a obsahu berylia. K posouzení situace byly využity i výsledky několika desítek analýz Krajské hygienické služby v Jihlavě a VODAKU v Humpolci. Podzemní voda v odebraných vzorcích byla velmi měkká, slabě mineralizovaná (0,076 až 0,17 g.l<sup>-1</sup>) s kyselou chemickou reakcí (pH 4,9 až 5,5 in situ), molárního typu SO<sub>4</sub>-Ca-Na a jedině i Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>. Celkově měly vody nízký obsah vápníku, hořčíku, železa (pod mezi detekce) a hydrogenu ličitanů a lokálně zvýšený obsah hliníku (0,26 až 1,24 mg.l<sup>-1</sup>), berylia (0,25 až 4 µg.l<sup>-1</sup>), mangani (od meze detekce až do 280 µg.l<sup>-1</sup>) a dusičnanů (40,8 mg.l<sup>-1</sup>). Obsah fluoru se pohyboval od 0,13 mg.l<sup>-1</sup> při pH 5,6 do 0,71 mg.l<sup>-1</sup> při pH 4,9. Krajská hygienická služba v Jihlavě zjistila během dvouletého sledování až 8,6 µg.l<sup>-1</sup> berylia v podzemní vodě v jímacích studních Horních Dubenek.

Uvedené obsahy berylia v podzemní vodě jen potvrzuje výsledky geochemického mapování prováděného v ČGÚ v 90. letech, kdy bylo zjištěno, že v oblasti Horních Dubenek, mezi kótami Kaliště, Javovice a Studená (vrcholová část granitů moldanubického plutonu) se obsahy berylia v granitu pohybují mezi 5 až 10 mg.kg<sup>-1</sup> (Čadková - Jakeš -

Haková - Mrázek 1985). Obdobně i geochemické mapování povrchových vod v této oblasti (Majer 1995, Pačesová - Majer 1995) ukázalo vyšší koncentrace berylia (0,25 až 1,5 µg.l<sup>-1</sup>) a kadmia (0,3 až 1,75 µg.l<sup>-1</sup>) a nízké hodnoty pH (pod 4,5). Acidifikace povrchových vod dokumentuje nízkou pufrační schopnost připovrchové zóny zvětrávání granitů v dané oblasti. V povrchových vodách České republiky se průměrné hodnoty obsahu berylia pohybují okolo 0,2 µg.l<sup>-1</sup> (Majer et al. 1996).

V širším okolí Horních Dubenek v pararulách až migmatitech obsahy berylia kolísají v rozmezí 3 až 5 mg.kg<sup>-1</sup>. U ortorul je obsah ještě nižší – ca 1 až 3 mg.kg<sup>-1</sup> (Čadková - Jakeš - Haková - Mrázek 1985).

Zvýšené obsahy berylia a hliníku v jímané podzemní vodě Horních Dubenek pocházejí z horninotvorných minerálů – granitů z Na-živců, K-živců a biotitu.

Z výsledků analýz vzorků vody se následně stanovila distribuce berylia programem MINEQL+. Termodynamická data pro jednotlivé komplexy a pevné fáze byla použita z databáze tohoto programu. Vzhledem k tomu, že odebrané vzorky nebyly filtrovány, neodpovídaly koncentrace hliníku (a také Mn) množství rozpustěné látky, ale hodnoty z analýz byly navýšeny o množství rozpustěné ze suspendované hmoty po oxyselení vzorku před analýzou. Z uvedeného důvodu nemohly být tyto prvky do výpočtu zahrnutý a vliv koncentrace hliníku byl sledován separátně.

V tabulce 1 je uvedeno procentuální zastoupení jednotlivých iontových forem berylia ve vzorcích 1 až 10. Z vý-

sledků je zřejmé, že převažující forma berylia je komplex  $\text{BeF}_2^0$ , který bez ohledu na acidobazickou reakci, celkovou koncentraci berylia i obsah hliníku, převažuje ve všech vzorcích. Při pH okolo hodnoty 5 roste význam druhého komplexu  $\text{BeF}_2^0$  a vzniká i vyšší komplex  $\text{BeF}_3^-$ . Hydroxokomplexy se naopak projevují jen při vyšší hodnotě pH, nejvíce pak v posledním vzorku vody z vodovodní sítě, kde tento komplex vzniká jak na úkor komplexů s fluorem, tak i iontového  $\text{Be}^{2+}$ . V tabulce 2 jsou uvedeny celkové koncentrace berylia a koncentrace volného  $\text{Be}^{2+}$  ( $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) spolu s hodnotou pH. Zatímco celková koncentrace berylia se pohybuje v rozmezí více než jednoho řádu a je výrazně závislá na hodnotě pH, koncentrace  $\text{Be}^{2+}$  se v analyzovaných vzorcích pohybuje v rozmezí 0,01–0,02  $\mu\text{mol.l}^{-1}$  a na pH závisí podstatně méně. Je tedy zřejmé, že rozpustnost berylia a jeho transport v kyselých vodách jsou podmíněny především tvorbou fluorokomplexů. Vliv hliníku, jakožto konkurenčního prvku při tvorbě fluorokomplexů, byl sledován v nejkyselějším a nejalkaličtějším vzorku této série. Při vyšších hodnotách pH je vliv tvorby fluorokomplexů hliníku zanedbatelný, navíc dochází k jeho srážení převážně ve formě kaolinitu. Naopak v kyselém prostředí je většina hliníku ve formě fluorokomplexů, které podle jeho obsahu mohou vázat více než polovinu celkového fluoru a tím výrazně snižovat jeho podíl na tvorbě komplexů s berylem. Změna celkové koncentrace rozpustěného hliníku o jeden řád (z 1 na 10  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ ) v nejkyselějším vzorku série způsobuje

Tabulka 1. Procentuální zastoupení jednotlivých iontových forem berylia ve vzorcích podzemní vody

Vzorek číslo	$\text{Be}^{2+}\%$	$\text{BeOH}^+\%$	$\text{BeF}^+\%$	$\text{BeF}_2^0\%$	$\text{BeF}_3^-\%$
1	21,7	3,4	67,4	6,6	—
2	7,0	—	69,7	22,1	—
3	8,4	—	71,2	19,1	—
4	24,0	3,8	65,7	5,5	—
5	23,7	4,7	64,7	5,6	—
6	16,7	4,2	69,6	9,2	—
7	7,0	—	69,7	22,1	—
8	4,5	—	64,6	29,6	1,1
9	2,7	—	56,8	38,2	2,0
10	5,8	18,5	57,3	17,7	—

Tabulka 2. Celková koncentrace berylia a koncentrace volného  $\text{Be}^{2+}$  ve vzorcích podzemní vody

Vzorek číslo	pH	celk. Be $\mu\text{mol/l}$	$\text{Be}^{2+}\mu\text{mol/l}$
1	5,5	0,070	0,015
2	5,1	0,264	0,018
3	5,2	0,242	0,020
4	5,5	0,037	0,009
5	5,6	0,027	0,006
6	5,7	0,062	0,010
7	5,1	0,224	0,015
8	4,9	0,439	0,020
9	5,4	0,247	0,007
10	6,8	0,208	0,012

bí diský potlačení tvorby fluorokomplexů vzrůst koncentrace volných berylnatých iontů na více než dvojnásobek, i zde však podíl volných iontů  $\text{Be}^{2+}$  neprekračuje 12 %.

Rychlosť uvolňování strukturne vázaného berylia do roztoku je závislá na rychlosti hydrolytického rozkladu horninotvorných minerálů a přímo úmerná množství  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  uvolněného z minerálů plagioklasové, pyroxenové, amfibolové nebo biotitové řady (Skřivan et al. 1994, Dubánek 1996), přičemž speciace ve vodním prostředí ovlivňují obsahy fluoridových iontů, hliníku a organických substancí. Zásadní vliv má pokles pH srážkových vod na hodnotu  $\pm 4$  (Pačes 1983, Veselý et al. 1989, Skřivan et al. 1994), který se projevuje zejména v horských a podhorských oblastech a v horninovém prostředí s nízkou pufrační schopností. Zónami zvýšené mobility berylia jsou zvětralinové pláště nebo tektonicky silně porušené struktury granitoidů s mineralogickou predispozicí berylia, s dobrou komunikací se srážkovou vodou s pH  $\pm 4$  nebo proplynuté CO<sub>2</sub> (Dubánek 1996) a s nízkou pufrační schopností hornin.

V oblasti Horních Dubenek se relativně vysoké obsahy berylia (nad 1  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) objevují v podzemní vodě zachycené v nadmořské výšce nad 700 m s kyselou depozicí srážek na granitech. Se vzrůstající mocností zvětralín a obhospodařováním půdy dochází k zvýšení pH podzemní vody mělkého oběhu a následně snižení obsahu berylia ve vodě. Zpravidla však dochází k nárůstu obsahu dusičnanů vlivem zemědělské činnosti. V mělké zvodni granitů v okolí Horních Dubenek se berylium v podzemní vodě vyskytuje především ve fluorokomplexech.

Dosud však nebyla prokázána toxicita přirozeně rozpustěného berylia v podzemních vodách a tak vyvstává otázka jeho únosné koncentrace v pitné vodě pro lidský organismus, neboť Horní Dubenky nejsou jedinou obcí v České republice, která má zvýšené obsahy rozpustěného berylia v podzemní vodě.

#### Literatura:

- Čadková, M. - Jakeš, M. - Haková, E. - Mrázek, V. (1985): Katalog geochemických dat základní regionální sítě. – MS Čes. geol. úst. Praha.  
 Dubánek, V. (1996): Výzkum adsorpce berylia na umělé a přírodní sorpční materiály a možnosti jejich využití ve vodním hospodářství. – MS FER&MAN Technology. Praha.  
 Jenček, V. et al. (1993): Základní geologická mapa 1 : 25 000, list 23-324 Žirovnice. – MS Čes. geol. úst. Praha.  
 Majer, V. (1995): Mapa geochemie povrchových vod ČR 1 : 50 000, list 23-41 Třešť. – Čes. geol. úst. Praha.  
 Majer, V. - Sáňka, V. - Veselý, J. (1996): Geochemie povrchových vod na území listu 23 - Jihlava. – MS Čes. geol. úst. Praha.  
 Pačes, T. (1983): Základy geochemie vod. – Academia. Praha.  
 Pačesová, E. - Majer, V. (1995): Mapa geochemie povrchových vod ČR 1 : 50 000, list 23-32 Kamenice nad Lipou. – Čes. geol. úst. Praha.  
 Skřivan, P. et al. (1994): Cycling of beryllium in the environment under anthropogenic impact. – Scien. Agric. Bohem. 1994, 65–75. Prague.  
 Veselý et al. (1989): Occurrence and spetiation of beryllium in acidified freshwaters. – Wat. res. 23, 6, 711–717.