

## NOVÉ ÚDAJE ZE ZNÁMÝCH I NEZNÁMÝCH HORNIN V OKOLÍ LIPNICE NAD SÁZAVOU

### New information from known as well as unknown rocks in the surroundings of Lipnice nad Sázavou

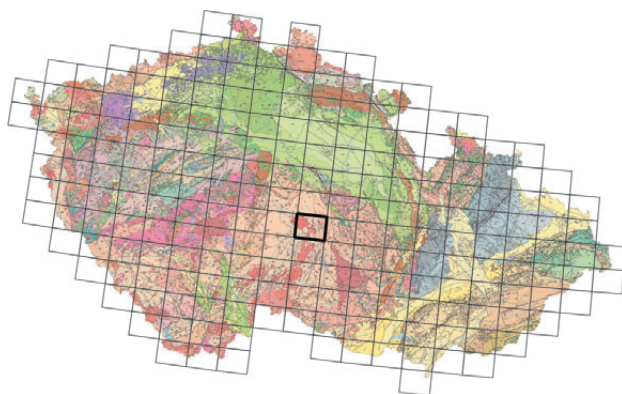
VÁCLAV PROCHÁZKA<sup>1,2</sup> – DOBROSLAV MATĚJKA<sup>1</sup> – PAVEL UHER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2

<sup>2</sup> Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav skla a keramiky, Technická 5, 166 28 Praha 6, vaclav.prochazka@vscht.cz

<sup>3</sup> Přírodovědecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava

(23-21 Havlíčkův Brod)



**Key words:** geomagnetic anomaly, paragneiss, granite genesis, Moldanubicum, monazite

**Abstract:** The highly magnetic cordierite paragneisses from Orlík at Humpolec were characterized by thermomagnetic curves and Mössbauer spectrometry. There is abundant magnetite, which evolved from hematite. The monazite ages range from 323 to 428 Ma, the higher values being interpreted as older grains with partial Variscan resetting; in one case an age of 768 Ma has been obtained. Elevated contents of S and Eu in monazite reflect oxidized environment.

The poorly exposed fine-grained Lipnice gneiss represents a transition between paragneiss (relatively rich in Ca and Sr) and granite (probably the Pavlov type). The bands with anhedral poikilitic microcline alternate with „normal“ paragneiss (plagioclase, quartz, biotite); it is not sure, however, if they were formed by partial melting or metasomatism.

New and also revised older data show that the extent of Lipnice granite (characterized mainly with high Th) and Pavlov granite is much larger and more complicated. The only realistic explanation for chemical variability of all granites between the stocks of Melechov and Čeřín lies in the composition of their protoliths, with magmatic processes having little significance.

Zatímco oblast melechovského masivu je předmětem intenzivních výzkumů již 15 let, okolní metamorfity i granity dále na J jsou známy podstatně méně. Přitom mohou odpovědět na některé otázky např. o původu lipnické žuly a hojných uzavřenin, které obsahuje. Otázkou je také rozšíření granitoidů typu Pavlov, které jsou obsahy hlavních prvků velmi podobné lipnické žule (a celkovým vzhledem zase koutskému granitu), ale liší se stopovými prvky, hlavně nerosovatelně nižšími poměry Rb/Sr (< 0,4; ČADKOVÁ et al. 1984; MATĚJKA 1997).

Cordieritické ruly, jejichž část tvoří silnou magnetickou anomálii na Orlíku v. od Humpolce, byly popsány ZEMAN-

KEM (1964) a PROCHÁZKOU (2007). Hojný opakní minerál, jehož objem v těchto horninách běžně dosahuje 1–1,5 %, vznikl jako hematit s odmišleným ilmenitem (titanohematit). Tyto minerály ovšem nejsou feromagnetické. Pro určení dalších oxidů Fe byly použity termomagnetické zkoušky a Mössbauerova spektrometrie. Podrobnější popis metodiky a všechny výsledky obsahuje připravovaná publikace V. Procházky, M. Chlupáčové, D. Nižňanského a P. Uhera. Byly též provedeny vlnově disperzní elektronové mikroanalýzy. Monazit a částečně i hematit/magnetit byly analyzovány na mikrosondě ve Státním geologickém ústavu Dionýza Štúra v Bratislavě, hematit/magnetit a ilmenit v Geologickém ústavu AV ČR v Praze.

Jemnozrná rula, která se nachází pod Lipnicí nad Sázavou (jv. od obce) a o níž autora informoval J. Páša, zatím nebyla popsána. V současnosti není znám výchoz této horniny. Objem materiálu nalázaného v lese a na kraji pole je však tak velký, že musí jít o primární výskyt. Makroskopicky tato hornina může připomínat mikrogranitoid (proto označení „jemnozrná“).

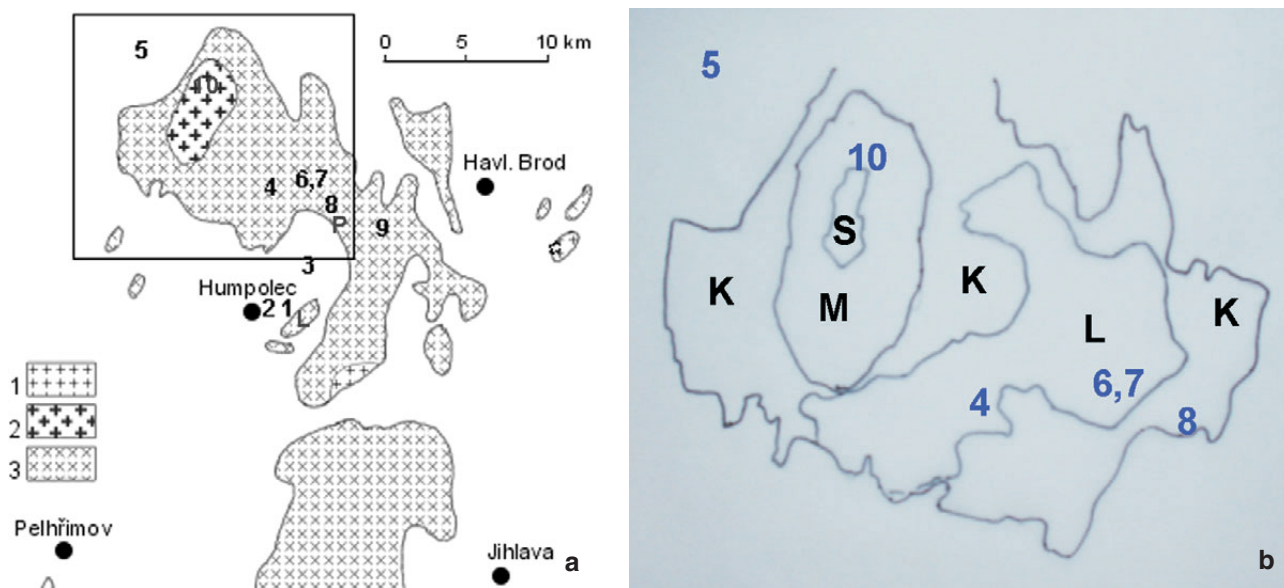
### Cordieritické ruly

V opakním minerálu jsou zpravidla vidět v odraženém světle i v odražených elektronech tmavší lamely ilmenitu ve světlejším oxidu Fe. Lamely jsou zpravidla tenčí než 2 μm, a proto lze mikrosondové analýzy provádět jen tak, že kromě analyzované fáze je zahrnuta aspoň z 10 % i ta druhá. Našly by se sice i větší body pro analýzu, ale jejich reprezentativnost by byla pochybná. Podle termomagnetických křivek je v hornině přítomno nemalé množství magnetitu. Při přepočtu analýz oxidu bez Ti na magnetit jsou sumy zpravidla příliš nízké, proto je pravděpodobné, že jde o směs magnetitu a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Vedle hematitu by mohlo jít i o maghemit, jehož přítomnost je indikována termomagnetickými křivkami a nevykládají ji ani Mössbauerovská spektra.

Hematit/magnetit obsahuje příměsi dalších trojmocných kovů (nejvyšší zjištěné obsahy 1,3 % V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a 0,35 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), zatímco příměsi Mg, Mn a Zn v něm nejsou detekovatelné ani vlnově disperzní analýzou.

Magnetit musel vzniknout redukcí původního hematitu. Pokud by tato redukce proběhla jako ztráta kyslíku, došlo by ke zmenšení objemu asi o 1 %. To by vysvětlovalo vznik velmi tenkých rutilových lamel, které přetínají starší ilmenitové, a možná i vznik velmi tenkých a přitom dlouhých nepravidelných trhlín vyplněných zpravidla cordieritem.

Pokud jde o zrna oxidu Fe bez ilmenitových lamel, často doprovázená rutilem, která jsou mladší než původní



Obr. 1. a – lokalizace zkoumaných vzorků (čísla analýz v tab. 2a) a hlavní typy granitoidů v oblasti (podle MATĚJKY 1997): 1 – typ Eisgarn s. l. (nerozlišeno), 2 – melechovský peň (typy Melechov a Stvořidla), 3 – typ Pavlov; L – výskyt horniny odpovídající lipnickému typu z litogeochemické databáze, P – vzorek odpovídající typu Pavlov ležící podle mapy na území tvořeném koutským typem (analýza v tab. 2b). Bílé plochy jsou metamorfity, ojediněle i relikty terciálních sedimentů. b – výřez melechovského masivu s typy granitů podle MLČOCHA et al. (1995): L – Lipnice, K – Kouty, M – Melechov, S – Stvořidla.

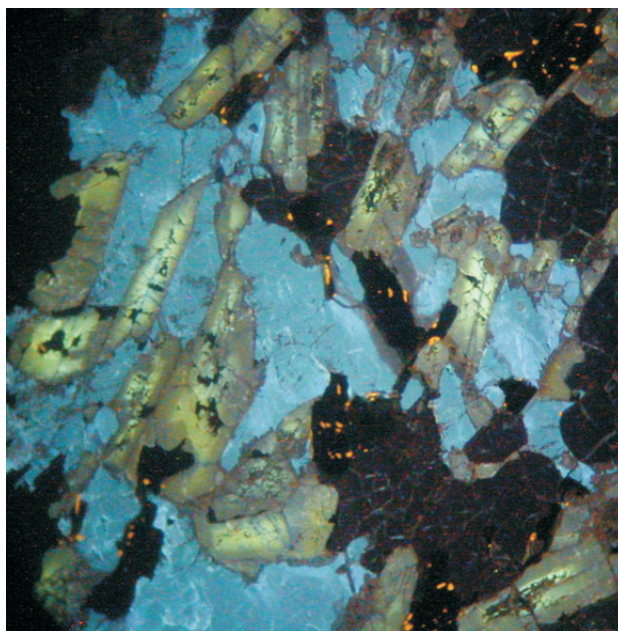
Tabulka 1. Rozmezí některých chemických charakteristik dvou skupin monazitu v rule z Orlicku (vzorek z jižního svahu u Rozkoše)

	n	stáří Th-U-Pb (Ma)	ThO <sub>2</sub> (%)	UO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Eu/Eu*
skupina s nižším U	6	337–372	4,09–5,28	0,26–0,31	0,51–0,70	0,05–0,34
skupina s vyšším U	13	323–428 (+ 768)	3,24–7,13	0,46–0,95	0,43–1,03	0,19–0,54

titanohematit (PROCHÁZKA 2007), lze opět podle analytických sum odhadnout, že by mohlo jít o směs magnetitu s Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Monazit v hornině tvoří poměrně velká zrna, jejichž délka často přesahuje 0,1 mm. Dvě ostře oddělené skupiny se liší obsahem U, resp. poměrem Th/U (tab. 1). Složení monazitu ukazuje, že vznikl v oxidačních podmínkách: předně zvýšený obsah síry, který ONDREJKA et al. (2007) vysvětlují přítomností „klineanhydritové“ složky CaSO<sub>4</sub> (což odpovídá poměrům atomů i v monazitech z Orlicku). Poměrně vysoké jsou i obsahy Eu, které má sice negativní anomálii vůči chondritům, ale často je poměr Eu/Eu\* plně srovnatelný s moldanubickými pararulami (zatím lze použít jen údaje z litogeochemické databáze; nejbližší je vzorek z Kamenice u Humpolce, kde je hodnota Eu/Eu\* přibližně 0,5). Znamená to, že v době krystalizace aspoň některých monazitů bylo všechno Eu v hornině trojmocné. Vyšší hodnoty Eu/Eu\* mají spíše monazity bohatší na U (tab. 1).

Stáří monazitu podle poměrů Th, U a Pb se pohybuje od hodnot čistě variských až po hodnoty přes 400 Ma, které jsou i přes možnou nepřesnost příliš vysoké na variskou metamorfózu v oblasti (viz též SCHARBERT – VESELÁ 1990). Pravděpodobně jde o neúplné smazání podstatně vyšších stáří. O tom svědčí i zatím ojediněle zjištěné stáří 768 Ma; zrno s touto hodnotou svým složením, ale ani tvarem (který činí nepravděpodobným klastický původ) nijak nevybočuje ze skupiny monazitů s vyšším obsahem U.



Obr. 2. Poikilitický K-živec (světle modrý) uzavírající původní plagioklas (žlutý až šedý, se zachovalým původním usměrněním), křemen (tmavě fialový, se světlými prasklinami) a biotit (nejtmavší, s drobnými oranžovožlutými uzavřeními apatitu). Snímek v chladné katodoluminiscenci, šířka záběru 4 mm.

Tabulka 2. a – nové analýzy vzorků rul a granitů

hornina	silně magnetické cordieritické ruly		málo magnetické cordieritické ruly		sillimanit-biotitická pararula	jemnozrnná lipnická rula		nové výskyty lipnické žuly		melechovský granit (Leštinka)	
lokality	Orlík (v. od Humpolce)	Humpolec	Orlík (sv. od Humpolce)	Řečice (v lipnické žule)	Ledeč nad Sázavou, lom	část. pro-křemenělý vzorek		Svítalka (balvan v lese)	Krásná Hora	RFA	silikátová analýza + ICP-MS
č. vz.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10
SiO <sub>2</sub>	53,49	55,73	57,62	64,15	59,24	63,38	63,02	63,26	65,29	65,60	72,46
TiO <sub>2</sub>	1,07	0,95	1,01	0,60	0,75	0,56	0,58	0,40	0,43	0,11	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,00	24,34	22,25	19,17	18,47	19,08	19,15	17,44	17,47	17,51	15,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3 tot</sub>	8,50	7,84	7,90	4,34	5,33	3,08	3,10	1,99	2,31	1,04	1,15
MnO	0,106	0,095	0,079	0,045	0,072	0,04	0,04	0,02	0,03	0,029	0,03
MgO	4,47	3,68	3,23	1,31	2,37	0,97	1,02	0,65	0,84	0,24	0,28
CaO	1,03	0,65	0,69	0,68	2,00	2,69	2,78	0,77	1,07	0,64	0,72
Na <sub>2</sub> O	1,34	1,18	1,79	2,73	3,91	4,26	4,56	3,33	3,41	4,32	3,68
K <sub>2</sub> O	3,98	4,49	3,65	4,04	3,34	3,36	3,50	5,71	5,45	4,62	4,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,21	0,12	0,30	0,19	0,34	0,32	0,37	0,34	0,51	0,39
F				0,251	0,088	0,101	0,139	0,134			
-O = F2				0,106	0,037	0,043	0,059	0,056			
Rb	141	142	118	271	90	99	106	298	282	268	
Sr	113	101	140	<76	292	583	583	82	102	84	76
Ba	499	579	574	306	752	699	582	438	416	137	144
Zr	261	213	271	212	215	311	318	261	223	82	52
V	106	198	172	74	93	<43	<42	14,2			
Cr	139	121	119								
Co	73,0	73,0		30,1		28,6	18,4				
Ni	58,6		38,0		15,1						
Cu	118,3		17,3	45,2			12,0	12,0			
Zn	156	149	138	90	91	<59	64	79,8	<79	<47	
Th	13,3	18,8		15,8	11,5	16,1	17,3	46,1	39,2		
U	3,0	3,3		4,7	2,7	2,2	2,5	5,2	8,9		

F metodou ISE v laboratořích ČGS v Praze, Th a U gamaspektrometrií (na PřF UK, lipnická rula ve firmě Georadis), ostatní prvky rentgenfluorescencí v centrálních laboratořích VŠCHT Praha; nevyplněné údaje stopových prvků jsou pod mezí detekce RFA, hodnoty “<X” jsou vyšší než 10 ppm. Je uvedena též jedna překryvná silikátová analýza provedená na PřF UK s některými stopovými prvky stanovenými ICP-MS (kompletní in HARLOW et al. v tisku).

b – složení granitoidu odebraného u obce Svítalka

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3 tot</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rb	Sr	Ba	Nb	Zr
69,52	0,35	14,50	2,31	0,04	0,58	1,66	3,37	3,68	0,180	168	430	854	7	162

rentgenfluorescenční analýza v býv. laboratořích Geoindustrie v Černošicích

Terénní měření susceptibilitu a mikroskopie i chemické složení dalších vzorků potvrdily to, co vyplývá z geologických map i z geofyzikálních měření: od Orlíku až k j. kontaktu melechovského masivu pokračují cordieritické ruly výrazně méně magnetické, ale jinak se významně neliší. To platí i pro uzavřeniny cordieritických rul v lipnické žule. Výrazné snížení susceptibilitu je způsobeno menším

objemem, ale také jiným složením oxidu Fe. Mohlo by jít o další oxidaci, jejíž počátek je zaznamenán již v rulách z Orlíku (přeměna magnetitu/hematitu s ilmenitem na hematit? + rutil) a která se projevuje obvykle červeným zbarvením a nerovným povrchem opakního minerálu. Granitoidy mají magnetickou susceptibilitu ještě nižší (< 10<sup>-5</sup> SI); zajímavé je, že několik centimetrů velké pecky bohaté sillima-

nitem a slídkami v lipnické žule mají susceptibilitu pravděpodobně srovnatelnou s uzavřeninami cordieritických rul (vzhledem k malé velikosti pecek je bohužel měření ovlivněno i okolní žulou). V těchto peckách je ve srovnání s okolní hmotou žuly podstatně hojnější ilmenit, který by mohl obsahovat i zbytek magnetitu.

Chemické složení nově analyzovaných cordieritických pararul (tab. 2) je srovnatelné s existujícími daty. Zvýšené Rb v uzavřenině v lipnické žule by mohlo být druhotné, podobně zvýšený obsah Rb je rovněž v uzavřenině pararuly v granitu z vrhu u Rejčkova (podle CHVÁTALA et al. 2005).

### Jemnozrná lipnická rula

Jde o horninu s méně výraznou foliací než mají typické biotitické pararuly, ale se srovnatelnou velikostí zrn původního plagioklasu, křemene a biotitu. Ty tvoří pásy o mocnosti do 2 mm, které se střídají se srovnatelně širokými pásy, v nichž starší minerály uzavírá xenomorfní K-živce (často s mikroklinovým mřížkováním). Plagioklas v obou typech pásků mají srovnatelnou bazicitu (obvykle blízkou  $An = 30$ ), která vždy klesá od středu k okraji, ale v K-živci jsou plagioklasy častěji alterovány. Vysoké obsahy Ba v K-živci (~ 0,4 % BaO) a Sr v obou živcích (~ 0,1 % SrO) odrážejí složení horniny (tab. 2).

Pozoruhodná je absence sillimanitu (kromě nehojných jehliček v biotitu) i cordieritu, což činí problematickým vysvětlení původu K-živce parciálním tavením (SCHULMANN et al. 1998 popisují na j. kontaktu melechovského masivu produkci taveniny reakcí  $Btt + Sil = Crd + Kfs + l$ ). Možnost vzniku horniny podobné migmatitu metasomatickým přínosem K je tak třeba brát v tomto případě velmi vážně, parciální tavení je nezbytné jen pro vysvětlení eventuální další přeměny na horninu s granitickou strukturou.

Makroskopicky jsou patrné časté tenké křemenné žilky, na mikroskopické úrovni je pozorovatelná až mylonitizace u trhlin; poblíž mylonitizovaných poloh dochází naopak k rekrystalizaci biotitu a křemene na větší zrna. Vztah deformace a vzniku poikilitického K-živce zatím nebyl určen, zdá se však, že deformace je současná nebo starší.

S granitem typu Pavlov, který byl podle dosud nepublikované analýzy zjištěn i u nedaleké obce Svítalka, pojí lipnickou rulu kromě nízkého poměru Rb/Sr (tab. 2; viz též MATĚJKA 1997) a zvýšeného Ca také hojný výskyt drobných uzavřenin apatitu v biotitu a ilmenitu (viz též PROCHÁZKA – MATĚJKA 2007). Také složení biotitu a ilmenitu je srovnatelné s granitoidy typu Lipnice a Pavlov, zatímco od pararuly z Čejova (HARLOV et al. v tisku) se biotit liší vyšším poměrem Fe/Mg.

Z akcesorií je zajímavý také hojný monazit, tvořící poměrně velká zrna (až desetiny milimetru), která obvykle mají aspoň dvě zóny lišící se výrazně obsahem Th, ale někdy i podstatně komplikovanější sektorovou zonálností.

### Nové výskyty lipnické žuly

Lipnická žula byla vymezena podle chemického složení, hlavně obsahu Th (MLČOCH et al. 1995). Horniny stejného složení však byly zjištěny i na lokalitách Krásná Hora, Svítalka (tab. 2) a Humpolec (litogeochemická databáze). Ukazuje se tedy, že chemicky kontrastní typy Pavlov a Lipnice se vyskytují, i když zpravidla v malých tělesech, na mnohem větším území. Lze si těžko představit, že by tyto horniny vznikly z jednotných magmatických rezervoárů za předpokladu, že se stáří ztuhnutí různých typů granitů příliš neliší. Chemická variabilita granitoidů je tak dána hlavně rozdíly ve složení zdrojových hornin, zatímco magmatická frakcionace se zřejmě významněji uplatnila jen v pni Melechova (typy Melechov a Stvořidla) a Čeřínu, případně v jejich těsné blízkosti.

*Poděkování. Za spolupráci patří poděkování RNDr. Martě Chlu-páčové a pracovníkům firmy Georadis a doc. D. Nižňanskému. Tato práce byla podpořena Agenturou na podporu výzkumu a vývoje na základě smlouvy č. APVV-0557-06 a z prostředků Výzkumného záměru MŠMT MSM 0021620855.*

### Literatura

- ČADKOVÁ, Z. – JAKES, P. – HAKOVÁ, M. (1984): Katalog geochemických dat základní regionální sítě. In: Litogeochem. databáze Čes. geol. služby. – MS Čes. geol. služba, Praha.
- HARLOV, D. E. – PROCHÁZKA, V. – FÖRSTER, H. J. – MATĚJKA, D. (v tisku): Origin of monazite-xenotime-zircon-fluorapatite assemblages in the peraluminous Melechov granite massif, Czech Republic. – Mineral. Petrol.
- CHVÁTAL, M. – STRNAD, L. – ŠEBEK, O. – ZACHARIÁŠ, J. (2005): Contribution to the WP2 report "Melechov Massif, Czech Republic", Geochemical part. Dílčí zpráva projektu PADAMOT. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlovy, Praha.
- MATĚJKA, D. (1997): Chemismus hlavních typů granitů v severní části moldanubického plutonu. – Zpr. geol. výzk. v Roce 1966, 47–48.
- MLČOCH, B. – ŠTĚPÁNEK, P. – PROCHÁZKA, J. (1995): Stručná petrologická a petrochemická charakteristika základních typů melechovského masivu. – MS Čes. geol. služba – Geofond, Praha, P 86603/2.
- ONDREJKA, M. – UHER, P. – PRŠEK, J. – OZDÍN, D. (2007): Arsenian monazite-(Ce) and xenotime-(Y), REE arsenates and carbonates from the Tisovec-Rejkovo rhyolite, Western Carpathians, Slovakia: Composition and substitutions in the (REE,Y)XO<sub>4</sub> system (X = P, As, Si, Nb, S). – Lithos, 95, 1–2, 116–129.
- PROCHÁZKA, V. (2007): Cordieritické ruly velmi bohaté Ti-hematitem z Orlíku u Humpolce. – Zpr. geol. výzk. v Roce 2006, 133–135.
- PROCHÁZKA, V. – MATĚJKA, D. (2007): Fluorapatit v granitoidech severní části centrálního masivu moldanubického plutonu. – Geochem. Mineral., 1/1, 17 str.
- SCHARBERT, S. – VESELÁ, M. (1990): Rb-Sr systematics of intrusive rocks from the Moldanubicum around Jihlava. In: MINAŘIKOVÁ, D. – LOBITZER, H., Eds: 30 years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia, 262–271. – Ústř. úst. geol. Praha.
- SCHULMANN, K. – VENERA, Z. – KONOPÁSEK, J. – TÁBORSKÁ, Š. – LEXA, O. – ŠTÍPSKÁ, P. (1998): Strukturální a geologický výzkum melechovského masivu. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlovy, Praha, Čes. geol. služba – Geofond, Praha, P 93389.
- ŠTĚPÁNEK, P., red. (1995): Geologická mapa České republiky 1 : 50 000, list 23-21 Havlíčkův Brod. – Čes. geol. úst. Praha.
- ZEMÁNEK, V. (1964): Interpretace magnetických anomálií v oblasti Chýnova a Humpolce. Kandidát. disert. práce. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlovy, Praha.