



Granity uranového ložiska Okrouhlá Radouň

Granites of the Okrouhlá Radouň uranium deposit

Miloš René⁽¹⁾

Abstract: Two petrographic varieties of two-mica granites were distinguished in the area of the Okrouhlá Radouň uranium deposit (ca 50 km NE from České Budějovice): (1) The prevailing variety is a fine- to medium-grained leucogranite of monzogranite to syenogranite composition. This variety corresponds to the Deštná type forming the Klenov pluton. This rock is poor in Mg (0.1–0.5 wt. % MgO), Ca (0.6–1.1 wt. % CaO), Rb (140–260 ppm), Th (1.6–6.2 ppm), Zr (15–81 ppm), and bulk of REE (33–69 ppm) as compared to common S-type granites. (2) The less widespread second variety is porphyritic granite, which behaves as relatively older than the Deštná leucogranite. This rock is lower in silica (68.5–70.8 wt. % SiO₂), but has considerable higher contents of Mg (0.4–1.0 wt. % MgO), Ca (1.0–2.0 wt. % CaO), Th (11–15 ppm), Zr (52–123 ppm), and bulk of REE (133–173 ppm) in comparison with the Deštná leucogranite. As it differs geochemically also from another known varieties of porphyritic two-mica granites from the Moldanubian batholith (Číměř, Řásná) it is considered a new variety for which the name Dívčí Kopy variety is proposed.

Key words: Bohemian Massif, Moldanubian batholith, Klenov pluton, granite, petrography, geochemistry.

Abstrakt: Na ložisku uranových rud Okrouhlá Radouň (cca 50 km SV od Českých Budějovic) byly nalezeny dva typy dvojslídnych granitů: (1) Převažujícím horninovým typem je jemnozrný až středně zrnitý leukogranit monzogranitového až syenogranitového složení. Tato varieta odpovídá typu Deštná v klenovském plutonu. Tato hornina se ve srovnání s typickými S-typy granity vyznačuje nižším obsahem Mg (0,1–0,5 hmot. % MgO), Ca (0,6–1,1 hmot. % CaO), Rb (140–260 ppm), Th (1,6–6,2 ppm), Zr (15–81 ppm) a celkovým obsahem prvků vzácných zemin (33–69 ppm). (2) Méně rozšířeným druhým horninovým typem je porfyrický granit, který je o něco starší než leukogranit typu Deštná. Porfyrický granit obsahuje ve srovnání s leukogranity typu Deštná méně Si (68,5–70,8 hmot. % SiO₂), ale výrazně více Mg (0,4–1,0 hmot. % MgO), Ca (1,0–2,0 hmot. % CaO), Th (11–15 ppm), Zr (52–123 ppm) a větší celkové množství prvků vzácných zemin (133–173 ppm). Vzhledem k tomu, že porfyrický granit se svým chemickým složením odlišuje od ostatních známých variet porfyrických granitů moldanubického batolitu (Číměř, Řásná) lze tento horninový typ považovat za novou varietu, pro niž bylo zvoleno označení Dívčí Kopy (podle typické lokality ležící sv. od Okrouhlé Radouň).

Klíčová slova: Český masiv, moldanubický batolit, klenovský pluton, granit, petrografie, geochemie.

1) Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, CZ – 182 09 Praha 8, e-mail: rene@irms.cas.cz

Úvod

Uranové ložisko Okrouhlá Radouň leží na severovýchodním okraji klenovského plutonu, cca 10 km severně od Jindřichova Hradce (obr. 1). Ložisko, těžené v 70. letech 20. století patřilo k menším uranovým ložiskům Českého masivu. Uranová mineralizace je vázaná na střižné zóny směru SSZ–JJV, které dislokují jednak metamorfované horniny jihočeského moldanubika a jednak dvojslídne granity, které jsou součástí klenovského plutonu. Předložená studie se zabývá charakteristikou dvojslídnych granitů a navazuje na předchozí práce věnované petrogenезi granitů klenovského plutonu (René et al. 1999) a hydrotermálním alteracím těchto granitů (René 2005). Cílem této studie je nabídnout jednak ucelenou charakteristiku minerálního a chemického složení těchto granitů a jednak detailní charakteristiku základních horninotvorných minerálů těchto granitů.

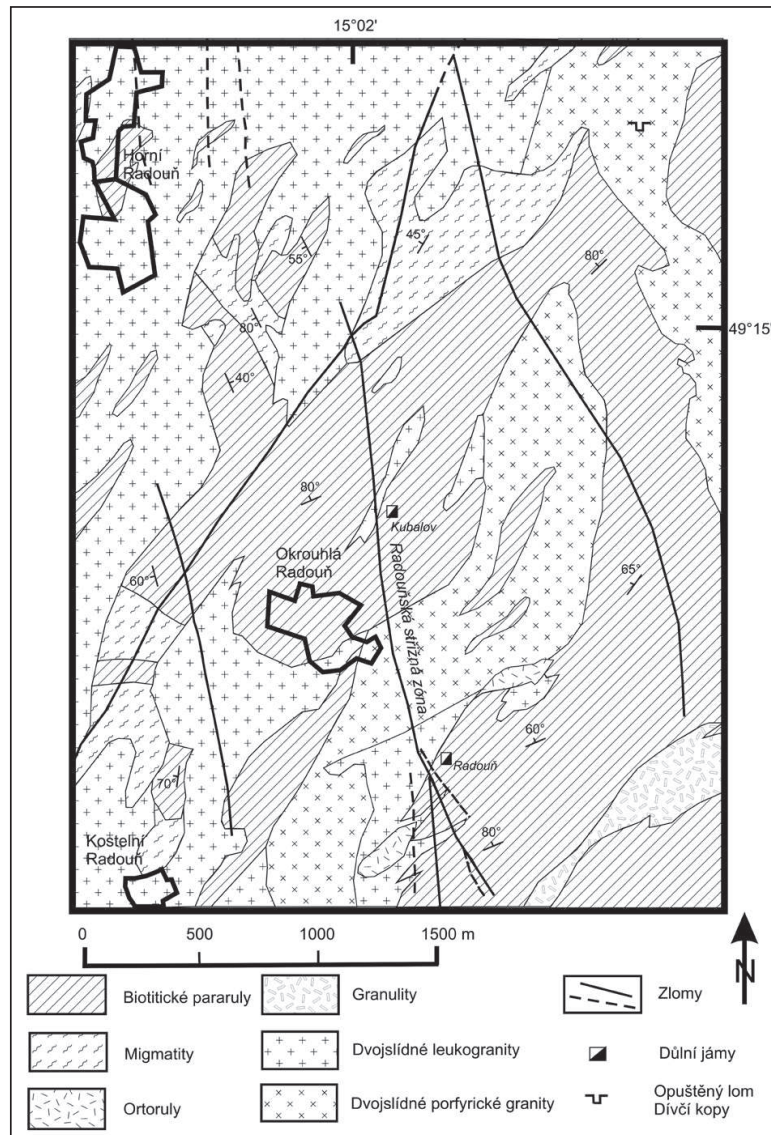
Geologická pozice

Uranová mineralizace ložiska Okrouhlá Radouň je vázaná především na radouňskou střižnou zónu, která byla důlními pracemi zpřístupněna v délce cca tři kilometry do hloubky 600 metrů pod povrchem. Důlní práce byly nejrozsáhlejší na úrovni 5. a 8. patra. V průběhu důlních prací a rozsáhlého vrtného průzkumu v bezprostředním okolí ložiska (Pletánek 1979) byly odkryty jednak metamorfované horniny moldanubika, jednak dvojslídne granity, tvořící protáhlá tělesa paralelní se SV–JZ foliací okolních metamorfovaných hornin. Dvojslídne leukogranity jsou svým složením podobné granitům klenovského plutonu. Klenovský pluton, který poprvé vymežil Zelenka (1923) jako samostatné magmatické těleso moldanubického batolitu, je tvořen samostatným typem dvojslídnych granitů Deštná, které byly vymezeny na základě strukturního (Klečka & Rajlich 1984) a geochemického studia (Klečka et al. 1991, Breiter et al. 1998, René et al. 1999, 2003). Mimo tohoto typu dvojslídnych leukogranitů byly na ložisku Okrouhlá Radouň zastiženy rovněž dvojslídne porfyrické granity, které jsou starší než dvojslídne leukogranity typu Deštná. Jejich relativně větší stáří lze dokumentovat výskyty xenolitů porfyrických granitů v dvojslídnych leukogranitech ve výchozu v obci Kostelní Radouň (obr. 1 v barevné příloze č. 1). Na vlastním ložisku byly na úrovni 8. patra zastiženy žíly dvojslídnych leukogranitů prorážející tělesa porfyrických granitů (Novák 1978). Metamorfované horniny, zastoupené především různě intenzivně migmatitizovanými pararulami, amfibolity a ortorulami byly podrobněji charakterizovány v předchozích studiích (René 2003, 2006, 2007). K vzácnějším metamorfovaným horninám patří granulity, které tvoří menší těleso jv. od uranového ložiska Okrouhlá Radouň. Granulity byly podrobněji charakterizovány v práci Pletánek (1979).

Metodika

Pro účely této studie bylo zhotoveno 46 chemických analýz. Stanovení hlavních komponent bylo provedeno klasicky mokrou cestou v laboratoři ÚSMH AV ČR, v.v.i. (analytici P. Hájek, M. Hříbal, J. Chalupský, M. Malá a Z. Švec). Obsah SiO_2 byl stanoven vážkově, obsah Al_2O_3 a FeO byl stanoven titračně, obsah Fe_2O_3 , TiO_2 a P_2O_5 byl stanoven spektrometricky, obsah MnO , CaO , MgO , K_2O a obsah Na_2O byl stanoven pomocí atomové absorpční spektrometrie (AAS). Stanovení obsahu vybraných stopových prvků bylo provedeno metodou hmotové spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP MS) na přístroji Perkin Elmer Sciex ELAN 6100 v laboratoři Activation Laboratories, Ltd. v Kanadě (analytik D'Anna). Chemické analýzy horninotvorných minerálů (plagioklas, draselný živec, biotit, muskovit) byly provedeny na elektronové mikroskopě Cameca SX 100 v laboratoři GLÚ

AV ČR, v.v.i. v Praze (analytik Z. Korbelová). Analýzy horninotvorných minerálů byly provedeny za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud 10 nA, průměr elektronového svazku 1–5 μm . Homogenní minerály a syntetické fáze byly použity jako standardy. Minerální vzorce živců a slíd byly vypočteny pomocí programu MINPET. Množství iontů v jednotkách na vzorec (apfu) bylo v případě živců počítáno na 32 atomů kyslíku, v případě slíd na 24 atomů kyslíku.



Obr. 1 – Geologická mapa uranového ložiska Okrouhlá Radouň (podle práce Pletánek 1979, upraveno autorem).

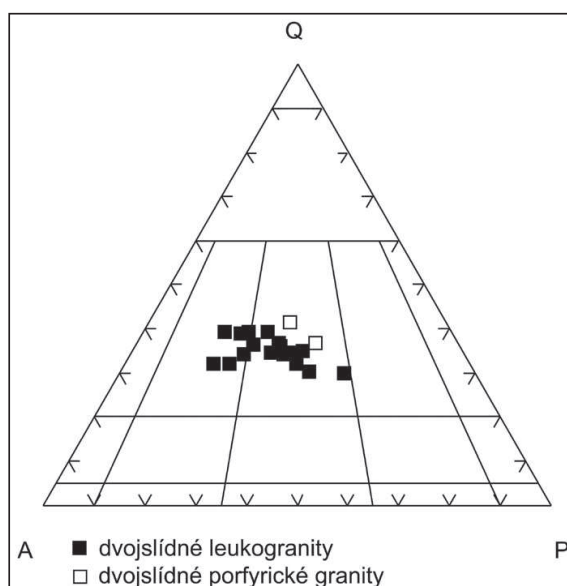
Fig. 1 – Geological map of the Okrouhlá Radouň uranium deposit (after Pletánek 1979, modified by author).

Petrografie

Leukogranity typu Deštná

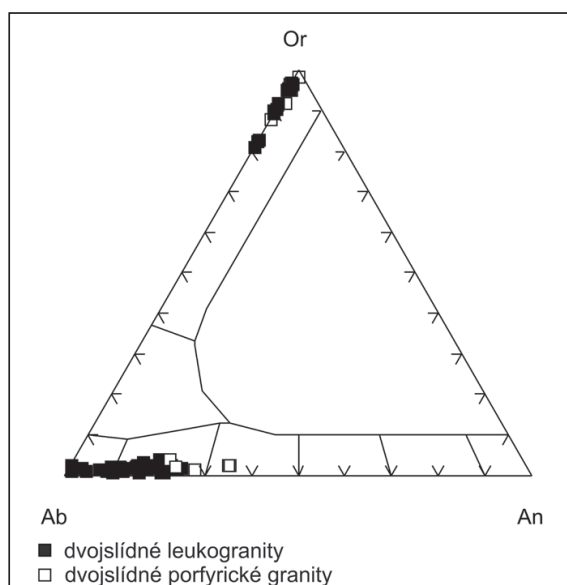
Charakteristika kvantitativního minerálního složení hornin vychází z diplomových prací Šedina (1976) a Novák (1978), jejichž modální analýzy byly převzaty do QAP diagramu (obr. 2). Dvojslídne leukogranity typu Deštná jsou jemnozrné až středně zrnité, obvykle stejnozrné monzogranity až

syenogranity (obr. 2). Granity někdy obsahují drobné vyrostlice K-živce. V některých případech granity obsahují šlíry nebo nodulární uzavřeny biotitu a sillimanitu (obr. 2 v barevné příloze č. 1). Tyto agregáty reprezentují restitický materiál původních sillimanit-biotitických pararul, které jsou považovány za potenciální zdroj granitové taveniny dvojslídých granitů moldanubického batolitu (René et al. 2008, Žák et al. 2011). Modální složení dvojslídých leukogranitů je značně variabilní: křemen 30–42 %, K-živce 24–50 %, plagioklas 16–44 %, muskovit 0,8–8,0 %, biotit 0,4–5,0 %. Akcesorické minerály jsou reprezentovány apatitem, andalusitem, ilmenitem, zirkonem, monazitem, xenotimem a velmi vzácným cordieritem. Cordierit, který je obvykle zcela přeměněný na chlorit a muskovit je rovněž součástí restitického materiál původního metasedimentu. Cordierit je často obrůstán zrny mladšího magmatického andalusitu (obr. 3 v barevné příloze č. 1).



Obr. 2 – Modální složení granitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň.

Fig. 2 – Modal composition of the Okrouhlá Radouň uranium deposit.



Obr. 3 – Složení živců z granitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň.

Fig. 3 – Composition of feldspars from granites of the Okrouhlá Radouň uranium deposit.

V případech, kdy muskovit převládá výrazně nad biotitem, byla část leukogranitů typu Deštná popisována jako aplitické granity (Mrázek 1972), přestože jejich struktura je typicky granitická, nikoliv aplitická. Draselný živec (Or_{81-97} , Ab_{3-19} , $\text{An}_{0-0,8}$) má podobu idiomorfních až hypidiomorfních zrn, obvykle 0,6–1,2 mm velikých (obr. 3, tab. 1). Plagioklas (oligoklas, An_{10-24}) je zastoupený idiomorfně až hypidiomorfně omezenými tabulkovitými zrny, 0,4–0,8 mm velikými. Plagioklas je někdy nevýrazně zonální s okrajem albitového složení ($\text{An}_{0,4-7}$) a jádrem složení oligoklasu (obr. 3, tab. 1). Biotit tvoří samostatné tabulky nebo tabulkovité agregáty, hypidiomorfně omezené, jejichž velikost je obvykle 0,2–1 mm. Biotit je výrazně pleochroický žlutavý až žlutohnědý podle X a červenohnědý až tmavě hnědý podle Y a Z. Jeho složení odpovídá podle klasifikace Tischendorfa et al. (1997) a IMA (Rieder et al. 1998) Mg-siderofylitu [Al^{IV} 2,0–2,63 Ti 0,17–0,43 apfu, Fe/(Fe + Mg) 0,63–0,74] (tab. 2). Muskovit je v dvojslídnych leukogranitech zastoupený dvěma generacemi. Starší, pravděpodobně magmatická generace tvoří hypidiomorfně omezené tabulky 0,2–0,8 mm veliké. Magmatický muskovit svým chemismem odpovídá muskovitu s malým obsahem fengitové nebo ferromuskovitové komponenty [Si 6,08–6,47, Ti 0,00–0,05 apfu, Fe/(Fe + Mg) 0,41–0,59] (obr. 4, tab. 3). Andalusit se vyskytuje ve formě obvykle sloupečkovitých, idiomorfně omezených zrn, někdy až několik milimetrů velikých (obr. 4 v barevné příloze č. 2). Podrobnější charakteristika a chemické složení zirkonu, monazitu a xenotimu byly publikovány ve studii René (2012).

Dvojslídne porfyrické granity

Dvojslídne porfyrické granity představují starší magmatickou fázi granitů na uranovém ložisku Okrouhlá Radouň. Mimo žilných těles zastižených v důlních dílech lze tyto granity dobře studovat v malém opuštěném lomu jz. od obce Dívčí Kopy. Granity jsou středně, méně často hrubě zrnité a nevýrazně porfyrické. V důlních dílech bylo možno pozorovat přednostní orientaci porfyrických vyrostlic souhlasnou s foliací okolních metasedimentů, tj. orientaci ve směru SV–JZ. Porfyrické granity svým modálním složením odpovídají monzogranitům a obsahují K-živce (23–24 %), plagioklas (22–29 %), křemen (31–33 %), biotit (cca 11 %) a muskovit (5–6 %) (obr. 2). Apatit, andalusit, zirkon, monazit, sillimanit a rutil reprezentují akcesorické minerály. Obvykle hypidiomorfně omezené vyrostlice K-živce (Or_{92-98} , $\text{Ab}_{0,9-6,8}$, $\text{An}_{0,5-1,4}$) (obr. 3, tab. 1) jsou zastoupené cca 5 % a dosahují délky 10–30 mm. Vyrostlice jsou obvykle slabě perthitické (obr. 5 v barevné příloze č. 2). Draselný živec, který je součástí základní hmoty horniny vystupuje ve formě obvykle hypidiomorfně omezených tabulek 0,5–5 mm velikých. Plagioklas (oligoklas An_{21-34}) je tvořený hypidiomorfně omezenými tabulkami, 0,15–0,3 mm velikými (obr. 3, tab. 1). Křemen je zastoupený allotriomorfně omezenými, často undulosně zhášeujícími zrny 0,2–2 mm velikými. Biotit tvoří hypidiomorfně omezené, výrazně pleochroické tabulky (X žlutavý, Y a Z červenohnědý). 0,2–3 mm veliké. Jeho chemické složení odpovídá Mg-siderofylitu [Al^{IV} 1,64–2,44, Ti 0,27–0,53 apfu, Fe/(Fe + Mg) 0,58–0,70] (tab. 2). Muskovit svým chemickým složením odpovídá rovněž muskovitu s nízkým podílem fengitové a ferrimuskovitové komponenty [Si 6,11–6,16, Ti 0,00–0,04 apfu, Fe/(Fe + Mg) 0,43–0,54] (obr. 4, tab. 3).

Chemické složení

Leukogranity typu Deštná

Dvojslídne leukogranity v oblasti uranového ložiska Okrouhlá Radouň jsou peraluminické, (A/CNK = 1,0–1,29) s relativně nízkým obsahem CaO (0,5–1,5 hmot. %) a vyšším obsahem K_2O (3,9–5,3 hmot. %) (tab. 4, obr. 5a). Ve srovnání s typickými, vápníkem chudými S-granity mají dvojslídne

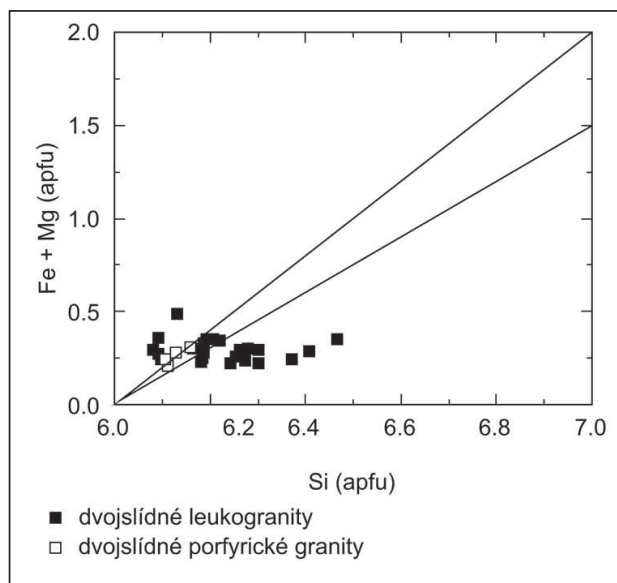
leukogranity nižší obsah Mg (0,0–0,5 hmot. % MgO) (obr. 5b), Rb (144–246 ppm), Th (1,4–6,2 ppm), Zr (32–81 ppm) (obr. 5c) a celkový obsah prvků vzácných zemin ($\Sigma\text{REE} = 33\text{--}56$ ppm). Pro dvojslídne leukogranity jsou typické nízké hodnoty poměru lehkých a těžkých vzácných zemin ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 3\text{--}11$) a často pozitivní hodnoty europiové anomálie ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,81\text{--}1,33$) (obr. 5d).

Tab. 1 – Reprezentativní analýzy živců (hmot. %).

Tab. 1 – Representative analyses of feldspars (wt. %).

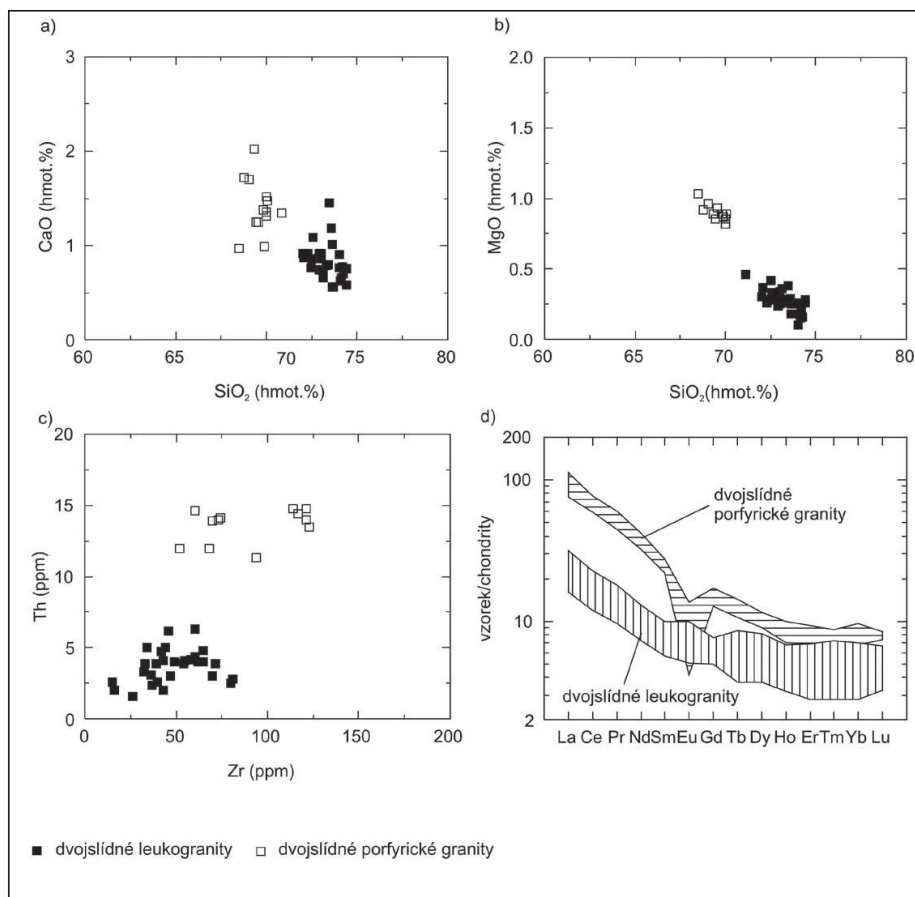
	13-3	1486-5	1486-6	7	8	1486-1	588-3-1	588-3-2	588-4	588-6	589-8
	Kfs	Kfs	Kfs	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
Typ	PG	LG	LG	PG	PG	LG	LG-r	LG-c	LG	LG	LG
SiO₂	64,80	64,83	64,44	61,17	62,49	64,35	67,24	61,66	63,24	63,98	65,33
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	18,70	19,56	19,53	24,64	23,73	23,46	19,63	22,65	23,28	22,84	21,87
FeO	0,07	0,06	0,02	0,00	0,02	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,08
MnO	0,00	0,01	0,06	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00
MgO	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
BaO	0,23	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,04	0,07	0,01	5,76	4,84	3,15	0,07	3,69	3,93	3,21	2,15
Na₂O	1,38	0,35	0,98	8,35	8,84	9,20	10,66	8,80	8,37	8,95	9,54
K₂O	15,15	15,30	14,33	0,25	0,35	0,09	0,36	0,31	0,40	0,36	0,31
P₂O₅	0,15	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,53	100,18	99,39	100,31	100,49	100,25	98,01	97,13	99,26	99,37	99,28
O=32											
Si	11,90	11,89	11,88	10,84	11,03	11,28	11,96	11,21	11,22	11,33	11,54
Al	4,05	4,23	4,24	5,14	4,93	4,84	4,11	4,85	4,78	4,76	4,55
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe²⁺	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,01	0,01	0,00	1,09	0,92	0,59	0,01	0,72	0,68	0,61	0,41
Na	0,49	0,12	0,35	2,87	3,03	3,13	3,68	3,10	3,17	3,07	3,27
K	3,55	3,58	3,37	0,06	0,08	0,02	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07
P	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ab	12,10	3,30	9,40	71,40	75,30	83,60	97,50	79,70	80,70	81,70	87,30
An	0,20	0,40	0,10	27,20	22,80	15,80	0,40	18,50	17,20	16,20	10,90
Or	87,70	96,30	90,50	1,40	2,00	0,60	2,10	1,90	2,00	2,20	1,90

Kfs – draselný živec, Pl – plagioklas, LG – dvojslídny leukogranit, PG – dvojslídny porfyrický granit, LG-r – okraj zrna, LG-c – střed zrna



Obr. 4 – Složení muskovitu z granitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň.

Fig. 4 – Composition of muscovite from granites of the Okrouhlá Radouň uranium deposit.



Obr. 5 – Chemické složení granitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň. Pro chondrity normalizovanou distribuci REE (d) bylo použito 11 analýz (7 analýz leukogranitů, 4 analýzy porfyritických granitů).

Fig. 5 – Chemical composition of granites from the Okrouhlá Radouň uranium deposit. For chondrite-normalized distribution of REE 11 analyses were used (7 analyses of leucogranites, 4 analyses of porphyritic granites).

Dvojslídne porfyrické granity

Dvojslídne porfyrické granity mají ve srovnání s dvojslídny mi leukogranity vyšší obsah Ca (1–2 hmot. % CaO), Mg (0,8–1,0 hmot. % MgO), Th (11–15 ppm) a Zr (52–123 ppm) (obr. 5a, b, c). Porfyrické granity mají rovněž vyšší celkový obsah prvků vzácných zemin ($\Sigma\text{REE} = 133\text{--}173$ ppm) a výrazně vyšší poměr lehkých a těžkých vzácných zemin ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 10\text{--}16$). Pro tyto granity je rovněž typická výrazná negativní europiová anomálie ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,21\text{--}0,69$) (obr. 5d).

Tab. 2 – Reprezentativní analýzy biotitu (hmot. %).**Tab. 2** – Representative analyses of biotite (wt. %).

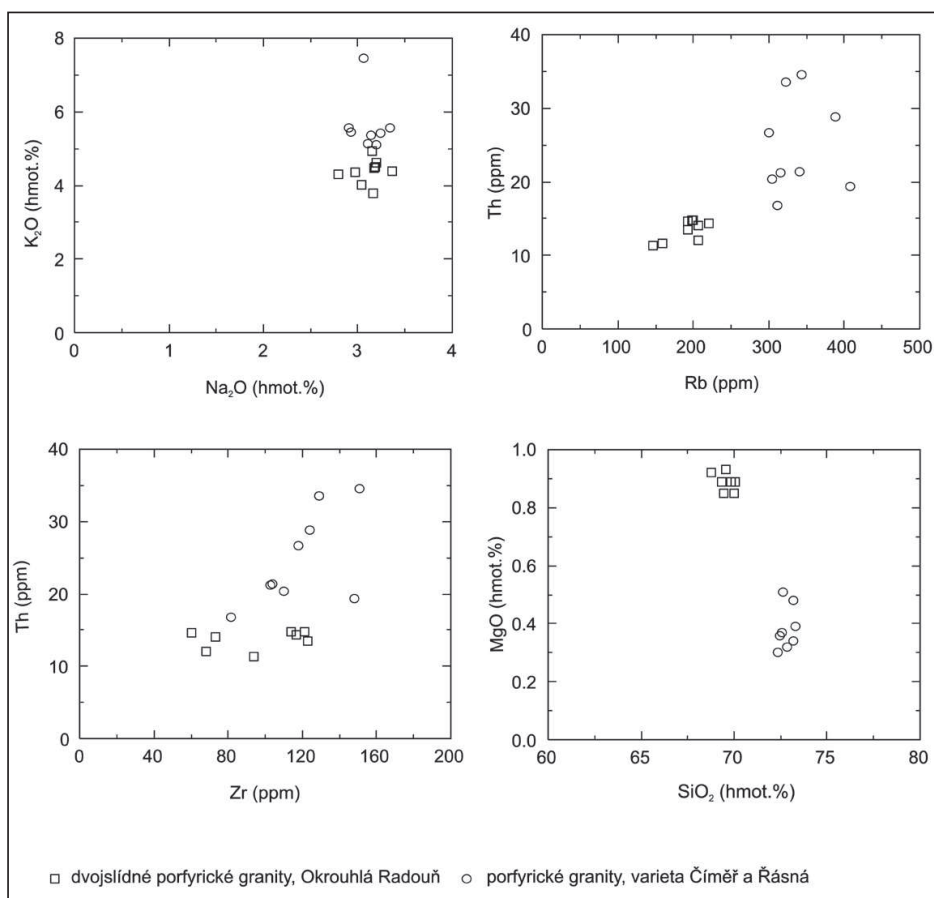
hmot. % typ	1 PG	5 PG	11 PG	589-18 LG	589-20 LG	589-22 LG	591-4 LG	760-4 LG	760-5 LG
SiO ₂	35,06	35,09	35,81	34,19	35,44	34,75	33,64	34,09	35,23
TiO ₂	2,19	3,45	3,64	2,63	2,41	2,51	2,96	3,50	3,42
Al ₂ O ₃	19,25	19,98	18,36	18,38	20,16	19,69	19,92	18,51	19,68
Cr ₂ O ₃	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	20,23	20,37	22,20	21,15	20,77	21,51	21,64	23,52	22,62
MnO	0,22	0,24	0,38	0,49	0,36	0,40	0,47	0,24	0,20
MgO	7,78	7,18	5,95	6,60	6,21	6,18	5,53	4,88	4,59
BaO	0,01	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,01	0,10	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
Na ₂ O	0,14	0,17	0,60	0,15	0,12	0,19	0,12	0,12	0,11
K ₂ O	9,81	9,59	9,46	8,76	8,79	9,12	9,03	9,38	9,17
F	0,30	0,12	0,12	0,28	0,32	0,27	0,25	0,11	0,15
Cl	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
O=F,Cl	-0,13	-0,06	-0,05	-0,12	-0,14	-0,12	-0,11	-0,05	-0,06
Total	94,90	96,39	96,57	92,52	94,46	94,51	93,48	94,30	95,12
O=24									
Si	5,66	5,56	5,72	5,68	5,71	5,64	5,54	5,62	5,69
Al ^{IV}	2,34	2,44	2,28	2,32	2,29	2,36	2,46	2,38	2,31
Ti	0,27	0,41	0,44	0,33	0,29	0,31	0,37	0,43	0,42
Al ^{VI}	1,31	1,29	1,17	1,27	1,53	1,41	1,41	1,22	1,44
Cr	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	2,73	2,70	2,97	2,94	2,80	2,92	2,98	3,25	3,06
Mn	0,03	0,03	0,05	0,07	0,05	0,06	0,07	0,03	0,03
Mg	1,87	1,70	1,42	1,63	1,49	1,50	1,36	1,20	1,11
Ba	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,04	0,05	0,19	0,05	0,04	0,06	0,04	0,04	0,03
K	2,02	1,94	1,93	1,86	1,81	1,89	1,90	1,97	1,89
F	0,31	0,12	0,12	0,29	0,33	0,28	0,26	0,12	0,15
Cl	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
X _{Fe}	0,59	0,61	0,68	0,64	0,65	0,66	0,69	0,73	0,73

LG – dvojslídny leukogranit, PG – dvojslídny porfyrický granit

Diskuse

Dvojslídne leukogranity uranového ložiska Okrouhlá Radouň jsou svým minerálním a chemickým složením shodné s granity typu Deštná, které tvoří klenovský pluton. Tyto granity jsou samostatnou varetou dvojslídnych granitů moldanubického batolitu (Klečka et al. 1991, René et al. 1999, 2003). Od petrograficky podobné variety Mrákotín, která je nejvýznamnějším typem dvojslídnych granitů centrálního moldanubického plutonu, se odlišuje jednak častou přítomností sillimanit-biotitových restitických uzavřenin a jednak chemickým složením. Ve srovnání s granity variety Mrákotín jsou pro dvojslídne leukogranity typu Deštná typické nižší obsahy Th a Zr a obsahy prvků vzácných zemin (René 2012).

Leukogranity typu Deštná vznikly parciálním tavením felsitických metapelitů (René et al. 2008). Odvození teploty granitové taveniny lze provést pomocí zirkonového (Watson & Harrison 1983) a monazitového termometru (Montel 1993). Ačkoliv takto odvozené teploty je nutné interpretovat s určitou opatrností (Miller et al. 2003), provedené experimenty krystalizace granitové taveniny (René et al. 2008) potvrzují správnost vypočtené teploty tavení. Leukogranity typu Deštná vykazují teploty tavení v rozmezí 622–760 °C. Porfyrické dvojslídne granity vznikly parciálním tavením metadrob a jejich teplotu tavení lze na základě obou termometrů odhadnout v rozmezí 711–835 °C.



Obr. 6 – Chemické složení porfyrických granitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň a porfyrických granitů varet Číměř a Řásná.

Fig. 6 – Chemical composition of porphyritic granites from the Okrouhlá Radouň uranium deposit and porphyritic granites of the Číměř and Řásná types.

Dvojslídne porfyrické granity, které tvoří v dvojslídnych leukogranitech uzavřeniny nebo starší intruzivní tělesa, byly v minulosti přiřazovány k typu Číměř z centrálního moldanubického batolitu (Matějka et al. 2002, René & Nosek 2003). Od porfyrických granitů typu Číměř a podobné variety Řásná (Verner et al. 2012) se však porfyrické granity z uranového ložiska Okrouhlá Radouň odlišují vyšším obsahem plagioklasu a zejména svým chemickým složením. Ve srovnání s granity variety Číměř a Řásná je pro porfyrické granity uranového ložiska Okrouhlá Radouň charakteristický nižší obsah K (3,8–4,9 hmot. % K_2O), Th, Zr a Rb (147–222 ppm) (obr. 6a, b, c), ale naopak vyšší obsah Mg (obr. 6d). Ve srovnání s granity variety Číměř, resp. Řásná jsou vyrostlice K-živce v porfyrických granitech z Okrouhlé Radouň výrazně menší a slabě perthitické. Vzhledem k tomu, že typickou lokalitou těchto granitů je opuštěný lom jz. od obce Dívčí Kopy, lze tyto granity nově označit jako varietu Dívčí Kopy.

Tab. 3 – Reprezentativní analýzy muskovitu (hmot. %).

Tab. 3 – Representative analyses of muscovite (wt. %).

	9	10	11	591-17	1486-2	1486-9	1487-23	1487-25	1487-26
typ	PG	PG	PG	LG	LG	LG	LG	LG	LG
SiO ₂	47,13	47,32	47,22	47,63	47,14	48,61	48,51	47,74	47,39
TiO ₂	0,00	0,15	0,37	0,16	0,17	0,00	0,04	0,37	0,18
Al ₂ O ₃	36,48	37,05	37,13	35,24	34,22	34,77	34,10	34,94	36,30
Cr ₂ O ₃	0,05	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
FeO	1,35	1,40	1,09	1,59	1,50	1,10	1,20	1,01	1,34
MnO	0,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00
MgO	0,83	0,67	0,67	0,63	0,65	0,63	0,78	0,57	0,55
CaO	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na ₂ O	0,59	0,70	0,59	0,63	0,45	0,63	0,61	0,57	0,68
K ₂ O	10,12	10,41	10,90	10,30	10,78	10,40	9,99	10,27	10,53
F	0,05	0,06	0,05	0,01	0,06	0,15	0,24	0,02	0,08
Cl	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
O=F,Cl	-0,03	-0,03	-0,02	-0,01	-0,03	-0,06	-0,10	-0,01	-0,03
Total	96,79	97,75	98,09	96,26	94,97	96,27	95,52	95,53	97,06
O=24									
Si	6,16	6,13	6,11	6,26	6,30	6,37	6,41	6,30	6,19
Al ^{IV}	1,84	1,87	1,90	1,74	1,70	1,63	1,59	1,70	1,82
Ti	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,04	0,02
Al ^{VI}	3,77	3,78	3,76	3,72	3,69	3,74	3,71	3,73	3,76
Cr	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,15	0,15	0,12	0,18	0,17	0,12	0,13	0,11	0,15
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,16	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12	0,15	0,11	0,11
Ca	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,15	0,18	0,15	0,16	0,12	0,16	0,16	0,15	0,17
K	1,69	1,72	1,80	1,73	1,84	1,74	1,68	1,73	1,75
F	0,04	0,05	0,04	0,01	0,05	0,12	0,20	0,02	0,07
Cl	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X _{Fe}	0,48	0,54	0,48	0,59	0,56	0,50	0,46	0,50	0,58

LG – dvojslídny leukogranit, PG – dvojslídny porfyrický granit

Tab. 4 – Chemické analýzy dvojslídnych granitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň (hmot. %).**Tab. 4** – Chemical analyses of two mica granites from the Okrouhlá Radouň uranium deposit (wt. %).

hmot. % Typ	8048 PG	Re-590 PG	Re-576 PG	Re-577 PG	Re-588 LG	Re-591 LG	Re-1486 LG	Re-1487 LG	Re-1495 LG
SiO ₂	69,54	70,00	69,82	69,43	72,56	73,62	73,28	72,06	73,18
TiO ₂	0,38	0,37	0,37	0,36	0,09	0,10	0,10	0,16	0,11
Al ₂ O ₃	15,83	15,32	15,30	15,13	14,99	14,52	14,55	14,41	14,61
Fe ₂ O ₃	0,53	0,48	0,28	0,40	0,41	0,36	0,35	0,34	0,31
FeO	2,03	1,88	1,91	1,89	0,58	0,41	0,59	0,89	0,44
MnO	0,03	0,06	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01
MgO	0,93	0,85	0,89	0,85	0,33	0,25	0,27	0,37	0,26
CaO	1,25	1,31	1,38	1,25	1,09	1,01	0,79	0,87	0,53
Na ₂ O	3,19	3,16	3,17	2,97	3,85	3,71	3,92	4,27	4,35
K ₂ O	4,51	3,78	4,47	4,36	4,29	4,62	4,80	5,11	4,90
P ₂ O ₅	0,22	0,29	0,21	0,22	0,18	0,21	0,22	0,23	0,21
L.O.I.	1,46	1,37	1,29	1,88	1,28	0,56	0,71	0,77	1,00
Total	99,90	98,87	99,14	98,79	99,68	99,41	99,61	99,51	100,10
ppm									
Ba	569	418	491	531	398	330	334	395	498
Rb	206	147	192	207	168	169	169	193	234
Sr	113	122	195	114	131	111	93	116	111
Zr	68	94	60	73	33	80	42	54	47
Nb	8	9	9	11	7	9	5	8	4
Th	12	11	15	14	4	3	5	4	4
U	6	6	6	5	6	5	5	4	3
La	40,84	28,63	38,00	27,70	10,70	7,00	5,89	10,60	10,30
Ce	73,80	56,34	74,00	58,30	21,50	13,70	11,40	21,30	20,20
Pr	7,35	6,13	8,20	6,10	2,43	1,50	1,33	2,45	2,24
Nd	28,52	22,64	29,60	22,80	9,04	6,00	5,26	9,16	8,98
Sm	6,07	5,05	6,40	5,10	2,28	1,60	1,30	2,11	2,18
Eu	1,19	0,36	0,39	1,00	0,86	0,44	0,54	0,64	0,57
Gd	4,74	3,97	5,20	3,90	2,19	1,60	1,51	1,96	2,09
Tb	0,73	0,65	0,83	0,62	0,44	0,28	0,39	0,39	0,40
Dy	3,44	3,93	4,40	3,60	2,67	1,40	2,27	2,27	2,23
Ho	0,60	0,71	0,84	0,67	0,53	0,29	0,41	0,41	0,39
Er	1,72	1,80	2,30	2,00	1,50	0,82	1,20	1,20	0,95
Tm	0,23	0,27	0,31	0,26	0,23	0,11	0,17	0,17	0,15
Yb	1,69	2,10	2,40	1,80	1,62	0,78	1,09	1,09	0,87
Lu	0,31	0,28	0,32	0,28	0,26	0,13	0,16	0,16	0,12
La _N /Yb _N	16,33	9,21	10,70	10,40	4,46	6,06	3,21	6,57	8,00
Eu/Eu*	0,68	0,20	0,21	0,69	0,90	0,84	1,17	0,96	0,81

PG – porfyrické dvojslídne granity, LG – dvojslídne leukogranity. La_N/Yb_N – poměr lehkých a těžkých prvků vzácných zemin vyjádřený poměrem normalizovaných obsahů La a Yb, normalizace obsahem chondritů podle práce Taylor & McLennan (1985), Eu/Eu* – hodnota europiové anomálie vypočtená z chondrity normalizovaných obsahů Eu, Sm a Gd podle vzorce $Eu_N / \sqrt{[(Sm_N) \times (Gd_N)]}$. N-8048 – dvojslídny porfyrický granit, opuštěný lom jz. od obce Dívčí Kopy, Re-576 – dvojslídny porfyrický granit, 8. patro, PŠ-5-80, Re-577 – dvojslídny porfyrický granit, 5. patro, PŠ-5-50, Re-588 – dvojslídny leukogranit, 8. patro, vrt D-16, Re-590 – dvojslídny porfyrický granit, 8. patro, Z-8-80, Re-591 – dvojslídny leukogranit, 8. patro, Z-8-80, Re-1486 – dvojslídny leukogranit, Horní Radouň, opuštěný lom, Re-1487 – dvojslídny leukogranit, Kostelní Radouň, opuštěný lom, Re-1495 – dvojslídny leukogranit, Lodhéřov, balvany na kótě 605 m, vých. od obce.

Závěr

Na ložisku uranových rud Okrouhlá Radouň byly v průběhu geologického mapování a doprovodného petrografického výzkumu zjištěny dva typy dvojslídnych granitů. Převažujícím typem granitů je jemnozrný až středně zrnitý leukogranit se složením monzogranitu až syenogranitu typu Deštná. Leukogranit ve srovnání s typickými S-typy granity se vyznačuje nižším obsahem Mg (0,1–0,5 hmot. % MgO), Ca (0,6–1,1 hmot. % CaO), Rb (140–260 ppm), Th (1,6–6,2 ppm), Zr (15–81 ppm) a celkovým obsahem prvků vzácných zemin (33–69 ppm). Pro tuto varietu granitů jsou typické nízké hodnoty poměru lehkých a těžkých vzácných zemin ($La_N/Yb_N = 3–11$) a často pozitivní hodnoty europiové anomálie ($Eu/Eu^* = 0,81–1,33$).

Druhým horninovým typem je dvojslídny porfyrický granit, který je prorážen mladšími leukogranity typu Deštná. V některých případech tvoří porfyrický granit nepravidelné uzavření v tomto leukogranitu. Porfyrický granit obsahuje ve srovnání s leukogranitem typu Deštná více Mg (0,4–1,0 hmot. % MgO), Ca (1,0–2,0 hmot. % CaO), Th (11–15 ppm), Zr (52–123 ppm) a větší celkové množství prvků vzácných zemin (133–173 ppm). Porfyrické granity mají rovněž výrazně vyšší poměr lehkých a těžkých vzácných zemin ($La_N/Yb_N = 10–16$). Pro tyto granity je typická výrazná negativní europiová anomálie ($Eu/Eu^* = 0,21–0,69$). Porfyrický granit lze na základě jeho chemického složení označit jako samostatnou varietu moldanubického batolitu, a to varietu Dívčí Kopy.

Poděkování

Autor je zavázán Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy ČR za finanční podporu, která umožnila vznik této studie (projekt ME10083). Za kvalitní provedení silikátových analýz děkuji kolektivu chemické laboratoře ÚSMH AV ČR, v.v.i., vedené Mgr. P. Hájkem. Za pomoc při analýze horninotvorných minerálů děkuji RNDr. Z. Korbelové z GLÚ AV ČR, v.v.i. Autor rovněž děkuje F. V. Holubovi a J. Žákovi, jejichž připomínky a doporučení významně přispěly ke zlepšení původního rukopisu.

Literatura

- Breiter K., Gnojek I. & Chlupáčová M. (1998): Radioactivity patterns – constraints for the magmatic evolution of the two-mica granites in the Central Moldanubian Pluton. – *Věst. Čes. Geol. Úst.* 73: 301–311.
- Klečka M. & Rajlich P. (1984): Subhorizontální střížné zóny v plášti a západním okraji centrálního masívu moldanubického plutonu. – *Věst. Ústř. Úst. Geol.* 59: 275–282.
- Klečka M., Matějka D., Jalovec J. & Vaňková V., 1991: Geochemický výzkum granitoidů typu Eisgarn v jižní části centrálního masívu moldanubického plutonu. – *Zpr. Geol. Výzk. v roce 1989*, 109–111.
- Matějka D., Nosek T. & René M. (2002): Vývoj dvojslídnych granitů subtypu Číměř v centrálním moldanubickém plutonu. – *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 10: 241–247.
- Miller C. F., Mcdowell S. M. & Mapes R. W. (2003): Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. – *Geology* 31: 529–532.
- Montel J. M. (1993): A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas. – *Chem. Geol.* 110: 127–146.
- Mrázek P. (1972): Geologické poměry v okolí ložiska U-rud – Okrouhlá Radouň u Jindřichova Hradce. – *Sbor. Geol. Věd, Ř. LG* 15: 83–97.
- Novák L. (1978): Geologicko-petrografické poměry na 8. patře uranového dolu Okrouhlá Radouň. – Ms., 76 s. [Dipl. pr., Depon in: PŘF UK Praha.]

- Pletánek Z. (1979): Geologické poměry širšího okolí ložiska Okrouhlá Radouň – Ms., 45 p. [Depon. in.: Uranový průmysl, Příbram].
- René M. (2003): Classification and origin of orthogneisses in the area of the Okrouhlá Radouň uranium deposit. – *Acta Montana, Ser. A* 23: 5–18.
- René M. (2005): Geochemical constraints of hydrothermal alterations of two-mica granites of the Moldanubian batholith at the Okrouhlá Radouň. – *Acta Geodyn. Geomater.* 2: 63–79.
- René M. (2006): Petrologie pararul ložiska uranových rud Okrouhlá Radouň. – *Sborn. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. Vědy* 46: 25–33.
- René M. (2007): Petrologie amfibolitů uranového ložiska Okrouhlá Radouň. – *Sborn. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. Vědy* 47: 49–57.
- René M. (2012): Dvojslídne granity moldanubického batolitu. – *Sborn. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. Vědy* 52: 5–25.
- René M. & Nosek T. (2003): Petrographical and geochemical constraints of porphyritic two-mica granite from a northeastern margin of the Klenov massif. – *Acta Montana, Ser. A* 23: 21–43.
- René M., Holtz F., Luo Ch., Beermann O. & Stelling J. (2008): Biotite stability in peraluminous granitic melts: Compositional dependence and application to the generation of two-mica granites in the South Bohemian batholith (Bohemian Massif, Czech Republic). – *Lithos* 102: 538–553.
- René M., Matějka D. & Klečka M. (1999): Petrogenesis of granites of the Klenov massif. – *Acta Montana, Ser. AB* 7: 107–134.
- René M., Matějka D. & Nosek T. (2003): Geochemical constraints on the origin of a distinct type of two-mica granites (Deštná – Lásenice type) in the Moldanubian batholith (Czech Republic). – *Acta Montana, Ser. A* 23: 59–76.
- Rieder M., Cavazzi G., Yakonov Y. D., Frank-Kanetskii V. A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P. V., Müller G., Neiva A. M. R., Radoslovich E. W., Robert J. L., Sassi F. P., Takeda H., Weiss Z. & Wones D. R. (1998): Nomenclature of the micas. – *Canad. Mineral.* 36: 905–912.
- Šedina M. (1976): Ložiskově geologická charakteristika uranového zrudnění v okolí Okrouhlé Radouň. – Ms., 65 s. [Rigorózní pr., Depon in: PŘF UK Praha.]
- Taylor S. R. & McLennan S. M. (1985): *The continental crust: Its composition and evolution.* – 312 s. Blackwell. Oxford.
- Tischendorf G., Gottesmann B., Förster H. J. & Turbull R. B. (1997): On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analyses and improved diagram for graphical representation. – *Mineral. Mag.* 61: 809–834.
- Verner K., Břízová E., Buda J., Buriánek D., Dudíková-Schulmannová B., Fůrychová P., Holub F. V., Hroch T., Johnson K., Klomínský J., Kryštofová E., Mašek D., Paclíková J., Poul I., Přechová E., Racek M., René M., Rýda K., Šrámek J., Skácelová D., Smyčková L. & Vondrovic L. (2012): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000, 23-413 Hodice. – 161 p., Česká geologická služba, Praha.
- Watson E. B. & Harrison T. M. (1983): Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. – *Earth Planet. Sci. Lett.* 64: 295–304.
- Zelenka L. (1923): O tvaru žulových intruzí u Jindřichova Hradce. – *Sbor. Klubu přírodověd.* 1921–1922: 103–108.
- Žák J., Verner K., Finger F., Faryad S. W., Chlupáčová M. & Veselovský F. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. – *Lithos* 121: 25–40.

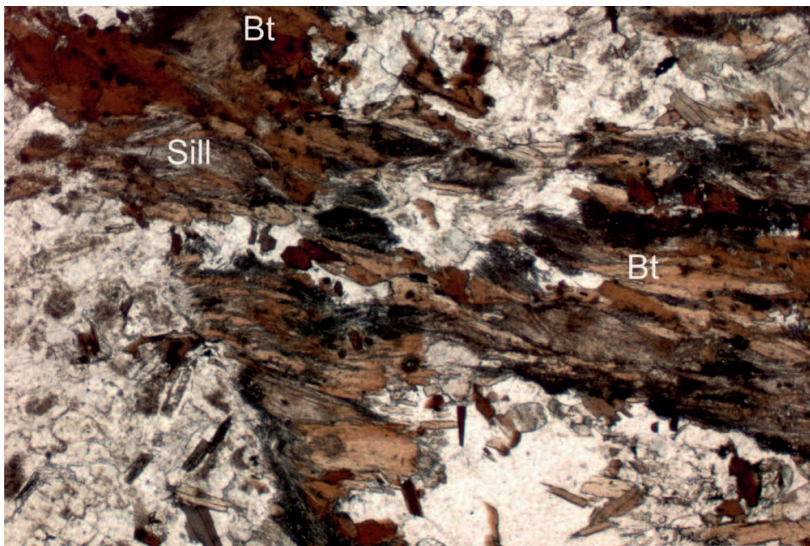
Došlo: 19. 2. 2013

Přijato: 15. 7. 2013



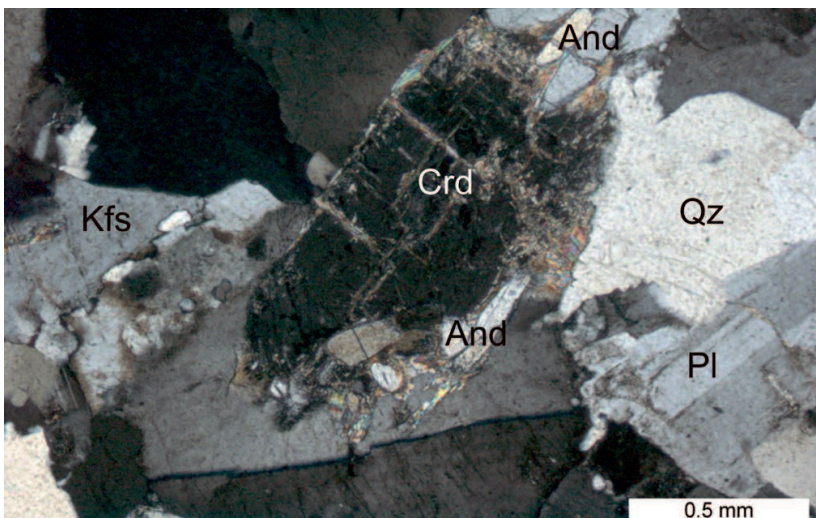
Obr. 1 – Uzavřenina porfyrického granitu v leukogranitu typu Deštná, výchoz v Kostelní Radouňi (foto M. René 2010).

Fig. 1 – Enclave of porphyritic granite in leucogranite of the Deštná type, outcrop in the Kostelní Radouň village (photo by M. René 2010).



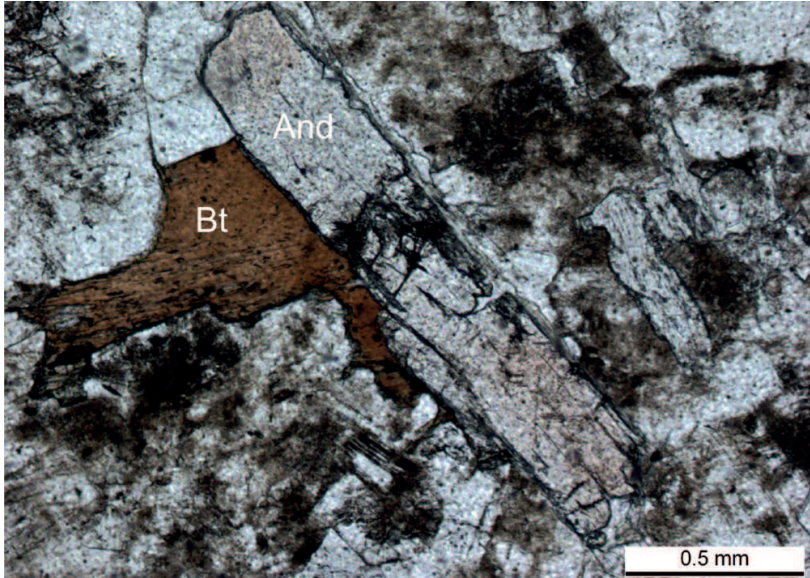
Obr. 2 – Restitická uzavřenina biotitu (Bt) a sillimanitu (Sill) v dvojslídňém leukogranitu (foto M. René 2013).

Fig. 2 – Restitic enclave of biotite (Bt) and sillimanite (Sill) in two-mica leucogranite (photo by M. René 2013).

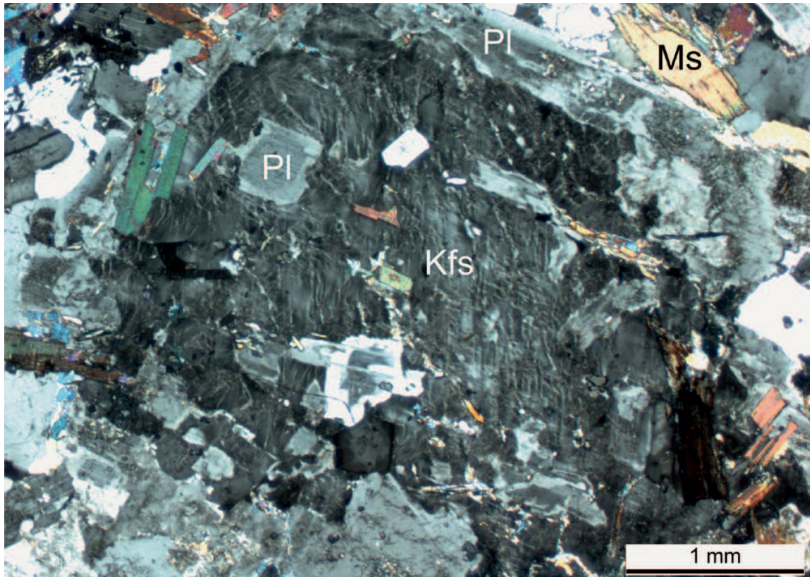


Obr. 3 – Restitický cordierit (Crd) obklopený nově vzniklými zrny andalusitu (And) v dvojslídňém leukogranitu (Qz – křemen, Pl – plagioklas, Kfs – K-živec) (foto M. René 2013).

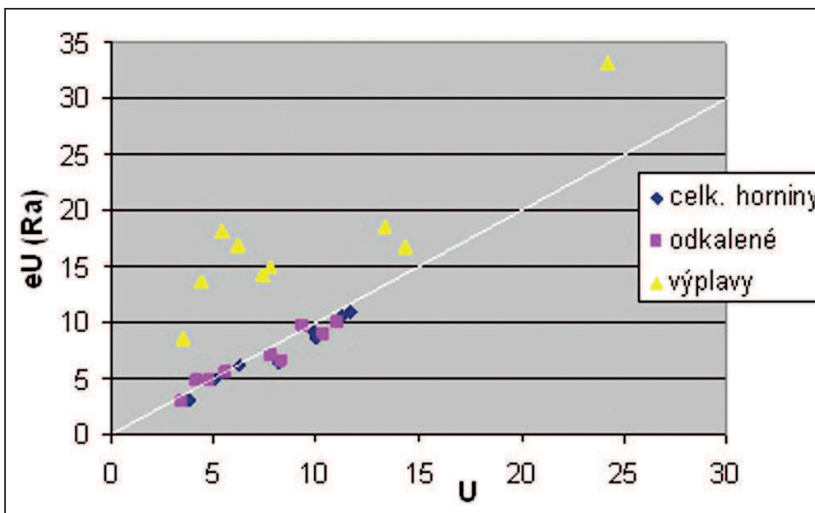
Fig. 3 – Restitic cordierite (Crd) surrounded by newly originated andalusite (And) in two-mica leucogranite (Qz – quartz, Pl – plagioclase, Kfs – K-feldspar) (photo by M. René 2013).



Obr. 4 – Magmatický andalusit (And) v dvojslídém leukogranitu (foto M. René 2013).
 Fig. 4 – Magmatic andalusite (And) in two-mica leucogranite (photo by M. René 2013).



Obr. 5 – Vyrůstlice K-živce (Kfs) v dvojslídém porfyrickém granitu (PI – plagioklas, Ms – muskovit) (foto M. René 2013)
 Fig. 5 – K-feldspar phenocryst (Kfs) in two-mica porphyritic granite (PI – plagioclase, Ms – muscovite) (photo by M. René 2013).



Obr. 1 – Vztah U a eU (Ra) (mg/kg; bílá linie vyznačuje radioaktivní rovnováhu).
 Fig. 1 – Plot of U and eU (Ra) (ppm; the white line marks radioactive equilibrium).