

# Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích Přírodní vědy

Acta Musei Bohemiae Meridionalis in České Budějovice - Scientiae naturales

Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy

52

5–25

2012

## Dvojslídne granity moldanubického batolitu

Two-mica granites of the Moldanubian batholith

Miloš RENÉ

Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.

**Abstract.** The Moldanubian batholith is the largest granitoid complex within the Bohemian Massif. It intruded high-grade metamorphic rocks (predominantly various types of paragneisses and migmatites) of the Moldanubian Zone. Two-mica granites represent the most widespread rock type of the batholith. Three main geochemical two-mica granite types can be distinguished: the low-Th Deštná (Lásenice) granite, the intermediate-Th Eisgarn granite and the high-Th Lipnice and Steinberg granites. All these granites are peraluminous ( $A/CNK = 1.0–1.3$ ) with low CaO concentrations. Thorium concentrations and REE element patterns are quite distinct characteristics for the above mentioned three geochemical types of two-mica granites. The highest bulk content of REE is significant for the Lipnice and Steinberg granites, whereas the lowest bulk of REE was observed in the Deštná granites. Zircon in the Eisgarn and the Deštná granites displays rather low amount of Hf (0.018–0.044 apfu Hf). Zircon from the Deštná granite is partly enriched in Y (up to 0.065 apfu Y). Monazite is represented by monazite-(Ce) with restricted amount of cheralite. In the Eisgarn granite, the content of cheralite component varies from 7.5 to 24 mol.% whereas in monazites of the Deštná granite is distinctly lower, 9–13 mol.%. However, monazite from the Deštná granite is partly enriched in Y (up to 8.6 mol.%  $YPO_4$ ). Xenotime-(Y) with 71–77 mol.%  $YPO_4$  occurs only in the Deštná granite and displays distinctly low Th/U ratio 0.08–0.33.

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

**Abstrakt.** Moldanubický batolit je největším granitoidním komplexem v Českém masivu. Batolit intrudoval do vysoce metamorfovaných hornin (převážně různých typů pararul a migmatitů) moldanubika. V rámci dvojslídnych granitů tohoto tělesa lze rozlišit tři geochemické typy: Th-chudé granity typu Deštná (Lásenice), granity typu Eisgarn se středními obsahy Th a thoriem bohaté granity typu Lipnice a Steinberg. Všechny uvedené granity jsou peraluminické horniny ( $A/CNK = 1,0–1,3$ ) s nízkým obsahem CaO. Obsahy Th a REE představují nejvýznamnější klasifikační kritérium pro rozlišení tří základních geochemických typů dvojslídnych granitů. Nejvyšší koncentrace REE jsou typické pro granity typu Lipnice a Steinberg, kdežto nejnižší koncentrace REE byly zjištěny v granitech typu Deštná. Zirkon v granitech typu Eisgarn a Deštná obsahuje nízké koncentrace Hf (0,018–0,044 apfu Hf). Zirkon z granitů typu Deštná je obohacený o Y (až 0,065 apfu Y). Monazit je reprezentovaný monazitem-(Ce) s omezeným množstvím cheralitové komponenty. V granitech typu Eisgarn kolísá obsah cheralitu v rozmezí 7,5 až 24 mol.%, kdežto monazity z granitů typu Deštná obsahují 9 až 13 mol.% cheralitové komponenty. Monazity z granitů typu Deštná jsou však obohaceny o Y (až 8,6 mol.%  $YPO_4$ ). Xenotim-Y se vyskytuje pouze v granitech typu Deštná, obsahující 71–77 mol.%  $YPO_4$ . Xenotim je charakteristický nízkým poměrem Th/U (0,08–0,33).

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

## Úvod

Moldanubický batolit se svojí celkovou rozlohou více než 7 000 km<sup>2</sup> představuje největší magmatické těleso na území Českého masivu. Granitoidy batolitu byly vmístěny do metamorfovaných hornin moldanubika v závěru variské orogeneze během spodního karbonu. Moldanubický batolit představuje velmi komplikované magmatické těleso, které je tvořené převážně granitoidy, jenž lze rozdělit do několika samostatných petrografických a geochemických typů.

Předložená studie se zabývá charakteristikou dvojslídých granitů centrálního moldanubického plutonu, klenovského a melechovského plutonu, které zaujímají v tomto tělese největší objem, a navazuje tak na předchozí práce věnované dvojslídým granitům šumavské části moldanubika (RENÉ & HÁJEK 2009, 2010, 2011). Cílem této studie je nabídnout jednak ucelený pohled na minerální a chemické složení dvojslídých granitů centrálního moldanubického plutonu, jednak předložit k další diskusi novou klasifikaci granitů moldanubického batolitu založenou na jejich obsahu thoria, případně zirkonia.

## Přehled dosavadních výzkumů

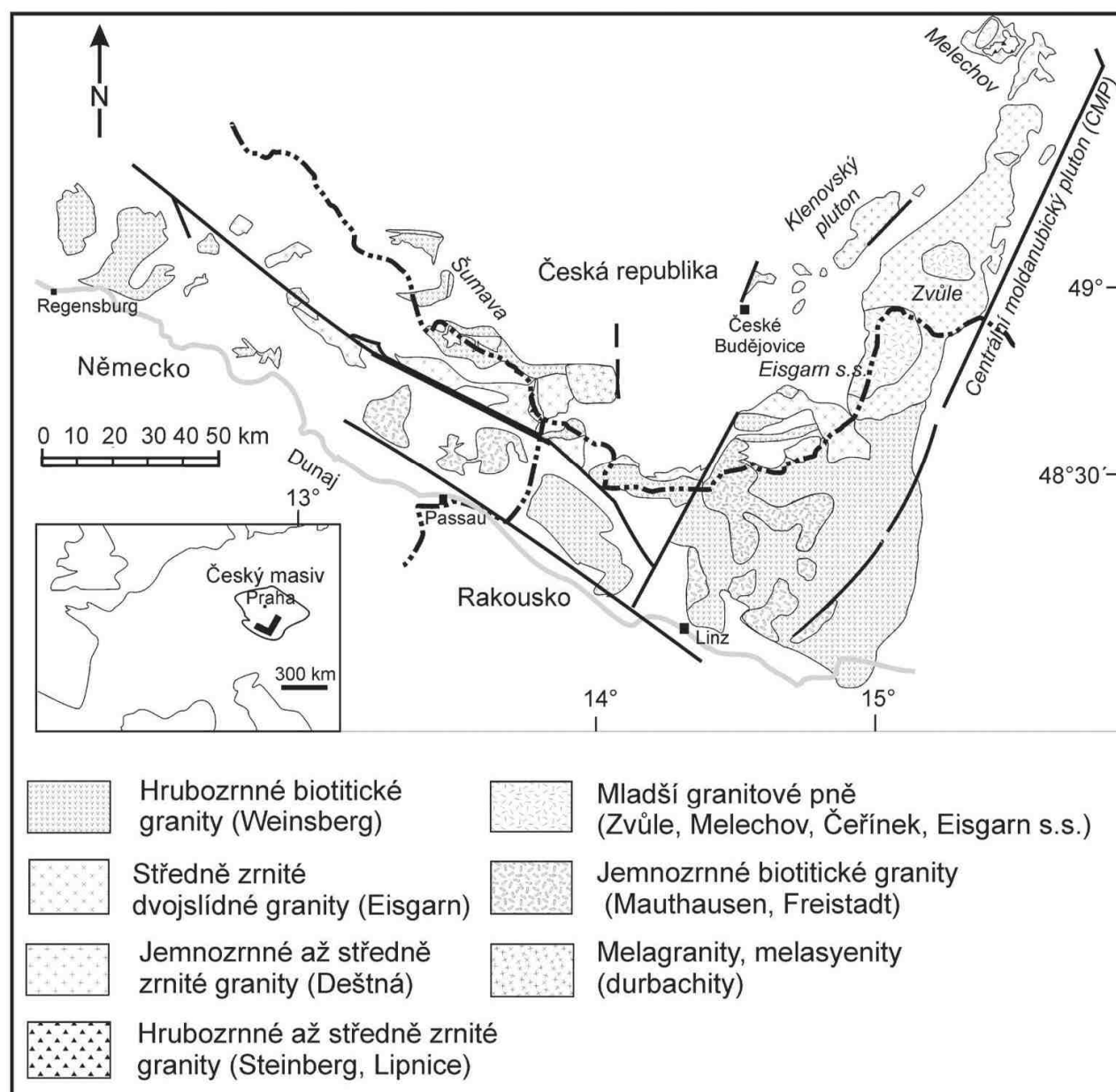
Přístup k poznání časového a látkového vývoje moldanubického batolitu lze rozčlenit do tří etap. Časově nejdelší první etapa, která se opírala o výsledky geologického mapování, byla uzavřena souhrnnou studií (WALDMANN 1951) a vydáním geologické mapy 1:500 000 českou geologickou službou, která zahrnuje i rakouskou a bavorskou část tohoto magmatického tělesa (KODYM et al. 1967). Na rakouské a bavorské straně byly výsledky tohoto výzkumu prezentovány především formou geologických map v měřítku 1:25 000 až 1:50 000, resp. přehlednými geologickými mapami v měřítku 1:200 000 (FUCHS & THIELE 1968) a 1:500 000 (DOBEN et al. 1996).

Druhá etapa poznání se opírala jednak o data absolutního stáří získaná především metodou Rb/Sr, jednak o izotopická (izotopy Sr a Nd) a geochemická data a vedla k rozčlenění batolitu na tři velké magmatické komplexy (LIEW et al. 1989). Pro českou část batolitu byla tato klasifikace upravena a rozšířena (HOLUB et al. 1995, KLEČKA & MATĚJKA 1995).

Třetí etapa výzkumu zahrnuje jednak podrobné mapování vybraných oblastí moldanubického batolitu (např. melechovský pluton, MLČOCH et al. 2000; šumavská větev batolitu, SIEBEL et al. 2008, VERNER et al. 2009), jednak detailní geochemický a geochronologický výzkum dílčích těles tohoto magmatického tělesa. Geochemické studium se soustředilo na využití analytických dat pro stanovení zdrojů a magmatického vývoje vybraných granitových těles, případně jejich klasifikaci (VELMER & WEDEPOHL 1994, BREITER et al. 1998, BREITER & KOLLER 1999, GERDES et al. 2000, RENÉ 2001a, SIEBEL et al. 2008, BREITER 2010). Datování dílčích magmatických těles a petrografických typů se opíralo téměř výhradně o metodu U/Pb (PROPACH 1989, FRIEDL et al. 1993, FRIEDL 1997, GERDES et al. 2003, SIEBEL et al. 2008, ŽÁK et al. 2011). Tato etapa geologického výzkumu byla završena vydáním čtyř přehledných geologických map v měřítcích 1:150 000 (TEIPEL et al. 2008), 1:200 000 (SCHNABEL 2002, KRENMAYR & SCHNABEL 2006) a 1:500 000 (CHÁB et al. 2007). Výzkum moldanubického batolitu je významně svázán s výzkumem geologické stavby moldanubických metamorfitů (URBAN & SYNEK 1995, VRÁNA et al. 1995, SCHULMANN et al. 2009).

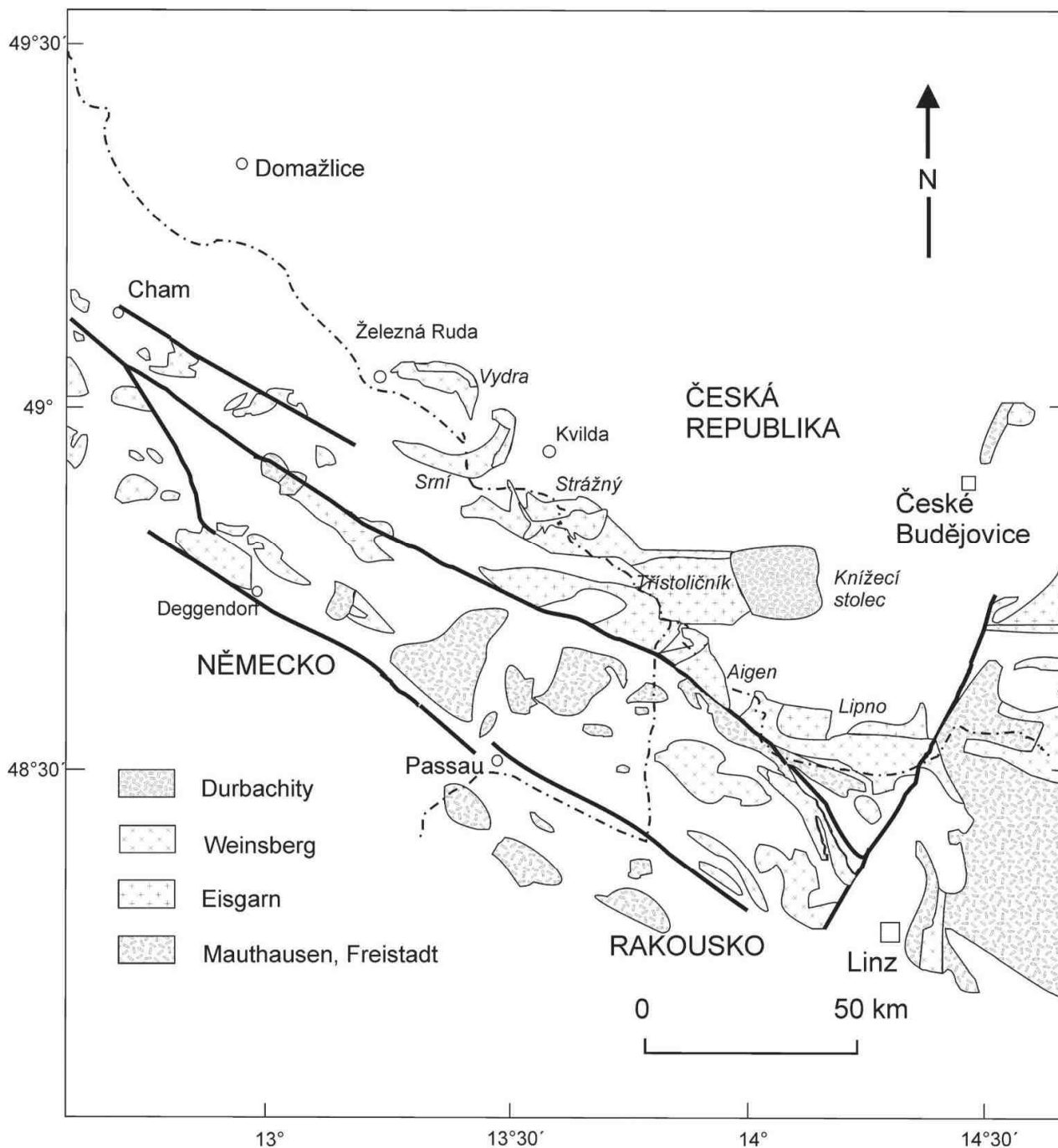
## Geologická pozice

Moldanubický batolit vytváří na dnešním povrchu několik samostatných těles, jejichž průběh je kontrolován především stavbou moldanubických metamorfitů, do nichž byla jednotlivá tělesa batolitu vmístěna. Batolit je tradičně členěný na západní (šumavskou) a východní větev, tvořenou centrálním moldanubickým plutonem (obr. 1). Šumavská větev se skládá z několika samostatných granitových plutonů v prostoru mezi Vyším Brodem a Železnou Rudou (lipenský pluton, pluton Aigen, pluton Třístoličníku, stráženský, vyderský a prášilský pluton) (obr. 2). Dvojslídne granity šumavské větve byly detailně popsány v předchozích studiích (RENÉ & HÁJEK 2009, 2010, 2011). Obě větve se stýkají ve Waldviertelu, v Rakousku. Východní větev batolitu je českými geology označována jako centrální moldanubický pluton (CMP), rakouskými a německými autory jako jihočeský pluton, resp. batolit (Südböhmisches Batholith) (FUCHS & THIELE 1968).



**Obr. 1** – Schematická geologická mapa moldanubického batolitu (podle práce VERNER et al. 2009, upraveno autorem).

**Fig. 1** – Geological map of the Moldanubian batholith (after VERNER et al. 2009, modified by author).



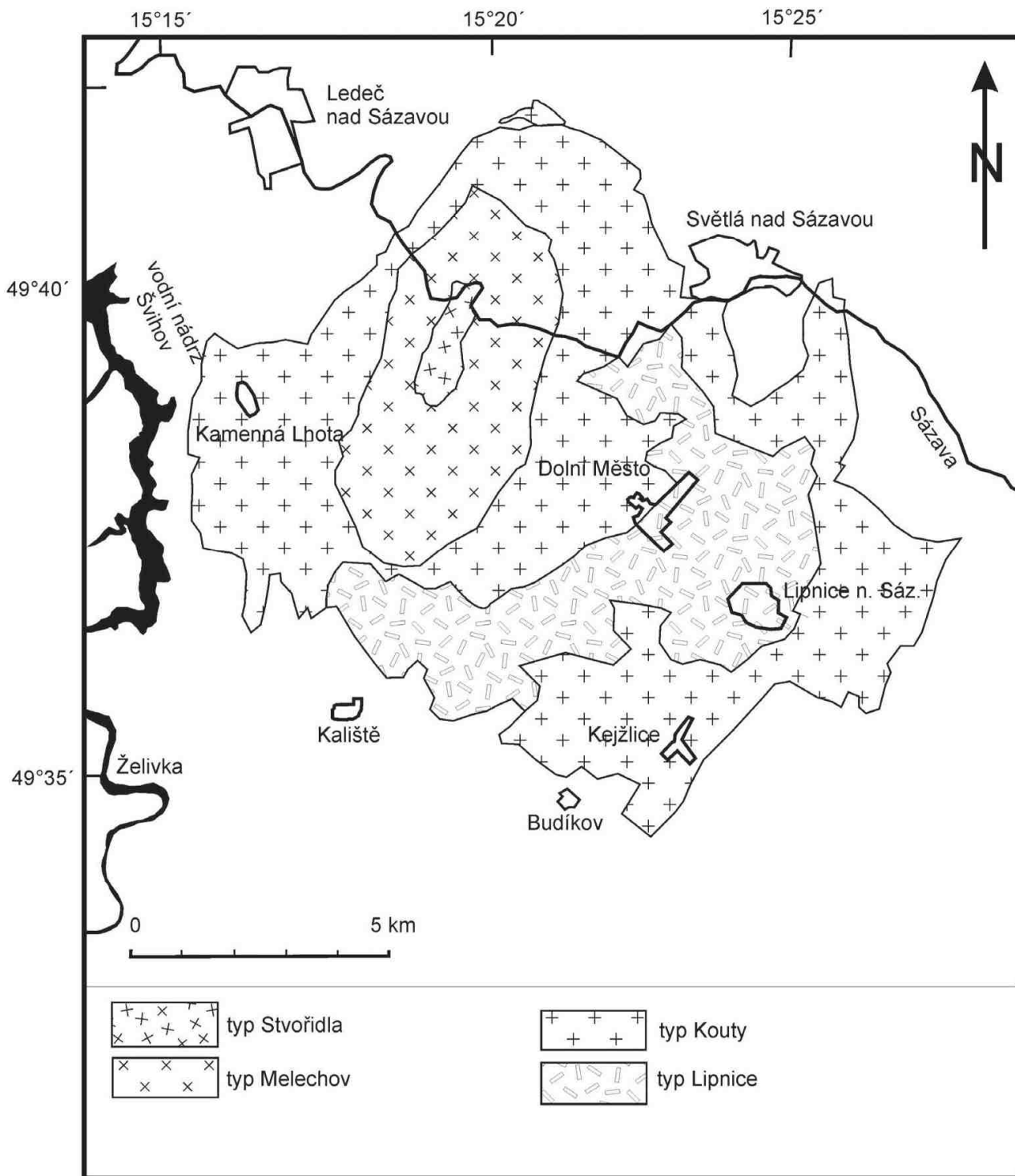
**Obr. 2** – Schematická geologická mapa šumavské větve moldanubického batolitu (podle práce KLOMÍNSKÝ et al. 2010, upraveno autorem).

**Fig. 2** – Geological map of the Šumava Moldanubian batholith branch (after KLOMÍNSKÝ et al. 2010, modified by author).

Moldanubický batolit je na základě aktuálních geologických a geochronologických dat členěn do tří samostatných magmatických suit: hrubozrnné, K-živcem bohaté porfyrické granity typu Weinsberg, dvojslídne granity přiřazované k typu Eisgarn a jemnozrnné biotitické granity až granodiority typu Mauthausen a Freistadt (VELMER & WEDEPOHL 1994, FINGER et al. 1997, GERDES et al. 2000, BREITER 2010, ŽÁK et al. 2011).

Dvojslídne granity moldanubického batolitu jsou reprezentovány čtyřmi texturně, mineralogicky a geochemicky odlišnými typy (HOLUB et al. 1995, BREITER et al. 1998, RENÉ et al. 2003, 2008, BREITER 2010): typy Eisgarn, Deštná, Steinberg (Lipnice) a Zvůle (Čeřínek, Melechov, Eisgarn s.s.).

Převážnou část dvojslídnych granitů reprezentuje typ Eisgarn v jehož rámci bylo v minulosti vymezeno na základě detailního geologického mapování v měřítku 1:25 000 a 1:50 000 větší množství subtypů lišících se vzájemně zejména texturou a velikostí zrna. Typ Eisgarn poprvé definoval KÖHLER (1931) podle jeho výskytu v okolí obce Eisgarn, resp. v lomech v okolí Aalfangu. Z tohoto pohledu je zavádějící a v mapě rakouské geologické služby z oblasti Dolních Rakous (SCHNABEL 2002) neakceptované označení oválného tělesa v oblasti mezi Novou Bystřicí a Gmündem jako typ Eisgarn s.s., které navrhli BREITER & KOLLER (1999), použité rovněž v aktuální klasifikaci moldanubického batolitu (BREITER 2010). Použití termínu Eisgarn s.s. pro granity zmíněného pně vychází pravdě-



**Obr. 3** – Schematická geologická mapa melechovského plutonu (podle práce BREITER 2005).

**Fig. 3** – Geological map of the Melechov pluton (after BREITER 2005).



podobně z omylu, že typ Eisgarn poprvé definoval WALDMANN (1950). V jeho geologické mapě 1:75 000 nejsou však v daném území rozlišeny petrografické variety dvojslídnych granitů a obě variety, později diskutované (BREITER & KOLLER 1999) jsou považované za jediný typ dvojslídnych granitů, na rakouském území standardně označovaný jako Eisgarn. K vymapování samostatného pně mladších dvojslídnych granitů mezi Gmündem a Novou Bystřicí došlo později a podrobně toto těleso charakterizovali GNOJEK & PŘICHYSTAL (1997), kteří granity tohoto pně přiřadili ke granitům typu Landštejn. V melechovském plutonu byly v rámci podrobného mapování (MITRENGA et al. 1979, MLČOCH et al. 2000) vymezeny typy Kouty (Světla), Lipnice, Melechov a Stvořidla. Typ Melechov a Stvořidla tvoří mladší koncentrické těleso, které je obvykle paralelizováno s granity typu Landštejn, resp. Zvůle (obr. 3).

V české části CMP byly již v rámci geologického mapování v měřítku 1:200 000 dvojslídne granity rozděleny na tři samostatné typy, lišící se zrnitostí a texturou. V jižní části CMP byl vymezen typ Číměř, představovaný výrazně porfyrickými, často hrubozrnnými dvojslídny granity s převahou biotitu nad muskovitem (ZOUBEK 1949). Střední část centrálního moldanubického plutonu je tvořena obvykle stejnozrnnými, někdy nevýrazně porfyrickými granity typu Mrákotín (KOUTEK 1925). Pro tento horninový typ je charakteristická středně zrnitá granitická struktura a proměnlivý poměr biotitu a muskovitu. Současně byl jako samostatné těleso vyčleněn peň tvořený hrubozrnnými granity typu Landštejn s převahou muskovitu nad biotitem (ZOUBEK 1949). Pozdější gravimetrické studie a zejména letecká gamaspektrometrie (BREITER et al. 1998) potvrdily samostatné postavení granitových těles přiřazovaných v geologických mapách 1:200 000 k typu Landštejn, který byl původně vymezený jako okrajová hrubozrnná facie typu Číměř (ZOUBEK 1949).

Interpretace letecké gamaspektrometrie (BREITER et al. 1998) však prokázala, že na původní typové lokalitě v okolí hradu Landštejn vystupuje extrémně hrubozrnná varieta typu Číměř a samotný peň dvojslídnych granitů s převahou muskovitu nad biotitem má svůj střed v prostoru obce Zvůle, což vedlo autory ke změně označení tohoto petrografického typu na typ Zvůle. Později (BREITER & KOLLER 1999, SCHARBERT & BREITER 2000) byla prokázána zonální stavba tohoto tělesa. Zonální stavbu melechovského pně prokázalo jednak podrobné geologické mapování (MITRENGA et al. 1979), jednak pozemní gamaspektrometrie (NOVOTNÝ 1980, 1985).

Při západním okraji centrálního plutonu, severně od Jindřichova Hradce vystupuje samostatné těleso klenovského plutonu, které poprvé vyznačil ZELENKA (1923). Klenovský pluton a přilehlý západní okraj CMP je tvořený samostatným typem dvojslídnych granitů Deštná, resp. Lásenice, 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). Pro granity na typové lokalitě Lásenice je charakteristické významné tektonické postižení těchto granitů, vedoucí místy až ke vzniku ultramylonitů (KLEČKA & RAJLICH 1984). Jiným charakteristickým znakem toho petrografického typu je častá přítomnost drobných, několik milimetrů velkých, pecičkovitých nahloučenin biotitu, které pravděpodobně představují neroztavené restity původního metamorfního biotitu, někdy doprovázené vláknitými agregáty sillimanitu (obr. 1 v barevné příloze č. 1).

Jihozápadní okraj klenovského plutonu je překrytý křídovými a terciárními sedimenty budějovické pánve. Sedimentární výplň pánve skrývá pokračování dvojslídnych granitů západním směrem do oblasti ševětínského plutonu, jehož větší část je budována biotitickými granity až granodiority, které lze přiřadit ke granodioritům typu Freistadt (RENÉ et al. 1999, JANOUŠEK et al. 2002). Východní okraj tohoto plutonu je tvořený dvojslídny granity, které jsou mineralogicky a geochemicky shodné s dvojslídny granity typu Deštná (Lásenice). Rovněž drobné výchozy dvojslídnych granitů v prostoru mezi ševětínským a klenovským plutonem v okolí Dunajovic lze přiřadit k výše uvedenému typu.

V severní části CMP, v prostoru mezi Humpolcem, Herálcem a Jihlavou byly vymezeny (VESELÁ et al. 1991) samostatné typy převážně jemnozrnných až drobnozrnných dvojslídnych granitů (Bílý

Kámen, Boršov a Jiřín), které se od typu Mrákotín odlišují absencí vyrostlic draselného živce. Pro granity typu Boršov je charakteristický jednak výskyt obdobných restitických agregátů biotitu, jaké se vyskytují v granitech typu Deštná (obr. 2 v barevné příloze č. 1), jednak výskyt biotitem bohatých smouh a šlír. Tyto granity obsahují někdy velké množství nepravidelných, několik centimetrů velkých uzavřenin biotitických a sillimanit-biotitických pararul (obr. 3 v barevné příloze č. 1). Xenolity starších metasedimentů se vyskytují i v jiných oblastech CMP (RENÉ 2001b, ŽÁK et al. 2011) a jejich minerální i chemické složení je blízké složení moldanubických metasedimentů, vyskytujících se v exokontaktu moldanubického batolitu.

V jižní části CMP byl vymezený jako samostatný typ tzv. „Aussengranit“ (BREITER & SCHARBERT 2001) později týmiž autory přejmenovaný na granit typu Žofín (BREITER & SCHARBERT 2006). Tento granit je svým chemickým složením blízký granitům z okolí Besednice. V relativně úzkém pruhu mezi Trhovými Svinými, Besednicí a Dobrkovskou Lhotkou se vyskytují dvojslídne granity, pro něž je charakteristická přítomnost starších xenokrystů K-živce, které byly pravděpodobně inkorporovány ze starších granitů typu Weinsberg. Granity vykazují vyšší obsah Sr a Ba a proto byly tyto granity vymezené jako samostatný subtyp Trhové Sviný (BREITER & SOKOL 1997). V blízkosti státní hranice České republiky a Rakouska bylo v rámci novějšího geologického výzkumu nalezeno několik drobnějších pňů a žil muskovitických granitů – Homolka, Galthof, Nakolice, Šejby aj., které jsou provázené četnými žilami granitových porfyrů (KLEČKA 1984, KLEČKA & MATĚJKA 1993, BREITER & SCHARBERT 1998). Tyto granity představují pravděpodobně mladší diferenciáty granitového magmatu dvojslídnych granitů typu Číměř nebo Mrákotín. Jejich minerální a chemické složení je podrobně charakterizováno v práci BREITER & SCHARBERT (1998). Výrazně pestřejší je v geologických mapách středních měřítek typologie dvojslídnych granitů v šumavské větvi moldanubického batolitu, které byly podrobně charakterizovány v předchozích studiích (RENÉ & HÁJEK 2009, 2010, 2011).

Dvojslídne granity moldanubického batolitu jsou z hlediska jejich stáří součástí hlavní magmatické fáze. Novější analýzy jejich stáří založené na stanovení stáří zirkonu a monazitu poskytly stáří krystalizace v rozmezí 325 až 328 milionů let (FRIEDL 1997, SIEBEL et al. 2008, FINGER et al. 2009, ŽÁK et al. 2011), přičemž stáří jednotlivých variet těchto granitů je takřka shodné. Minimální rozdíly mezi jednotlivými intruzemi v rámci centrálního moldanubického plutonu lze nejlépe demonstrovat na stáří granitů klenovského plutonu ( $327,14 \pm 0,21$  mil. let) a stáří granitů typu Mrákotín z CMP ( $326,98 \pm 0,27$  mil. let) stanovená na monazitu metodou  $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  (VERNER et al. 2011).

Zdrojem granitové taveniny dvojslídnych granitů byly pravděpodobně moldanubické metapelity (LIEW et al. 1989, VELLMER & WEDEPOHL 1994, RENÉ et al. 2008, ŽÁK et al. 2011). Předmětem zčásti kontroverzní diskuse je stále zdroj tepla, který inicioval vznik moldanubického batolitu jako celku. Původně byl za nejvýznamnější zdroj tepla považován rozpad radioaktivních prvků (GERDES et al. 2000), nověji je uvažován přívod tepla v důsledku delaminace svrchního pláště (FINGER et al. 2009) nebo isotermické dekomprese zdrojových metasedimentů (ŽÁK et al. 2011).

## Metodika

Charakteristika kvantitativního minerálního složení hornin vychází zejména ze starších planimetrických analýz publikovaných ve vysvětlivkách ke geologickým mapám (ČECH et al. 1962, DUDEK et al. 1962, BENEŠ et al. 1963). Pro účely této práce bylo zhotoveno 90 chemických analýz (tab. 1). Výběr analyzovaných vzorků z jednotlivých magmatických těles byl realizován s cílem získat pokud možno reprezentativní pohled na chemické složení dvojslídnych granitů moldanubického batolitu. 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  $\text{SiO}_2$  byl stanoven vážko-

vě, obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{FeO}$  byl stanoven titračně, obsah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  a  $\text{P}_2\text{O}_5$  byl stanoven spektrometricky, obsah  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  a obsah  $\text{Na}_2\text{O}$  byl stanoven pomocí atomové absorpční spektrometrie (AAS). Stanovení obsahu vybraných stopových prvků bylo provedeno metodou induktivně vázaného plazmatu na hmotovém spektrometru (ICP MS) Perkin Elmer Sciex ELAN 6100 v laboratoři Actlabs v Kanadě (analytik D'Anna). Chemické analýzy horninotvorných minerálů (plagioklas, draselný živec, biotit) byly provedeny na elektronové mikrosondě Cameca SX 100 v laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy PŘF MU a ČGS v Brně (analytik R. Škoda) a 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  $\mu\text{m}$ . Analýzy zirkonu, monazitu a xenotimu byly provedeny na mikrosondě PŘF MU a ČGS v Brně za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud 20 nebo 40 nA, průměr elektronového svazku 1–2  $\mu\text{m}$ . Dobře definované homogenní minerály a syntetické fáze byly použity v obou případech jako standardy. Minerální vzorce biotitu byly vypočteny pomocí programu MICA+ (YAVUZ 2003). Množství iontů v jednotkách na vzorec (apfu) bylo v případě monazitu a xenotimu počítáno na 8 atomů kyslíku, v případě zirkonu na 4 atomy kyslíku.

**Tab. 1** – Representativní chemické analýzy dvojslídnych granitů moldanubického batolitu.

**Tab. 1** – Representative chemical analyses of two mica granites of the Moldanubian batholith.

hmot.%	Re-1486	Re-1491	Re-1497	Re-1498	Re-1499	Re-1501	Re-1575	Re-1677	Re-1708
typ	Deštná	Lásenice	Číměř	Mrákotín	Číměř	Číměř	Lipnice	Mrákotín	Steinberg
$\text{SiO}_2$	73,28	74,59	73,19	72,57	70,75	72,62	70,37	73,86	70,53
$\text{TiO}_2$	0,10	0,11	0,23	0,22	0,34	0,28	0,49	0,16	0,41
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,55	13,98	14,64	14,50	15,98	14,67	14,80	13,89	14,96
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,35	0,52	0,39	0,44	0,41	0,41	0,59	0,66	0,72
$\text{FeO}$	0,59	0,38	0,98	0,82	1,51	1,14	1,72	0,51	1,29
$\text{MnO}$	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
$\text{MgO}$	0,27	0,16	0,34	0,38	0,66	0,51	0,77	0,23	0,51
$\text{CaO}$	0,79	0,42	0,70	0,78	0,95	0,84	1,13	0,49	0,74
$\text{Na}_2\text{O}$	3,92	3,70	3,34	3,50	3,14	3,11	3,09	3,30	2,99
$\text{K}_2\text{O}$	4,80	4,56	5,57	5,47	5,32	5,12	5,54	5,01	6,05
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,34	0,30	0,29
$\text{H}_2\text{O}^+$	0,71	0,80	0,50	0,63	0,74	0,73	0,53	0,44	0,47
$\text{H}_2\text{O}^-$	0,19	0,20	0,12	0,09	0,15	0,10	0,13	0,39	0,24
Celkem	99,80	99,65	100,23	99,63	100,20	99,78	99,53	99,26	99,92
ppm									
Th	4,7	4,0	21,3	17,3	36,0	33,5	53,6	16,4	63,1
U	5,5	6,7	8,1	6,8	10,2	12,7	7,9	8,3	11,0
Zr	61	68	100	96	130	109	291	75	158
Rb	179	238	305	290	339	352	321	379	380
Ba	245	100	271	288	386	305	612	99	269
Sr	107	46	68	78	85	69	146	25	32



## Petrografie

Z předchozí charakteristiky geologické stavby moldanubického batolitu je patrné, že dvojslídne granity představují velmi pestrou horninovou suitu, která je tvořena několika texturně a petrograficky odlišnými typy granitů. Rozdíly v jejich minerálním složení lze vyjádřit jednak poměrem zastoupení biotitu a muskovitu, jednak v některých případech z hlediska klasifikace IUGS významnými rozdíly v bazicitě plagioklasu (zastoupení albitu s bazicitou  $An_{0-5}$ ), případně rozdíly v poměru K-živce a plagioklasu. Většinu dvojslídnych granitů moldanubického batolitu lze přiřadit k monzogranitům, v lipenském plutonu a v plutonu Aigen se vyskytují rovněž alkalicko-živcové granity (RENÉ & HÁJEK 2009, 2011). Významná přítomnost alkalicko-živcových granitů je typická pro mladší pně Melechov, Čeřínek a Zvůle, prokázaná zejména v granitech melechovského pně (MITRENGA et al. 1979). Na druhé straně některé vzorky dvojslídnych granitů typu Lipnice a Kouty, vyskytující se v melechovském plutonu lze na základě jejich poměru K-živce a plagioklasu přiřadit ke granodioritům. Minerální složení jednotlivých petrografických typů dvojslídnych granitů centrálního moldanubického plutonu, klenovského a melechovského plutonu je podrobněji charakterizováno v tabulce (tab. 2).

Dvojslídne granity klenovského plutonu vyskytující se v okolí obce Lásenice mají výraznou plošně paralelní stavbu, zvýrazněnou paralelním uspořádáním tabulek chloritizovaného biotitu. Biotit tvoří

**Tab. 2** – Petrografická charakteristika jednotlivých typů dvojslídnych granitů centrálního moldanubického plutonu, klenovského a melechovského plutonu.

**Tab. 2** – Petrographic features of individual two-mica granite types from the Central moldanubian pluton, Klenov and Melechov plutons.

Typ	Deštná	Mrákotín	Číměř	Bílý Kámen	Kouty	Lipnice
Hornina	monzogranit	monzogranit	monzogranit	monzogranit	alkalicko-živcový granit až granodiorit	monzogranit až granodiorit
Zrnitost	středně zrnitý	drobnozrnitý až středně zrnitý	středně zrnitý až hrubozrnitý	jemnozrnitý až drobnozrnitý	středně zrnitý	jemnozrnitý až středně zrnitý
Struktura	stejnouzrnitý	stejnouzrnitý až nevýrazně porfyrický	výrazně porfyrický	stejnouzrnitý	stejnouzrnitý	stejnouzrnitý
Modální složení	křemen 28–42, K-živce 21–41, plagioklas 15–27, muskovit 1–8, biotit 1–5 mod.%	křemen 23–46, K-živce 14–42, plagioklas 10–37, muskovit 3–17, biotit 3–11 mod.%	K-živce 14–50, křemen 22–41, plagioklas 8–38, biotit 3–16, muskovit 1–8 mod.%	křemen 31–43, K-živce 26–40, plagioklas 12–32, muskovit 2–6, biotit 2–5 mod.%	křemen 29–32, K-živce 22–28, plagioklas 28–34, biotit 4–5, muskovit 7–8 mod.%	křemen 26–33, K-živce 23–25, plagioklas 29–37, biotit 6–9, muskovit 6–7 mod.%
Akcesorie	apatit, ilmenit, monazit, zirkon, xenotim r	apatit, andalusit, ilmenit, zirkon, monazit	andalusit, apatit, ilmenit, zirkon, monazit, cordierit	apatit, ilmenit, zirkon, monazit	apatit, ilmenit, zirkon, monazit, rutil, granát	apatit, ilmenit, monazit, zirkon, rutil, sillimanit
Bazicita plagioklasu	$An_{12-25}$	$An_{9-25}$	$An_{9-23}$	$An_{10-30}$	$An_{4-14}$	$An_{13-20}$
Složení biotitu	Mg-siderofylit, $Fe/(Fe + Mg) = 0,62-0,74$ , $^{IV}Al$ 1,16–1,42 apfu, Ti 0,09–0,21 apfu	Mg-siderofylit, $Fe/(Fe + Mg) = 0,67-0,69$ , $^{IV}Al$ 1,24–1,30 apfu, Ti 0,13–0,18 apfu	Mg-siderofylit, $Fe/(Fe + Mg) = 0,64-0,72$ , $^{IV}Al$ 1,24–1,31 apfu, Ti 0,12–0,19 apfu	Mg-siderofylit, $Fe/(Fe + Mg) = 0,67-0,75$ , $^{IV}Al$ 1,27–1,36 apfu, Ti 0,14–0,18 apfu	Mg-siderofylit, $Fe/(Fe + Mg) = 0,65-0,71$ , $^{IV}Al$ 1,29–1,31 apfu, Ti 0,16–0,17 apfu	Mg-siderofylit, $Fe/(Fe + Mg) = 0,59-0,62$ , $^{IV}Al$ 1,26–1,32 apfu, Ti 0,15–0,17 apfu

někdy pecičkovité agregáty, až několik milimetrů veliké, které mohou obsahovat i vláknité agregáty sillimanitu (obr. 1 v barevné příloze č. 1). Tyto agregáty reprezentují restit původních sillimanit-biotitických pararul, které jsou považovány za potenciální zdroj granitové taveniny dvojslídých granitů moldanubického batolitu (RENÉ et al. 2008, ŽÁK et al. 2011). V případech, kdy převládá muskovit výrazně nad biotitem, byla část granitů klenovského plutonu popisována jako aplitické granity (MRÁZEK 1972), přestože jejich struktura je typicky granitická, nikoliv aplitická. V některých případech jsou původní biotit-sillimanitové agregáty obrůstány novotvořeným, z magmatické taveniny vykrytalovaným biotitem. Mezi převážně stejnozrnnými granity typu Mrákotín a výrazně porfyrickými granity typu Číměř existují plynulé přechody (RENÉ 2001c).

V severní části CMP přecházejí stejnozrnné až nevýrazně porfyrické, středně zrnité granity typu Mrákotín v drobnozrnnou, stejnozrnnou varietu označovanou jako typ Bílý Kámen. Lze zde vymezit drobná tělesa dalších variet (Boršov a Jiřín), lišících se od typu Bílý Kámen strukturou, případně minerálním složením (VESELÁ et al. 1991, MATĚJKA 1997). Pro poslední dvě variety je charakteristický velmi proměnlivý poměr biotitu a muskovitu a přítomnost většího počtu šlír nebo uzavřenin restitického materiálu (obr. 2, 3 v barevné příloze č. 1).

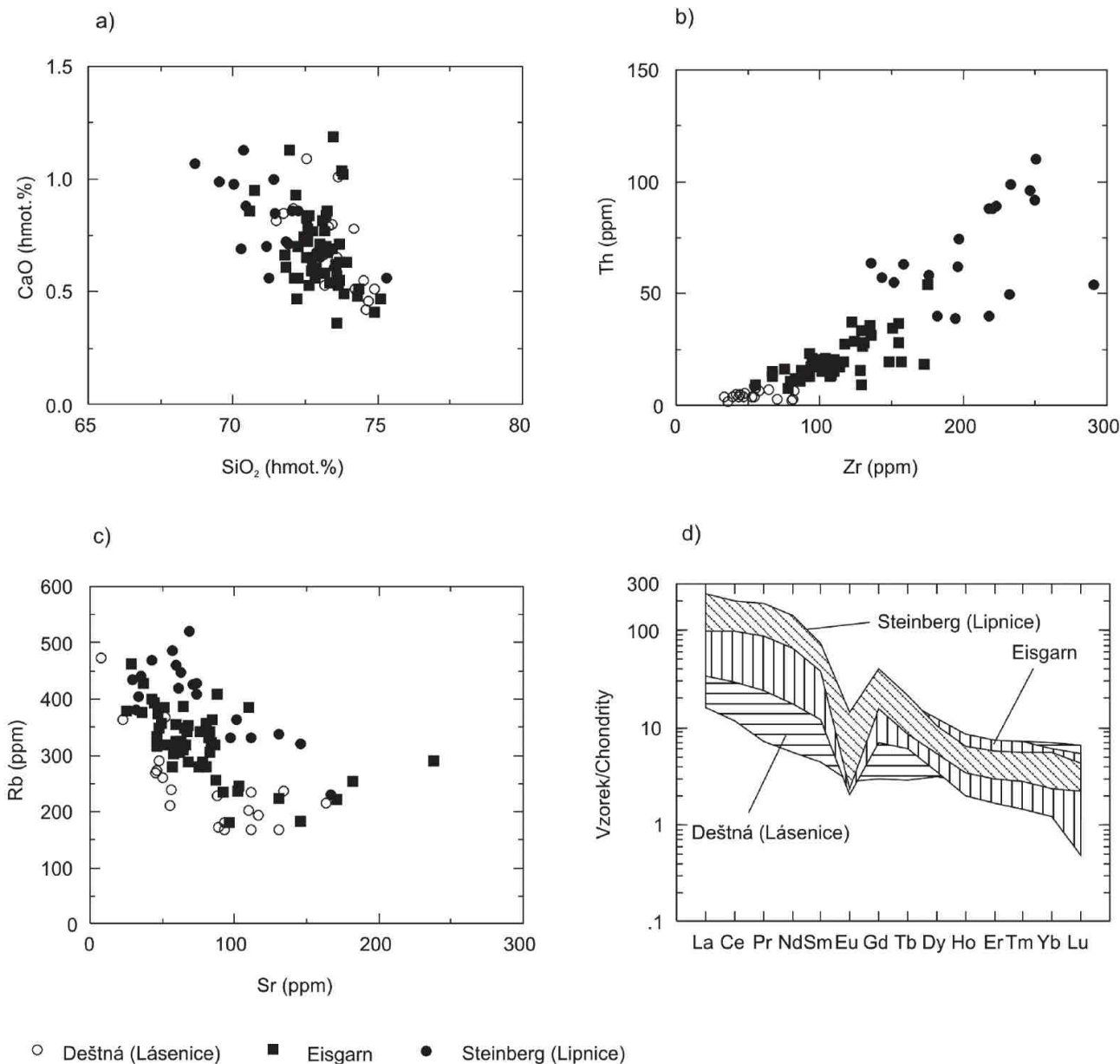
Pro některé variety granitů typu Lipnice v melechovském plutonu (obr. 3), zejména granity tvořící výchozy na hradu Lipnice a v jeho bezprostředním okolí jsou typické výskyty větších šlír biotitu. Na druhé straně lze pozorovat v těchto granitech ostře omezené xenolity biotitických pararul.

## **Chemické složení**

Základní geochemická charakteristika jednotlivých typů dvojslídých granitů centrálního moldanubického plutonu, klenovského a melechovského plutonu je uvedena v tabulce (tab. 3) a je rovněž ilustrována na vybraných diagramech (obr. 4). Dvojslídé granity centrálního moldanubického plutonu a klenovského plutonu jsou peraluminické granity s relativně nízkým obsahem CaO (0,3–1,3 hmot.%) a vyšším obsahem K<sub>2</sub>O (3,9–6,2 hmot.%). Nejvyšší obsah K<sub>2</sub>O byl zjištěn v granitech typu Bílý Kámen a Lipnice (až 6,2 hmot.% K<sub>2</sub>O). Jednotlivé variety lze rozlišit zejména na základě jejich obsahu Th, Zr, Rb a prvků vzácných zemin (obr. 7b, c, d). Nejnížší obsahy Th a Zr vykazují granity typu Deštná, kdežto jejich nejvyšší obsahy byly zjištěny v granitech typu Lipnice z CMP a v granitech typu Steinberg v plutonu Třístoličnicku (obr. 4b). Významné jsou rovněž rozdíly v obsazích prvků vzácných zemin, kdy jejich nejnížší obsahy byly nalezeny v granitech typu Deštná ( $\Sigma\text{REE} = 33\text{--}69$  ppm), kdežto jejich nejvyšší obsahy se vyskytují v granitech typu Lipnice ( $\Sigma\text{REE} = 239\text{--}310$  ppm) a v granitech typu Steinberg ( $\Sigma\text{REE} = 207\text{--}423$  ppm) (obr. 4d).

## **Klasifikace dvojslídých granitů**

Dosavadní typologie dvojslídých granitů moldanubického batolitu se až na výjimky (NOVOTNÝ 1985, BREITER et al. 1998, BREITER & KOLLER 1999, BREITER 2010) opírala o strukturní a texturní znaky, které vycházely z možností geologického mapování, doplněného mikroskopickým studiem. Pro použití geochemických klasifikací chybělo dostatečně reprezentativní množství chemických analýz zahrnujících stanovení jak horninotvorných prvků, tak zejména stopových prvků. První geochemická klasifikace použitá pro rozlišení dvojslídých granitů melechovského plutonu byla založena na terénní gamaspektrometrii a jejich obsahu U a Th (NOVOTNÝ 1985). Výsledky letecké gamaspektrometrie, doplněné terénní gamaspektrometrií umožnily rozlišit jednotlivé typy dvojslídých granitů moldanubického batolitu na základě obsahu U, Th a K (BREITER et al. 1998). Tato data prokázala, že vhodným klasifikačním kritériem je zejména poměr U/Th. Na základě hodnoty



**Obr. 4** – Geochemie dvojslídnych granitů moldanubického batolitu.

**Fig. 4** – Geochemistry of two-mica granites of the Moldanubian batholith.

tohoto poměru byly v oblasti CMP odlišeny granity typu Lásenice, Číměř (Mrákotín), Zvůle (Čeřínek, Melechov, Eisgarn s.s.), Lipnice, a drobná tělíska muskovitických granitů (Homolka, Nebelstein). Klasifikace byla následně doplněna o další geochemické charakteristiky (distribuce Sr, Rb, Zr) a detailně propracovaná v jižní části CMP (BREITER & KOLLER 1999). V poslední době byla tato klasifikace aplikována na celé území moldanubického batolitu, včetně šumavské větve (BREITER 2010). Data publikovaná v předchozích geochemických studiích prokázala, že nejvhodnějším klasifikačním kritériem jsou obsahy thoria a zirkonia. Aktuální reprezentativní soubor geochemických dat vytvořený pro potřeby této studie umožnil rozdělit dvojslídne granity moldanubického batolitu do tří základních typů podle obsahu thoria:

- a) Thoriem chudé granity typu Deštná (Lásenice).
- b) Thoriem středně bohaté granity typu Eisgarn.
- c) Thoriem bohaté granity typu Steinberg (Lipnice).

**Tab. 3** – Geochemická charakteristika jednotlivých typů dvojslídých granitů centrálního moldanubického plutonu, klenovského a melechovského plutonu.

**Tab. 3** – *Geochemical signatures of individual two-mica granite types from the Central moldanubian pluton, Klenov and Melechov plutons.*

Typ	Deštná	Mrákotín	Číměř	Bílý Kámen	Kouty	Lipnice
A/CNK	1,0–1,3	1,0–1,3	1,1–1,3	1,1–1,3	1,1–1,3	1,1–1,3
CaO hmot.%	0,4–1,0	0,4–1,2	0,3–1,0	0,5–1,2	0,7–1,3	0,9–1,1
K <sub>2</sub> O hmot.%	3,9–5,3	4,5–6,0	5,1–5,6	4,4–6,2	4,4–5,4	5,0–6,2
Zr ppm	15–94	75–170	104–151	66–105	76–130	180–290
Th ppm	2–7	8–28	19–54	7–17	10–19	39–54
Rb ppm	140–290	180–390	303–408	212–279	258–321	321–363
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	3,2–11,4	13,3–36,4	17,1–44,3	14,3–19,7	28,7–35,0	29,4–39,0
Eu/Eu*	0,96–1,17	0,16–0,44	0,15–0,31	0,33–0,45	0,29–0,34	0,24–0,31

Tato klasifikace nezahrnuje granity tvořící v moldanubickém batolitu nepochybně mladší, výrazně frakcionované intruze granitů typu Zvůle (Čeřínek, Melechov, Eisgarn s.s.) a muskovitické granity typu Homolka.

Thoriem a Zr chudé granity typu Deštná jsou reprezentovány především dvojslídými granity klenovského plutonu. Lze k nim přiřadit rovněž okrajové granity v plutonu Třístoličnicku (Plechého) v šumavské větvi moldanubického batolitu (VERNER et al. 2009, RENÉ & HÁJEK 2011).

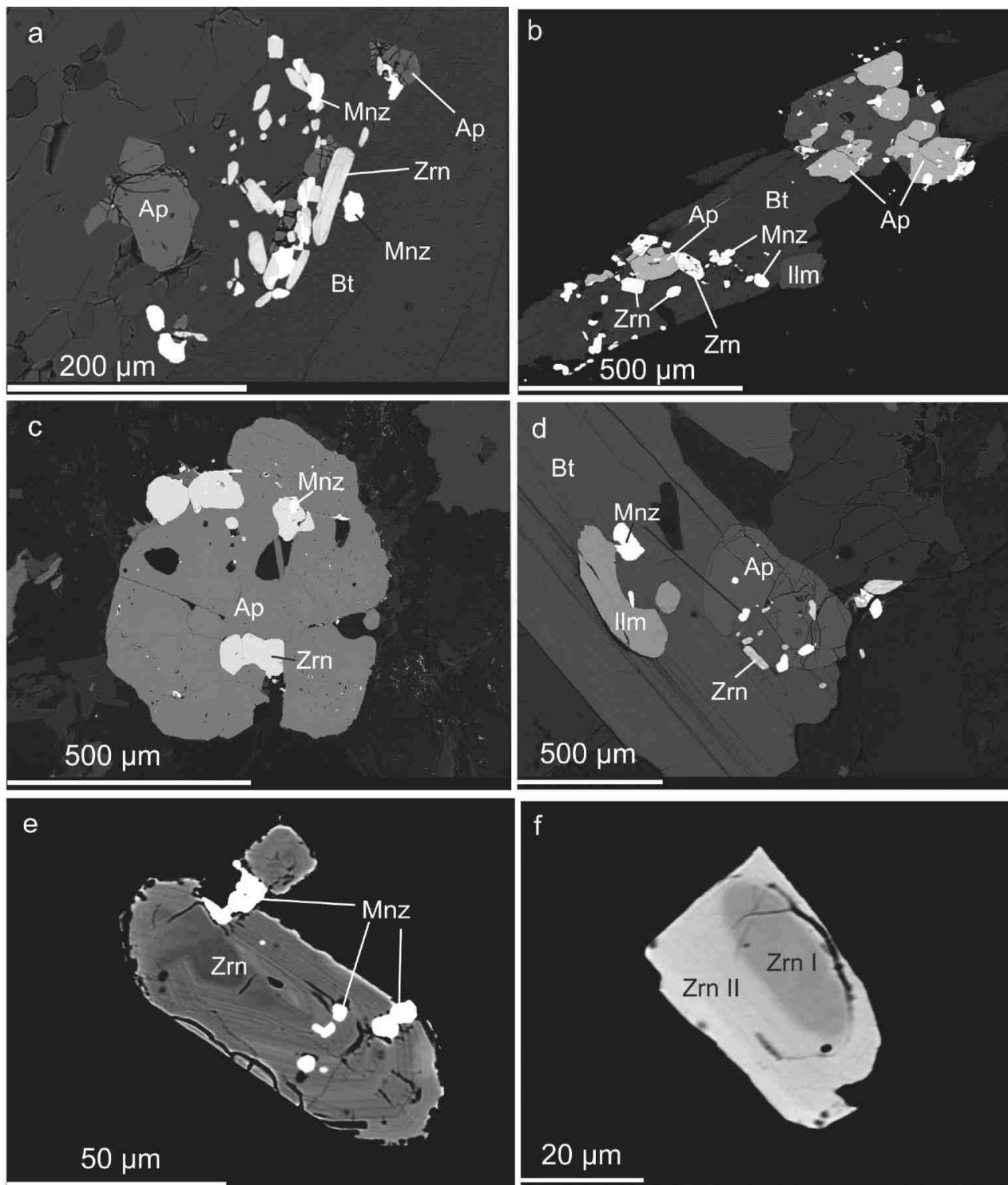
Thoriem a Zr středně nabohacené granity typu Eisgarn zahrnují dvě texturně odlišné facie dvojslídých granitů, typ Číměř a Mrákotín. Do stejné geochemické skupiny lze zařadit rovněž granity typu Srní, vymezené ve vyderském plutonu a různé typy převážně jemnozrnných až drobnozrnných dvojslídých granitů popisovaných v severní části centrálního moldanubického plutonu (Bílý Kámen, Boršov, Jiřín), v plutonu Aigen (typ Sulzberg, FUCHS 1964) a v masívu Třístoličnicku (Haidmühle, Theresienreut, OTT 1988). S ohledem na podobné hodnoty koncentrací Th a Zr v granitech typu Číměř a Mrákotín a geochemicky podobných faciích granitů vymezených v šumavské větvi moldanubického batolitu (Sulzberg, Haidmühle, Theresienreut, Plechý, Kristallgranit II, Finsterau 2) lze všechny uvedené variety granitů zahrnout pod jednotné označení typ Eisgarn, které je standardně používané i v nových rakouských geologických mapách v měřítku 1:200 000 (SCHNABEL 2002, KRENMAYR & SCHNABEL 2006). Použití termínu Eisgarn s.s. pro granity vyskytující se v mladších pních Zvůle, Čeřínek a Melechov (BREITER 2010) nepovažuji s ohledem na typologii dvojslídých granitů moldanubického batolitu používanou na území Rakouska za příliš vhodné. Tento termín nebyl rovněž akceptovaný v nové geologické mapě 1:200 000 (SCHNABEL 2002).

Granity typu Steinberg (Lipnice) obsahující vyšší koncentrace Th a Zr se vyskytují ve dvou samostatných tělesech. Typ Steinberg tvoří samostatnou granitovou facii v plutonu Třístoličnicku (OTT 1988), kdežto typ Lipnice (MITRENGA et al. 1979) tvoří samostatnou facii v melechovském plutonu (obr. 3).

### Charakteristika vybraných akcesorických minerálů

Výzkum chemického složení akcesorických minerálů se soustředil na analýzu složení monazitu, zirkonu a xenotimu ve dvou kontrastních geochemických typech dvojslídých granitů moldanubického batolitu (Eisgarn a Deštná). Složení výše uvedených akcesorických minerálů v granitech typu Stein-





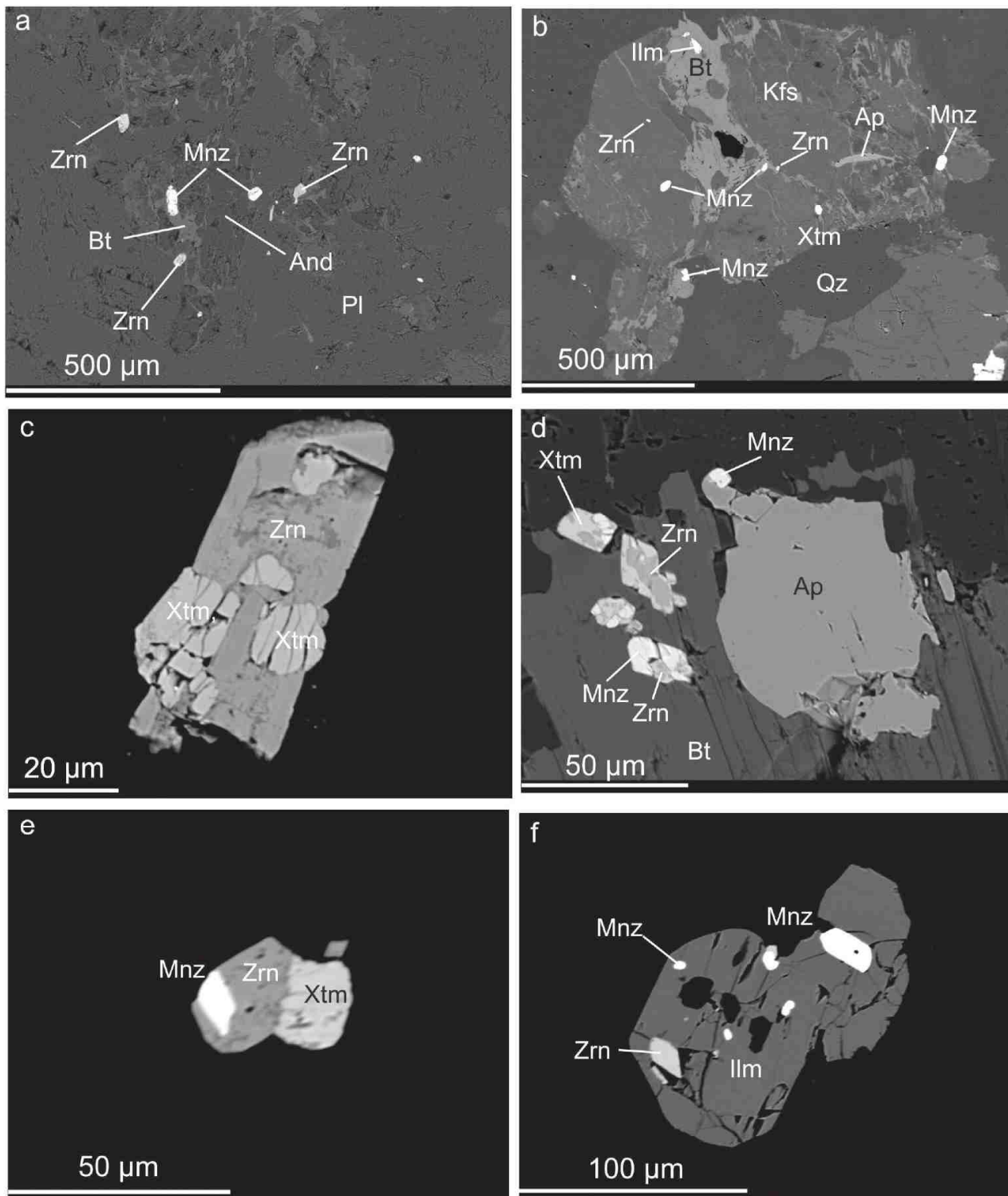
**Obr. 5** – Zobrazení akcesorických minerálů z granitu typu Eisgarn ve zpětných elektronech. Zkratky názvů minerálů podle práce WHITNEY & EVANS (2010).

**Fig. 5** – BSE images of accessory minerals from the Eisgarn granite. Mineral abbreviations according to WHITNEY & EVANS (2010).

berg prezentují BREITER et al. (2007) a složení akcesorických minerálů v granitech typu Lipnice HARLOV et al. (2008).

V granitech typu Eisgarn jsou zirkon a monazit spolu s velmi hojným apatitem a ilmenitem obvykle uzavírány v biotitu (obr. 8a–d). Alotriomorfní zrna apatitu (100–600 μm) často obsahují uzavřeniny zirkonu a monazitu (obr. 5c). Idiomorfní až hypidiomorfní zrna zirkonu a méně častější allotriomorfní





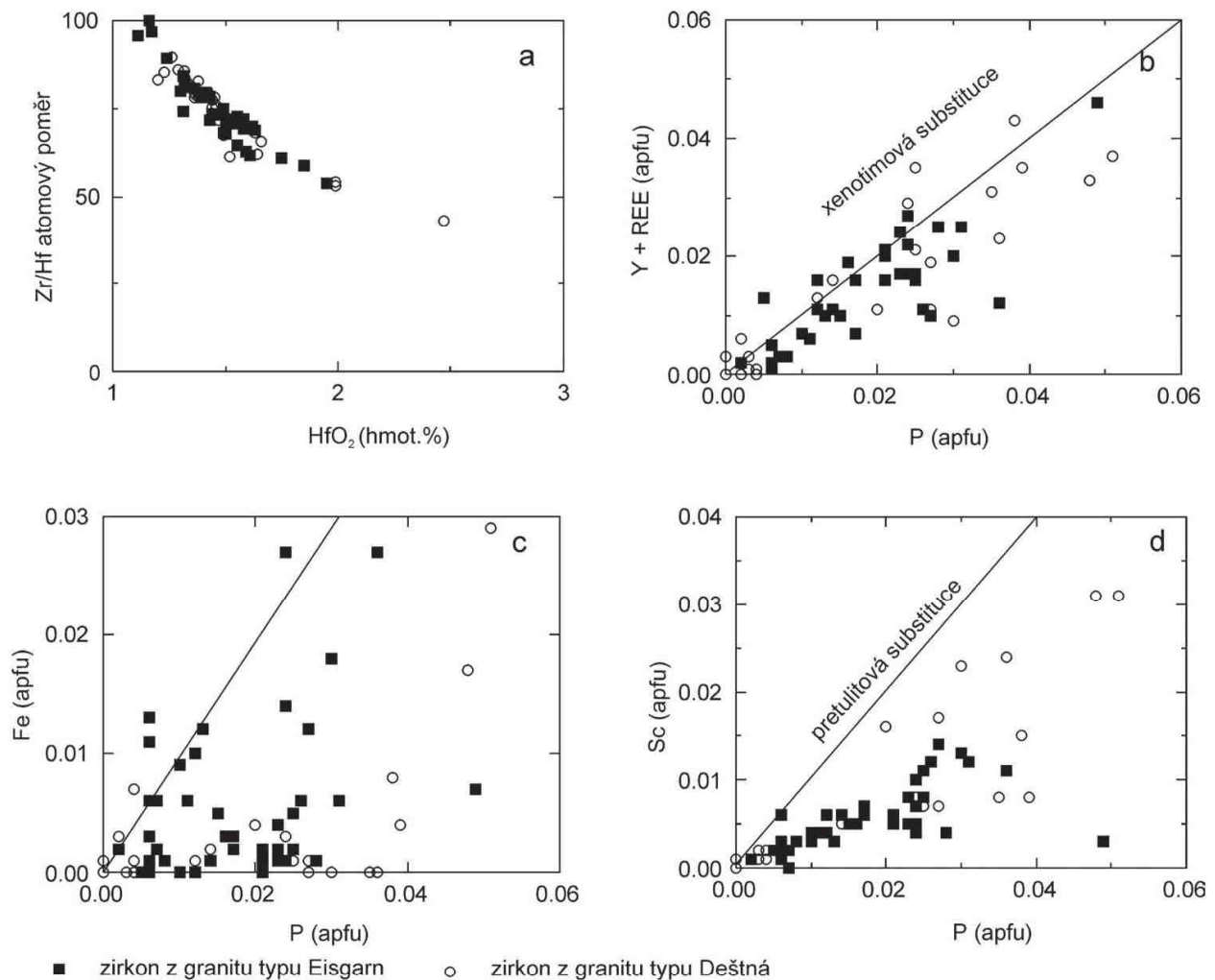
**Obr. 6** – Zobrazení akcesorických minerálů z granitu typu Deštná ve zpětných elektronech. Zkratky názvy minerálů podle práce WHITNEY & EVANS (2010).

**Fig. 6** – BSE images of accessory minerals from the Deštná granite. Mineral abbreviations according to WHITNEY & EVANS (2010).

zrna monazitu se vyskytují hojně na okraji větších zrn apatitu (obr. 5a, b). Zirkon je vzácně koncentricky zonální (obr. 5c). Hojnější je výskyt starších, z metasedimentů převzatých zirkonů (zirkon I), které jsou obrůstány mladším, magmatickým zirkonem (zirkon II) (obr. 5f).

V granitech typu Deštná jsou uvedené akcesorické minerály výrazně vzácnější a jsou obvykle uzavírány ve vyrostlicích K-živce (obr. 6a, b). Zrna zirkonu a monazitu v granitech typu Deštná jsou obvykle velmi malá (5–15  $\mu\text{m}$ ). V tomto typu dvojslídých granitů se rovněž vzácně vyskytuje xenotim v podobě allotriomorfních zrn, 5–10  $\mu\text{m}$  velikých (obr. 6b–d). Apatit v tomto typu granitů tvoří menší zrna (20–100  $\mu\text{m}$ ), která postrádají uzavřeniny jiných akcesorických minerálů (obr. 6b–d). Monazit a zirkon tvoří v granitech typu Deštná též nepravidelné srůsty (obr. 6e) a nebo jsou oba minerály uzavírány v ilmenitu (obr. 6f).

Zirkon obsahuje mimo Hf a Y rovněž P, REE, U a Th. Hodnoty koncentrací Hf v zirkonu z obou typů granitů jsou nízké (1,0–2,5 hmot.%  $\text{HfO}_2$ , 0,018–0,044 apfu Hf). Poměr Hf/(Zr + Hf) v zirkonech z obou typů granitů se pohybuje v rozmezí 0,01–0,02 (obr. 7a). Relativně nízký obsah P pozitivně koreluje s Y a REE, což ukazuje na přítomnost izomorfního zastupování zirkonové a xenotimové komponenty. Relativně vyšší obsahy P, Y a REE se vyskytují v zirkonech z granitu typu Deštná (až 0,102 apfu P, 0,065 apfu Y a 0,023 apfu REE; obr. 7b). Obdobné obsahy Hf, P, Y a REE se vyskytují v zirkonech dvojslídých granitech obecně (PUPIN 2000, HOSKIN & SCHALTEGGER 2003, HARLOV et al. 2008, HOSHIHO et al. 2010). Obsah LREE v zirkonu je obvykle pod mezí jejich detekce. Obsah HREE v zirkonu z granitů typu Eisgarn se pohybuje od meze detekce do 0,015 apfu a v zirkonech z granitů typu Deštná je jejich obsah od meze detekce do 0,02 apfu. Obsahy U v zirkonu se pohybují od meze detekce do 0,056 apfu U. Obsah Th v zirkonu je výrazně nižší a obvykle je pod

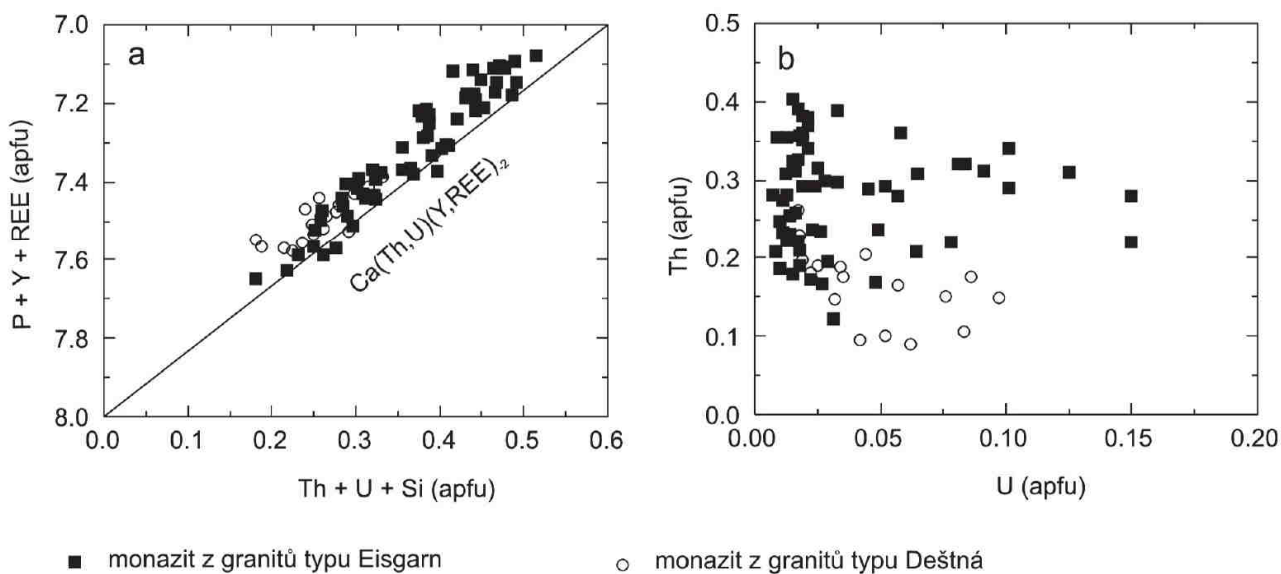


**Obr. 7** – Chemické složení zirkonu z granitů moldanubického batolitu.

**Fig. 7** – Chemical composition of zircon from granites of the Moldanubian batholith.

mezi detekce mikrosondy. Nejvyšší obsah Th byl zjištěný v zirkonu z granitů typu Eisgarn (až 0,015 apfu Th). Zirkon z granitů typu Eisgarn vykazuje vyšší obsah Fe (až 0,054 apfu Fe), který pozitivně koreluje s fosforem (obr. 7c). Zirkon z granitů typu Deštná je obohacený o Sc (až 0,063 apfu Sc) (obr. 7d). Obsahy Bi, As, Nb a W v zirkonu z obou typů granitů jsou obvykle pod mezí detekce mikrosondy.

Monazit z obou typů granitů je Ce-monazit, s obsahem Ce v rozmezí 1,28–1,76 apfu Ce. Obsah ostatních LREE je výrazně nižší (La 0,52–0,94 apfu, Nd 0,56–0,80 apfu, Sm 0,08–0,19 apfu). Typické koncentrace HREE v monazitu z obou typů granitů se pohybují v rozmezí 0,04 až 0,22 apfu (Gd 0,03–0,14 apfu, Dy 0,00–0,08 apfu). Množství xenotimové komponenty ( $\text{YPO}_4$ ) je obvykle vyšší v monazitech z granitů typu Deštná (až 8,6 mol.%). V monazitech z granitů typu Eisgarn se množství xenotimové molekuly pohybuje v rozmezí 0,4 až 5,7 mol.%. Poměr huttonitové a cheralitové molekuly koreluje s obsahem Th a U v analyzovaných monazitech. Množství huttonitové molekuly ( $\text{ThSiO}_4$ ) v analyzovaných monazitech z granitů typu Eisgarn kolísá mezi 0,0 a 5,0 mol.%. V monazitu z granitů typu Deštná je jeho obsah výrazně nižší (do 1,1 mol.%). Podobný vývoj vykazuje rovněž zastoupení cheralitové molekuly  $[\text{Ca}(\text{Th,U})(\text{PO}_4)_2]$ . V monazitu z granitů typu Eisgarn se její množství pohybuje v rozmezí 7,5 až 23,9 mol.%, kdežto v monazitu z granitů typu Deštná je nižší (9,0–13,0 mol.%) (obr. 8a). Obsah cheralitové molekuly v dvojslídnych granitech moldanubického batolitu je velmi podobný jeho obsahu uváděného z granitů S-typu (BEA 1996, FÖRSTER 1998a). Poměr Th/U v monazitech z obou typů granitů je velmi variabilní, výrazně nižší je však v monazitu z granitů typu Deštná (obr. 8b).



**Obr. 8** – Chemické složení monazitu z granitů moldanubického batolitu.

**Fig. 8** – Chemical composition of monazite from granites of the Moldanubian batholith.

Xenotim byl nalezený pouze v granitech typu Deštná, kde je obvykle uzavírán v porfyrických vyrostlicích K-živce nebo v plagioklasu (obr. 6a, b). Relativně vzácně se vyskytují komplexní srůsty xenotimu a zirkonu (obr. 6c, d). Obsah hlavní komponenty,  $\text{YPO}_4$  v analyzovaných xenotimech se pohybuje v rozmezí 71,4 až 77,1 mol.%. Obsah HREE se pohybuje v rozmezí 0,73 až 0,96 apfu (18,2–21,7 mol.%  $\text{HREEPO}_4$ ). Koncentrace LREE jsou výrazně nižší. Celkový obsah LREE v analyzovaných xenotimech kolísá v rozmezí 1,1 až 2,8 mol.%  $\text{LREEPO}_4$ . Obsah Ce kolísá v rozmezí od mezí detekce do 0,01 apfu, obsah Nd kolísá v rozmezí 0,02 až 0,04 apfu Nd. Analyzované xenotimy vykazují poměr Sm/Nd v rozmezí 1,1 až 2,1. Poměr Th/U v analyzovaných xenotimech se pohybuje v rozmezí 0,08 až 0,33. V xenotimech je obvykle uvažována thoritová substituce nebo cheralitová substituce při substituci Y a REE uranem a thoriem (FÖRSTER 1998b). Xenotim z granitů typu Deštná vykazuje přítom-



nost cheralitové substituce, která je v xenotimech výrazně vzácnější. Tato substituce byla podrobně popsána z topazových granitů S-typu, vyskytujících se v krušnohorském batolitu (FÖRSTER 1998b).

## Závěr

Dvojslídne granity moldanubického batolitu lze na základě jejich obsahu thoria a zirkonia rozdělit do tří skupin. Nejnižší obsah obou prvků vykazují granity typu Deštná (Lásenice) vyskytující se především v klenovském plutonu. Vyšší obsah obou prvků je typický pro granity typu Eisgarn, které tvoří převážnou část dvojslídnych granitů moldanubického batolitu. Nejvyšší obsahy Th a Zr byly zjištěny v granitech typu Steinberg (Lipnice). Granity typu Steinberg jsou součástí plutonu Třístoličnicku (Plechého), kdežto thoriem a zirkoniem o něco chudší granity typu Lipnice tvoří menší těleso ve východní části melechovského plutonu. Rozdělení granitů na tři geochemicky odlišné granitové suity potvrzuje rovněž distribuce prvků vzácných zemin. Z hlediska obsahu prvků vzácných zemin došlo k nejvýraznější frakcionaci v granitové tavenině, z níž vznikly granity typu Steinberg a Lipnice. Nejméně frakcionované jsou granity typu Deštná (Lásenice). Obsah Zr, Th a REE v dvojslídnych granitech moldanubického batolitu je kontrolovaný jejich obsahy v zirkonu, monazitu a xenotimu. Xenotim byl nalezený pouze v granitech typu Deštná.

## 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 a akcesorických minerálů děkuji RNDr. R. Škodovi, PhD. z ÚGV PřF MU v Brně a RNDr. Z. Korbelové z GLÚ AVČR, v.v.i. Za řadu cenných podnětů a připomínek při analýze stávajících geologických, petrografických a geochemických dat děkuji prof. F. Fingerovi z Univerzity Salzburg a RNDr. D. Buriánkovi, PhD. z České geologické služby. Autor je zavázán za recenzní připomínky a náměty Mgr. K. Vernerovi, PhD., doc. J. Žákovi, PhD. z Přírodovědecké fakulty UK a RNDr. P. Rajlichovi, CSc. z Jihočeského muzea, které rovněž přispěly k větší srozumitelnosti předkládaného příspěvku.

## Literatura

- BEA F., 1996: Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths: implication for the chemistry of crustal melts. – *J. Petrol.* 37: 521–552.
- BENEŠ K. et al., 1963: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě 1:200 000 M-33-XX Jihlava, NČSAV, Praha, 200 p.
- BREITER K., 2005: Peraluminické granitoidy sv. moldanubika. – In: BREITER K. (ed.), 2. sjezd České geologické společnosti Slavonice 19. – 22. října 2005. Sborník abstrakt a exkurzní průvodce, 114–136, Praha.
- BREITER K., 2010: Geochemical classification of Variscan granitoids in the Moldanubicum (Czech Republic, Austria). – *Abh. Geol. Bundesanst.* 65: 19–25.
- 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.
- BREITER K. & KOLLER F., 1999: Two-mica granites in the central part of the South Bohemian Pluton. – *Abh. Geol. Bundesanst.* 56: 201–212.
- BREITER K., KOLLER F., SCHARBERT S., SIEBEL W., ŠKODA R. & FRANK W., 2007: Two-mica granites of the Plechý (Plöckenstein) pluton in the triple-point area (Trojmezí, Dreiländereck) of Austria, the Czech Republic, and Germany. – *Jahrb. Geol. Bundesanst.* 147: 527–544.

- BREITER K. & SCHARBERT S., 1998: Latest intrusions of the Eisgarn Pluton (South Bohemia – Northern Waldviertel). – *Jahrb. Geol. Bundesanst.* 141: 25–37.
- BREITER K. & SCHARBERT S., 2001: Geological mapping of the two-mica granites in the Weitra – Nové Hradý area. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.* 146: 40–41.
- BREITER K. & SCHARBERT S., 2006: Two-mica and biotite granites in the Weitra – Nové Hradý area, Austria – Czech Republic. – *J. Czech. Geol. Soc.* 51: 217–230.
- BREITER K. & SOKOL A., 1997: Chemistry of the Bohemian granitoids: geotectonic and metalogenic implications. – *Sbor. geol. Věd, Ř. LG* 31: 75–96.
- ČECH V. et al., 1962: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000. M-XVII České Budějovice, M-33-XXXIII Vyšší Brod. – NČSAV, Praha, 191 p.
- DOBEN K. et al., 1996: Geologische Karte von Bayern 1996. – Bayerischer geologische Landesamt, München.
- DUDEK A. et al., 1962: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XXVIII Jindřichův Hradec. – NČSAV, Praha, 99 p.
- FINGER F., GERDES A., RENÉ M. & RIEGLER G., 2009: The Saxo-Danubian granite belt: magmatic response to post-collisional delamination of mantle lithosphere below the south-western sector of the Bohemian Massif (Variscan orogen). – *Geol. Carpath.* 60: 205–212.
- FINGER F., ROBERTS M. P., HAUNSCHMID B., SCHERMAIER A. & STEYRER H. P., 1997: Variscan granitoids of central Europe. Their typology, potential sources and tectonothermal relations. – *Min. Petrol.* 61: 67–96.
- FÖRSTER H.-J., 1998a: The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany, Part I: The monazite-(Ce)-brabantite solid solution series. – *Amer. Mineral.* 83: 259–272.
- FÖRSTER H.-J., 1998b: The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Part II: Xenotime. – *Amer. Mineral.* 83: 1302–1315.
- FRIEDL G., 1997: U/Pb-Datierungen an Zirkonen und Monaziten aus Gesteinen vom österreichischen Anteil der Böhmisches Masse. – Ms., 242 p. [Dissertation, Universität Salzburg].
- FRIEDL G., VON QUADT A., OCHSNER A. & FINGER F., 1993: Timing of the Variscan orogeny in the Southern Bohemian Massif (NE Austria) deduced from new U-Pb zircon and monazite dating. – *Terra Nova* 5: 235–236.
- FUCHS G., 1964: Exkursion III/4: Kristallin Mühlviertel und Sauwald, südliche Böhmisches Masse. – *Mitt. Geol. Gesell.* 57: 281–289.
- FUCHS G. & THIELE O., 1968: Erläuterungen zur Übersichtskarte des Kristallins im westlichen Mühlviertel und im Sauwald, Oberösterreich. – *Geol. Bundesanstalt, Wien*, 96 p.
- GERDES A., WÖRNER G. & HENK A., 2000: Post-collisional granite generation and HT-HP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith. – *J. Geol. Soc. London* 157: 577–587.
- GERDES A., FRIEDL G., PARRISH R. R. & FINGER F., 2003: High resolution geochronology of Variscan granite emplacement—the South Bohemian Batholith. – *J. Czech. Geol. Soc.* 48: 53–54.
- GNOJEK I. & PŘICHYSTAL A., 1997: Ground geophysical and geological mapping in the central part of the Moldanubian pluton. – *Jahrb. Geol. Bundesanst.* 140: 193–250.
- HARLOV D. E., PROCHÁZKA V., FÖRSTER H.-J. & MATĚJKA D. (2008): Origin of monazite-xenotime-zircon-fluorapatite assemblages in the peraluminous Melechov granite massif, Czech Republic. – *Mineral. Petrol.* 94: 9–26.
- HOLUB F., KLEČKA M. & MATĚJKA D., 1995: VII.C.3. Moldanubian zone. Igneous activity. – In: DALLMEYER R. D., FRANKE W., WEBER K. (eds), *Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe*, 444–452, Berlin.
- HOSHIHO M., KIMATA M., NISHIDA N., SHIMIZU M. & AKASAKA T., 2010: Crystal chemistry of zircon from granitic rocks, Japan: genetic implications of HREE, U and Th enrichment. – *N. Jb. Miner. Abh.* 187: 167–188.
- HOSKIN P. W. O. & SCHALTEGGER U., 2003: The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. – In: HANCHAR J. M. & HOSKIN P. W. O. (eds), *Zircon, Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 27–62.



- CHÁB J., STRÁNÍK Z. & ELIÁŠ M., 2007: Geologická mapa České republiky 1:500 000. – Česká geologická služba, Praha.
- JANOUŠEK V., VRÁNA S. & URBAN V., 2002: Petrology, geochemical character and petrogenesis of a Variscan postorogenic granite: case study from the Ševětín Massif, Moldanubian batholith, Southern Bohemia. – *J. Czech Geol. Soc.* 47: 1–22.
- KLEČKA M., 1984: Felzitické a sklovité žilné horniny z okolí Lásenice u Jindřichova Hradce. – *Čas. Mineral. Geol.* 29: 293–298.
- KLEČKA M. & MATĚJKA D., 1993: Studium silně diferenciovaných muskovitických granitů (typ Šejby) v Novohradských horách. – *Zpr. geol. Výzk. v roce 1992*, 53–54.
- KLEČKA M. & MATĚJKA D., 1995: Moldanubian Batholith – an example of the evolution of the Late Palaeozoic granitoid magmatism in the Moldanubian Zone, Bohemian Massif (Central Europe). – In: SRIVASTAVA R. K. & CHANDRA R. (eds), *Magmatism in Relation to Diverse Tectonic Settings*, 353–373, New Delhi.
- 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.
- KLEČKA M. & RAJLICH P., 1984: Subhorizontální střížné zóny v plášti a západním okraji centrálního masívu moldanubického plutonu. – *Věst. Ústř. Úst. geol.* 59: 275–282.
- KLOMÍNSKÝ J., JARCHOVSKÝ T. & RAJPOOT G., 2010: Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. 2. Moldanubicum. – Czech Geol. Survey, Praha, 200 p.
- KODYMO, FUSÁNO. & MATĚJKA A., 1967: Geologická mapa ČSSR 1:500 000. – Ústřední ústav geologický, Praha.
- KÖHLER A., 1931: Der Granit „Typus Eisgarn“ im nordwestlichen Waldviertel. – *S. B. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.*, I, 140: 847–861.
- KOUTEK J., 1925: O žule z Mrákotína. – *Rozpr. Čes. akad. věd*, II. tř., Praha, 34/18: 1–18.
- KRENMAYR H. G. & SCHNABEL W. (ed.), 2006: Geologische Karte von Oberösterreich 1:200000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LIEW T. C., FINGER F. & HÖCK V., 1989: The Moldanubian granitoid plutons of Austria: Chemical and isotopic studies bearing on their environmental setting. – *Chem. Geol.* 78: 41–55.
- MITRENGA P., REJL L. & WEISS J., 1979: Geologie širšího okolí Humpolce. – *Sbor. příspěvků ke geol. výzk. jz. části Českomoravské vrchoviny*, 10–19.
- MATĚJKA D., 1997: Chemismus hlavních typů granitů v severní části moldanubického plutonu. – *Zpr. geol. Výzk. v roce 1996*, 47–48.
- MLČOCH B., BREITER K. & SCHULMANNOVÁ B., 2000: Výzkum melechovského granitového masívu. – *Zpr. geol. Výzk. v roce 1999*, 91–93.
- MRÁZEK P., 1972: Geologické poměry v okolí ložiska U-rud – Okrouhlá Radouň u Jindřichova Hradce. – *Sbor. geol. Věd, Ř. LG* 15: 83–97.
- NOVOTNÝ P., 1980: Geologie a petrografie centrálního moldanubického plutonu mezi Melechovem a Světlou nad Sázavou. – Ms., 11 p., [Depon. in: Čes. geol. úst., Praha].
- NOVOTNÝ P., 1985: Peraluminické granity melechovského masívu. – *Zpr. geol. Výzk. v roce 1984*, 149–150.
- OTT W. D., 1988: Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 7149 Freyung und zum Blatt Nr. 7148 Bischofsreut. – Bayerisches Geol. Landesamt, München, 144 p.
- PROPACH G., 1989: The origin of conformable Variscan granite in Bavaria. – In: BONIN B. & DIDIER J. (eds), *Magma crust interactions and evolution*, Theophrastus Publications, 193–209, Athens.
- PUPIN J. P., 2000: Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. – *Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Earth. Sci.* 91: 245–256.
- RENÉ M., 2001a: Evolution of two-mica granites in the South Bohemian Batholith. – *Mitt. Österr. Mineral. Gesell.* 146: 258–259.
- RENÉ M., 2001b: Uzavřeniny moldanubických pararul v dvojslídnych granitech moldanubického batolitu. – *Bull. mineral. petrolog. odd. Nár. Muz.* 9: 257–261.

- RENÉ M., 2001c: Vývoj dvojslídnych granitů v oblasti mezi Mrákotínem a Řásnou. – Geol. výzk. na Moravě a ve Slezsku v roce 2000, 8: 82–84.
- RENÉ M. & HÁJEK P., 2009: Dvojslídne granity lipenského masivu. – Zpr. geol. Výzk. v roce 2008, 198–201.
- RENÉ M. & HÁJEK P., 2010: Petrografie a geochemie granitoidů masivu Strážný (Finsterau). – Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy 50: 51–57.
- RENÉ M. & HÁJEK P., 2011: Petrografie a geochemie šumavských granitů. – Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy 49: 27–38.
- 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.
- SCHARBERT S. & BREITER K., 2000: Geochronologie a geologie granitu Zvůle. – Zpr. geol. Výzk. v roce 1999: 160–162.
- SCHNABEL W. (ed.), 2002: Geologische Karte von Niederösterreich 1:200 000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHULMANN K., KONOPÁSEK J., JANOUŠEK V., LEXA O., LERDEAUX J.-M., EDEL J.-B., ŠTÍPSKÁ P. & ULRICH S., 2009: An Andean type Palaeozoic convergence in the Bohemian Massif. – C. R. Geoscience 341: 266–286.
- SIEBEL W., SHANG C. K., REITTER E., ROHRMÜLLER J. & BREITER K., 2008: Two distinctive granite suites in the SW Bohemian Massif and their record of emplacement: constraints from geochemistry and zircon  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  chronology. – J. Petrol. 49: 1853–1872.
- TEIPEL U., GALADI-ENRIQUEZ E., GLASER S., KROEMER E. & ROHRMÜLLER J., 2008: Geologische Karte des Bayerischen Waldes 1:150 000. – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
- URBAN M. & SYNEK J., 1995: Structural evolution of the Moldanubian zone. – In: DALLMEYER R. D., FRANKE W. & WEBER K. (eds), Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe, 423–443, Berlin.
- VELLMER C. & WEDEPOHL K. H., 1994: Geochemical characterization and origin of granitoids from the South Bohemian batholith in Lower Austria. – Contr. Mineral. Petrol. 118: 13–32.
- VERNER K., ŽÁK J., PAČLÍKOVÁ J., JOHNSON K., 2011: Tectonic setting and geochronology of Eisgarn granitoids (Moldanubian Plutonic Complex): implications for late-Variscan evolution of the Moldanubian Zone, Bohemian Massif. – In: VERNER K., BUDIL P. & BURIÁNEK D. (eds), 2. otevřený kongres České geologické společnosti a Slovenskej geologickej spoločnosti, Sborník abstrakt, p. 98, Praha.
- VERNER K., ŽÁK J., PERTOLDOVÁ J., ŠRÁMEK J., SEDLÁK J., TRUBAČ J. & TÝCOVÁ P., 2009: Magmatic history and geophysical signature of a post-collisional intrusive center emplaced near a crustal-scale shear zone: the Plechý granite pluton (Moldanubian batholith, Bohemian Massif). – Int. J. Earth Sci. 98: 517–532.
- VESELÁ M. et al., 1991: Geologická mapa ČR, list 23-23 Jihlava. – Čes. geol. úst., Praha.
- VRÁNA S., BLÜMEL P. & PETRAKAKIS K., 1995: Moldanubian Zone. Metamorphic evolution. – In: DALLMEYER R. D., FRANKE W. & WEBER K. (eds), Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe, 444–452, Berlin.
- WALDMANN L., 1950: Geologische Spezialkarte der Republik Österreich, 1:75 000. Blatt Litschau-Gmünd (4454). – Geol. Bundesanst., Wien.
- WALDMANN L., 1951: Das ausseralpin Grundgebirge Österreichs. – In: SCHAFFER F. X. (ed.), Geologie von Österreich, 10–104.
- WHITNEY D. L. & EVANS B. W., 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. – Amer. Mineral. 95: 185–187.

- YAVUZ F., 2003: Evaluating micas in petrologic and metallogenic aspect: I. Definitions and structure of the computer program MICA+. – *Comp. Geosci.* 29: 1203–1213.
- ZELENKA L., 1923: O tvaru žulových intruzí u Jindřichova Hradce. – *Sbor. Klubu přírodověd.* 1921–22: 103–108.
- ZOUBEK V., 1949: Zpráva o přehledném geologickém mapování na listu Jindř. Hradec (list spec. mapy 4354). – *Věst. Geol. Úst. ČSR* 24: 193–195.
- 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.

*Adresa autora:*

Miloš RENÉ

Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd České republiky, v.v.i.

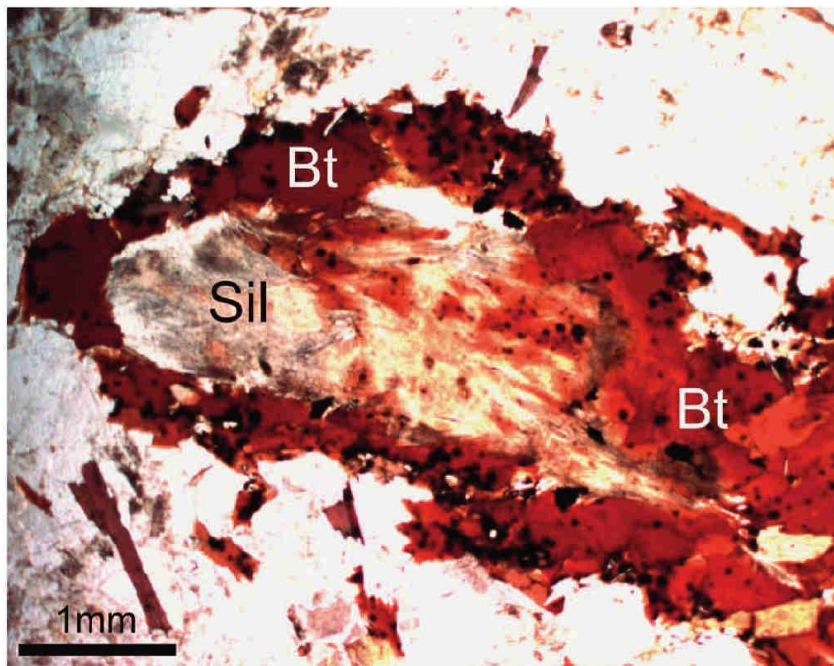
V Holešovičkách 41

CZ–182 09 Praha 8

Došlo: 9. 2. 2012

Přijato: 16. 5. 2012





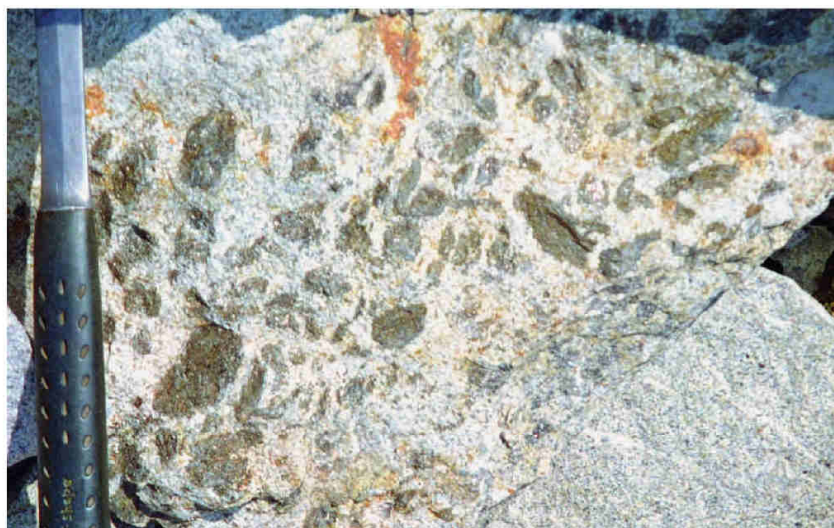
**Obr. 1** – Restitická uzavřenina biotitu (Bt) a sillimanitu (Sil) v granitu typu Deštná (foto M. René 2000).

**Fig. 1** – Restitic enclave of biotite (Bt) and sillimanite (Sil) in the Deštná granite (photo by M. René 2000).



**Obr. 2** – Restitické uzavřeniny biotitu v granitu typu Boršov, lom Boršov (foto M. René 2010).

**Fig. 2** – Restitic enclaves of biotite in the Boršov granite, the Boršov quarry (photo by M. René 2010).



**Obr. 3** – Xenolity biotitických pararul v granitu typu Boršov, lom Boršov (foto M. René 1994).

**Fig. 3** – Enclaves of biotite paragneisses in the Boršov granite, the Boršov quarry (photo by M. René 1994).