ISSN 1211–8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CIII (2018): 1, 3–16, 2018

PETROGRAFIE A MINERALOGIE KRUPNÍKOVÉHO TĚLESA NA LOKALITĚ BISCHOFSGRABEN U SOBOTÍNA (HRUBÝ JESENÍK)

PETROGRAPHY AND MINERALOGY OF A SOAPSTONE BODY
AT THE LOCALITY BISCHOFSGRABEN NEAR SOBOTÍN (HRUBÝ JESENÍK MTS.)

JIŘÍ ZIMÁK & ZUZANA JURÁNKOVÁ

Abstract

Zimák, J. & Juránková, Z., 2018: Petrografie a mineralogie krupníkového tělesa na lokalitě Bischofsgraben u Sobotína (Hrubý Jeseník). – Acta Mus. Morav., Sci. Geol., 103, 1, 3–16 (with English summary).

Petrography and mineralogy of a soapstone body at the locality Bischofsgraben near Sobotín (Hrubý Jeseník Mts.)

The Sobotín Massif is mainly composed of amphibolite and amphibole gneisses and less of greenschists, metahornbledites and sporadically serpentinites. Soapstone bodies are characteristic for the Sobotín Massif. Soapstone used to be extracted from the Smrčina quarry (near Sobotín) and the Zadní Hutisko quarry (near Vernířovice) that are known as mineralogically important localities nowaday. The aim of the paper is petrographical and mineralogical description of a little soapstone body exposed in central part of the Sobotín Massif at Bischofsgraben locality. Structure of the body shows remarkable symetrical zonality. Three major zones can be distinguished in direction from the center to the margin of the body: talc schist – actinolite schist – chlorite schist. There are transition zones among mentioned rock types. Typical soapstone (talc + dolomite) occuring at Smrčina and Zadní Hutisko localities has not been discovered at Bischofsgraben locality. Soapstone is apparently part of this body but it has not been observed in situ. Chromite is abundant accessory mineral of the soapstone body. Studied soapstone body probably developed as a result of hydrothermal alteration of hornblendite (metahornblendite).

Key words: Silesicum, chlorite schist, actinolite schist, talc schist, soapstone, chromite.

Jiří Zimák: Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: jiri.zimak@upol.cz.

Zuzana Juránková: Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: jurankova.z@gmail.com

1. ÚVOD

Sobotínský masív je kromě dominantních amfibolitů (lokálně retrográdně přeměněných na zelené břidlice) a amfibolických rul, jejichž protolitem jsou gabroidní a dioritoidní horniny, tvořen také metamorfovanými ultramafity, reprezentovanými zde metahornblendity, serpentinity, epidot-amfibolickými břidlicemi, chloritickými břidlicemi, aktinolickými a tremolitickými břidlicemi a též mastkovými břidlicemi, včetně krupníků (Kretschmer 1911, Pouba 1969, Fiala *et al.* 1980, Přichystal – Novotný 1999, Zimák 1999). Zajímavým fenoménem sobotínského masivu jsou tzv. krupníková tělesa víceméně čočkovitého tvaru o mocnosti řádově až v desítkách metrů. Tato tělesa mají výraznou zonální stavbu: jejich centrální část je tvořena krupníkem (dominantními minerály jsou mastek a dolomit) a mastkovou břidlicí, směrem k okraji přecházející do zóny aktinolitické (příp. tremoli-

tické) břidlice, vnější zóna má charakter chloritické břidlice (KRETSCHMER 1911, ZIMÁK *et al.* 2002).

V 18. a 19. století bylo šest krupníkových těles sobotínského masivu otevřeno lomy, těžený krupník byl využíván například ke zhotovování cihel pro železárny (v Sobotíně i jinde) a na kamenické práce (žlaby, schody, dveřní a okenní rámy, sloupky, náhrobky) – KRETSCHMER (1911), podrobně GÁBA (1989). Dvě největší z těchto těles (nejen na Sobotínsku, ale i v rámci celé ČR) mají status přírodní památky (PP Smrčina u Sobotína a PP Zadní Hutisko u Vernířovic).

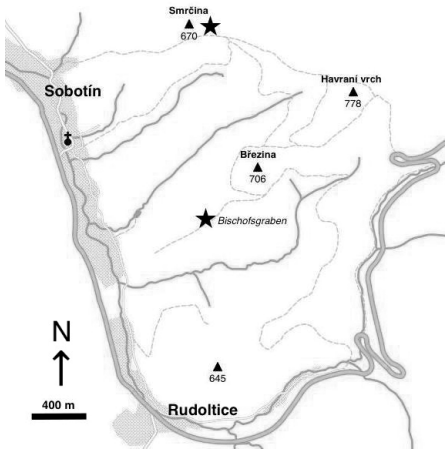
V tomto článku je mineralogicky zhodnoceno krupníkové těleso vystupující na lokalitě s původním označením Bischofsgraben.

2. CHARAKTERISTIKA LOKALITY VČETNĚ HISTORIE VÝZKUMU

KRETSCHMER (1911) uvádí, že výskyt mastkové břidlice v Bischofsgrabenu je již dlouho znám a že z něj pochází mnoho pěkných vzorků tvořených sněhobílým, světle trávově zeleným nebo růžově červeným jemně šupinkovitým mastkem, do nějž zarůstají 5 až 8 cm dlouhé sloupce smaragdově zeleného aktinolitu, uspořádané do radiálně paprsčitých svazků, připomínajících „ledové květy“. KRUŤA *et al.* (1967) v zásadě přebírá údaje publikované KRETSCHMEREM (1911), upřesňuje však polohu lokality (úvoz zhruba 1200 m jjv. od kostela v Sobotíně) a doplňuje hodnocení mineralogických poměrů sdělením, že se v tomto krupníkovém tělese vyskytují také výhradně aktinolitové partie, složené z jehličkovitých agregátů s paprsčitou stavbou, a že aktinolit z lokality Bischofsgraben vykazuje světlejší zelené zbarvení ve srovnání s aktinolitem z klasické krupníkové lokality Storchberg (nyní Smrčina).

Mineralogicky nebo petrograficky nebyla lokalita Bischofsgraben nikdy studována. Pokud je zmiňována v jiných než v obou výše citovaných publikacích, pak jsou v různém rozsahu přebírány Kretschmerovy údaje. Nutno poznamenat, že GÁBA (1989) pro lokalitu zavádí český název „Biskupský důl“, který však vzhledem k charakteru lokality (viz níže) není příliš vhodný.

Poloha lokality Bischofsgraben je schematicky znázorněna na obr. 1, v němž je vyznačeno i krupníkové těleso na Smrčině. Krupníkové těleso na lokalitě Bischofsgraben vystupuje v již několik desetiletí neužívané úvozové cestě, původně směřující od jižního okraje Sobotína sv. směrem pod kótu Březina (706 m), avšak počáteční úsek této cesty



Obr. 1. Geografická pozice lokality Bischofsgraben a Smrčina (označeno hvězdičkami).
Fig. 1. Geographic position of localities Bischofsgraben and Smrčina (marked with stars).

v délce cca 250 m již neexistuje (je zde louka). Od místní komunikace vedoucí nad pravým břehem Klepáčovského potoka, z níž zmiňovaná úvozová cesta původně vycházela, je krupníkové těleso vzdáleno cca 500 m. GPS souřadnice lokality Bischofsgraben: N50°00´06´´, E17°06´17´´.

Současný stav lokality Bischofsgraben je zřejmý z obr. 2. Krupníkové těleso vystupuje ve dně úvozové cesty. Bez provedení výkopu či jiných technických prací nelze posoudit jeho morfologii, rozměry, ani prostorovou orientaci. Evidentní je však jeho zonální stavba. Ve střední části profilu vystupuje mastková břidlice, zastižená ve dně úvozu v nepravé mocnosti cca 50 cm. Takřka monominerální mastková břidlice šedobílé nebo jemně nazelenalé barvy tvoří centrální část, směrem k okrajům se v hornině objevují dlouhé sloupce či stébla zeleně zbarveného amfibolu (aktinolitu). V této zóně jsou přítomny aktinolitové agregáty připomínající již zmiňované „ledové květy“ (obr. 3). Aktinolit-mastková břidlice přechází do cca 30 cm mocné zóny, v níž je dominantním minerálem tmavě zelený aktinolit. Hornina této zóny petrograficky odpovídá aktinolitické břidlici, tvořené až 6 cm dlouhým sloupci amfibolu, seskupenými do vějířovitých agregátů, které se navzájem prorůstají; některé partie této horniny však mají charakter jemně jehličkovitých agregátů s radiálně paprsčitou stavbou. Nepravá mocnost aktinolitické břidlice je cca 30 cm. Aktinolitická břidlice směrem k okraji tělesa přechází do zóny černozelené, jemně šupinkovité chloritické břidlice s výraznou plošně paralelní texturou. Délka výchozu celého krupníkového tělesa ve dně úvozu je něco přes 1 m. Jeho okolí tvoří amfibolit.

Obr. 2. Lokalita Bischofsgraben – současný stav (říjen 2017). Foto: J. Zimák.

Fig. 2. Locality Bischofsgraben – current state (October 2017). Photo: J. Zimák.

Všechny výše uvedené typy hornin lze v podobě fragmentů najít i v bezprostředním okolí výchozu, velmi pravděpodobně jde o materiál z výkopu zmiňovaného KRETSCHMEREM (1911), případně o pozůstatky po aktivitě sběratelů v pozdějších obdobích. Nutno zmínit, že mezi horninovými úlomky byla nalezena i mastková břidlice s ojedinělými dutinkami, patrně po vylouženém dolomitu, případně magnezitu (na základě analogie s horninami jiných krupníkových těles na Sobotínsku). Pro Sobotínsko typický krupník s hojným karbonátem však na lokalitě Bischofsgraben nebyl zjištěn.

Obr. 3. Aktinolit-mastková břidlice s paprsčitě uspořádanými stébly aktinolitu. Vzorek ze sbírek Vlastivědného muzea v Olomouci (sběr P. Novotný). Šířka snímku cca 95 mm. Foto: Z. Juránková.

Fig. 3. Actinolite-talc schists with radially arranged aktinolite straws. The sample from collections of the Regional Museum in Olomouc (coll. P. Novotný). Width of the photo ca. 95 mm. Photo: Z. Juránková.

3. METODY

Terénní práce na lokalitě Bischofsgraben byly ukončeny v období přípravy rukopisu tohoto článku, většina studovaných vzorků však byla odebrána prvním z autorů již v letech 1972 až 1974.

Z reprezentativních vzorků byly zhotoveny leštěné výbrusy (převážně J. Povolným, PřF MU Brno), které byly vyhodnoceny v procházejícím i odraženém světle za použití standardního polarizačního mikroskopu. Struktura hornin byla posuzována i na základě BSE obrazu.

Chemické složení vybraných minerálů bylo studováno metodou EDX na přístroji CamScan s připojeným EDX analyzátorem Link AN 10 000 (analytik V. Vávra, PřF MU Brno) a metodou WDX pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (analytik P. Gadas, PřF MU Brno). Všechny údaje o chemismu minerálů uvedené v tomto článku jsou založeny jen na WDX analýzách (EDX analýzy jsou méně přesné, jejich výsledky nejsou v rozporu s daty získanými ve WDX modu). Výsledky reprezentativních WDX analýz amfibolů, chloritů, mastku, flogopitu a chromitu jsou uvedeny v tab. 2 až 4. V případě amfibolů byly hodnoty *apfu* vypočteny na bázi 23 atomů kyslíku, poměr mezi Fe^{3+} a Fe^{2+} byl kalkulován na základě T + C = 13.

Údaje o chemismu horninových vzorků byly získány pomocí XRF analyzátoru DELTA-PREMIUM v laboratořích firmy URGA, s.r.o. se sídlem v Olomouci (použitou metodiku popisuje ZIMÁK *et al.* 2016).

Tabulka 1. Chemismus hornin krupníkového tělesa, XRF analýza (celkové železo uvedeno jako FeO, n = počet vzorků, x = průměr).

Table 1. Chemical composition of rocks of the soapstone body, XRF analysis (total iron is presented as FeO, n = number of samples, x = average).

	chloritická břidlice (n = 6)			aktinolitická břidlice (n = 12)			mastková břidlice (n = 6)		
	min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
SiO_2 (hm. %)	29,20	34,79	32,60	44,02	58,27	50,12	50,93	68,21	59,93
TiO_2 (hm. %)	<0,07	0,67	–	<0,07	<0,07	–	<0,07	<0,07	–
Al_2O_3 (hm. %)	13,07	16,58	15,31	1,73	5,55	3,16	1,13	2,85	2,12
Cr_2O_3 (hm. %)	0,19	0,37	0,25	0,10	0,30	0,19	0,13	0,25	0,19
MgO (hm. %)	22,42	25,36	23,80	17,69	24,81	20,06	21,36	28,79	26,67
FeO (hm. %)	8,98	10,61	9,96	4,72	6,74	5,60	3,49	6,38	4,85
CaO (hm. %)	0,87	4,16	2,63	8,19	12,84	11,32	1,17	7,76	4,02
MnO (hm. %)	0,12	0,17	0,15	0,16	0,22	0,19	0,04	0,14	0,09
Sr (ppm)	<10	14	11	<10	23	20	<10	15	11
Zr (ppm)	<3	83	18	<3	28	5	<3	13	8
Co (ppm)	45	102	79	37	60	46	33	68	55
Ni (ppm)	1007	2338	1788	1059	1993	1491	1618	2682	2131
Zn (ppm)	103	143	127	52	94	70	46	81	61

4. CHEMISMUS HORNIN KRUPNÍKOVÉHO TĚLESA

Petrografická povaha hornin krupníkového tělesa je dána kvantitativním poměrem tří hlavních horninotvorných minerálů: mastku (Tlc), klinoamfibolu odpovídajícího aktinolitu až tremolitu (dále jen Ac) a chloritu (Chl). Kromě anchimonominerální Tlc-břidlice, Ac-břidlice a Chl-břidlice jsou zde přítomny přechodné horninové typy s různým poměrem Tlc/Ac a také Ac/Chl. Rozdíly v chemickém složení Tlc, Ac a Chl jsou podstatné, a proto existují i zásadní rozdíly v chemismu tří výše uvedených hlavních typů hornin. Výsledky XRF analýz hornin jsou sumarizovány v tab. 1, obsahy hlavních složek jsou vyjádřeny formou Harkerova diagramu (obr. 4). V souboru 24 analyzovaných vzorků jsou zastoupeny vedle hornin s výraznou dominancí jednoho ze tří uvedených minerálů i horniny přechodného nerostného složení. To se týká zejména „mastkové břidlice“, zahrnující jak Tlc-břidlici, tak i Ac-Tlc-břidlici, a také souboru s označením „aktinolitická břidlice“, v němž převažuje Ac-břidlice (9 vzorků), zastoupena je i na lokalitě hojná Tlc-Ac-břidlice (jde o tři vzorky s relativně vysokými obsahy SiO_2 v rozpětí cca 55 až 58 hm. % – viz obr. 4). Z dat v tab. 1 a zejména z obr. 4 je zřejmý výrazný růst obsahu SiO_2 ve směru od okraje do centra krupníkového tělesa (tj. od Chl-břidlice přes Ac-břidlici po Tlc-břidlici). Druhou hlavní složkou je MgO, jehož obsah je relativně nízký v Ac-břidlici, relativně vysoký v Tlc-břidlici. Zvýšené obsahy Al_2O_3 a FeO vykazuje Chl-břidlice. Relativně vysoký obsah CaO má Ac-břidlice a také Tlc-Ac-břidlice i Ac-Tlc-břidlice. Tyto poznatky jsou zcela v souladu s nerostným složením jednotlivých horninových typů.

Tabulka 2. Reprezentativní WDX analýzy mastku, chloritu a flogopitu (hornina: 1 až 5 = aktinolit-mastková břidlice, 6 = aktinolit-chloritická břidlice, 7 až 10 = chloritická břidlice).

Table 2. Representative WDX analyses of talc, chlorite and phlogopite (rock: 1 to 5 = actinolite-talc schist, 6 = actinolite-chlorite schist, 7 to 10 = chlorite schist).

	mastek				chlorit				flogopit	
anal.č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	61,94	62,73	61,21	62,41	29,41	28,62	28,86	27,96	40,96	39,41
TiO_2	b.d.	0,02	0,01	b.d.	0,02	0,03	0,08	0,07	1,25	1,25
Al_2O_3	0,12	0,06	0,09	0,09	18,02	21,27	20,85	22,17	16,71	16,14
Cr_2O_3	0,03	0,06	0,07	0,03	2,81	0,68	0,27	0,02	0,02	b.d.
V_2O_3	b.d.	0,04	b.d.	b.d.	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
BaO	b.d.	b.d.	b.d.	0,02	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,11	0,09
CaO	b.d.	b.d.	b.d.	0,03	0,03	0,06	0,05	0,04	0,93	1,21
FeO	4,43	3,91	3,99	4,51	9,32	10,83	12,04	11,42	8,70	8,79
MgO	26,82	27,34	26,18	28,56	27,27	26,06	25,15	25,20	18,60	18,01
MnO	0,02	0,04	0,02	0,01	0,07	0,15	0,14	0,12	0,09	0,11
NiO	0,24	0,22	0,23	0,25	0,27	0,33	0,15	0,01	0,09	b.d.
PbO	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.	0,05	b.d.	0,01	b.d.	b.d.	0,07
SrO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
ZnO	0,02	b.d.	0,01	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	0,03	0,02	0,05
K_2O	b.d.	0,01	0,02	0,01	b.d.	b.d.	0,01	b.d.	5,49	5,17
Na_2O	b.d.	0,01	0,02	0,04	b.d.	0,04	b.d.	b.d.	0,15	0,22
F	0,04	0,02	0,08	0,07	0,03	0,02	b.d.	b.d.	0,22	0,24
Cl	b.d.	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	b.d.	b.d.	b.d.	0,03
O=F	-0,02	-0,01	-0,03	-0,03	-0,01	-0,01	b.d.	b.d.	-0,09	-0,10
O=Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
suma	93,64	94,46	91,90	96,00	87,36	88,11	87,66	87,05	93,26	90,69
Si^{4+}	4,053	4,059	4,071	3,997	2,881	2,779	2,827	2,746	2,934	2,913
Ti^{4+}	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,006	0,005	0,067	0,069
Al^{3+}	0,009	0,005	0,007	0,007	2,081	2,434	2,407	2,566	1,411	1,406
Cr^{3+}	0,002	0,003	0,004	0,002	0,218	0,052	0,021	0,002	0,001	0,000
V^{3+}	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Ba^{2+}	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003
Ca^{2+}	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,006	0,005	0,004	0,071	0,096
Fe^{2+}	0,242	0,212	0,222	0,242	0,764	0,880	0,986	0,938	0,521	0,543
Mg^{2+}	2,616	2,637	2,595	2,727	3,983	3,773	3,673	3,690	1,986	1,984
Mn^{2+}	0,001	0,002	0,001	0,001	0,006	0,012	0,012	0,010	0,005	0,007
Ni^{2+}	0,013	0,011	0,012	0,013	0,021	0,026	0,012	0,001	0,005	0,000
Pb^{2+}	–	–	–	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Sr^{2+}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn^{2+}	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,003
K^{+}	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,502	0,487
Na^{+}	0,000	0,001	0,003	0,005	0,000	0,008	0,000	0,000	0,021	0,032
F^{-}	0,008	0,004	0,017	0,014	0,009	0,006	0,000	0,000	0,050	0,056
Cl^{-}	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004
O^{2-}	10,992	10,995	10,983	10,986	13,991	13,992	14,000	14,000	10,950	10,940

Tabulka 3. Reprezentativní WDX analýzy amfibolu (hornina: 11 a 12 = aktinolitická břidlice, 13 a 14 = aktinolit-mastková břidlice, 15 a 16 = chloritická břidlice).

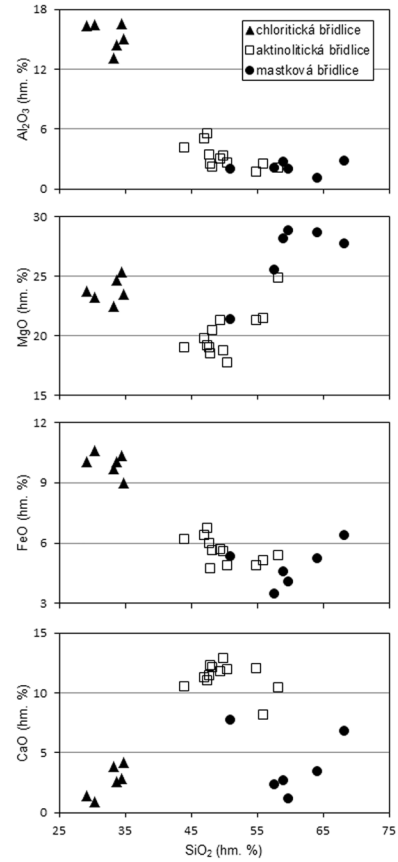
Table 3. Representative WDX analyses of amphibole (rock: 11, 12 = actinolite schist, 13, 14 = actinolite-talc schist, 15, 16 = chlorite schist).

anal. č.	11	12	13	14	15	16
SiO_2	56,58	55,61	56,83	55,49	56,62	52,96
TiO_2	0,03	0,09	0,01	0,02	0,03	0,18
P_2O_5	b.d.	0,03	0,01	b.d.	b.d.	b.d.
Al_2O_3	1,97	3,12	0,76	2,65	1,14	5,49
Cr_2O_3	0,15	0,13	0,20	0,81	0,09	0,22
V_2O_3	0,03	0,04	0,01	0,02	0,04	0,05
Fe_2O_3	2,30	3,32	0,67	0,43	2,86	4,81
FeO	3,85	3,33	4,98	5,48	4,75	3,87
MgO	20,42	19,90	20,66	19,35	19,97	17,89
MnO	0,26	0,29	0,21	0,22	0,26	0,33
NiO	0,14	0,12	0,09	0,12	0,08	0,03
CaO	12,94	12,70	13,24	12,91	12,80	12,39
ZnO	b.d.	0,01	0,02	0,03	b.d.	0,05
K_2O	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07
Na_2O	0,19	0,26	0,03	0,25	0,19	0,37
F	0,09	0,11	0,10	0,09	0,10	0,07
Cl	0,01	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
O=F	-0,04	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03
O=Cl	-0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
suma	98,95	99,07	97,81	97,86	98,92	98,75
Si^{4+}	7,759	7,625	7,890	7,729	7,808	7,352
Ti^{4+}	0,003	0,009	0,001	0,002	0,003	0,019
P^{5+}	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000
Al^{3+}	0,318	0,504	0,124	0,435	0,185	0,898
Cr^{3+}	0,016	0,014	0,022	0,089	0,010	0,024
V^{3+}	0,003	0,004	0,001	0,002	0,004	0,006
Fe^{3+}	0,237	0,342	0,070	0,045	0,297	0,503
Fe^{2+}	0,442	0,382	0,578	0,638	0,548	0,449
Mg^{2+}	4,175	4,067	4,276	4,018	4,105	3,702
Mn^{2+}	0,030	0,034	0,025	0,026	0,030	0,039
Ni^{2+}	0,015	0,013	0,010	0,013	0,009	0,003
Ca^{2+}	1,901	1,866	1,969	1,927	1,891	1,843
Zn^{2+}	0,000	0,001	0,002	0,003	0,000	0,005
K^{+}	0,005	0,009	0,007	0,007	0,005	0,012
Na^{+}	0,051	0,069	0,008	0,068	0,051	0,100
F^{-}	0,039	0,048	0,044	0,040	0,044	0,031
Cl^{-}	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O^{2-}	22,959	22,952	22,956	22,960	22,956	22,969

Tabulka 4. Reprezentativní WDX analýzy chromitu (hornina: 17 až 20 = aktinolit-mastková břidlice).
Table 4. Representative WDX analyses of chromite (rock: 17 to 20 = actinolite-talc schist).

anal. č.	17	18	19	20
SiO_2	0,05	0,07	0,07	0,03
TiO_2	0,09	0,22	0,18	0,11
Al_2O_3	3,24	4,42	4,34	3,44
Cr_2O_3	58,84	56,13	55,15	56,27
V_2O_3	0,12	0,35	0,57	0,20
Fe_2O_3	6,92	6,28	7,11	8,73
FeO	29,73	29,15	29,20	29,50
MgO	0,36	0,32	0,36	0,47
MnO	1,65	1,38	1,31	1,60
CoO	0,11	0,11	0,10	n.d.
CaO	b.d.	b.d.	b.d.	0,01
NiO	0,02	0,04	0,04	0,01
ZnO	0,94	0,93	0,92	0,92
suma	102,07	99,40	99,35	101,29
Si^{4+}	0,002	0,003	0,003	0,001
Ti^{4+}	0,002	0,006	0,005	0,003
Al^{3+}	0,137	0,191	0,188	0,147
Cr^{3+}	1,672	1,626	1,599	1,610
V^{3+}	0,003	0,010	0,017	0,006
Fe^{3+}	0,187	0,173	0,196	0,238
Fe^{2+}	0,894	0,893	0,896	0,893
Mg^{2+}	0,019	0,017	0,020	0,025
Mn^{2+}	0,050	0,043	0,041	0,049
Co^{2+}	0,003	0,003	0,003	–
Ca^{2+}	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni^{2+}	0,001	0,001	0,001	0,000
Zn^{2+}	0,025	0,025	0,025	0,025
$Cr^{3+}/(Cr^{3+}+Al^{3+})$	0,924	0,895	0,895	0,916
$Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})$	0,021	0,019	0,022	0,027

Obr. 4. Harkerův diagram pro horniny krupníkového tělesa.
Fig. 4. Harker diagram for rocks of the soapstone body.



5. MINERALOGIE KRUPNÍKOVÉHO TĚLESA

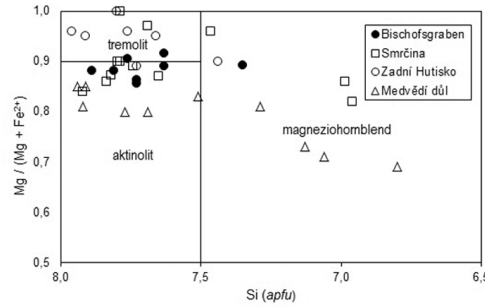
Typická Tlc-břidlice šedobílé nebo jemně nazelenalé barvy má lepidoblastickou strukturu, šupinky mastku bývají víceméně paralelně uspořádány, někdy však vytváří vějířovité agregáty, jindy se jejich rozmístění v hornině jeví jako zcela chaotické. Velikost jednotlivých šupinek je zpravidla pod 1 mm, v některých vzorcích nazelenalé Tlc-břidlice byly zjištěny mírně zprohýbané lupeny velké až 6 mm. Výsledky reprezentativních WDX analýz mastku jsou uvedeny v tab. 2.

Amfibol přítomný v horninách krupníkového tělesa tvoří tmavě zelené stébelnaté nebo jehlicovité krystaly, v Ac-břidlici často uspořádané do vějířovitých agregátů. Do vějířů seskupené sloupce amfibolu v Tlc-Ac-břidlici připomínají již výše zmíněné „ledové květy“. Ve srovnání s amfiboly v Ac-břidlici se stébelnaté amfiboly v Ac-Tlc nebo Tlc-Ac břidlici jeví jako světlejší. Je možné, že tento rozdíl není způsoben vlastním zbarvením amfibolu, ale

souvisí s výrazně vyšší transparentností stébel amfibolu v Ac-Tlc nebo Tlc-Ac břidlici (amfiboly jsou průsvitné, pozorovanou barvu ovlivňuje šedobílý mastek v jejich okolí). Délka jednotlivých amfibolových stébel je běžně do 4 cm, výše uvedených 6 cm představuje extrém. Omezení amfibolu je převážně hypautomorfní, na sloupcích amfibolu bývají dobře vyvinuty plochy tvarů {110} a někdy i {010} (příčné řezy sloupci mají charakter kosočtverce nebo šestiúhelníku). Ve výbrusech amfibol vykazuje jen slabý pleochroismus (X = bezbarvý, Z = jemně nazelenalý).

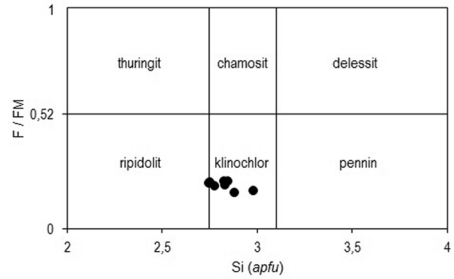
Z výsledků WDX analýz je zřejmé, že amfibol složením odpovídá převážně aktinolitu až tremolitu (tab. 3, obr. 5). Amfiboly přítomné v břidlicích s vysokým podílem mastku mají poněkud nižší obsahy Fe než amfiboly v Ac-břidlicích nebo Chl-břidlicích. WDX analýzami bylo v amfibolech z Tlc-břidlice a Ac-Tlc-břidlice stanoveno 5,58 až 6,09 hm. % FeO^{tot}, v amfibolech z Ac-břidlic nebo Chl-břidlic 5,92 až 8,20 hm. % FeO^{tot}. Amfiboly obou skupin hornin se však zásadně liší poměrem Fe^{2+} a Fe^{3+}. Hodnota poměru Fe^{2+}/Fe^{3+} pro amfiboly z Tlc-břidlice a Ac-Tlc-břidlice je 8,3 až 34,5, pro amfiboly z Ac-břidlic a Chl-břidlic 0,9 až 1,8. Chemická nehomogenita některých individuí amfibolu v Chl-břidlici se projevuje v BSE obrazu tmavším zbarvením centrální částí krystalu ve srovnání s jeho okrajem. Tuto nehomogenitu dokumentují výsledky analýz č. 15 a 16 v tab. 3: centrální část krystalu složením odpovídá aktinolitu (č. 15), okrajová zóna magneziohornblendu (č. 16).

Chlorit tvoří tmavě zelené až černozelené šupinky o velikosti převážně do 2–3 mm, v Ac-Chl a Chl-Ac břidlici bývají přítomny i větší, silně zprohýbané lupeny chloritu. Chlorit je pleochroický (bezbarvý – jemně nazelenalý). Jeho chemické složení odpovídá klinochloru (reprezentativní analýzy jsou v tab. 2), ve starší klasifikaci MELKY (1965) jde rovněž o klinochlor, případně o chlorit na rozhraní klinochlor/ripidolit (obr. 6). V chloritu přítomném v horninových partiích s chromitem byly zaznamenány zvýšené obsahy chromu (až 2,81 hm. % Cr_2O_3, 0,22 Cr *apfu*).



Obr. 5. Amfiboly z lokality Bischofsgraben a dalších krupníkových těles sobotínského masivu v klasifikačním diagramu podle LEAKEHO (1978).

Fig. 5. Amphiboles from the locality Bischofsgraben and other soapstone bodies of the Sobotín Massif in classification diagram by LEAKE (1978).

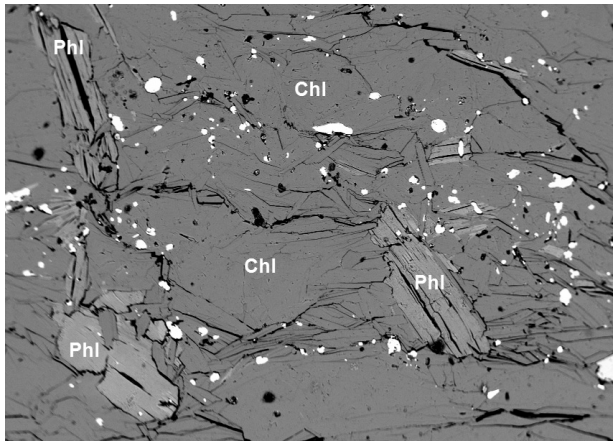


Obr. 6. Chlority z lokality Bischofsgraben v klasifikačním diagramu podle MELKY (1965).

Fig. 6. Chlorites from the locality Bischofsgraben in classification diagram by MELKA (1965).

Na složení hornin krupníkového tělesa se v jen nepatrném množství může podílet křemen, přítomný v podobě drobných xenomorfních zrn. Relativně hojný je pouze v některých vzorcích Ac-Tlc břidlice.

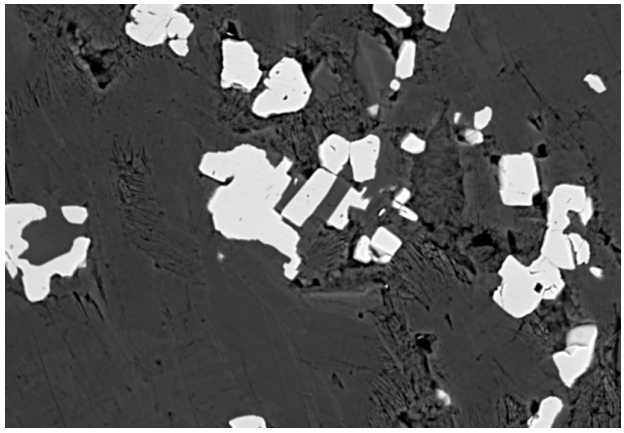
V Chl-břidlici se někdy jako akcesorie až vedlejší složka vyskytuje flogopit, tvořící jednotlivé šupinky o velikosti do 0,5 mm, makroskopicky v hornině nerozlišitelné. Šupinky flogopitu jsou nepravidelně rozptýleny v agregátech chloritu (obr. 7), zpravidla jsou postiženy alteracemi (chloritizace, baueritizace). Výsledky dvou WDX analýz flogopitu jsou součástí tab. 2, z níž je zřejmý deficit draslíku (jako důsledek sekundárních přeměn) a výrazná převaha Mg nad Fe – hodnota poměru $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ je v případě obou bodových analýz 0,79.



Obr. 7. Šupiny flogopitu v chloritické břidlici (BSE, šířka snímku 1,8 mm, foto P. Gadas).

Fig. 7. Phlogopite scales in chlorite schist (BSE, width of the photo 1,8 mm, photo P. Gadas).

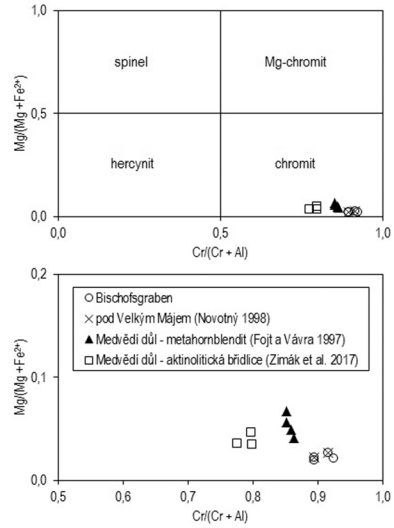
Běžnými akcesoriemi hornin krupníkového tělesa jsou chromit, apatit, TiO_2-minerál (podle morfologie patrně rutil), ilmenit a zirkon (v uvedeném pořadí se snižuje jejich kvantita), přítomen je i Fe-oxid (patrně magnetit nebo martitizovaný magnetit). Uvedené minerály byly identifikovány na základě WDX analýz, případně EDX spektra (drobné rozměry zrn nebo nevhodné řezy často neumožňovaly provedení WDX analýz s reprezentativním výsledkem). V Tlc-břidlici byla v reliktech zjištěna fáze, obsahující z prvků stanovitelných metodou EDX či WDX jedině Mg. Lze předpokládat, že jde o magnezit.



Obr. 8. Zrna chromitu v aktinolit-mastkové břidlici (BSE, šířka snímku 0,12 mm, foto P. Gadas).

Fig. 8. Chromite grains in aktinolite-talc schist (BSE, width of the photo 0,12 mm, photo P. Gadas).

Chromit je nejhojnější ze všech uvedených akcesorií, zjištěn byl ve všech horninových typech tvořících krupníkové těleso. Tvoří drobná zrna o velikosti zpravidla do 0,02 mm, jejich průřezy jsou převážně hypautomorfní nebo xenomorfní (obr. 8). Výsledky WDX analýz chromitu jsou uvedeny v tab. 4, graficky vyjádřeny na obr. 9.



Obr. 9. Chromit z Bischofsgrabenu a dalších lokalit sobotínského masivu v klasifikačním diagramu pro Cr-spinelidy.

Fig. 9. Chromite from Bischofsgraben and other localities of the Sobotín Massif in classification diagram for Cr-spinelides.

Trhliny v Ac, Tlc-Ac nebo Ac-Tlc-břidlici bývají vyplněny amfibolovým azbestem, jehož paralelně orientovaná vlákna dosahují délky i přes 1 cm. Azbest je šedozelený, je výrazně světlejší než amfibol v okolní hornině. Složení azbestu je velmi podobné chemismu amfibolu tvořícího okolní horninu. EDX analýzami byl v azbestu prokázán jen malý obsah hliníku a železo bylo stanoveno v množství 5,08 až 7,17 hm. % FeO^{tot}. Výsledky EDX analýz nejsou dostatečně přesné k provedení přepočtu sumárního železa na Fe^{2+} a Fe^{3+}, avšak i tak je zřejmé, že jde o aktinolit, příp. až tremolit.

6. DISKUSE

1. Krupníkové těleso vystupující na lokalitě Bischofsgraben se zastoupením hlavních horninových typů a jejich symetricky zonálním uspořádáním podobá krupníkovým tělesům z jiných úseků sobotínského masivu, reprezentovaných lokalitami Smrčina a Zadní Hutisko. Jádra dobře odkrytých těles na Smrčině a Zadním Hutisku jsou tvořena krupníkem (mastek+dolomit) a Tlc-břidlicí. Toto jádro je lemováno Ac-břidlicí (příp. tremolitickou břidlicí), která ve směru k okraji přechází do zóny Chl-břidlice (Kretschmer 1911, Zimák *et al.* 2002). Na lokalitě Bischofsgraben je posloupnost těchto zón zcela shodná, jejich mocnosti jsou zde však řádově menší. Typický krupník ve výchozu na lokalitě Bischofsgraben nebyl zjištěn, a nebyl nalezen ani ve fragmentech v jeho okolí. Je možné, že krupník je i součástí tohoto tělesa, v profilu však nebyl zastižen. O přítomnosti karbonátu v některých partiích mastkové břidlice by mohly svědčit drobné dutinky, vzniklé pravděpodobně jeho vyvětráním, i ojedinělé relikty karbonátu zjištěné při studiu na mikrosondě. V případě těchto reliktů však nejde o dolomit (jak je běžné v krupnících na Sobotínsku), ale o magnezit, jehož ojedinělá přítomnost je známa z lokality Smrčina – viz Novotný (1997a, b, c) a též nepublikovaná data autorů tohoto článku.
2. Povahou hornin se těleso na lokalitě Bischofsgraben podobá nejen klasickým výskytům na Smrčině a Zadním Hutisku, ale také v Medvědím dole v severním výběžku sobotín-

ského masivu, kde jde o krupníkové těleso malých rozměrů bez typické symetricky zonální stavby (Zimák *et al.* 2017). Není proto překvapením, že neexistují zásadnější rozdíly v chemismu dominantních silikátů na těchto čtyřech zmíněných lokalitách. Bez výjimky to platí pro mastek a chlorit. V případě amfibolů je situace odlišná (obr. 5). Amfiboly z lokalit Bischofsgraben, Smrčina a Zadní Hutisko složením odpovídají aktinolitu nebo tremolitu, některé zóny amfibolových individuí případně magneziohornblendu. Amfiboly z krupníkového tělesa v Medvědím dole mají vyšší obsahy Fe^{2+}, v klasifikaci Leakeho (1978) jde o aktinolit nebo magneziohornblend. Značnou podobnost lze konstatovat i v případě chromitu (obr. 9). V tomto případě byla pro srovnání použita již publikovaná data z výskytu krupníku pod Velkým Májem (Novotný 1998 – chemismus je zde prakticky shodný s chromitem z Bischofsgrabenu) a z lokality Medvědí důl.

3. Vzhledem k existujícím modelům vzniku mastkem bohatých hornin lze v případě sobotínského masivu za možný protolit krupníkových těles považovat ultramafity. V literatuře lze najít popis mnoha výskytů mastkových břidlic a krupníků (v řadě případů jde o těžená ložiska), jejichž geneze je vysvětlována přeměnou ultramafitů oceánské kůry, často v podobě ofiolitů začleněných do kontinentálních struktur. Protolitem jsou v tomto případě peridotity, které byly postiženy serpentinizací, po níž následovala Si-metasomatóza, jejímž hlavním produktem byl mastek. Přítomnost CO_2 v roztocích vyvolávajících steatizaci serpentinitu vedla ke vzniku magnezitu, a tedy k vytvoření krupníku s asociací mastek+magnezit. Podrobné informace o těchto procesech uvádí např. Donaldson (1981), Winter (2001), Dill (2010), Bucher – Grapes (2011), Ali-Bik *et al.* (2012) a Harvey *et al.* (2014). Na styku fragmentů plášťových hornin (harzburgity, lherzolity, serpentinity) s křemenem bohatými horninami (např. pelity, resp. metapelity) v průběhu metamorfózy často dochází ke vzniku reakčních zón díky migraci látek přes kontakt těchto dvou chemicky zcela odlišných prostředí. Ultramafit může být lemován zónou mastku, okraj tělesa bývá tvořen tzv. „blackwall“, tj. černě zbarvenou zónou složenou z chloritu nebo biotitu (v závislosti na termodynamických podmínkách). Někdy mají uzavřeniny ultramafitů v metapelitech symetrickou zonálnost připomínající stavbu těles na lokalitách Smrčina, Zadní Hutisko a Bischofsgraben: serpentinitové jádro uzavřeniny je lemováno monominerální zónou mastku, po níž následuje zóna aktinolitu, okraj tělesa má charakter „blackwall“. Na jiných lokalitách je jádro těchto těles tvořeno krupníkem, pak následuje zóna aktinolitu a „blackwall“.
   Může být protolitem krupníkových těles na Sobotínsku ultramafit charakteru peridotitu? Součástí sobotínského masivu jsou ojedinělá tělesa serpentinitů (Fiala *et al.* 1980, Zimák1999). Tím je splněna ta nejzákladnější podmínka, tj. přítomnost peridotitů nebo serpentinitů v tomto prostoru. Avšak peridotity a jejich hydratací vzniklé serpentinity mají obecně velmi nízké obsahy vápníku, a platí to i pro serpentinity sobotínského masivu (0,50 hm. % CaO uvádí Fiala *et al.* 1980). Přeměna těchto hornin na krupníková tělesa by vyžadovala významný přínos vápníku (vysoký obsah vápníku v zóně aktinolitické břidlice tělesa na lokalitě Bischofsgraben je zřejmý z tab. 1 a obr. 4). Je proto pravděpodobnější, že protolitem krupníkových těles na Sobotínsku jsou hornblendity (resp. metahornblendity). Již Kretschmer (1911) považuje horniny krupníkových těles sobotínského masivu za výsledek alterace ultramafitů charakteru websteritu nebo hornblenditu. Steatitizace hornblenditu (resp. metahornblenditu) podél střižných zón byla prokázána na lokalitě Medvědí důl (Hanžl 1995, Zimák *et al.* 2017), kde se hydrotermální alterací vytvořily partie (zóny) tvořené krupníkem (mastek+dolomit), mastkovou břidlicí, aktinolitickou břidlicí i chloritickou břidlicí (koncentricky zonální stavba zde však nebyla zjištěna). Z údajů o chemismu jednotlivých horninových typů tvořících krupníková tělesa na lokalitách Bischofsgraben i Medvědí důl lze odhadnout obsahy hlavních složek v rámci celých těles (pro „přesný“ výpočet chybí údaj o kvantitativním zastoupení jednotlivých horninových typů). Odhadnuté obsahy SiO_2, Al_2O_3, MgO, FeO a CaO v celém

krupníkovém tělese víceméně odpovídají jejich obsahům v hornblenditech (metahornblenditech) sobotínského masivu. V průběhu hydrotermální alterace došlo k hydrataci a zcela jistě k výraznému přínosu CO_2. Přeměnu původního hornblenditu (metahornblenditu) na krupníkové těleso lze celkově považovat za izochemický proces, při němž se však výraznou redistribucí Si, Al, Fe a Ca vytvořila výše popsaná koncentrická zonálnost. Zatím neznáme odpověď na otázku, proč hydrotermální alterace hornblenditu (metahornblenditu) vedla ke vzniku těles právě s takovou zonální stavbou, rámcově shodnou s posloupností metasomatických zón na styku peridotitů plášťového původu s metapelity v ofiolitových zónách. Je však jisté, že za daných podmínek byl v sobotínském masivu výsledek těchto procesů vždy víceméně shodný. Jednotlivá krupníková tělesa se mohou lišit svými rozměry, ne však petrograficky či mineralogicky. Lokality Zadní Hutisko, Smrčina a Bischofsgraben jsou toho dokladem.

7. ZÁVĚR

Krupníkové těleso vystupující na lokalitě Bischofsgraben v sobotínském masivu má symetricky zonální stavbu. Od centra profilu k okraji tělesa lze rozlišit tři hlavní typy hornin: mastková břidlice – aktinolitická břidlice – chloritická břidlice (mezi uvedenými typy existují přechodné zóny). Typický krupník přítomný na klasických lokalitách Sobotínska (Smrčina a Zadní Hutisko) nebyl na lokalitě Bischofsgraben zjištěn. Patrně je součástí tohoto tělesa, na dostupném profilu však nebyl zastižen. Typickou akcesorií hornin krupníkového tělesa je chromit. Krupníkové těleso na lokalitě Bischofsgraben pravděpodobně vzniklo hydrotermální přeměnou hornblenditu (metahornblenditu).

LITERATURA

Ali-Bik, M. W., Taman, Z., El Kalioubi, B., Abdel Wahab, W. (2012): Serpentinite-hosted talc-magnesite deposits of Wadi Barramiya area, Eastern Desert, Egypt: Characteristics, petrogenesis and evolution. – *Journal of African Earth Sciences*, 64, 77–89.

Bucher, K., Grapes, R. (2011): Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer Verlag Heidelberg etc.

Dill, H. G. (2010): The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirkonium. – *Earth-Science Reviews*, 100, 1–420.

Donaldson, M. J. (1981): Redistribution of ore elements during serpentinization and talc-carbonate alteration of some Archean dunites, Western Australia. – *Economic Geology*, 76, 1698–1713.

Fiala, J., Jelínek, E., Pouba, Z., Poubová, M., Souček, J. (1980): The geochemistry of the ultrabasic rocks of the Sobotín amphibolite massif (Czechoslovakia). – *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, 137, 257–281.

Fojt, B., Vávra, V. (1997): Rudní akcesorie hornblenditu z údolí Medvědího dolu (Hrubý Jeseník). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1996*, 105–106.

Gába, Z. (1989): Hmotné doklady o použití krupníku na severní Moravě. – *Severní Morava*, 58, 39–51.

Hanžl, P. (1995): Hornblendit ze šupiny sobotínského masívu jihovýchodně od Zámčiska. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1994*, 84.

Harvey, J., Savov, I. P., Agostini, S., Cliff, R. A., Walshaw, R. (2014): Si-metasomatism in serpentinized peridotite: The effects of talc-alteration on strontium and boron isotopes in abyssal serpentinites from Hole 1268a, ODP Leg 209. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 126, 30–48.

Kretschmer, F. (1911): Das metamorphe Diorit- und Gabbromassiv in der Umgebung von Zöptau (Mähren). – *Jahrbuch der kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt*, 61, 53–180.

Kruta, T., Paděra, K., Pouba, Z., Sládek, R. (1967): Die Mineralienparagenese in dem mittleren Teile des Altvatergebirges (Hrubý Jeseník, Hohes Gesenke, ČSSR) I. – *Časopis Moravského muzea, Vědy přírodní*, 52, 5–28.

Leake, B. E. (1978): Nomenclature of amphiboles. – *American Mineralogist*, 63, 1023–1052.

Melka, K. (1965): Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. – *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 40, 23–27.

Novotný, P. (1997a): Revize některých významných mineralogických lokalit v okolí Maršíkova a Sobotína, okres Šumperk. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1996*, 107–109.

Novotný, P. (1997b): Revize některých významných mineralogických lokalit v okolí Maršíkova a Sobotína, okres Šumperk. – *Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci*, 275, 12–16.

Novotný, P. (1997c): Revize některých významných mineralogických lokalit v okolí Maršíkova a Sobotína, okres Šumperk. – *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze*, 4–5, 178–181.

Novotný, P. (1998): Nové poznatky o mineralogii okolí Vernířovic, okres Šumperk. – *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze*, 6, 199–203.

Pouba, Z. (1969): The Sobotín basic complex and its metallogenesis. – *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, 2, 105–117.

Přichystal, A., Novotný, P. (1999): Geochemické studium metabazitů ze střední části sobotínského amfibolitového masivu (silezikum). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1998*, 121–125.

Winter, J. D. (2001): An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey.

Zimák, J. (1999): Serpentinity sobotínského amfibolitového masivu. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1998*, 129–131.

Zimák, J., Dalajková, K., Donocik, R., Krist, P., Reif, D., Štelcl, J., Kopecká, L. (2016): Využitelnost terénních rentgenfluorescenčních analyzátorů ke stanovení chemismu cementářských surovin – na příkladu velkolomu Mokrá. – *Zprávy o geologických výzkumech*, 49, 79–82.

Zimák, J., Fojt, B., Juránková, Z. (2017): Mineralogie krupníkového tělesa v Medvědím dole u Koutů nad Desnou v Jeseníkách. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 97–102.

Zimák, J., Novotný, P., Fojt, B., Novák, M., Vávra, V., Kopa, D., Losos, Z., Prinzová, E., Skácel, J. (2002): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku. UP Olomouc 2002.