ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CIII (2019): 1, 49–72, 2019

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

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

JIŘÍ ZIMÁK, ZUZANA JURÁNKOVÁ

Abstract

Zimák, J., Juránková, Z., 2019: Petrografie a mineralogie krupníkového tělesa na lokalitě Smrčina u Sobotína (Hrubý Jeseník). – Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol., 104, 1, 49–72 (with English summary).

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

The Sobotín Massif of presumably Devonian age emerges in the NE part of the Bohemian Massif. It consists mainly of amphibolite, amphibole gneisses, subordinate green schists, metahornbledites, and only sporadic serpentinites. Small lens-like soapstone bodies are characteristic for the Sobotín Massif. One of the biggest soapstone bodies outcrops at the locality Smrčina near Sobotín (Storchberg near Zöptau in older literature). The soapstone body is concentrically zoned. Four main types of rocks can be distinguished in direction from the centre to the border: i) soapstone (talc + magnesite ± clinochlore ± tremolite); ii) talc schist (talc ± tremolite ± clinochlore ± magnesite); iii) tremolite schist (tremolite or tremolite/actinolite ± clinochlore ± talc); iv) chlorite schist (clinochlore ± tremolite or tremolite/actinolite). Fluorapatite, magnetite (often rich in chromium), ilmenite, zircon and rutile represent common accessories. Sometimes cummingtonite is present in tremolite schist. Formation of the soapstone body may have been caused by metasomatic alteration of peridotite during the Variscan regional metamorphism.

Key words: soapstone, talc schist, tremolite schist, chlorite schist, Sobotín amphibolite massif, Moravosilesian Zone, Bohemian Massif.

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

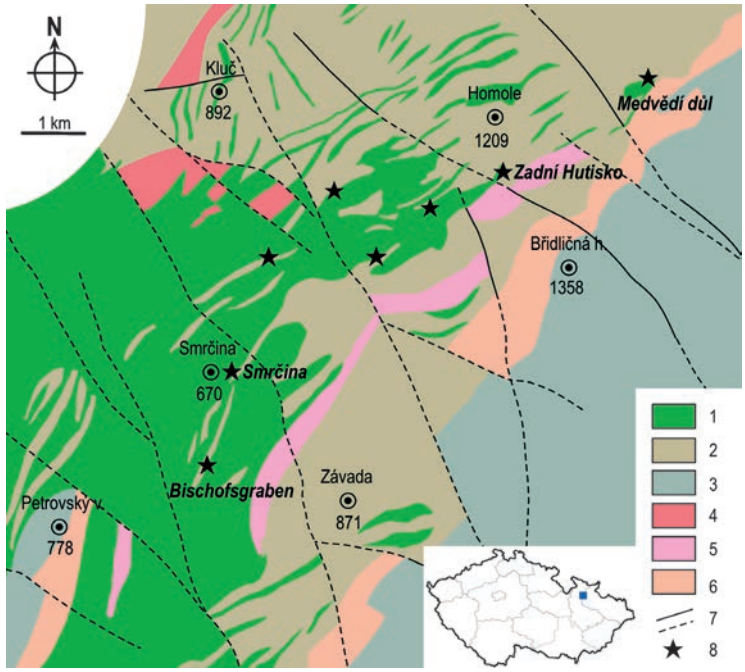
Z petrografického hlediska je sobotínský masiv zajímavý přítomností drobných krupníkových těles. Dvě největší a také nejznámější z nich – nejen v jesenické oblasti, ale i v celém Českém masivu – mají status přírodní památky. Jde o PP Zadní Hutisko u Vernířovic a PP Smrčina u Sobotína; obě PP byly vyhlášeny v r. 1982 (např. Šafář *et al.* 2003). V tomto článku je petrograficky a mineralogicky zhodnoceno těleso vystupující na lokalitě Smrčina.

2. STRUČNÁ PETROGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA SOBOTÍNSKÉHO MASIVU

Sobotínský masiv bývá ve starší literatuře podle v něm dominantního horninového typu označován jako sobotínský amfibolitový masiv. V rámci geologické stavby silezika jde o relativně velké těleso složené z metamorfovaných bazických, intermediárních i ultraba-

zických hornin, podrobně petrograficky zhodnocených KRETSCHMEREM (1911), na nějž později navázali např. POUBA (1969, 1971), FIALA *et al.* (1980) a SOUČEK (1981). Již KRETSCHMER (1911) považuje amfibolity a amfibolické ruly sobotínského masivu za metamorfovaná gabra a diority. Převládajícím horninovým typem jsou drobně až středně zrnité amfibolity, někdy všesměrně zrnité, jindy výrazně páskované. Zejména při západním okraji masivu se vyskytují hrubozrnné amfibolity (tzv. gabroamfibolity). Součástí masivu jsou i amfibolické a biotiticko–amfibolické ruly (metadiority), metahornblendity, serpentinity, chloritické a aktinolitické břidlice a též krupníková tělesa. Zjednodušená geologická mapa sobotínského masivu je uvedena na obr. 1, v němž je vyznačena pozice významnějších krupníkových těles a uvedeny názvy těch, jež jsou v článku zmiňována.

Stáří sobotínského masivu dosud nebylo jednoznačně prokázáno. Sobotínský masiv je všeobecně považován za devonské intruzívní těleso (střední až svrchní devon – viz např. KOVERDYNSKÝ 1993). Jeho amfibolity a metahornblendity vykazují tholeiitický trend, jejich geotektonická pozice je však nejasná (SOUČEK 1981, PŘICHYSTAL a NOVOTNÝ 1999). Sobotínský masiv byl varisky metamorfován za podmínek odpovídajících amfibolitové facii; KOŠULIČOVÁ a ŠTÍPSKÁ (2007) a SCHULMANN *et al.* (2014) považují variskou metamorfózu silezika za barrovianskou, v prostoru sobotínského masivu na úrovni staurolitové zóny.



Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa sobotínského masivu (podle OPLETALA *et al.* 1996 a 1997, zjednodušeno autory). Krupníková tělesa jsou vyznačena hvězdičkami.
Vysvětlivky: 1 – amfibolity a amfibolické ruly sobotínského masivu, 2 – desenská rula, místy zpětně metamorfovaná, 3 – fylity a kvarcity vrbenské skupiny, 4 – granitoidy intruze Rudné hory, 5 – blastomylonity, 6 – metagranitoidy, 7 – zlom ověřený a zlom předpokládaný, 8 – krupníková tělesa.

Fig. 1. Simplified geological map of the Sobotín Massif (according to OPLETAL *et al.* 1996 and 1997, modified by authors). Soapstone bodies are marked as stars.
Explanations: 1 – amphibolites and amphibole gneisses of the Sobotín Massif, 2 – biotite gneiss (so-called Desná gneiss), locally retrograded, 3 – phyllites and quartzites of the Vrbno Group, 4 – granitoids of the Rudná Mt. Intrusion, 5 – blastomylonites, 6 – metagranitoids, 7 – verified faults and presumed faults, 8 – soapstone bodies.

3. PETROGRAFIE A MINERALOGIE KRUPNÍKOVÝCH TĚLES SOBOTÍNSKÉHO MASIVU – STRUČNÝ PŘEHLED

Typická krupníková tělesa sobotínského masivu reprezentovaná lokalitami Zadní Hutisko a Smrčina mají víceméně čočkovitý tvar a charakteristickou koncentricky zonální stavbu. Centrální část je tvořena krupníkem a mastkovou břidlicí, ve směru k okraji tělesa přecházející do zóny aktinolitické nebo tremolitické břidlice, vnější zóna tělesa má povahu chloritické břidlice (např. Kretschmer 1911). Mineralogií krupníkových těles se kromě již citovaného Kretschmera (1911) zabýval Kruťa *et al.* (1967). Podrobnější charakteristiku lokalit Zadní Hutisko a Smrčina včetně údajů o chemismu jednotlivých minerálů (EDX analýzy) uvádí Zimák a Novotný (2002a, b). V posledních letech byla detailně mineralogicky a petrograficky zhodnocena krupníková tělesa na lokalitách Zadní Hutisko (Zimák a Juránková 2018a), Bischofsgraben (Zimák a Juránková 2018b) a Medvědí důl (Zimák *et al.* 2017).

Krupníkové těleso na lokalitě Zadní Hutisko má symetricky zonální stavbu. Od centra k okraji tělesa lze rozlišit čtyři hlavní horninové typy (Zimák a Juránková 2018a): krupník (mastek + dolomit), mastková břidlice, tremolitická břidlice nebo skalina (Ca–amfibol je zastoupen hlavně tremolitem, v některých partiích amfibolem na rozhraní tremolit/aktinolit) a chloritická břidlice (dominuje klinochlor). Běžnými akcesoriemi hornin krupníkového tělesa jsou magnetit (často s vysokým obsahem chromu) a apatit. Krupníkové těleso vzniklo pravděpodobně metasomatickou přeměnou serpentinitu (serpentinizovaného peridotitu) na styku s amfibolitem (Zimák a Juránková 2018a). Amfibolit je v kontaktní zóně přeměněn na epidot–chloritovou skalinu s variabilním podílem amfibolu (magneziohornblend nebo tschermakit), vždy se značným obsahem rudních minerálů (magnetit, hematit a také ilmenit).

V profilu krupníkovým tělesem na lokalitě Bischofsgraben lze ve směru k okraji tělesa rozlišit tři hlavní typy hornin: mastková břidlice – aktinolitická břidlice – chloritická břidlice (mezi uvedenými typy existují přechodné zóny). Krupník nebyl v tělese zastižen (jde jen o malý výchoz). Typickou akcesorií je zde chromit. Zimák a Juránková (2018a) předpokládají, že toto krupníkové těleso vzniklo pravděpodobně hydrotermální přeměnou hornblenditu (metahornblenditu).

Lokalita Medvědí důl se od typických krupníkových těles sobotínského masivu sice liší absencí symetricky zonální stavby, ale i zde lze rozlišit čtyři horninové typy, charakteristické pro zonální tělesa: mastkovou břidlici, krupník (s asociací mastek + dolomit), chloritickou břidlici a aktinolitickou břidlici (Zimák *et al.* 2017). Vznik krupníkového tělesa v Medvědím dole souvisí s hydrotermální přeměnou metahornblenditu, patrně podél střižných zón (Hanžl 1995, Zimák *et al.* 2017). Relativně hojnou akcesorií hornin krupníkového tělesa i okolního metahornblenditu je chromit (chemismus chromitu z obou rozdílných hornin je téměř identický).

4. CHARAKTERISTIKA LOKALITY SMRČINA A HISTORIE

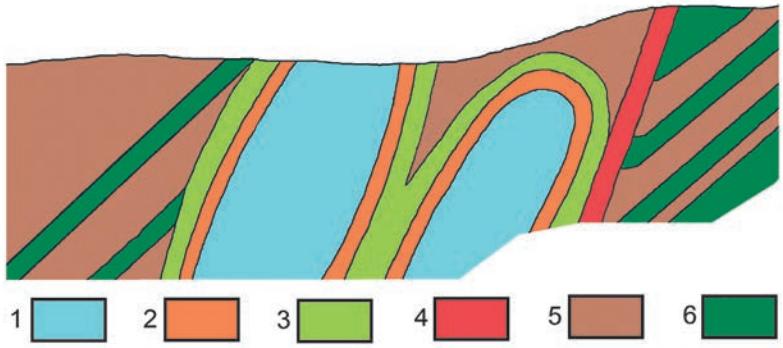
Smrčina je jedním ze šesti krupníkových těles v prostoru sobotínského masivu, otevřených v 18. a 19. století lomy. V nich těžený krupník byl využíván například ke zhotovování bazické vyzdívky pro železárny (v Sobotíně i jinde) a na kamenické práce (žlaby, schody, dveřní a okenní rámy, sloupky, náhrobky) – Kretschmer (1911), podrobně Klement (1974) a Gába (1989).

Krupníkové těleso na lokalitě Smrčina leží přibližně 1,5 km vsv. od kostela v Sobotíně, zhruba 300 m v. od vrcholu Smrčiny (670 m). Kóta 670 m (nynější Smrčina) byla dříve označována jako Storchberg, a takto je ve starší literatuře (např. Kretschmer 2011) nazývána i předmětná lokalita. Nutno poznamenat, že původní německý název Storchberg lze sice přeložit jako Čapí vrch, avšak současný Čapí vrch (538 m)

leží zhruba 1 km z. od vrcholu Smrčiny (Storchberg a Čapí vrch jsou tedy dvě odlišné kóty).

Podle KRETSCHMERA (1911) byly lomem na Smrčině zastiženy dvě krupníkové čočky. Směrná délka větší z nich dosahuje ve výchozu 45 m, její nepravá mocnost je 8–10 m; mocnost menší krupníkové čočky je jen 3–4 m (obr. 2). Krupník je přítomen v centrální části čočkovitých těles. Krupníkové jádro směrem k okraji postupně přechází do mastkové břidlice, pak následuje tenká a nesouvislá zóna hrubě stébelnaté aktinolitické břidlice a nakonec vnější souvislá zóna chloritické břidlice, mocná zhruba 0,5 až 2 m (KRETSCHMER 1911).

Informace o petrografických a mineralogických poměrech na lokalitě Smrčina uvádí kromě KRETSCHMERA (1911) také DOSTÁL (1965), KRUŤA *et al.* (1967), FIALA *et al.* (1980), JELÍNEK a SOUČEK (1981), NOVOTNÝ (1997a, b, c, 2003, 2007), PŘICHYSTAL a NOVOTNÝ (1999), NEPEJCHAL (2000) a ZIMÁK a NOVOTNÝ (2002b). Poslední z citovaných prací obsahuje i údaje o chemismu minerálů založené na výsledcích EDX analýz.



Obr. 2. Profil ložiskem krupníku na Smrčině (podle KRETSCHMERA 1911, upraveno autory, délka profilu je přibližně 60 m).
Vysvětlivky: 1 – krupník, 2 – mastková břidlice, 3 – aktinolitická břidlice (podle KRETSCHMERA) a chloritická břidlice, 4 – pegmatit, 5 – gabroamfibolit, 6 – biotitická rula.

Fig. 2. Section across the Smrčina soapstone deposit (according to KRETSCHMER 1911, modified by authors, the section length is approximately 60 meters).
Explanations: 1 – soapstone, 2 – talc schist, 3 – actinolite schist (according to KRETSCHMER) and chlorite schist, 4 – pegmatite, 5 – gabbroamphibolite, 6 – biotite gneiss.

ZIMÁK a NOVOTNÝ (2002b) víceméně ve shodě s KRETSCHMEREM (1911) na lokalitě Smrčina rozlišují čtyři hlavní horninové typy. Jde o (1) krupník (mastek + klinochlor + dolomit), (2) mastkovou břidlici (někdy s vysokým podílem amfibolu nebo chloritu), (3) aktinolitickou nebo tremolitickou břidlici a (4) chloritickou břidlici. Pestrou asociaci akcesorických minerálů zastupuje magnetit, apatit, ilmenit, rutil, epidot, pyrit, titanit a zirkon.

V haldovém materiálu jsou přítomny i fragmenty metahornblenditů, popisovaných z této lokality již KRETSCHMEREM (1911) a zmiňovaných např. FIALOU *et al.* (1980), JELÍNKEM a SOUČKEM (1981). Podle ZIMÁKA a NOVOTNÉHO (2002b) se na složení vzorku považovaného za metahornblendit podílí vedle dominantního amfibolu (tschermakit nebo magneziohastingsit) silně sassuritizovaný živec, epidot, biotit, chlorit, hematit, ilmenit

a magnetit. Nutno poznamenat, že tato nerostná asociace v zásadě odpovídá epidot–chloritové skalině vytvořené na lokalitě Zadní Hutisko přeměnou amfibolitu.

Od roku 1982 má opuštěný lom na Smrčině a jeho bezprostřední okolí status přírodní památky o výměře 1 ha (Šafář *et al.* 2003). V období před vyhlášením PP Smrčina byla z lomu odstraněna skládka odpadu z blízké chaty a byl upraven přístup do lomu. Nebyly však z něj odstraněny již tehdy vzrostlé náletové dřeviny, dnes mnohem mohutnější (obr. 3). Na svahu pod lomem jsou poměrně velké haldy (obr. 4), z větší části již vně hranice PP Smrčina. Na těchto haldách lze dosud najít reprezentativní ukázky všech hornin krupníkového tělesa.

Lokalita Smrčina patří mezi klasická mineralogická naleziště v jesenické oblasti. Sběratelům minerálů je Smrčina známa díky výskytu drobných oktaedrů magnetitu v chloritické břidlici (obr. 5) a hojným nálezům estetických ukázek zeleně zbarveného stébelnatého amfibolu (považovaného zpravidla za aktinolit, převážně však jde o tremolit) v břidlicích tvořených podstatně mastkem a tímto amfibolem (obr. 6).

Obr. 3. Lokalita Smrčina – pohled do lomu. Foto: J. Zimák.
Fig. 3. Locality Smrčina – view to the quarry. Photo: J. Zimák.

Obr. 4. Lokalita Smrčina – haldy pod lomem. Foto: Z. Juránková.
Fig. 4. Locality Smrčina – heaps under the quarry. Photo: J. Zimák.

Obr. 5. Oktaedry magnetitu v chloritické břidlici. Foto: Z. Juránková.
Fig. 5. Magnetite octahedrons in chlorite schist. Photo: Z. Juránková.

Obr. 6. Mastek-tremolitická břidlice se stébly tremolitu. Foto: Z. Juránková.
Fig. 6. Talc-tremolite schist with tremolite straws. Photo: Z. Juránková.

5. METODIKA

Většina studovaných vzorků byla odebrána prvním z autorů v 70. letech 20. století v lomu na Smrčině a na haldách těžebního odpadu pod lomem. Terénní práce na lokalitě byly ukončeny v roce 2017.

Základem pro hodnocení hornin je mikroskopické studium výbrusů a nábrusů v procházejícím a odraženém světle za použití standardního polarizačního mikroskopu (Olympus BX 50). K posouzení struktury hornin byl využit i BSE obraz (Cameca SX100).

Chemické složení vybraných minerálů bylo studováno metodou EDX na přístroji CamScan s připojeným EDX analyzátorem Link AN 10 000 (75 bodových analýz, analytik V. Vávra, PřF MU Brno – některé z výsledků těchto analýz již publikovali Zimák a Novotný 2002b) a zejména metodou WDX pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (84 bodových analýz, analytik P. Gadas, R. Škoda a J. Haifler, PřF MU Brno). Výsledky reprezentativních WDX analýz mastku, chloritů, amfibolů, magnezitu, ilmenitu, magnetitu a zirkonu z hornin krupníkového tělesa jsou v tab. 1 až 6, pokud byl obsah stanovovaného prvku pod mezí detekce, je tato skutečnost v tabulce vyjádřena zkratkou „b. d.“. V případě amfibolů byly hodnoty apfu vypočteny na bázi 23 atomů kyslíku, v Ca-amfibolech byl poměr mezi Fe^{3+} a Fe^{2+} kalkulován na základě C + T = 13, v Mg-Fe^{2+}-amfibolech na základě B + C + T = 15 (tab. 3). Kvantitativní poměr Fe^{3+} a Fe^{2+} ve spinelidu byl vypočten na bázi 4 atomy kyslíku a $\Sigma R^{3+} = 2$ (tab. 4). Ve výsledcích WDX analýz mastku, chloritů, magnezitu, ilmenitu a zirkonu (tab. 1, 2, 5 a 6) je celkové železo uváděno jako FeO.

Údaje o chemismu 72 vzorků reprezentujících jednotlivé zóny krupníkového tělesa a horniny v jeho bezprostředním okolí (tab. 7) 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).

Tab. 1. Reprezentativní WDX analýzy mastku a chloritu (hornina: 1, 2 a 5 = krupník, 3, 4 a 6 = mastková břidlice, 7 = tremolitická břidlice, 8 = tremoliticko-chloritická břidlice, 9 a 10 = chloritická břidlice).

Tab. 1. Representative WDX analyses of talc and chlorite (rock: 1, 2 and 5 = soapstone, 3, 4 and 6 = talc schist, 7 = tremolite schist, 8 = tremolite-chlorite schist, 9 and 10 = chlorite schist).

	mastek				chlorit					
anal. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	62,27	63,12	62,05	63,07	30,09	32,74	31,54	29,40	29,55	30,10
TiO_2	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07
Al_2O_3	0,13	0,04	0,38	0,09	18,42	16,18	17,22	20,05	20,61	19,61
V_2O_3	b. d.	b. d.	0,01	0,03	b. d.	0,03	b. d.	b. d.	b. d.	0,05
Cr_2O_3	0,02	0,01	0,06	0,01	1,28	1,66	0,08	0,02	0,05	0,01
FeO	3,16	1,72	3,57	3,39	7,75	8,87	8,07	9,99	8,02	10,73
MnO	0,01	0,03	0,04	0,02	0,08	0,12	0,08	0,15	0,11	0,09
NiO	0,23	0,16	0,32	0,17	0,17	0,19	0,11	0,04	0,19	0,03
ZnO	0,03	b. d.	0,03	0,05	0	0,03	b. d.	b. d.	0,05	0
MgO	27,45	28,49	27,45	28,01	27,62	26,76	28,04	25,86	27,32	25,36
CaO	b. d.	0,01	b. d.	0,01	0,01	0,02	0,02	b. d.	0,04	0,06
SrO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0,03	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.
BaO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0,02	b. d.	b. d.	b. d.	0,01	b. d.
Na_2O	0,01	0,02	0,04	0,05	0,01	b. d.	0,02	b. d.	b. d.	0,02
K_2O	0,01	0,01	0,01	0	0,01	b. d.	0,02	b. d.	0,05	0,07
F	0,10	0,04	0,08	0,06	0,02	b. d.	0,05	0,01	0,02	0,01
Cl	b. d.	0,01	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0,01	b. d.	0,01	b. d.
-O=F	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0	0,02	0	0,01	0
suma	93,39	93,65	94,05	94,94	85,53	86,68	85,28	85,57	86,08	86,21
apfu (mastek 11 O, chlorit 14 O)										
Si^{4+}	4,059	4,072	4,031	4,050	2,961	3,188	3,098	2,910	2,882	2,966
Ti^{4+}	0	0	0,002	0	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005
Al^{3+}	0,010	0,003	0,029	0,007	2,136	1,857	1,994	2,339	2,369	2,278
V^{3+}	0	0	0,001	0,002	0	0,002	0	0	0	0,004
Cr^{3+}	0,001	0,001	0,003	0,001	0,100	0,128	0,006	0,002	0,004	0,001
Fe^{2+}	0,172	0,093	0,194	0,182	0,638	0,722	0,663	0,827	0,654	0,884
Mn^{2+}	0,001	0,002	0,002	0,001	0,007	0,010	0,007	0,013	0,009	0,008
Ni^{2+}	0,012	0,008	0,017	0,009	0,013	0,015	0,009	0,003	0,015	0,002
Zn^{2+}	0,001	0	0,001	0,002	0	0,002	0	0	0,004	0
Mg^{2+}	2,667	2,740	2,659	2,681	4,052	3,884	4,106	3,816	3,973	3,726
Ca^{2+}	0	0,001	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0	0,004	0,006
Sr^{2+}	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0	0
Ba^{2+}	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0
Na^{+}	0,001	0,003	0,005	0,006	0,002	0	0,004	0	0	0,004
K^{+}	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0	0,003	0	0,006	0,009
suma	6,926	6,923	6,945	6,942	9,915	9,815	9,894	9,914	9,926	9,892
F^{-}	0,021	0,008	0,016	0,012	0,006	0	0,016	0,003	0,006	0,003
Cl^{-}	0	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0,002	0
O^{2-}	10,979	10,991	10,984	10,988	13,994	14,000	13,983	13,997	13,992	13,997

Tab. 2. Reprezentativní WDX analýzy magnezitu v krupníku (n. d. = nestanoveno).

Tab. 2. Representative WDX analyses of magnesite in soapstone (n. d. = not determined).

	magnezit				
anal. č.	11	12	13	14	15
MgO	41,69	42,43	41,74	41,96	42,90
CaO	0,20	0,16	0,16	0,30	0,37
MnO	0,46	0,38	0,47	0,48	0,42
FeO	7,28	5,68	7,45	7,66	5,40
ZnO	n. d.	n. d.	0,02	b. d.	0,02
SrO	b. d.	0,01	b. d.	b. d.	0,03
BaO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0,01
PbO	n. d.	n. d.	0,10	b. d.	b. d.
suma $R^{2+}O$	49,63	48,66	49,94	50,40	49,15
P_2O_5	b. d.	0,05	n. d.	n. d.	n. d.
SiO_2	0,02	0,06	0,10	0,10	0,09
SO_2	b. d.	0,04	n. d.	n. d.	n. d.
Al_2O_3	n. d.	n. d.	b. d.	b. d.	b. d.
Na_2O	n. d.	n. d.	0,01	0,01	b. d.
K_2O	n. d.	n. d.	0,01	0,01	b. d.
F	0,02	0,04	b. d.	b. d.	b. d.
apfu (R^{2+} = 1,000)					
Mg^{2+}	0,903	0,923	0,901	0,898	0,923
Ca^{2+}	0,003	0,003	0,002	0,005	0,006
Mn^{2+}	0,006	0,005	0,006	0,006	0,005
Fe^{2+}	0,088	0,069	0,090	0,092	0,065

Tab. 3. Reprezentativní WDX analýzy vápenatých amfibolů a Mg-Fe^{2+}-amfibolu (hornina: 16 až 18 = tremolitická břidlice, 19, 20, 24 a 25 = chloriticko-tremolitická břidlice, 21 až 23 = tremoliticko-chloritická břidlice).

Tab. 3. Representative WDX analyses of calcic amphiboles and Mg-Fe^{2+}-amphibole (rock: 16 to 18 = tremolite schist, 19, 20, 24 and 25 = chlorite-tremolite schist, 21 to 23 = tremolite-chlorite schist).

	Ca-amfibol								Mg-Fe-amfibol	
anal.č.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
P_2O_5	b. d.	b. d.	0,04	b. d.	0,01	0,04	0,01	0,02	b. d.	0,01
SiO_2	56,89	55,45	57,88	57,67	57,39	48,30	57,79	56,91	57,08	56,83
TiO_2	0,04	0,11	0,03	0,01	0,04	0,34	0,04	0,05	b. d.	b. d.
Al_2O_3	0,91	2,77	0,24	0,48	0,79	8,68	0,67	1,25	0,12	0,23
Sc_2O_3	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0,01	0,01	0,02	b. d.	b. d.
V_2O_3	0,02	0,06	b. d.	0,03	0,01	0,06	b. d.	0,05	b. d.	b. d.
Cr_2O_3	0,16	0,05	b. d.	0,01	0,06	0,03	0,02	b. d.	0,04	b. d.
Fe_2O_3	0,62	2,44	0,12	0,58	2,04	6,55	1,66	2,49	0	0
FeO	3,77	3,65	4,34	3,45	3,01	3,75	3,41	3,28	14,32	13,48
MnO	0,28	0,27	0,24	0,28	0,34	0,28	0,31	0,34	1,39	1,23
NiO	0,09	0,04	0,02	0,08	0,16	0,03	0,02	b. d.	0,13	0,16
ZnO	b. d.	b. d.	0,16	0,03	0,05	b. d.	b. d.	0,02	b. d.	b. d.
MgO	21,13	20,03	21,34	21,72	21,00	16,41	21,53	20,85	22,48	22,30
CaO	13,07	12,67	13,09	13,17	12,61	12,05	13,08	12,72	1,20	1,79
Na_2O	0,11	0,33	0,04	0,07	0,14	1,20	0,10	0,19	0,04	0,04
K_2O	b. d.	0,08	0,05	0,02	0,02	0,11	0,02	0,04	b. d.	b. d.
F	0,06	0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,11	0,10	0,03	0,07
Cl	0,01	0,01	b. d.	0,01	b. d.	b. d.	0,01	0,02	b. d.	b. d.
-O=F	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,01	0,03
suma	97,13	98,00	97,64	97,66	97,71	97,89	98,75	98,30	96,82	96,11
apfu (23 O)										
P^{5+}	0	0	0,005	0	0,001	0,005	0,001	0,002	0	0,001
Si^{4+}	7,904	7,678	7,997	7,950	7,918	6,848	7,898	7,829	8,076	8,076
Ti^{4+}	0,004	0,011	0,003	0,001	0,004	0,036	0,004	0,005	0	0
Al^{3+}	0,149	0,452	0,039	0,078	0,128	1,450	0,108	0,203	0,020	0,039
Sc^{3+}	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,002	0	0
V^{3+}	0,002	0,007	0	0,003	0,001	0,007	0	0,006	0	0
Cr^{3+}	0,018	0,005	0	0,001	0,007	0,003	0,002	0	0,004	0
Fe^{3+}	0,065	0,254	0,013	0,060	0,212	0,699	0,171	0,258	0	0
Fe^{2+}	0,438	0,422	0,502	0,397	0,347	0,444	0,390	0,377	1,694	1,602
Mn^{2+}	0,033	0,032	0,028	0,033	0,040	0,034	0,036	0,040	0,167	0,148
Ni^{2+}	0,010	0,004	0,002	0,009	0,018	0,003	0,002	0	0,015	0,018
Zn^{2+}	0	0	0,016	0,003	0,005	0	0	0,002	0	0
Mg^{2+}	4,377	4,134	4,395	4,464	4,319	3,469	4,386	4,276	4,742	4,724
Ca^{2+}	1,946	1,880	1,938	1,945	1,864	1,831	1,915	1,875	0,182	0,273
Na^{+}	0,030	0,089	0,011	0,019	0,037	0,330	0,026	0,051	0,011	0,011
K^{+}	0	0,014	0,009	0,004	0,004	0,020	0,003	0,007	0	0
suma	14,975	14,982	14,957	14,968	14,905	15,180	14,945	14,933	14,911	14,892
F^{-}	0,026	0,039	0,039	0,039	0,035	0,045	0,048	0,044	0,013	0,031
Cl^{-}	0,002	0,002	0	0,002	0	0	0,002	0,005	0	0
O^{2-}	22,971	22,958	22,961	22,958	22,965	22,955	22,950	22,952	22,987	22,969

Tab. 4. Reprezentativní WDX analýzy magnetitu (hornina: 26 a 27 = krupník, 28 = mastková břidlice, 29 a 30 = chloriticko-tremolitická břidlice, 31 = chloritická břidlice).

Tab. 4. Representative WDX analyses of magnetite (rock: 26 and 27 = soapstone, 28 = talc schist, 29 and 30 = chlorite-tremolite schist, 31 = chlorite schist).

	magnetit					
anal. č.	26	27	28	29	30	31
SiO_2	0,05	0,12	b. d.	0,02	0,01	0,02
TiO_2	0,23	0,24	0,37	0,83	0,13	0,08
Al_2O_3	0,29	0,02	0,66	1,11	0,06	0,13
V_2O_3	0,31	0,07	0,27	0,42	0,31	0,49
Cr_2O_3	13,74	4,02	20,08	27,77	6,58	0,08
Fe_2O_3	55,21	65,03	48,50	38,54	60,87	69,73
FeO	29,86	30,14	29,51	27,36	29,96	31,29
MnO	0,58	0,03	0,73	1,20	0,17	0,03
CoO	0,11	0,08	0,11	0,06	0,06	0,05
NiO	0,22	0,17	0,16	0,07	0,09	b. d.
ZnO	0,28	b. d.	0,61	0,99	0,08	0,03
MgO	0,08	0,04	0,11	0,18	0,05	0,09
CaO	b. d.	0,01	b. d.	0,01	b. d.	b. d.
suma	100,96	99,97	101,11	98,56	98,37	102,02
apfu (4 O, R3+ = 2)						
Si^{4+}	0,002	0,005	0	0,001	0	0,001
Ti^{4+}	0,007	0,007	0,010	0,024	0,004	0,002
Al^{3+}	0,013	0,001	0,029	0,050	0,003	0,006
V^{3+}	0,009	0,002	0,008	0,013	0,010	0,015
Cr^{3+}	0,410	0,122	0,595	0,835	0,203	0,002
Fe^{3+}	1,568	1,875	1,368	1,103	1,785	1,977
Fe^{2+}	0,942	0,966	0,926	0,870	0,976	0,986
Mn^{2+}	0,019	0,001	0,023	0,039	0,006	0,001
Co^{2+}	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002
Ni^{2+}	0,007	0,005	0,005	0,002	0,003	0
Zn^{2+}	0,008	0	0,017	0,028	0,002	0,001
Mg^{2+}	0,005	0,002	0,006	0,010	0,003	0,005
Ca^{2+}	0	0	0	0	0	0
suma	2,992	2,989	2,990	2,975	2,996	2,997
O^{2-}	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Tab. 5. Reprezentativní WDX analýzy ilmenitu (hornina: 32 = tremolitická břidlice, 33 = chloriticko-tremolitická břidlice, 34 a 35 = tremoliticko-chloritická břidlice, 36 = chloritická břidlice).

Tab. 5. Representative WDX analyses of ilmenite (rock: 32 = tremolite schist, 33 = chlorite-tremolite schist, 34 and 35 = tremolite-chlorite schist, 36 = chlorite schist).

	ilmenit				
anal. č.	32	33	34	35	36
WO_3	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.
Nb_2O_5	0,02	0,04	0,10	0,07	0,06
Ta_2O_5	0,08	0,02	b. d.	b. d.	0,07
SiO_2	0,01	0,03	0,02	b. d.	b. d.
TiO_2	49,27	48,00	48,98	47,99	48,97
ZrO_2	b. d.	b. d.	0,01	b. d.	b. d.
SnO_2	0,02	b. d.	b. d.	0,01	0,03
Al_2O_3	b. d.	b. d.	0,01	0,02	0,01
Sc_2O_3	b. d.	b. d.	0,02	0,02	0,04
V_2O_3	0,15	0,40	b. d.	0,21	0,08
Cr_2O_3	0,07	0,18	0,01	0,02	0,02
FeO	47,13	47,14	45,16	47,15	45,96
MnO	2,20	2,60	3,30	1,53	2,57
ZnO	b. d.	0,02	b. d.	b. d.	0,07
MgO	0,07	0,08	0,08	0,99	0,08
CaO	0,04	0,10	b. d.	b. d.	b. d.
suma	99,06	98,61	97,69	98,01	97,96
apfu (3 O)					
Nb^{5+}	0	0	0,001	0,001	0,001
Ta^{5+}	0,001	0	0	0	0
Si^{4+}	0	0,001	0,001	0	0
Ti^{4+}	0,959	0,943	0,965	0,943	0,963
Al^{3+}	0	0	0	0,001	0
Sc^{3+}	0	0	0	0	0,001
V^{3+}	0,003	0,008	0	0,004	0,002
Cr^{3+}	0,001	0,004	0	0	0
Fe^{2+}	1,020	1,030	0,989	1,030	1,005
Mn^{2+}	0,048	0,058	0,073	0,034	0,057
Zn^{2+}	0	0	0	0	0,001
Mg^{2+}	0,003	0,003	0,003	0,039	0,003
Ca^{2+}	0,001	0,003	0	0	0
suma	2,037	2,050	2,033	2,053	2,034
O^{2-}	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

Tab. 6. Reprezentativní WDX analýzy zirkonu (hornina: 37 a 38 = tremoliticko-chloritická břidlice, 39 = chloritická břidlice).

Tab. 6. Representative WDX analyses of zircon (rock: 37 and 38 = tremolite-chlorite schist, 39 = chlorite schist).

	zirkon		
anal. č.	37	38	39
P_2O_5	0,07	0,11	0,02
SiO_2	32,26	32,31	32,52
TiO_2	0,02	0,02	b. d.
ZrO_2	66,15	65,20	65,45
HfO_2	1,31	1,26	1,44
ThO_2	0,04	0,15	0,06
UO_2	0,22	0,15	0,07
Al_2O_3	b. d.	b. d.	b. d.
Sc_2O_3	0,04	0,03	0,02
Y_2O_3	0,08	0,37	0,18
Dy_2O_3	0,06	0,02	b. d.
Er_2O_3	0,05	0,10	0,04
Yb_2O_3	b. d.	0,12	0,06
CaO	0,02	0,03	0,01
FeO	0,30	0,49	0,47
suma	100,62	100,36	100,34
apfu (4 O)			
P^{5+}	0,002	0,003	0,001
Si^{4+}	0,989	0,993	0,997
Zr^{4+}	0,989	0,977	0,979
Hf^{4+}	0,011	0,011	0,013
Th^{4+}	0	0,001	0
U^{4+}	0,002	0,001	0
Sc^{3+}	0,001	0,001	0,001
Y^{3+}	0,001	0,006	0,003
Dy^{3+}	0,001	0	0
Er^{3+}	0	0,001	0
Yb^{3+}	0	0,001	0,001
Ca^{2+}	0,001	0,001	0
Fe^{2+}	0,008	0,013	0,012
suma	2,005	2,008	2,007
O^{2-}	4,000	4,000	4,000

Tab. 7. Chemismus hornin krupníkového tělesa, metahornblenditu a amfibolitů vystupujících v jeho okolí, XRF analýza (celkové železo uvedeno jako FeO, n = počet vzorků, x = průměr).

Tab. 7. Chemical composition of rocks of the soapstone body, metahornblendite and amphibolites outcropping in its vicinity, XRF analysis (total iron is presented as FeO, n = number of samples, x = average).

	krupník (n = 7)			Tlc-břidlice (n = 8)			Tr-břidlice (n = 11)			Chl-Tr-břidlice (n = 9)		
	min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
SiO_2 (hm.%)	48,5	66,4	57,1	45,0	64,4	56,5	36,1	50,6	45,4	28,0	51,1	40,6
TiO_2 (hm.%)	<0,07	0,14	–	<0,07	<0,07	–	<0,07	0,22	–	<0,07	0,21	0,11
Al_2O_3 (hm.%)	1,4	5,6	2,4	1,6	3,6	2,5	2,5	7,7	4,0	3,7	9,4	5,8
Cr_2O_3 (hm.%)	0,02	0,29	0,19	0,10	0,61	0,27	<0,01	0,21	0,13	<0,01	0,21	0,12
FeO (hm. %)	4,6	7,3	5,8	2,3	5,9	5,1	4,5	6,2	5,2	5,1	10,8	7,1
MnO (hm.%)	0,05	0,25	0,11	0,03	0,11	0,06	0,16	0,30	0,23	0,12	0,33	0,23
MgO (hm.%)	30,5	32,8	31,6	24,3	32,2	28,0	14,7	26,3	20,7	17,7	27,5	21,9
CaO (hm.%)	0,8	2,9	1,3	0,8	3,2	1,3	5,1	11,9	10,6	4,1	12,8	8,0
Co (ppm)	45	83	69	37	68	57	<10	53	35	<10	85	35
Ni (ppm)	838	2545	1955	1378	3032	2187	266	1738	1409	154	1576	945
Cu (ppm)	<10	32	–	<10	29	–	<10	<10	–	<10	<10	–
Zn (ppm)	37	79	53	40	119	67	42	101	51	45	122	80
Sr (ppm)	<10	23	13	<10	14	–	14	34	24	12	33	19
Zr (ppm)	<3	60	14	7	21	11	<3	45	11	6	96	30

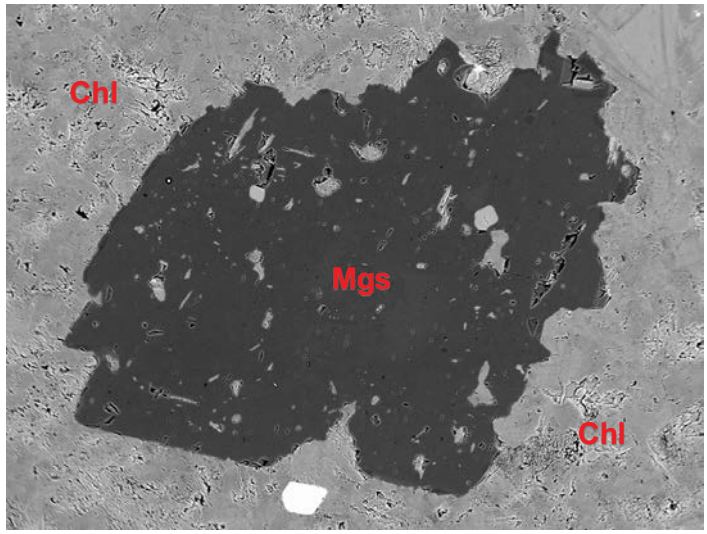
	Tr-Chl-břidlice (n = 14)			Chl-břidlice (n = 16)			metahornblendit (n = 2)			amfibolit (n = 5)		
	min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
SiO_2 (hm.%)	27,5	44,3	33,9	19,9	41,2	30,3	27,8	43,2	35,5	43,8	45,8	44,8
TiO_2 (hm.%)	<0,07	2,45	0,6	<0,07	2,37	0,54	<0,07	2,37	–	0,83	2,27	1,35
Al_2O_3 (hm.%)	1,5	14,9	9,7	4,0	16,1	10,5	5,1	9,4	7,3	9,6	12,0	11,1
Cr_2O_3 (hm.%)	<0,01	0,28	0,06	<0,01	0,51	0,07	0,03	0,16	0,09	<0,01	0,01	–
FeO (hm.%)	4,4	11,3	8,1	5,6	12,8	8,7	7,1	15,8	11,5	8,7	10,2	9,6
MnO (hm.%)	1,10	0,28	0,18	0,07	0,25	0,14	0,24	0,38	0,31	0,15	0,21	0,17
MgO (hm.%)	11,5	28,6	22,3	16,5	31,8	23,0	10,2	19,3	14,8	5,2	11,3	8,5
CaO ((hm.%)	1,1	10,9	4,9	0,8	7,7	2,0	8,7	10,3	9,5	9,1	12,0	10,2
Co (ppm)	<10	73	39	<10	78	52	<10	<10	–	40	59	50
Ni (ppm)	134	1773	684	<10	1837	587	179	1710	945	<10	76	44
Cu (ppm)	<10	<10	–	<10	50	–	<10	34	–	25	141	90
Zn (ppm)	47	124	91	60	214	105	87	112	100	56	80	71
Sr (ppm)	<10	38	15	<10	80	15	16	336	176	177	372	305
Zr (ppm)	8	616	128	17	426	112	<3	523	–	51	140	88

6. VÝSLEDKY

6.1. PETROGRAFIE A MINERALOGIE KRUPNÍKOVÉHO TĚLESA

Na složení hornin krupníkového tělesa se různou měrou podílí jen čtyři hlavní minerály: mastek (Tlc), klinoamfibol převážně odpovídající tremolitu až aktinolitu (dále zjednodušeně jen Tr), chlorit (Chl) a magnezit (Mgs). Petrografická povaha horniny je dána kvantitativním poměrem těchto minerálů. Kromě krupníku (Tlc + Mgs), anchimonominerální Tlc-břidlice, Tr-břidlice a Chl-břidlice jsou zde přechodné typy břidlic s různým poměrem Tlc/Tr a také Tr/Chl.

1) ***Krupník*** je tvořen hlavně jemně šupinkovitým šedobílým mastkem, v němž lze makroskopicky rozlišit šedobílá nebo nažloutlá zrna karbonátu (o velikosti výjimečně nad 1 cm), lupínky nebo tabulky zeleného chloritu, spíše ojedinělé zelené jehlice nebo stébla amfibolu a nepravidelná zrna nebo i oktaedry magnetitu o velikosti max. 2–3 mm. Hornina má v závislosti na množství karbonátu lepidoblastickou nebo granolepidoblastickou strukturu. Porfyroblasty karbonátu mají hypautomorfní omezení, obsahují hojně uzavřeniny mastku, příp. dalších minerálů přítomných v základní tkáni horniny (obr. 7).



Obr. 7. Porfyroblast magnezitu v krupníku (BSE, šířka snímku 1,18 mm, foto J. Haifler).
Fig. 7. Magnesite porphyroblast in soapstone (BSE, width of the photo 1.18 mm, photo J. Haifler).

2) Směrem k okraji tělesa krupník přechází do ***Tlc-břidlice*** šedobílé nebo jemně nazelenalé barvy, která má obdobné nerostné složení a strukturu jako krupník. Karbonát v ní však bývá přítomen v jen menším množství nebo zcela chybí. Spíše ojediněle se v Tlc-břidlici vyskytuje ve větším množství jemně lupenitý chlorit. Někdy je v Tlc-břidlici v podstatném množství přítomen jehlicovitý nebo stébelnatý amfibol, hornina přechází do Tr-Tlc-břidlice s charakteristickou nematolepidoblastickou strukturou.

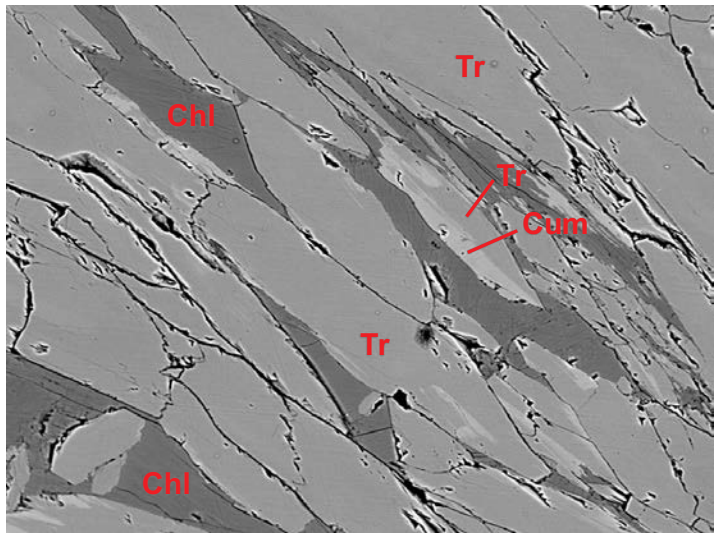
Výsledky reprezentativních WDX analýz mastku z krupníku a Tlc-břidlice jsou uvedeny v tab. 1. Mastek obsahuje poměrně vysokou příměs Fe (až 3,39 hm. % FeO), Ni (až 0,32 hm. % NiO) a Cr (až 0,07 hm. % Cr_2O_3), při přepočtu na apfu na bázi 11 atomů kyslíku jde o 0,194 Fe, 0,017 Ni a 0,004 Cr. Složení karbonátu v obou typech hornin odpoví-

dá magnezitu s velmi vysokým podílem Fe (tab. 2), přítomnost v literatuře uváděného dolomitu nebyla analýzami na mikrosondě (EDX, WDX) potvrzena.

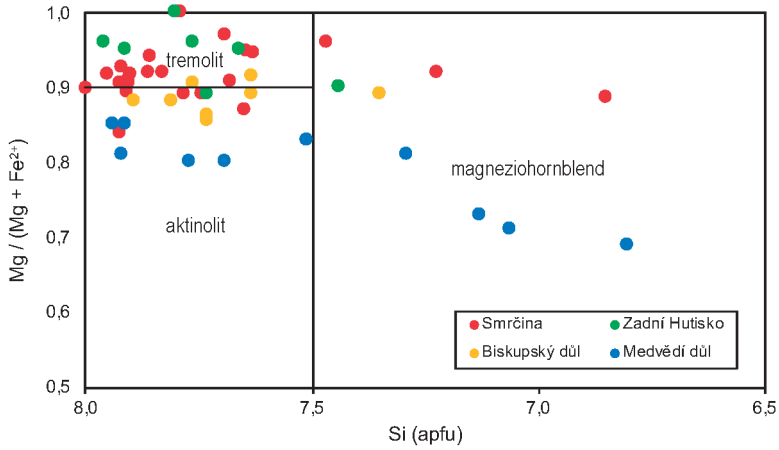
3) Anchimonominerální ***Tr-břidlice*** jsou horniny středně až tmavě zelené nebo i černozelené barvy, jejichž dominantní složkou je amfibol. Hornina je někdy tvořena drobnými jehličkami amfibolu, jindy stébly, jejichž délka běžně dosahuje 5–6 cm, výjimečně až 20 cm. Popisované horniny mají jen někdy výraznou plošně paralelní texturu, a to zpravidla v případech, kdy obsahují v podstatném množství mastek nebo chlorit (jde o přechody do Tlc/Tr nebo Tr/Chl břidlic). V haldovém materiálu jsou hojné fragmenty Tr-skaliny s všesměrným uspořádáním individuí amfibolu. Horniny tvořené menšími individui amfibolu jsou zpravidla světlejší než ty složené z velkých stébel.

Ve výbrusech byly studovány převážně jemnozrnnější variety Tr-břidlic. Jde o horniny s nematoblastickou strukturou, jehlice amfibolů jsou v nich zpravidla uspořádány víceméně paralelně (obr. 8), jen někdy do paprsčitých agregátů. Omezení amfibolu je převážně hypautomorfní. Ve výbrusech je amfibol bezbarvý, jen někdy slabě pleochroický (X = bezbarvý, Z = jemně nazelenalý), úhel zhášení Z/c = 16 až 19°. Z klasifikačního diagramu Ca-amfibolů (obr. 9) je zřejmé, že v horninách krupníkového tělesa na lokalitě Smrčina jsou amfiboly zastoupeny tremolitem až aktinolitem; pokud výsledky WDX analýz odpovídají magneziohornblendu, jde vždy jen o drobné partie (uzavřeniny) v tremolitu nebo aktinolitu. BSE obraz (obr. 8) dokumentuje chemickou nehomogenitu některých individuí amfibolu: v Ca-amfibolu (Tr) jsou v BSE obrazu světlejší partie tvořené cummingtonitem (Cum). Reprezentativní výsledky WDX analýz Ca-amfibolů a Mg-Fe^{2+}-amfibolů jsou uvedeny v tab. 3.

Mezi jehlicemi či stébly amfibolu v Tr-břidlicích se vyskytuje jemně šupinkovitý nebo i lupenitý mastek (Tlc-Tr-břidlice) nebo šupinkovitý až lupenitý chlorit (Chl-Tr-břidlice). Jsou-li oba fylosilikáty přítomny v hornině společně, zpravidla jeden z nich silně převažuje nad druhým.

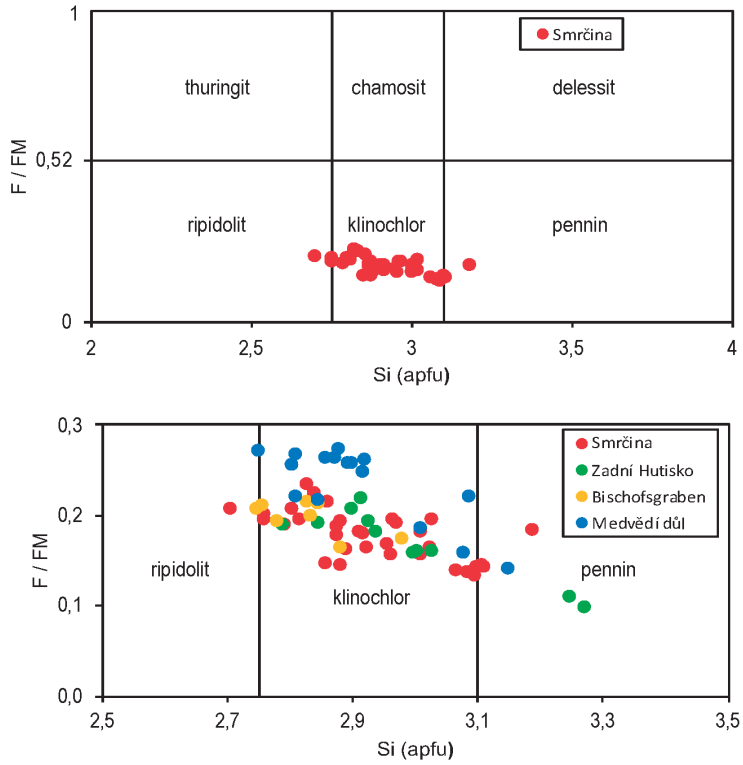


Obr. 8. Jehlice amfibolu v chloriticko-tremolitické břidlici (BSE, šířka snímku 0,29 mm, foto P. Gadas).
Fig. 8. Amphibole needles in chlorite-tremolite schist (BSE, width of the photo 0.29 mm, photo P. Gadas).



Obr. 9. Vápenaté amfiboly z lokality Smrčina a dalších krupníkových těles sobotínského masivu v klasifikačním diagramu podle Leakeho (1978).

Fig. 9. Calcic amphiboles from the locality Smrčina and other soapstone bodies of the Sobotín Massif in classification diagram by Leake (1978).



Obr. 10. Chlority z lokality Smrčina a dalších krupníkových těles sobotínského masivu v klasifikačním diagramu podle Melky (1965).

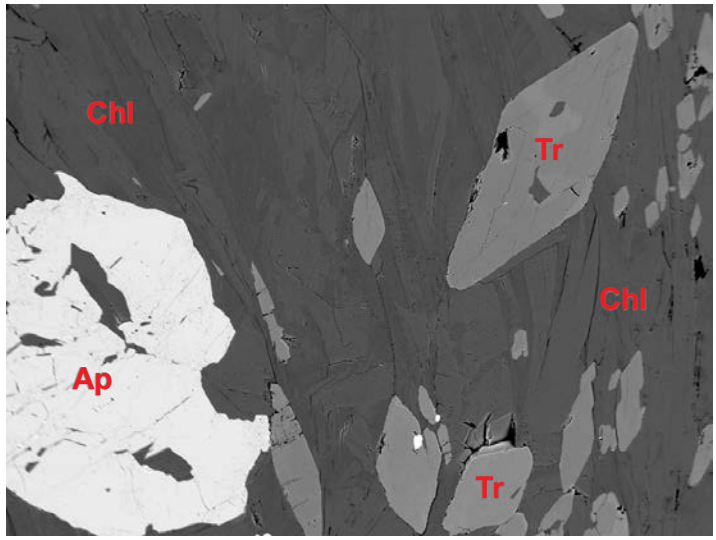
Fig. 10. Chlorites from the locality Smrčina and other soapstone bodies of the Sobotín Massif in classification diagram by Melka (1965).

4) Anchimonominerální ***Chl-břidlice*** a také Tr-Chl-břidlice jsou horniny tmavě zelené až černozelené barvy s výraznými foliačními plochami. Typické Chl-břidlice mají lepidoblastickou strukturu, jsou tvořeny jemně šupinkovitým chloritem, v němž se místy objevují jeho až 5 mm velké, silně zprohýbané lupínky. Přítomnost větších lupenů chloritu je typická pro Tr-Chl-břidlice. Chlorit je pleochroický (bezbarvý – jemně nazelenalý). Jeho chemické složení (viz tab. 1) odpovídá v klasifikaci MELKY (1965) převážně klinochloru, v některých případech ripidolitu nebo penninu (obr. 10).

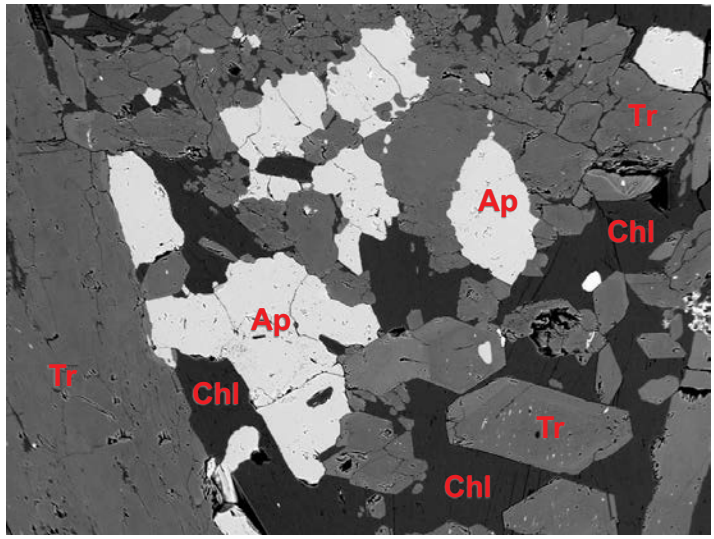
Podstatnou součástí Tr-Chl-břidlic je tmavě zelený až černozelený amfibol, tvořící jehlice nebo stébla. Jeho omezení je převážně hypautomorfní, někdy automorfní (obr. 11 až 13) – na krystalech jsou přítomny plochy tvarů {110} a {010}. Amfibol vykazuje slabý pleochroismus (X = bezbarvý, Z = nazelenalý), úhel zhášení Z/c = 19°. Složení amfibolu odpovídá Ca-amfibolům (tab. 3), podobně jako v Tr-břidlici jde převážně tremolit nebo aktinolit. BSE obraz odhaluje chemickou nehomogenitu, světlejší partie odpovídají amfibolu s vyšším podílem Fe, dominantně jde o Ca-amfibol. Některé amfiboly vykazují výraznou růstovou zonálnost, jejich okrajová zóna má vyšší obsah železa ve srovnání s vnitřkem krystalu (obr. 15 – automorfní průřezy v pravém dolním kvadrantu mají okrajovou zónu bohatší železem, a proto na BSE snímku světlejší). Je možné, že některé v BSE světlejší uzavřeniny v Ca-amfibolu odpovídají cummingtonitu nebo jinému Mg-Fe^{2+}-amfibolu (vzhledem k jejich malým rozměrům nebylo možno provést WDX analýzu, EDX spektrum však ukazuje na jen nízký obsah vápníku).

V horninách krupníkového tělesa je přítomna druhově pestrá asociace akcesorií. V pořadí od nejhojnějších k nejméně zastoupeným jde o fluorapatit, magnetit, ilmenit, rutil, zirkon (těchto pět akcesorií bylo zjištěno ve všech horninových typech), titanit, pyrit, epidot a allanit-(Ce). V akcesorickém množství byl v některých vzorcích hornin bohatých mastkem zastižen křemen v podobě xenomorfních zrn a jejich drobných agregátů; zcela výjimečně může být křemen vedlejší složkou (v Tlc-břidlici).

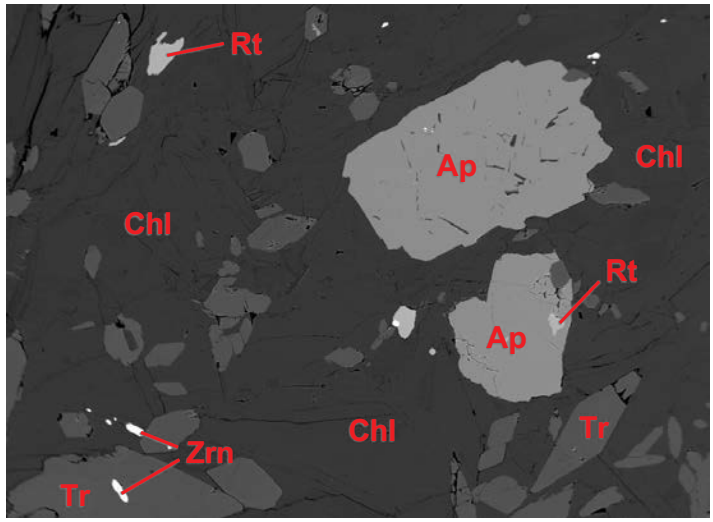
Apatit je nejhojněji přítomen v Tr-Chl a Chl-břidlici. Tvoří šedobílé nebo častěji šedozelené až tmavě zelené šestiboké sloupce, v extrémních případech o délce až 10 cm. Ve výbrusech bývá apatit obvykle v podobě xenomorfních průřezů (obr. 11 a 12), méně často hypautomorfních až automorfních (obr. 13). Výsledky WDX analýz odpovídají fluorapatitu (obsah F je v rozpětí 1,77 až 2,47 hm. %).



Obr. 11. Xenomorfní zrno apatitu v tremoliticko-chloritické břidlici. BSE, šířka snímku 1,49 mm, foto P. Gadas).
Fig. 11. Anhedral apatite grain in tremolite-chlorite schist (BSE, width of the photo 1.49 mm, photo P. Gadas).



Obr. 12. Xenomorfní zrna apatitu a zonální krystaly Ca-amfibolu v tremoliticko-chloritické břidlici. BSE, šířka snímku 1,18 mm, foto P. Gadas).
Fig. 12. Anhedral apatite grains and zoned calcic amphibole crystals in tremolite-chlorite schist (BSE, width of the photo 1.18 mm, photo P. Gadas).



Obr. 13. Apatit, rutil a zirkon v tremoliticko-chloritické břidlici. BSE, šířka snímku 1,49 mm, foto P. Gadas).
Fig. 13. Apatite, rutil and zircon in tremolite-chlorite schist (BSE, width of the photo 1.49 mm, photo P. Gadas).

Magnetit má zpravidla hypautomorfní až automorfní vývin (drobné oktaedry o velikosti zpravidla do 3 mm), zjištěn však byl i v podobě nepravidelných zrn. Běžně se v horninách krupníkového tělesa vyskytují i přes 1 cm velké agregáty složené z velkého počtu magnetitových individuí o velikosti do 0,3 mm. Někdy jde o magnetit-rutilové agregáty, v nichž se oba minerály intimně porůstají (obr. 14). Výsledky reprezentativních WDX ana-

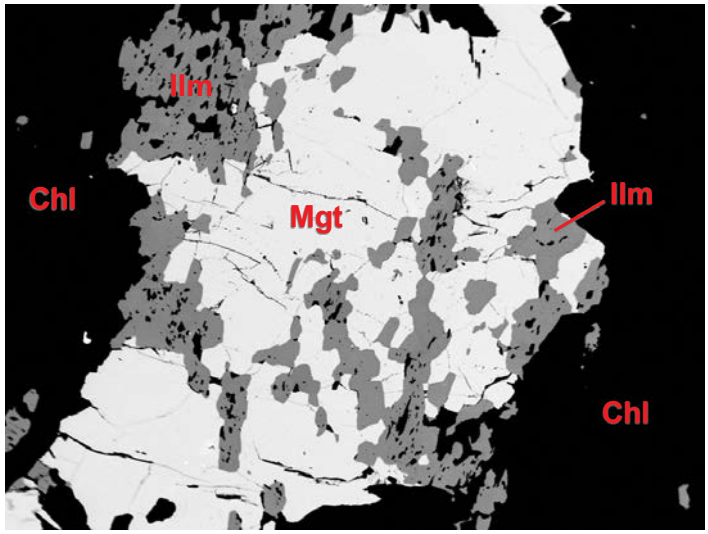
lýz magnetitu jsou uvedeny v tab. 4; v pozici B vždy převažuje Fe^{3+} nad ostatními kationty. Magnetit z krupníku, Tlc-břidlice a Tr-břidlice (a přechodných horninových typů) má zpravidla značný obsah chromu, dosahující až 27,77 hm. % Cr_2O_3, což odpovídá 0,835 apfu Cr (při přepočtu na bázi 4 atomy kyslíku). Pro magnetit z Chl-břidlice je typický jen nízký obsah Cr, řádově v desetinách hm. % Cr_2O_3.

Ilmenit je častou akcesorií břidlic s převahou chloritu nebo amfibolu. Tvoří v nich drobná nepravidelná zrna, někdy s lištovitým průřezem. Z příměsí je v ilmenitu nejhojnější mangan (tab. 5), jehož koncentrace byly stanoveny v relativně úzkém rozpětí od 1,53 do 3,30 hm. % MnO, což odpovídá 0,034 až 0,073 Mn apfu (tj. 3 až 7 % pyrofanitové složky). Často lze pozorovat přeměnu ilmenitu na TiO_2-minerál (obr. 14).

Rutil byl zjištěn v podobě nepravidelných zrn a také prizmatických individuí, umožňujících jeho identifikaci v optickém mikroskopu. Některá jeho zrna jsou patrně produktem přeměny ilmenitu. Nejhojněji je rutil (nebo i jiný TiO_2-minerál) přítomen podobně jako ilmenit v horninách s převahou chloritu nebo amfibolu, relativně časté jsou uzavřeniny rutilu (nebo jiné modifikace TiO_2?) v apatitu (např. obr. 13). Dvěma WDX analýzami rutilu z Ac-Chl-břidlice byla vedle dominantního TiO_2 zjištěna významná příměs FeO (0,55 a 0,58 hm. %), Nb_2O_5 (0,32 a 0,28 hm. %), V_2O_3 (0,15 a 0,17 hm. %) a WO_3 (0,08 a 0,07 hm. %).

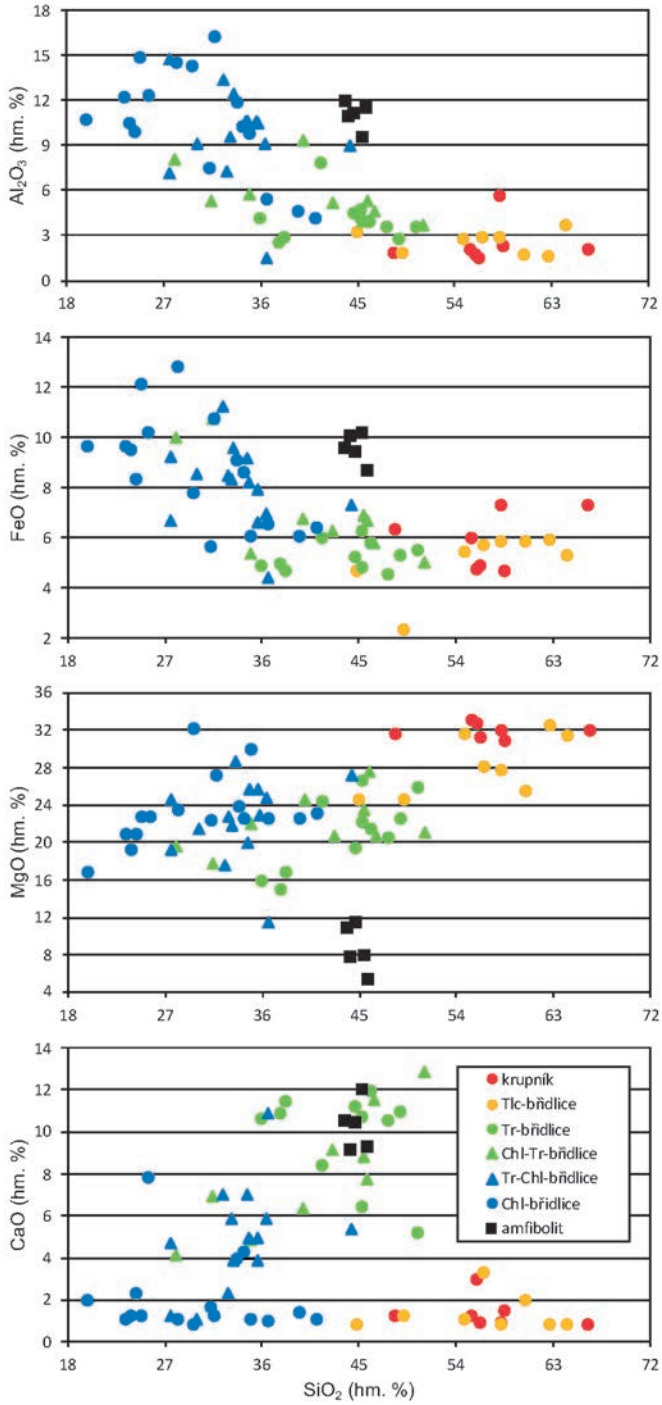
Zirkon je běžnou akcesorií všech horninových typů. Tvoří dlouze protažené krystaly prizmatického typu o velikosti zpravidla pod 0,05 mm (obr. 13). Údaje o chemismu zirkonu jsou uvedeny v tab. 6.

Titanit a ***pyrit*** byly zjištěny pouze v Chl-břidlici a Tr-Chl-břidlici v podobě zcela ojedinělých nepravidelných zrn, pyrit i ve formě drobných hexaedrů, nápadných již makroskopicky. Přítomnost ojedinělých drobných xenomorfních zrn ***epidotu*** byla zaznamenána pouze v jednom z výbrusů z Chl-břidlice. V jiném vzorku Chl-břidlice byl v podobě jediného drobného zrna zjištěn ***allanit-(Ce)***, silně postižený metamiktní přeměnou – výrazná převaha Ce nad La, Nd a dalšími prvky skupiny REY byla prokázána WDX analýzou.



Obr. 14. Magnetit a alterovaný (rutilizovaný?) ilmenit v chloritické břidlici. BSE, šířka snímku 2,60 mm, foto P. Gadas).

Fig. 14. Magnetite and altered (rutilized) ilmenite in chlorite schist (BSE, width of the photo 2.60 mm, photo P. Gadas).



Obr. 15. Harkerův diagram pro horniny krupníkového tělesa a amfibolity z jeho okolí.
Fig. 15. Harker diagram for rocks of the soapstone body and amphibolites from its surroundings.

6.2. CHEMICKÉ SLOŽENÍ HORNIN KRUPNÍKOVÉHO TĚLESA

Petrografická povaha hornin krupníkového tělesa je dána kvantitativním poměrem Tlc, Mgs, Tr a Chl. Rozdíly v chemickém složení těchto čtyř minerálů jsou podstatné, a proto existují i zásadní rozdíly v chemismu čtyř hlavních typů hornin: (1) krupníku, (2) Tlc-břidlice, (3) Tr-břidlice a (4) Chl-břidlice. Výsledky XRF analýz hornin jsou sumarizovány v tab. 7, obsahy hlavních složek jsou vyjádřeny formou Harkerova diagramu (obr. 15). Břidlice přechodného složení obsahující v podstatném množství jak Tr, tak i Chl jsou v tab. 7 a na obr. 15 uvedeny samostatně (Tr-Chl-břidlice a Chl-Tr-břidlice). Z dat v tab. 7 a zejména z obr. 15 je zcela zřejmý postupný pokles obsahu SiO_2 ve směru od centra k okraji krupníkového tělesa: krupník v centru tělesa má v průměru 57,1 hm. % SiO_2. Chl-břidlice 30,3 hm. % SiO_2. Druhou hlavní složkou je MgO, jehož průměrný obsah v horninách tvořených hlavně Chl a Tr je víceméně stálý na úrovni cca 21 až 23 hm. % MgO, v obou Tlc-horninách je výrazně vyšší: v Tlc-břidlici cca 28 hm. % MgO, v krupníku (díky obsahu Mgs) cca 32 hm. % MgO. Obsahy Al_2O_3 a železa (vyjádřeného jako FeO) postupně rostou od centra tělesa k Chl-břidlici. Obsah CaO roste se zvyšujícím se množstvím Tr v hornině. Typickými stopovými prvky krupníkového tělesa jsou Cr a Ni, jejichž nejvyšší koncentrace byly zaznamenány v krupníku a Tlc-břidlici (tab. 7).

7. DISKUZE

Z prostoru sobotínského masivu je známo minimálně deset výskytů krupníku. Pouze čtyři lokality byly podrobně petrograficky a mineralogicky zhodnoceny: Zadní Hutisko a Smrčina (typická krupníková tělesa se symetricky zonální stavbou), Bischofsgraben (malé symetricky zonální těleso, avšak krupníkové jádro nebylo zastiženo) a Medvědí důl (těleso malých rozměrů bez typické symetricky zonální stavby). Proto jsou v následujících odstavcích zmiňovány pouze tyto čtyři lokality, k ostatním nejsou k dispozici data v potřebném rozsahu nebo kvalitě. Petrograficky a mineralogicky jsou si čtyři vybrané lokality značně podobné, pozornost je zaměřena na odlišnosti.

1. Koncentricky zonální stavba krupníkového tělesa na lokalitě Smrčina byla popsána již Kretschmerem (1911). Na základě nově zjištěných poznatků o povaze Ca-amfibolu v horninách tohoto tělesa lze jeho zonálnost ve směru od středu k okraji vyjádřit sledem těchto zón: krupník – mastková břidlice – tremolitická břidlice – chloritická břidlice. Pozice Ca-amfibolu v klasifikačním diagramu (Leake 1978) je zřejmá z obr. 9, v němž jsou vyznačeny výsledky bodových analýz, které nemusí reprezentovat složení celého zrna. Mnohá individua Ca-amfibolu totiž vykazují výraznou chemickou zonálnost – okrajová zóna má vyšší obsah Fe ve srovnání s vnitřními partiemi jedince. I když pro pozici amfibolu v řadě tremolit-ferroaktinolit má zásadní význam Fe^{2+} (a ne celkové Fe), odpovídá složení okrajové zóny někdy skutečně aktinolitu. Pokud bychom alespoň přibližně vyčíslili průměrnou hodnotu $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ celého individua, pak by šlo nejspíše o tremolit. Novotný (1949) a Dostál (1965) uvádí výsledky dvou chemických analýz „aktinolitu“ ze Smrčiny, provedených na mokré cestě (tj. s analytickým stanovením FeO a Fe_2O_3), z nichž vypočtený poměr $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ je v obou případech 0,91, což odpovídá tremolitu v Leakeho klasifikaci. Lze tedy tvrdit, že aktinolitické břidlice se v krupníkovém tělese na Smrčině nevyskytují vůbec nebo jen zcela lokálně. Podobná situace je i na lokalitě Zadní Hutisko. Významné zastoupení aktinolitu je však v horninách krupníkového tělesa na nalezišti Bischofsgraben a zejména v Medvědím dole (obr. 9).

2. Podstatnou součástí krupníků sobotínského masivu je karbonát. Na lokalitách Zadní Hutisko a Medvědí důl jde o dolomit (např. Kretschmer 1911, Zimák *et al.* 2017, Zimák a Juránková 2018a), na lokalitě Bischofsgraben o magnezit (Zimák a Juránková 2018b). V případě krupníku a také Tlc-břidlice z lokality Smrčina lze konstatovat, že jediným zde zjištěným karbonátem je magnezit. Na jeho výskyt upozornil již Novotný (1997a, b, c), ve třech víceméně identických článcích je však výsledek EDX analýzy magnezitu prezentován

chybně. Přítomnost dolomitu uváděného ze Smrčiny na základě hodnocení výbrusů v optickém mikroskopu (např. KRETSCHMER 1911, ZIMÁK a NOVOTNÝ 2002b) nebyla EDX a WDX analýzami prokázána!

3. Chemismus chloritů všech čtyř srovnávaných krupníkových těles odpovídá v klasifikaci podle WIEWIÓRY a WEISSE (1990) klinochloru, v klasifikaci MELKY (1965) jde převážně o klinochlor, ojediněle o pennin a ripidolit (obr. 10). Chemismus chloritů je velmi podobný, z obr. 10 je však zřejmé, že chlority z Medvědího dolu někdy mají vyšší obsahy Fe ve srovnání s chlority z ostatních lokalit.

4. Za nejtypičtější akcesorie hornin krupníkových těles lze na všech čtyřech lokalitách považovat minerály ze skupiny spinelidů, konkrétně magnetit nebo chromit. Na Smrčině byl zjištěn pouze magnetit – v krupníku, Tlc–břidlici a Tr–břidlici s vysokým obsahem chromu (až cca 28 % Cr_2O_3), a naopak s nízkou příměsí chromu v Chl–břidlici (0,X hm. % Cr_2O_3). Rovněž na Zadním Hutisku jsou spinelidy zastoupeny pouze magnetitem, zde obsahujícím do 10 hm. % Cr_2O_3, v jádru magnetitových zrn bývá příměs chromu i výrazně vyšší (nejde však o chromit). V Medvědím dole jsou spinelidy reprezentovány jak magnetitem (s max. 7 hm. % Cr_2O_3), tak i chromitem (46 až 48 hm. % Cr_2O_3). Na lokalitě Bischofsgraben byl ze spinelidů zjištěn pouze chromit (55 až 59 hm. % Cr_2O_3). Chromit lze v horninách krupníkových těles považovat za reliktní minerál pocházející z protolitu, jímž byl v případě Medvědího dolu zcela evidentně hornblendit, u ostatních lokalit je povaha protolitu nejasná.

5. Geneze velkých ložisek krupníku nebo mastkové břidlice je často vysvětlována přeměnou ultramafitů oceánské kůry, začleněných jako součást ofiolitových komplexů do kontinentálních struktur. Protolitem jsou peridotity, které byly postiženy serpentinizací, po níž následovala Si–metasomatóza, jejímž hlavním produktem je mastek. Přítomnost CO_2 v roztocích vyvolávajících steatitizaci vedla ke tvorbě magnezitu, a tedy ke vzniku biminerální asociace mastek + magnezit, typické pro krupník. V ofiolitových komplexech dochází v průběhu metamorfózy ke vzniku reakčních zón podél kontaktu fragmentů plášťových hornin (harzburgity, lherzolity, serpentinity) s korovými horninami bohatými křemenem (např. pelity a metapelity). Výsledkem látkové migrace je ultramafit lemovaný zónou mastku a následně zónou složenou z chloritu nebo biotitu (v závislosti na termodynamických podmínkách).

Podstatné je, že uzavřeniny ultramafitů v metapelitech někdy mají symetrickou zonálnost připomínající stavbu krupníkových těles sobotínského masivu: serpentinitové jádro uzavřeniny je lemováno monominerální zónou mastku, po níž následuje zóna aktinolitu, okraj tělesa má charakter chloritické nebo biotitické břidlice. Na jiných lokalitách je jádro tvořeno pouze krupníkem, pak následuje zóna aktinolitu a vnější zóna charakteru chloritické nebo biotitické břidlice. Podrobně stavbu krupníkových těles a procesy jejich vzniku popisuje např. DONALDSON (1981), WINTER (2001), DILL (2010), BUCHER a GRAPES (2011), ALI-BIK *et al.* (2012) a HARVEY *et al.* (2014).

KRETSCHMER (1911) považuje krupníková tělesa 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). V případě lokality Smrčina je povaha protolitu nejasná. Na haldách pod lomem jsou relativně hojné fragmenty metahornblenditů, zcela výjimečně zde byl nalezen i serpentinit. Pod vlivem údajů v literatuře citované v předcházejícím odstavci lze o peridotitu uvažovat jako možném protolitu. Ojedinělá tělesa serpentinitů jsou součástí sobotínského masivu (FIALA *et al.* 1980, ZIMÁK 1999), jejich předpokládané rozměry rámcově odpovídají krupníkovému tělesu na Smrčině. Lze koncentrickou zonálnost krupníkového tělesa na Smrčině považovat za výsledek výměnných reakcí mezi ultramafitem a okolními amfibolity nebo rulami? Pokud ano, mohlo dojít k vytvoření reakčních zón v průběhu variské metamorfózy? Odpověď na tyto a další otázky by mohl dát detailní geochemický a petrologický výzkum, jehož realizace však není v možnostech autorů tohoto článku.

8. ZÁVĚR

Krupníkové těleso na lokalitě Smrčina v sobotínském masivu má výraznou koncentricky zonální stavbu. Ve směru od centra k okraji lze rozlišit čtyři hlavní typy hornin: krupník (asociace mastek + magnezit) – mastková břidlice – tremolitická břidlice – chloritická břidlice (mezi uvedenými typy existují přechodné zóny). Chemické složení amfibolů odpovídá převážně tremolitu, méně často aktinolitu nebo magneziohornblendu. Kromě Ca–amfibolů je přítomen cummingtonit. Složení chloritu odpovídá klinochloru. Nejběžnějšími akcesoriemi hornin krupníkového tělesa jsou fluorapatit, magnetit (často s vysokou příměsí chromu), ilmenit, rutil a zirkon. Geneze krupníkového tělesa zůstává zejména v detailech nejasná. Jeho protolitem by mohl být peridotit, zonální stavbu krupníkového tělesa lze považovat za výsledek výměnných reakcí mezi ním a okolními horninami nejspíše během variské metamorfózy.

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.

Dostál, J. (1965): Mineralogické a chemické studium aktinolitu ze Sobotína. – *Acta Universitatis Carolinea, Geologica*, 1965, 3, 175–188.

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.

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.

Jelínek, E., Souček, J., 1981: Geochemie jesenického a sobotínského amfibolitového masivu. – *Acta Universitatis Carolinea*, *Geologica*, 1981, 379–411.

Košuličová, M., Štípská, P., 2007: Variations in the transient prograde geothermal gradient from chloritoid–staurolite equilibria: a case study from the Barrovian and Buchan–type domains in the Bohemian Massif. – *Journal of metamorphic Geology*, 25, 19–35.

Klement, K., 1974: Krupník na Sobotínsku. – *Severní Morava*, 28, 58–59.

Koverdynský, B., 1993: Geologické problémy silezika. In: Přichystal, A., Obstová, V., Suk, M. (eds.): Geologie Moravy a Slezska, 31–40. Moravské zemské muzeum a Sekce geologických věd PřF MU Brno.

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

Kruťa, 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.

Nepejchal, M., 2000: Výskyt krupníku v Sobotíně a Vernířovicích. – *Minerál*, 8, 4, 313–314.

Novotný, M., 1949: O chemismu a fysikálních vlastnostech některých moravských amfibolů. – *Práce Moravsko-slezské akademie věd přírodních*, XXI, 10, 1–24.

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., 2003: Současný stav některých mineralogických lokalit u Sobotína. Výsledky programového projektu Ministerstva kultury ČR v letech 1997–1998. – *Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci*, 279, 20–55.

Novotný, P., 2007: Mineralogické poměry okolí Sobotína. – *Minerál*, 15, 4, 346–351.

Opletal, M., Koverdynský, B., Holásek, O., Růžička, M., 1996: Geologická mapa ČR. List 14–42 Rýmařov. Český geologický ústav, Praha.

Opletal, M., Sekyra, J., Novák, M., 1997: Geologická mapa ČR. List 14–24 Bělá pod Pradědem. Český geologický ústav, Praha.

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

Pouba, Z., 1971: Acid rocks at the contacts of basic and ultrabasic intrusions with biotite gneisses (Vysoký Jeseník Mts., Czechoslovakia). – *Acta Universitatis Carolinea, Geologica, Hejtman Vol.*, 1971, 123–139.

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.

Schulmann, K., Oliot, E., Košuličová, M., Montigny, R., Štípská, P., 2014: Variscan thermal overprints exemplified by U–Th–Pb monazite and K–Ar muscovite and biotite dating at the eastern margin of the Bohemian Massif (East Sudetes, Czech Republic). – *Journal of Geosciences*, 59, 389–413.

Souček, J., 1981: Geochemie devonských metabazitů Hrubého a Nízkého Jeseníku. – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 26, 2, 125–142.

Šafář, J. *et al.*, 2003: Olomoucko. In: Mackovčin, P., Sedláček, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VI. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha.

Wiewióra, A., Weiss, Z., 1990: Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified systems of projection of chemical composition: II. The chlorite group. – *Clay Minerals*, 25, 83–92.

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*, 24, 97–102.

Zimák, J., Juránková, Z., 2018a: Petrografie a mineralogie krupníkového tělesa na lokalitě Zadní Hutisko u Vernířovic (Hrubý Jeseník). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 25, 1–2, 97–107.

Zimák, J., Juránková, Z., 2018b: Petrografie a mineralogie krupníkového tělesa na lokalitě Bischofsgraben u Sobotína (Hrubý Jeseník). – *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 103, 1, 3–16.

Zimák, J., Novotný P., 2002a: Lokalita č. 15: Vernířovice – Zadní Hutisko. Metamorfovaná ultrabazika sobotínského masivu. In: Zimák, J., Novotný, P., Fojt, B., Novák, M., Vávra, V., Kopa, D., Losos, Z., Prinzová, E., Skácel, J.: Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, 57–60. Vydavatelství UP Olomouc.

Zimák, J., Novotný P., 2002b: Lokalita č. 7: Sobotín – Smrčina. Metamorfovaná ultrabazika sobotínského masivu. In: Zimák, J., Novotný, P., Fojt, B., Novák, M., Vávra, V., Kopa, D., Losos, Z., Prinzová, E., Skácel, J.: Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, 28–31. Vydavatelství UP Olomouc.