

MINERALOGIE OCELLÁRNÍCH KŘEMENNÝCH MONZODIORITŮ ŽULOVSKÉHO PLUTONU

MINERALOGY OF OCELLAR QUARTZ MONZODIORITES OF THE ŽULOVÁ PLUTON

JIRÍ ZIMÁK

Abstract

Zimák, J., 2017: Mineralogie ocellárních křemenných monzodioritů žulovského plutonu. – Acta Mus. Morav., Sci. Geol., 103, 1, 43–58 (with English summary).

Mineralogy of ocellar quartz monzodiorites of the Žulová Pluton

Two main rock types can be distinguished in the Variscan Žulová Pluton at the NE margin of the Bohemian Massif: 1) biotite granites (dominate), and 2) biotite or amphibole-biotite granodiorites. Small dioritoide and gabbroide bodies occur along the margin of the pluton. The aim of the paper is petrographical and mineralogical description of quartz monzodiorite with a macroscopically well-developed ocellar texture from four localities at the SE margin of the Žulová Pluton. Quartz monzodiorite with titanite-centered light ocelli consist of plagioclase, K-feldspar, quartz, biotite and amphibole as major phases. Leucocratic ocelli essentially contain feldspars and quartz, minor biotite and amphibole is present. Anhedral titanite crystal always occurs at the core of the ocellus. The compositions of plagioclase, biotite and amphibole occurring in the ocelli and in the matrix outside the ocelli are identical in terms of major element values. The plagioclase compositions plot in the field of oligoclase and andesine (An_{24-46}). Biotite can be classified as annite. Amphiboles correspond from ferrohornblende to ferrohornblende/magnesiohornblende. Minor accessory minerals include apatite, ilmenite, allanite-(Ce), and zircon, as well as pyrrhotite and molybdenite. Alteration minerals include clay minerals, white mica (sericite), chlorite (clinochlore), and epidote. The studied rocks can be regarded as typical hybrid rocks. Generally, the titanite-centered ocellar texture is a rarely observed texture from magma mixing and mingling zones (e.g., GOGOI *et al.* 2017).

Key words: Žulová Pluton, quartz monzodiorite, titanite-centered ocellar texture, mingling, amphibole, biotite, allanite

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

1. ÚVOD

Ocellární struktura představuje výjimečný typ stavby intruzivních hornin. Charakteristickým znakem hornin s ocellární strukturou je přítomnost ocelli, tj. kulovitých nebo vejčitých útvarů o velikosti od několika mm do několika cm (např. WINTER 2001). Nerostné složení ocelli a vnitřní struktura závisí na procesech jejich formování. Vznik některých ocelli může souviset s nemísitelností silikátových tavenin rozdílného složení, vytvořených diferenciačním procesem z původně homogenního magmatu. Jiné mohou představovat výplň pórů (a jde tedy o „mandle“). Další mohou být výsledkem procesu zvaného „magma mingling“ (český termín dosud neexistuje), kdy dochází k nedokonalému mechanickému smísení dvou látkově odlišných magmat, přičemž jedna z těchto tavenin vytvoří drobné útvary („velké kapky“) v té druhé. Proto může mít studium ocellárních struktur zásadní význam pro poznání magmatických procesů (VEGAS *et al.* 2011, GOGOI *et al.* 2017).

2. STRUČNÁ PETROGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ŽULOVSKÉHO PLUTONU

Žulovský pluton je tělesem s výraznou převahou granitoidů, v rámci nichž dominují biotitické granity (monzogranit převažuje nad syenogranitem), relativně hojné jsou granodiority, jen sporadicky se vyskytují tonality a alkalicko-živcové granity (např. JEDLIČKA 1997, ZACHOVALOVÁ *et al.* 2002). Lokálně jsou v žulovském plutonu přítomny horniny ze skupiny dioritoidů, ŽÁČEK *et al.* (1995, 2003) označované jako amfibol-biotitický křemenný diorit, podle JEDLIČKY (1997) jde i o monzodiorit a křemenný monzodiorit. Ojedinele se v granitoidech a dioritoidech žulovského plutonu vyskytují enklávy gabroidních hornin. Pluton místy obsahuje značné množství xenolitů rul v různém stupni migmatitizace, erlanů a mramorů, časté jsou výskyty skarnů.

Mapující geologové byli schopni v prostoru žulovského plutonu rozlišit několik typů granitoidů (viz POUBA *et al.* 1962, též SVOBODA *et al.* 1964): Dominantní horninou plutonu je biotitický granit, označovaný jako žulovský granit nebo „hlavní žula“ („Hauptgranit“ německy pišících autorů). Kromě „hlavní žuly“ je v plutonu přítomna i „okrajová žula“ („Randgranit“), pro niž je charakteristická výrazná převaha K-živce nad plagioklasem (ve Streckeisenově klasifikaci jde o alkalicko-živcový granit až syenogranit). Bazičtější granitoidy jsou podle citovaných autorů zastoupeny biotitickým granodioritem, makroskopicky nerozlišitelným od „hlavní žuly“ (poměrem alkalický živec versus plagioklas tato hornina odpovídá granitu až granodioritu ve Streckeisenově klasifikaci).

LAURENT *et al.* (2014) na základě litologie rozlišuje v žulovském plutonu čtyři hlavní typy hornin: biotitický granit (středně zrnitý, 4–7 obj. % Bt, jde o dominantní horninu plutonu), granodiorit typu Starost (jemnozrný, 7–12 obj. % Bt, vyskytuje se jen v okolí Žulové), tmavý granodiorit (jemnozrný až středně zrnitý, 8–14 obj. % Bt, 4–11 obj. % Hbl, zjištěn podél západního okraje plutonu) a křemenný monzodiorit až monzogabro (tvoří enklávy v biotitickém granitu).

Tento článek se zabývá křemennými monzodiority s ocellární strukturou, vystupujícími při jihovýchodním okraji žulovského plutonu. Jejich ocelli mají střed tvořený titanitem, kolem něj je lem složený ze světlých minerálů. Tyto horniny zmiňuje z okrajové části plutonu již POUBA *et al.* (1962) a SVOBODA *et al.* (1964). V citovaných publikacích jsou označovány jako křemenné diority skvrnitého vzhledu (s vysokým obsahem titanitu). Podle citovaných autorů není jasné, zda jde o xenolity nebo samostatné intruze. Mikroskopická charakteristika těchto hornin (stručná, ale velmi kvalitně zpracovaná) je součástí elektronické přílohy k publikaci LAURENTA *et al.* (2014), kde lze najít také údaje o celkovém chemismu hornin i o složení horninotvorných minerálů. Práce LAURENTA *et al.* (2014) je zaměřena hlavně na geochronologii žulovského plutonu. Na základě výsledků U-Pb zirkonového datování (LA-ICP-MS) lze intruze tavenin, z nichž vznikl „hlavní“ granit a křemenný monzodiorit, považovat za synchronní (prakticky shodné výsledky 291 ± 5 Ma a 292 ± 4 Ma - viz LAURENT *et al.* 2014).

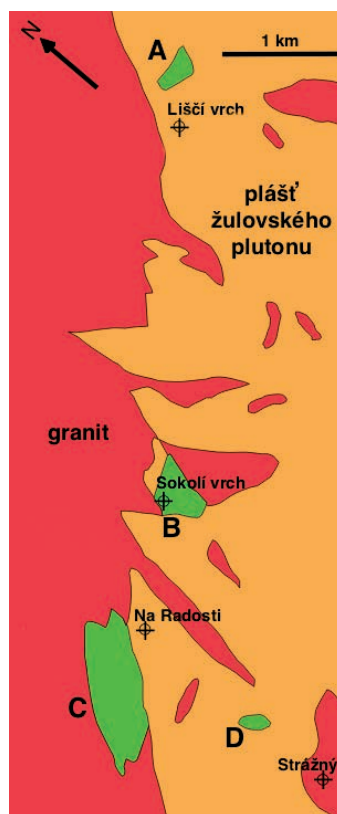
3. VZORKY A METODY

Během terénních prací prováděných v prostoru žulovského plutonu bylo na čtyřech výskytech dioritoidních hornin s makroskopicky výraznými světlými skvrnami (ocelli) odebráno cca 60 vzorků. Na obr. 1 jsou tyto výskyty označeny písmeny A, B, C a D, v textu článku jsou pojmenovány podle nejbližších kót: A = Liščí vrch, B = Sokolí vrch, C = Na Radosti, D = Strážný. Na všech čtyřech výskytech jsou dioritoidy hojně přítomny v podobě fragmentů různých rozměrů, včetně mohutných bloků, na Lišším vrchu je dioritoidové těleso otevřeno malým stěnovým lomem (již dlouho opuštěným).

Ze vzorků reprezentujících všechny čtyři výskyty křemenných monzodioritů s ocelární strukturou byly J. Povolným (PřF MU Brno) a J. Zbirovským (URGA Olomouc) zhotoveny leštěné výbrusy, které byly vyhodnoceny v procházejícím i odraženém světle za použití standardního polarizačního mikroskopu.

Chemické složení vybraných minerálů bylo studováno metodou WDX pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (analytik P. Gadas, PřF MU Brno). Výsledky reprezentativních WDX analýz biotitu, chloritu, amfibolů, titanitu a allanitu-(Ce) jsou uvedeny v tab. 1 až 5. V případě amfibolů byly hodnoty apfu vypočteny na bázi 23 atomů kyslíku, poměr mezi Fe^{3+} a Fe^{2+} byl kalkulován na základě $T + C = 13$. Podmínky, za nichž byly provedeny WDX analýzy jednotlivých minerálů, může na požádání sdělit autor článku.

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 podrobně popisuje ZIMÁK *et al.* 2016).



Obr. 1. Zjednodušené geologické schéma jihovýchodního okraje žulovského plutonu. Upraveno na základě mapy ČGÚ v měřítku 1 : 50 000 (ŽÁČEK *et al.* 1995). Tělesa křemenných monzodioritů jsou zelená (A = Liščí vrch, B = Sokolí vrch, C = Na Radosti, D = Strážný).

Fig. 1. Simplified geological sketch of the SE margin of the Žulová Pluton. Adopted from Czech Geological Survey map 1 : 50 000 (ŽÁČEK *et al.* 1995). Quartz monzodiorite bodies are green (A = Liščí vrch, B = Sokolí vrch, C = Na Radosti, D = Strážný).

Tab. 1. Reprezentativní WDX analýzy biotitu (hm. %, apfu); b.d. = pod mezi detekce.

Tab. 1. Representative WDX analyses of biotite (wt. %, apfu); b.d. = below detection.

lokalita anal. č.	Liščí vrch		Sokolí vrch		Na Radosti		Strážný	
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	35,32	35,57	36,71	36,58	36,43	36,90	36,23	36,58
TiO ₂	4,09	4,12	3,37	3,66	4,27	3,30	3,96	4,02
Al ₂ O ₃	14,39	13,90	14,76	14,99	14,38	15,00	14,71	14,66
Cr ₂ O ₃	0,07	b.d.	0,04	0,01	b.d.	0,02	0,05	0,02
V ₂ O ₃	0,07	0,08	0,06	0,04	0,07	0,05	0,04	0,06
BaO	0,89	0,15	0,22	0,32	0,40	0,26	0,32	0,28
CaO	0,07	0,02	0,13	0,06	0,10	0,17	0,08	0,06
FeO	23,30	25,48	22,81	23,11	22,90	23,20	22,03	23,17
MgO	8,04	6,55	8,79	8,58	8,66	8,83	8,75	8,30
MnO	0,32	0,33	0,25	0,26	0,31	0,30	0,35	0,34
SrO	b.d.	b.d.	b.d.	0,03	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
NiO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	0,02	b.d.	0,03
PbO	0,10	b.d.	0,01	b.d.	0,18	0,01	0,19	b.d.
ZnO	0,05	0,02	0,03	0,05	b.d.	b.d.	0,04	0,04
K ₂ O	9,17	9,44	9,30	9,03	9,31	8,97	9,46	9,24
Na ₂ O	0,19	0,05	0,01	0,08	0,08	0,06	0,18	0,09
F	0,36	0,28	0,35	0,38	0,35	0,31	0,45	0,34
Cl	0,13	0,12	0,10	0,12	0,10	0,08	0,09	0,07
O=F	-0,15	-0,12	-0,15	-0,60	-0,15	-0,13	-0,19	-0,14
O=Cl	-0,07	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
suma	96,51	95,97	96,77	97,11	97,41	97,33	96,72	97,14
Si ⁴⁺	2,746	2,793	2,806	2,788	2,781	2,803	2,776	2,793
Ti ⁴⁺	0,239	0,243	0,194	0,210	0,245	0,188	0,228	0,231
Al ³⁺	1,319	1,287	1,330	1,346	1,294	1,343	1,328	1,319
Cr ³⁺	0,004	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,003	0,001
V ³⁺	0,004	0,005	0,004	0,002	0,004	0,003	0,002	0,004
Ba ²⁺	0,027	0,005	0,007	0,010	0,012	0,008	0,010	0,008
Ca ²⁺	0,006	0,002	0,011	0,005	0,008	0,014	0,007	0,005
Fe ²⁺	1,515	1,673	1,458	1,473	1,462	1,474	1,411	1,480
Mg ²⁺	0,932	0,767	1,002	0,975	0,985	1,000	0,999	0,945
Mn ²⁺	0,021	0,022	0,016	0,017	0,020	0,019	0,023	0,022
Sr ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,002
Pb ²⁺	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000
Zn ²⁺	0,003	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,002	0,002
K ⁺	0,910	0,946	0,907	0,878	0,907	0,869	0,925	0,900
Na ⁺	0,029	0,008	0,001	0,012	0,012	0,009	0,027	0,013
F ⁻	0,089	0,070	0,085	0,092	0,084	0,074	0,109	0,082
Cl ⁻	0,040	0,016	0,013	0,015	0,013	0,010	0,012	0,009
O ²⁻	10,872	10,914	10,902	10,893	10,903	10,915	10,879	10,909

Tab. 2. Reprezentativní WDX analýzy chloritu (hm. %, apfu).

Tab. 2. Representative WDX analyses of chlorite (wt. %, apfu).

lokalita anal. č.	Liščí v. 9	Sokolí v. 10	Strážný 11
SiO ₂	26,00	25,58	25,98
TiO ₂	0,07	0,07	0,02
Al ₂ O ₃	20,01	19,95	20,19
Cr ₂ O ₃	0,01	0,03	0,02
V ₂ O ₃	0,04	0,04	0,01
FeO	29,60	30,03	29,27
MgO	11,57	11,56	11,12
MnO	0,55	0,60	0,61
NiO	0,02	0,01	0,01
ZnO	0,01	0,03	0,05
PbO	0,00	0,00	0,02
CaO	0,03	0,10	0,11
K ₂ O	0,09	0,01	0,01
Na ₂ O	0,00	0,04	0,00
F	0,01	0,00	0,00
Cl	0,00	0,01	0,01
O=F	-0,00	-0,00	-0,00
O=Cl	-0,00	-0,00	-0,00
suma	88,01	88,06	87,43
Si ⁴⁺	2,797	2,762	2,809
Ti ⁴⁺	0,006	0,006	0,002
Al ³⁺	2,537	2,539	2,573
Cr ³⁺	0,001	0,003	0,002
V ³⁺	0,003	0,003	0,001
Fe ²⁺	2,663	2,712	2,647
Mg ²⁺	1,856	1,861	1,793
Mn ²⁺	0,050	0,055	0,056
Ni ²⁺	0,002	0,001	0,001
Zn ²⁺	0,001	0,002	0,004
Pb ²⁺	0,000	0,000	0,001
Ca ²⁺	0,003	0,012	0,013
K ⁺	0,012	0,001	0,001
Na ⁺	0,000	0,008	0,000
F ⁻	0,003	0,000	0,000
Cl ⁻	0,000	0,002	0,002
O ²⁻	13,997	13,998	13,998

Tab. 3. Reprezentativní WDX analýzy amfibolů (hm. %, apfu); b.d. = pod mezi detekce.

Tab. 3. Representative WDX analyses of amphiboles (wt. %, apfu); b.d. = below detection.

lokalita anal. č.	Liščí vrch		Sokolí vrch		Na Radosti		Strážný	
	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	47,98	45,02	48,94	45,11	44,91	45,52	44,76	44,98
TiO ₂	0,88	1,29	0,68	1,35	1,19	1,29	1,35	1,37
P ₂ O ₅	0,05	b.d.	0,09	b.d.	0,01	b.d.	0,01	b.d.
Al ₂ O ₃	5,79	8,38	5,61	8,40	8,59	8,10	8,65	8,29
Cr ₂ O ₃	0,09	b.d.	0,05	0,02	0,08	0,01	0,02	0,02
V ₂ O ₃	0,04	0,04	0,07	0,06	0,04	0,07	0,07	0,07
Fe ₂ O ₃	2,00	1,52	0,40	1,19	1,85	3,06	1,57	1,14
FeO	17,53	20,37	18,19	18,82	18,21	17,18	17,98	19,04
MgO	9,96	7,37	10,28	8,45	8,77	9,11	8,84	8,53
MnO	0,51	0,67	0,53	0,49	0,56	0,51	0,72	0,52
NiO	0,02	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,02	b.d.	b.d.
CaO	12,02	11,64	11,91	11,66	11,69	11,49	11,74	11,73
ZnO	0,08	0,03	0,07	0,08	0,06	0,02	0,08	0,04
K ₂ O	0,54	0,94	0,57	0,95	0,93	0,88	0,91	0,99
Na ₂ O	0,52	1,00	0,78	0,98	1,29	1,12	1,11	1,17
F	0,21	0,17	0,24	0,20	0,20	0,20	0,28	0,18
Cl	0,05	0,07	0,04	0,09	0,04	0,07	0,06	0,04
O=F	-0,09	-0,07	-0,10	-0,08	-0,08	-0,08	-0,12	-0,08
O=Cl	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01
suma	98,17	98,41	98,34	97,74	98,32	98,55	98,02	98,02
Si ⁴⁺	7,159	6,833	7,265	6,835	6,770	6,817	6,757	6,814
Ti ⁴⁺	0,099	0,147	0,076	0,154	0,135	0,145	0,153	0,156
P ⁵⁺	0,006	0,000	0,011	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Al ³⁺	1,018	1,499	0,981	1,500	1,526	1,430	1,539	1,148
Cr ³⁺	0,011	0,000	0,006	0,002	0,010	0,001	0,002	0,002
V ³⁺	0,005	0,005	0,008	0,007	0,005	0,008	0,008	0,009
Fe ³⁺	0,225	0,173	0,045	0,135	0,209	0,344	0,179	0,130
Fe ²⁺	2,187	2,585	2,258	2,385	2,296	2,152	2,269	2,412
Mg ²⁺	2,215	1,668	2,275	1,909	1,971	2,034	1,989	1,926
Mn ²⁺	0,064	0,086	0,067	0,063	0,071	0,065	0,092	0,067
Ni ²⁺	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Ca ²⁺	1,921	1,893	1,894	1,893	1,888	1,844	1,899	1,904
Zn ²⁺	0,009	0,003	0,008	0,009	0,007	0,002	0,009	0,004
K ⁺	0,103	0,182	0,108	0,184	0,179	0,168	0,175	0,191
Na ⁺	0,150	0,294	0,224	0,288	0,377	0,325	0,325	0,344
F ⁻	0,099	0,082	0,113	0,096	0,095	0,095	0,134	0,086
Cl ⁻	0,013	0,018	0,010	0,023	0,010	0,018	0,015	0,010
O ²⁻	22,888	22,900	22,877	22,881	22,894	22,888	22,851	22,903

Tab. 4. Reprezentativní WDX analýzy titanitu (hm. %, apfu); b.d. = pod mezi detekce.

Tab. 4. Representative WDX analyses of titanite (wt. %, apfu); b.d. = below detection.

lokalita anal. č.	Liščí vrch		Sokolí vrch		Na Radosti		Strážný
	20	21	22	23	24	25	26
SiO ₂	30,74	30,37	30,49	31,03	31,05	30,62	30,32
TiO ₂	35,89	35,26	35,36	36,22	36,47	36,08	35,37
SnO ₂	0,03	0,06	0,02	0,02	b.d.	0,04	0,03
ZrO ₂	0,04	0,14	0,07	0,08	0,08	0,15	0,16
ThO ₂	b.d.	0,06	0,05	0,01	b.d.	0,10	0,07
Al ₂ O ₃	1,53	1,44	1,78	1,79	1,38	1,50	1,59
Fe ₂ O ₃	1,08	1,00	1,20	0,51	0,71	1,04	1,04
La ₂ O ₃	0,02	0,03	0,05	b.d.	0,08	0,08	0,07
Ce ₂ O ₃	0,34	0,49	0,22	0,03	0,34	0,37	0,64
Pr ₂ O ₃	0,12	0,07	0,15	0,02	0,02	0,16	0,08
Nd ₂ O ₃	0,18	0,25	0,13	0,03	0,36	0,20	0,59
Y ₂ O ₃	0,03	0,02	b.d.	b.d.	b.d.	0,03	0,18
Nb ₂ O ₅	0,41	0,89	0,20	0,14	0,27	0,58	1,06
Ta ₂ O ₅	0,11	b.d.	0,02	0,03	0,07	0,01	0,07
MgO	0,01	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	27,70	27,65	28,05	28,59	27,87	28,20	27,40
K ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,02	b.d.	b.d.
Na ₂ O	0,01	0,02	b.d.	b.d.	0,04	0,02	0,02
F	0,40	0,31	0,35	0,38	0,37	0,31	0,26
O=F	-0,17	-0,13	-0,15	-0,16	-0,16	-0,13	-0,11
suma	98,47	97,93	97,99	98,72	98,97	99,36	98,84
Si ⁴⁺	1,020	1,017	1,017	1,022	1,024	1,011	1,011
Ti ⁴⁺	0,895	0,888	0,887	0,897	0,905	0,896	0,887
Sn ⁴⁺	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Zr ⁴⁺	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
Th ⁴⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Al ³⁺	0,060	0,057	0,070	0,069	0,054	0,058	0,062
Fe ³⁺	0,027	0,025	0,030	0,013	0,018	0,026	0,026
La ³⁺	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Ce ³⁺	0,004	0,006	0,003	0,000	0,004	0,004	0,008
Pr ³⁺	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001
Nd ³⁺	0,002	0,003	0,002	0,000	0,004	0,002	0,007
Y ³⁺	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003
Nb ⁵⁺	0,006	0,013	0,003	0,002	0,004	0,009	0,016
Ta ⁵⁺	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Mg ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca ²⁺	0,985	0,992	1,002	1,009	0,985	0,998	0,979
K ⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Na ⁺	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,001
F ⁻	0,042	0,033	0,037	0,040	0,039	0,032	0,027
O ²⁻	4,958	4,967	4,963	4,960	4,961	4,968	4,973

Tab. 5. Reprezentativní WDX analýzy allanitu-(Ce) (hm. %, apfu); b.d. = pod mezi detekce.
 Tab. 5. Representative WDX analyses of allanite-(Ce) (wt. %, apfu); b.d. = below detection.

lokality	Liščí v.	Sokolí vrch			Na Radosti	lokality	Liščí v.	Sokolí vrch			Na Radosti
anal. č.	27	28	29	30	31	anal. č.	27	28	29	30	31
SiO ₂	32,25	32,28	30,58	31,33	32,64	Si ⁴⁺	3,004	3,032	2,910	2,949	3,004
TiO ₂	1,75	2,45	2,52	2,38	1,62	Ti ⁴⁺	0,123	0,173	0,180	0,169	0,112
ZrO ₂	b.d.	0,01	0,02	b.d.	b.d.	Zr ⁴⁺	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
ThO ₂	0,25	1,20	1,19	1,14	0,50	Th ⁴⁺	0,005	0,026	0,026	0,024	0,011
UO ₂	0,03	0,04	0,02	0,03	b.d.	U ⁴⁺	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,34	0,31	0,03	P ⁵⁺	0,002	0,003	0,027	0,025	0,002
Al ₂ O ₃	16,11	16,85	17,68	16,20	16,46	Al ³⁺	1,768	1,865	1,983	1,797	1,786
Sc ₂ O ₃	0,02	b.d.	b.d.	0,01	b.d.	Sc ³⁺	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000
La ₂ O ₃	6,82	3,92	6,72	6,95	7,48	La ³⁺	0,234	0,136	0,236	0,241	0,254
Ce ₂ O ₃	12,00	9,58	9,45	10,10	9,94	Ce ³⁺	0,409	0,329	0,329	0,348	0,335
Pr ₂ O ₃	1,01	1,04	0,67	0,80	0,82	Pr ³⁺	0,034	0,036	0,023	0,027	0,028
Nd ₂ O ₃	2,58	3,85	1,81	1,90	1,90	Nd ³⁺	0,086	0,129	0,062	0,064	0,063
Sm ₂ O ₃	0,15	0,21	b.d.	b.d.	0,02	Sm ³⁺	0,005	0,007	0,000	0,000	0,001
Dy ₂ O ₃	b.d.	0,01	b.d.	b.d.	b.d.	Dy ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y ₂ O ₃	0,18	0,17	0,06	0,05	0,05	Y ³⁺	0,009	0,009	0,003	0,003	0,002
CaO	11,80	9,81	8,35	9,37	12,74	Ca ²⁺	1,178	0,987	0,851	0,945	1,256
FeO	13,37	13,85	14,77	16,12	14,49	Fe ²⁺	1,041	1,088	1,175	1,269	1,115
MgO	0,71	0,67	0,86	0,85	0,60	Mg ²⁺	0,099	0,094	0,122	0,119	0,082
MnO	0,37	0,33	0,31	0,29	0,39	Mn ²⁺	0,029	0,026	0,025	0,023	0,030
BaO	0,02	0,08	b.d.	0,09	b.d.	Ba ²⁺	0,001	0,003	0,000	0,003	0,000
PbO	b.d.	0,06	0,04	0,03	0,02	Pb ²⁺	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001
K ₂ O	b.d.	0,01	0,01	0,02	0,01	K ⁺	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001
Na ₂ O	b.d.	0,06	0,14	0,13	b.d.	Na ⁺	0,000	0,011	0,026	0,024	0,000
F	0,43	0,38	0,36	0,39	0,37	F ⁻	0,127	0,113	0,108	0,116	0,108
Cl	b.d.	0,01	0,03	0,01	b.d.	Cl ⁻	0,000	0,002	0,005	0,002	0,000
O=F	-0,18	-0,16	-0,15	-0,16	-0,16	O ²⁻	12,373	12,385	12,387	12,382	12,392
O=Cl	-0,00	-0,00	-0,01	-0,00	-0,00	ELREE	0,768	0,637	0,650	0,680	0,681
suma	99,69	96,75	95,77	98,34	99,92	SREY	0,777	0,646	0,653	0,683	0,683

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Na všech čtyřech lokalitách mají ocellární křemenné monzodiority stejnou petrografickou povahu, neliší se ani celkovým chemismem nebo složením jednotlivých horninotvorných minerálů. Proto jsou v následujícím textu popisovány společně, na případné drobné rozdíly je upozorněno.

4.1 Makroskopická a mikroskopická charakteristika ocellárních hornin

Studované horniny jsou drobnozrnné, často s přechodem do středně zrnitých, případně až hrubozrnných variet. Celkově jsou šedé, obsahují výrazně světlejší ocelli šedobílé, někdy jemně nažloutlé, případně lehce narůžovělé barvy (obr. 2). Pokud lomná plocha prochází středem ocellu, lze pozorovat, že tato centrální část je nahnědlá (jde o titanit, makroskopicky neidentifikovatelný). V terénu jsou ocelli na navětralých plochách horniny velmi nápadné, mírně vystupují nad své okolí (obr. 3). Jejich velikost je obvykle 3 až 8 mm, místy mohou být i výrazně větší (max. 20 mm). Drobnější ocelli jsou často víceméně kulo-

vité nebo elipsoidální, někdy však lze pozorovat jejich zřetelné protažení v určitém směru, který je rámcově shodný pro většinu ocelli přítomných v horninovém bloku. Tvar větších ocelli je často nepravidelný (někdy až amébovité); někdy jsou sousední ocelli řetízkovitě propojeny a mohou splývat i do žilek.

V případech typických drobnozrnných křemenných monzodioritů je podíl ocelli na jejich složení víceméně stálý (odhadem cca 20–30 obj. %). S rostoucí velikostí zrna se objem ocelli v hornině výrazně snižuje. Pokud se v prostoru lokality vyskytují středně zrnité až hrubozrnné plutonity, ocelli v nich přítomny nejsou (např. Na Radosti a na Lišším vrchu). Tyto hrubozrnnější horniny bez ocelli nebyly studovány – v některých případech je možné, že jde o křemenný monzodiorit, jiné melanokrátnější však mohou složením odpovídat gabroidům, další však obsahují značné množství křemene, a lze je proto spíše považovat za granitoidy (granodiorit nebo snad tonalit). Vztahy mezi uvedenými horninovými typy bylo obtížné v terénu hodnotit, vzájemné hranice či přechody zjištěny nebyly, jediné s výjimkou Liščího vrchu, kde typický křemenný monzodiorit s ocelli přechází do hrubozrnnější variety s vyšším obsahem křemene (jde již o relativně tmavý granodiorit), avšak s menším objemem ocelli.



Obr. 2. Vzorek křemenného monzodioritu s ocellární strukturou z lokality Strážný.

Fig. 2. Hand specimen showing the ocellar texture of quartz monzodiorite from the locality Strážný. Coin diameter is 2 cm.



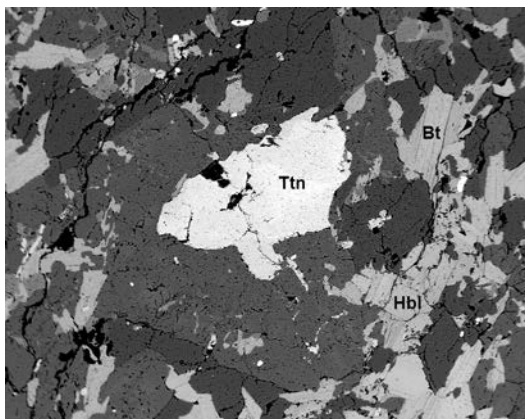
Obr. 3. Světlé ocelli vystupující na navětralém povrchu křemenného monzodioritu z lokality Strážný.

Fig. 3. Weathered quartz monzodiorite surface with light ocelli from the locality Strážný. Coin diameter is 2 cm.

Typický ocellus je v podstatném množství tvořen vždy čtyřmi minerály: kyselým plagioklasem, K-živcem, křemenem a titanitem; ve variabilním množství je přítomen amfibol a biotit. V centru ocellu je vždy titanit. Většinou jde o jediné individuum s xenomorfním omezením (obr. 4 a 5), v mnoha ocellích byly v jejich středu (resp. v centrální části řezu napříč těmito útvary) zjištěny drobné nahloučené „ostrůvky“ titanitu ve světlých minerálech, pozorovaná struktura připomíná poikilitickou (obr. 6). Tyto „ostrůvky“ titanitu představují seříznuté výběžky jednoho a téhož zrna (v XPL shodně zhášeji). Kyselý plagioklas (bazicita byla stanovena WDX analýzami – viz níže), K-živce (často s mřížkováním typickým pro mikroklin) a křemen tvoří xenomorfní individua o velikosti zpravidla do 1 mm. Vnější ohraničení ocellu není ostré, do ocellu zasahují zrna amfibolu a biotitu z jejich okolí; drobná zrna obou minerálů jsou běžně přítomna v křemen-živcových partiích a často jsou v kontaktu i s titanitem v centru (obr. 4 až 6).

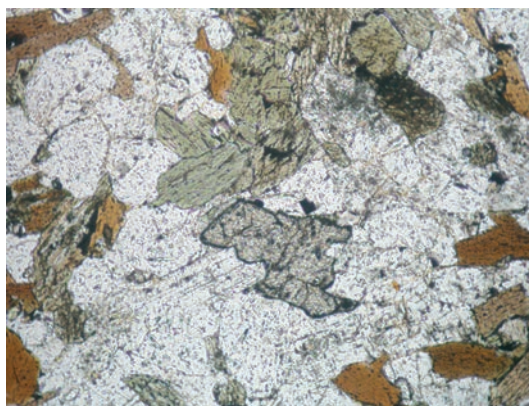
Obr. 4. Titanit v centru ocellu v křemenném monzodioritu z lokality Strážný v BSE obrazu. Šířka snímku je 1,9 mm. Foto: P. Gadas.

Fig. 4. Backscattered electron image of titanite-centered ocelli in quartz monzodiorite from the Strážný locality. Field of view is 1.9 mm wide. Photo: P. Gadas.



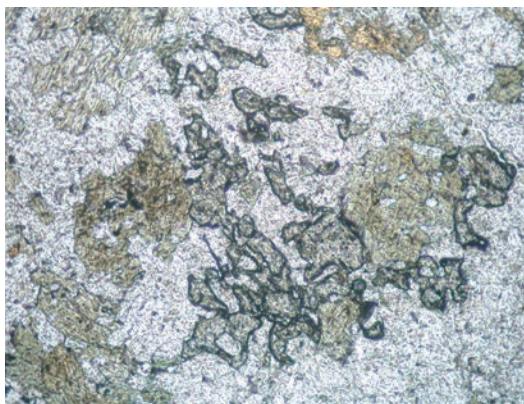
Obr. 5. Hypautomorfní zrna titanitu v centrální části ocellu. Titanit je lemován světlými minerály a amfibolem. Matrix je složena ze světlých minerálů (kyselý plagioklas převažuje), biotitu a amfibolu. Lokalita Na Radosti. Výbrus v polarizovaném světle, bez analyzátoru. Šířka snímku je 1,2 mm.

Fig. 5. Subhedral titanite grain at the core of the ocellus. Titanite is rimmed with light minerals and amphibole. Matrix is composed of light minerals (acid plagioclase dominates), biotite and amphibole. Na Radosti locality. Thin section in plane-polarized light, without analyzing polarizer. Field of view is 1.2 mm wide.



Obr. 6. Ostrůvky titanitu v okrajové zóně ocellu složené hlavně ze živců a amfibolu, lokalita Sokolí vrch. Výbrus v polarizovaném světle, bez analyzátoru. Šířka snímku je 1,2 mm.

Fig. 6. Titanite islets in a marginal zone of an ocellus composed mainly of feldspars and hornblende, Sokolí vrch locality. Thin section in plane-polarized light, without analyzing polarizer. Field of view is 1.2 mm wide.



Matrix horniny je ve srovnání s ocelli výrazně bohatší na tmavé minerály, zastoupené biotitem (někdy chloritizovaným) a amfibolem. Biotit (včetně chloritizovaného) zpravidla kvantitativně převažuje, v některých vzorcích z lokality Na Radosti je obsah biotitu a amfibolu přibližně stejný. V asociaci světlých minerálů převažuje kyselý plagioklas nad draselným živcem (ten je někdy jen vedlejší složkou) a křemem, jehož množství je vždy podstatné. Na základě modálního složení lze matrix klasifikovat většinou jako křemenný monzodiorit. V některých horninových vzorcích z lokalit Liščí vrch a Na Radosti je objem křemene v matrix o něco větší než 20 % z celkového objemu světlých minerálů – jde tedy o granodiorit, případně tonalit.

Matrix horniny má granitickou strukturu. Hypautomorfní zrna plagioklasu mají velikost obvykle do 2 mm. Křemen a K-živce (často mřížkovaný) se vyskytují v podobě xenomorfních zrn, zpravidla menších rozměrů ve srovnání s plagioklasem. Živce jsou často sericitizované, v některých vzorcích silně zakalené (kaolinizace?). Biotit a amfibol mají převážně hypautomorfní omezení (viz obr. 4 a 5), velikost individuí je zpravidla do 0,5 mm, jen v některých vzorcích přesahuje 1,5 mm. Biotit je výrazně pleochroický (světlé nažloutlý × černohnědý). Podél štěpných trhlin bývá částečně chloritizován. V některých vzorcích je chloritizace biotitu totální, v agregátech novotvořeného chloritu se běžně objevuje titanit v podobě jemných žileček, probíhajících patrně podél štěpných ploch původního biotitu a po intergranulárách (obr. 7). Amfibol vykazuje výrazný pleochroismus (bledě zelený nebo bledě žlutozelený × hnědozelený), jen výjimečně byla pozorována přeměna amfibolu podél štěpných trhlin na epidot (resp. minerál klinozoisit-epidotové řady, ověření WDX analýzou nebylo možno provést).

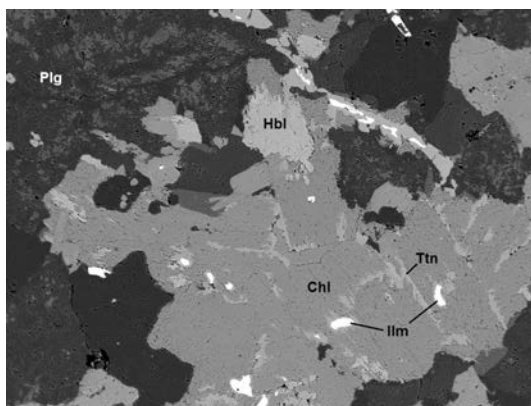
Ve studovaných horninách byly zjištěny následující akcesorie: apatit, ilmenit, allanit a zirkon (jde o běžné akcesorie), pyrotin a molybdenit.

Apatit je nejhojnější akcesorií. V podobě převážně jehlicovitých individuí byl zjištěn ve všech výbrusech (v horninové matrix, ne v ocelli). Jeho podíl na modálním složení horniny lze odhadnout na 1–2 %. V hrubozrnnějších typech hornin s vyšším podílem křemene dosahuje podíl apatitu až 3 obj. %. Jde například dva vzorky z Liščího vrchu, které složením odpovídají spíše granodioritu než křemennému monzodioritu. O vysokém podílu apatitu v obou vzorcích svědčí obsahy 1,43 a 1,75 hm. P_2O_5 , stanovené metodou XRF.

Ilmenit tvoří xenomorfní zrna o velikosti zpravidla do 0,1 mm, méně časté jsou drobné tabulky či spíše jejich relikty. Běžně dochází k zatlačování ilmenitu titanitem. Na obr. 7 jsou v jeho spodní polovině drobná zrna ilmenitu (bílá v BSE), vpravo nahoru od středu snímku je relikty ilmenitové tabulky s lemem titanitu. Poměrně často se ilmenit vyskytuje v podobě inkluzí v biotitu (obr. 8).

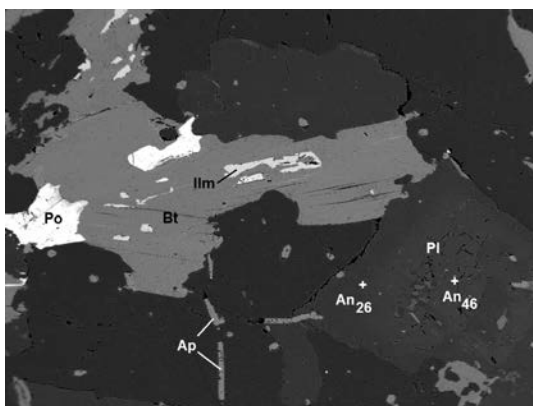
Obr. 7. Zcela chloritizovaný biotit v křemenném monzodioritu až granodioritu z lokality Liščí vrch v BSE obrazu. Šířka snímku je 1,3 mm. Foto: P. Gadas.

Fig. 7. Backscattered electron image of totally chloritized biotite in quartz monzodiorite to granodiorite from the Liščí vrch locality. Field of view is 1.3 mm wide. Photo: P. Gadas.



Obr. 8. Biotit s uzavřenými pyrrhotinu a ilmenitu a zonální plagioklas v křemenném monzodioritu až granodioritu z lokality Liščí vrch v BSE obrazu. Šířka snímku je 1,8 mm. Foto: P. Gadas.

Fig. 8. Biotite with pyrrhotite and ilmenite inclusions and zoned plagioclase in quartz monzodiorite to granodiorite from the Liščí vrch locality. Field of view is 1.8 mm wide. Photo: P. Gadas.



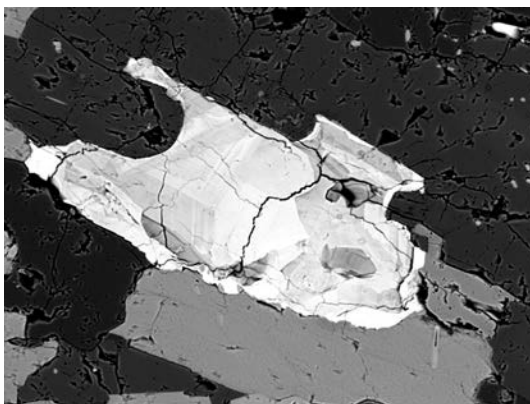
Allanit je přítomen v podobě xenomorfních až hypautomorfních zrn o velikosti do 0,3 mm (obr. 9), zjištěn byl téměř ve všech výbrusech. Je jen slabě postižen metamiktní přeměnou, způsobující jeho zakalení. V BSE obrazu se tato přeměna projevuje přítomností tmavších partií, někdy žilkovité povahy.

Ve všech výbrusech přítomný zirkon tvoří nedokonale omezené dlouze sloupcovité krystaly o velikosti zpravidla do 0,2 mm (obr. 10).

Již zmíněný Fe-sulfid byl zjištěn v podobě xenomorfních zrn o velikosti do 0,5 mm, případně drobných zrnitých agregátů (až 2 mm). Bývá silně postižen limonitizací, většinou je přítomen pouze v reliktech. V odraženém světle vykazuje silnou anizotropii a hnědou barvu charakteristickou pro pyrrhotin. V BSE obrazu lze pozorovat pronikání sekundárních produktů podél jednoho systému štěpných trhlin. Ze spektra EDX je zřejmé, že v podstatném množství obsahuje pouze Fe a S, a to v atomárním poměru přibližně 1 : 1 (jde o kvalifikovaný odhad). Z údajů o chemismu, optických vlastnosti i pozorované štěpnosti je evidentní, že jde o pyrrhotin. Jeho přítomnost se podařilo prokázat pouze v několika vzorcích z lokalit Liščí vrch (obr. 8) a Strážný. Na lokalitě Strážný je provázen tabulkami molybdenitu o velikosti až 0,2 mm.

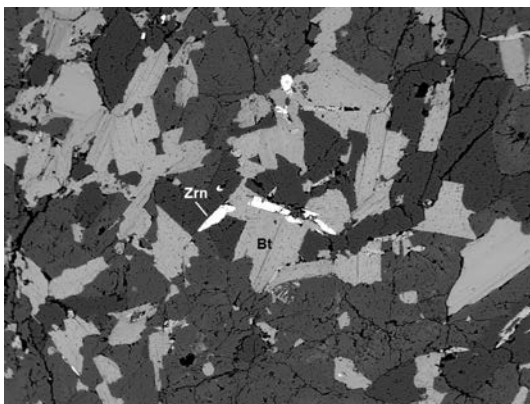
Obr. 9. Zonální allanit-(Ce) v křemenném monzodioritu z lokality Sokolí vrch v BSE obrazu. Šířka snímku je 0,3 mm. Foto: P. Gadas.

Fig. 9. Backscattered electron image of zoned allanite-(Ce) in quartz monzodiorite from the Sokolí vrch locality. Field of view is 0.3 mm wide. Photo: P. Gadas.



Obr. 10. Zirkon a biotit v křemenném monzodioritu z lokality Strážný v BSE obrazu. Šířka snímku je 1,5 mm. Foto: P. Gadas.

Fig. 10. Backscattered electron image of zircon and biotite in quartz monzodiorite from the Strážný locality. Field of view is 1.5 mm wide. Photo: P. Gadas.



4.2. Chemismus minerálů ocellárních hornin

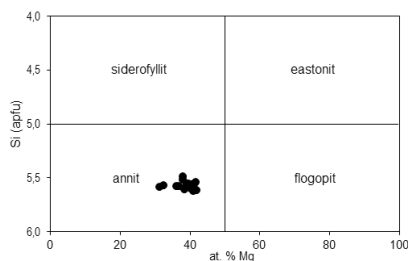
Bazicitá plagioklasu odpovídá podle výsledků WDX analýz (celkem 18) oligoklasu až andezinu (An_{24-46} , v průměru An_{34}). Plagioklas vykazují normální chemickou zonálnost, bazicitá jejich jader je mírně vyšší než okrajových partií. To je nejlépe pozorovatelné v BSE obrazu, kdy je jádro o něco světlejší. Největší rozdíl mezi jádrem a okrajem byl zjištěn v živci z lokality Liščí vrch (jde o křemenný monzodiorit/granodiorit), kdy jádro má bazicitu An_{46} , okraj An_{24} (obr. 8). V jádrech některých individuí jsou patrně přítomny reliktické plagioklasu. BSE obraz to naznačuje, pozorované objekty (světlejší než jejich okolí) jsou však příliš malé na provedení reprezentativní WDX analýzy. Obsah Or-složky v analyzovaných plagioklasech je v rozpětí 0,5–0,9 mol. %.

V draselných živcích bylo WDX analýzami (celkem 5) stanoveno 89–93 mol. % Or, 4–9 mol. % Ab a 1–3 mol. % Cn, obsah An je max. 0,2 mol. %.

Výsledky reprezentativních WDX analýz biotitu a chloritu vznikajícího jeho alterací jsou uvedeny v tab. 1 a 2. Chemismus biotitu odpovídá annitu (obr. 11). WDX analýzy chloritu dokládají, že jde o chlority klinochlor-chamositové řady s převahou chamositové složky; také v klasifikaci MELKY (1962) tyto chlority leží v poli chamositu (2,76–2,89 Si apfu, F/FM = 0,57–0,65, celkem 8 analýz).

Obr. 11. Klasifikace biotitu ze studovaných hornin v diagramu siderofyllit - eastonit - annit - flogopit.

Fig. 11. The classification of biotite from studied rocks in the diagram siderophyllite - eastonite - annite - phlogopite.



Analyzované amfiboly složením odpovídají ferohornblendu, případně jsou na rozhraní ferohornblend/magnezihornblend (viz výšek klasifikačního diagramu Ca-amfibolů na obr. 12 a data v tab. 3).

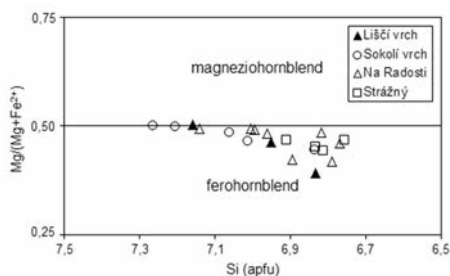
Chemismus titanitu byl sledován třinácti WDX analýzami. Ve všech případech šlo o titanit z centra ocellu. Titanit vznikající přeměnou biotitu nebo na úkor ilmenitu nemohl být vzhledem k malým rozměrům analyzován. Chemismus titanitu vykazuje poměrně malou variabilitu (to je zřejmé i z tab. 4). Jeho hlavními a stálými příměsmi jsou Al (0,05–0,08 apfu), Fe (0,01–0,04 apfu), Nb (0–0,02 apfu) a F (0,02–0,06 apfu).

V ilmenitu byla WDX analýzami zjištěna značná příměs manganu v rozpětí 3,49–5,25 hm. % MnO, což odpovídá 8–12 mol. % pyrofanitové složky. Zajímavá je příměs wolframu (0,05–0,13 hm. % WO_3 , tj. 0,001 W apfu při přepočtu na 3 atomy kyslíku) a niobu (0,06–0,14 hm. % Nb_2O_5 , tj. 0,001–0,002 Nb apfu). Ve všech analýzách je mírný přebytek TiO_2 oproti stechiometrii (1,014–1,036 Ti apfu), patrně jako důsledek slabé rutilizace.

BSE obraz allanitu odhaluje jeho komplikovanou sektorovou zonálnost (viz např. obr. 9). Bodové WDX analýzy byly prováděny vždy na dostatečně velkých, v BSE obrazu co nejsvětlejších partiích, kde bylo možno v excitačním objemu očekávat relativně vysoké obsahy REE (a též bylo zřejmé, že zde nedošlo k hydrataci). Kvantita a poměr vzácných zemin v analyzovaných bodech odpovídá allanitu-(Ce), v němž $Ce > La > Nd$, suma REY je 0,646–0,777 apfu při přepočtu na 12,5 atomu O + F + Cl, výrazně dominantní jsou LREE (tab. 5). Nutno poznamenat, že vzhledem ke způsobu výběru míst pro provedení WDX analýz jejich výsledky nemohou odpovídat průměrnému složení allanitu ve studovaných horninách.

Obr. 12. Amfiboly studovaných hornin v klasifikačním diagramu podle LEAKEHO (1978).

Fig. 12. Amphiboles from studie rocks in classification diagram by LEAKE (1978).



4.3. Celkový chemismus ocellárního monzodioritu, srovnání s granitoidy žulovského plutonu

Výsledky provedených XRF analýz vzorků ocellárních křemenných monzodioritů jsou sumarizovány v tab. 6. Poměr SiO_2 versus Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO a K_2O je znázorněn na obr. 13. Ocellární křemenné monzodiority ze čtyř studovaných lokalit se svým chemismem nijak neliší (viz obr. 13), nejširší interval obsahů sledovaných složek byl zjištěn v případě lokality Na Radosti, což souvisí jak s přítomností přechodných horninových typů, tak i s vy-

sokým počtem analyzovaných vzorků (15). Z obsahu SiO_2 je zřejmé, že v souboru ocellárních křemenných monzodioritů mírně převažují intermediární typy nad bazických.

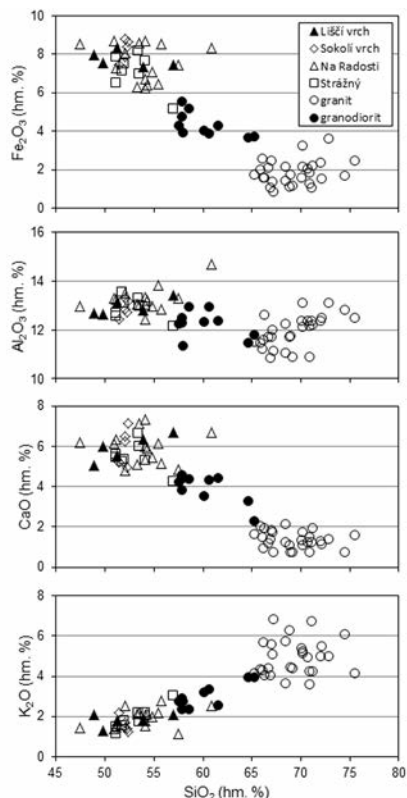
Součástí tab. 6 a obr. 13 jsou i údaje o chemismu dominantních typů granitoidních hornin žulovského plutonu získané shodnou metodou. Soubor „granodiorit“ v tab. 6 a na obr. 13 zahrnuje oba typy granodioritů rozlišované LAURENTEM *et al.* (2014), nelze však vyloučit, že některé horniny v tomto souboru odpovídají granitům s relativně vysokým podílem tmavých součástí (ve srovnání s typickým „hlavním“ granitem). Souborem „granit“ je reprezentován pouze či spíše převážně „hlavní“ granit, vzorky „okrajového“ granitu do něj nebyly vědomě začleněny. Rozlišení obou typů granitů někdy není možné, jednoznačné kritérium neexistuje. Některé ze vzorků souboru „granit“ proto mohou odpovídat „okrajovému“ granitu (mohlo by jít o vzorky s vysokými obsahy K_2O kolem 6 hm. %).

Rozdílné obsahy některých makrokomponent (SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO a K_2O) v křemenných monzodioritech, granodioritech a granitech žulovského plutonu (tab. 6, obr. 13) jsou zcela v souladu s rozdíly v jejich modálních složení a jsou zřejmé z již dříve publikovaných prací (např. LAURENT *et al.* 2014). Obr. 13 dokládá výraznou pozitivní korelaci mezi SiO_2 a K_2O v celém studovaném spektru hornin a současně negativní korelaci mezi SiO_2 a Fe_2O_3 a také mezi SiO_2 a CaO .

Relativně vysoký obsah TiO_2 v křemenném monzodioritu (tab. 6) souvisí s přítomností titanitu v ocelli, i když určitá část titanu v hornině je vázána i na jiné minerály (např. biotit). Zvýšený obsah P_2O_5 v křemenném monzodioritu (tab. 6) odpovídá relativní hojnosti apatitu, jenž je dominantním nositelem fosforu ve všech třech srovnávaných skupinách hornin.

Obr. 13. Harkerův diagram pro hlavní typy hornin žulovského plutonu.

Fig. 13. Harker diagram for main rock types of the Žulová Pluton.



Tab. 6: Chemismus křemenného monzodioritu a hlavních typů hornin žulovského plutonu, XRF analýza (celkové železo uvedeno jako Fe₂O₃, n = počet vzorků, x = průměr).

Tab. 6: Chemical composition of quartz monzodiorite and main rock types of the Žulová Pluton, XRF analysis (total iron is presented as Fe₂O₃, n = number of samples, x = average).

	křemenný monzodiorit (n = 33)			granodiorit (n = 10)			granit (n = 28)		
	min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
SiO ₂ (hm. %)	47,47	60,91	53,16	57,62	65,32	60,23	65,32	75,54	69,35
TiO ₂ (hm. %)	0,98	2,40	1,30	0,39	0,83	0,66	<0,07	0,44	0,18
Al ₂ O ₃ (hm. %)	12,14	14,70	13,07	11,34	12,93	12,21	10,83	13,11	11,93
Fe ₂ O ₃ (hm. %)	5,18	8,79	7,58	3,62	5,54	4,31	0,83	3,59	1,84
CaO (hm. %)	4,27	7,33	5,83	2,30	4,58	3,92	<0,75	2,11	1,35
MnO (hm. %)	0,08	0,16	0,12	0,05	0,10	0,07	0,01	0,06	0,03
K ₂ O (hm. %)	1,13	3,06	1,87	2,33	3,94	3,00	3,57	6,82	4,92
P ₂ O ₅ (hm. %)	0,62	1,75	1,08	0,16	0,63	0,42	<0,05	0,21	<0,05
Co (ppm)	<10	56	34	<10	54	27	<10	20	–
Cu (ppm)	<10	90	–	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zn (ppm)	63	175	93	44	67	54	<5	52	23
Rb (ppm)	60	140	90	90	130	110	134	331	207
Sr (ppm)	269	405	332	225	339	303	10	431	158
Zr (ppm)	321	504	431	215	388	294	32	317	128
Pb (ppm)	3	16	8	8	15	12	14	39	25

4.4. Poznámka ke genezi ocellárních křemenných monzodioritů

Obecně lze konstatovat, že felsické ocelli s centrálním titanitem jsou spíše výjimečným fenoménem. Autorem patrně prvního popisu ocellární struktury tohoto typu je A. Lacroix (jde o publikaci z roku 1900 – viz VEGAS *et al.* 2011). I když je tato struktura velmi snadno rozpoznatelná již v terénu a současně je geneticky mimořádně zajímavá, je uváděna jen z několika plutonů či masivů (např. HIBBART, 1991, 1995, VEGAS *et al.* 2011, GOGOI *et al.* 2017). Felsické ocelli s titanitem v centru bývají součástí hybridních hornin zpravidla intermediárního složení, někdy jsou vázány jen na úzké zóny (cm – dm mocností), případně jednotlivé ocelli splývají do leukokratických žil s titanitem (např. VEGAS *et al.* 2011).

V případě křemenných monzodioritů na jv. okraji žulovského plutonu jsou felsické ocelli s titanitem přítomny ve velkých objemech hornin, rozhodně ne jen na úzkých zónách „minglingu“. Splývání ocelli zde není výjimečné, jeho výsledkem jsou však jen drobné felsické agregáty nepravidelných tvarů (někdy amébových), rozhodně nejde o žilná tělesa.

S přihlednutím k poznatkům uvedeným ve výše citovaných pracích lze ocellární křemenné monzodiority žulovského plutonu považovat za hybridní horniny vytvořené intruzí relativně horkého bazického magmatu do magmatického krbu vyplněného již krystalizujícím magmatem granitového složení. GOGOI *et al.* (2017) předkládá poměrně komplikovaný model, při němž interakce mezi oběma typy magmat vedou k formování felzické taveniny a taveniny složením odpovídající titanitu. Tyto dvě navzájem nemísitelné taveniny se začleňují do okolní mafické taveniny, s níž jsou nemísitelné. Felsická tavenina a s ní nemísitelná titanitová tavenina postupně zabírají volné prostory (vesikuly) po fluidech unikajících z mafického systému, a nakonec vytvoří felsické ocelli s titanitem v centru. Je možné, že tento genetický model je aplikovatelný na ocellární křemenné monzodiority žulovského plutonu. O interakci bazického a granitového magmatu lze zde uvažovat, neboť U-Pb zirkonové datování (LAURENT *et al.* 2014) zcela jednoznačně prokázalo shodné či víceméně shodné stáří intruze „hlavního“ granitu a křemenného monzodioritu s ocellární strukturou.

5. ZÁVĚR

Křemenné monzodiority z jihovýchodního okraje žulovského plutonu mají již makroskopicky velmi výraznou ocellární strukturu. Světlé ocelli jsou tvořeny převážně živci a také křemenem, méně biotitem a amfibolem. V jádru ocellu je vždy přítomen titanit. Okolní zpravidla drobně zrnitá matrix je složena hlavně z kyselého plagioklasu (An_{24-46}), K-živce, křemene, biotitu (annit) a amfibolu (ferohornblend až amfibol na rozhraní ferohornblend/magneziorhornblend). Chemické složení živců, biotitu a amfibolu v ocelli je v zásadě shodné s jejich složením v matrix. Akcesorie reprezentuje hojný apatit, ilmenit, allanit-(Ce) a zirkon, ojediněle je přítomen pyrrhotin a molybdenit.

Ocellární křemenné monzodiority vykazují znaky typické pro hybridní horniny. Lze předpokládat, že jejich vznik souvisí s intruzí bazického magmatu do magmatu granitového složení, mísením a interakcí těchto dvou diametrálně odlišných magmatických tavenin (v souladu s modelem předloženým GOGOI *et al.* 2017).

LITERATURA

- GOGOI, B., SAIKIA, A., AHMAD, M. (2017): Titanite-centered ocellar texture: A petrological tool to unravel the mechanism enhancing magma mixing. - *Periodico di Mineralogia*, 86, 247-276.
- HIBBARD, M. J. (1991): Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems. In: Didier, J., Barbarin, B. (eds.): Enclaves and granite petrology, 431-444. Elsevier, Amsterdam.
- HIBBARD, M. J. (1995): Petrography to petrogenesis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- JEDLIČKA, J. (1997): Žulovský masív ve Slezsku - přehled dosavadních znalostí. - *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1996*, 121-123. Praha.
- LAURENT, A., JANOUŠEK, V., MAGNA, T., SCHULMANN, K., MÍKOVÁ, J. (2014): Petrogenesis and geochronology of a post-orogenic calc-alkaline magmatic association: the Žulová Pluton, Bohemian Massif. - *Journal of Geosciences*, 59, 415-440.
- 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.
- POUBA, Z., DVOŘÁK, J., MÍŠAŘ, Z., MUSILOVÁ, L., PROSOVÁ, M., RÖHLICH, P., SKÁČEL, J., UNZEITIG, M. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XVIII Jeseník. Ústřední ústav geologický, Praha.
- SVOBODA, J. *et al.* (1964): Regionální geologie ČSSR. Díl I. Český masív. Sv. 1. Krystalinikum. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- VEGAS, N., RODRIGUEZ, J., CUEVAS, J., SIEBEL, W., ESTEBAN, J. J., TUBÍA, J. M., BASEI, M. (2011): The sphene-centered ocellar texture: An effect of grain-supported flow and melt migration in a hyperdense magma mush. - *Journal of Geology*, 119, 143-157.
- WINTER, J. D. (2001): An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- ZACHOVALOVÁ, K., LEICHMANN, J., ŠVANCARA, J. (2002): Žulová Batholith: a post-orogenic, fractionated ilmenite-allanite I-type granite. - *Journal of the Czech Geological Society*, 47, 1-2, 35-44.
- ZIMÁK, J., DALAJKOVÁ, K., DONOČIK, R., KRIST, P., REIF, D., ŠTELCL, J., KOPECKÁ, L. (2016): Využitelnost terénních rentgenfluorescenčních analyzátorů ke stanovení chemismu cementářských surovin - na příkladu velkolomu Mokrý. - *Zprávy o geologických výzkumech*, 49, 79-82.
- ŽÁČEK, V. *et al.* (1995): Geologická mapa ČR 1 : 50 000. List 14-22 Jeseník. Český geologický ústav, Praha.
- ŽÁČEK, V., SKÁČEL, J., SKÁČELOVÁ, D. (2003): Geologie území. In: Müller, V. (ed.): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000. Listy 04-43 Bílý Potok, 04-44 Javorník, 14-21 Travná, 12-44 Jeseník, 7-27. Česká geologická služba, Praha.