

Porcelanit s relikty mikrofosílií z lemu miocenní bazanitové žíly u Mladějova v Českém ráji

Porcellanite with relics of microfossils lining Miocene basanite dyke at Mladějov, Czech Republic

VLADIMÍR ŽÁČEK¹⁾, VLADISLAV RAPPRIČ¹⁾, RADEK ŠKODA²⁾ A FRANTIŠEK LAUFEK¹⁾

¹⁾ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

²⁾ Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno

ŽÁČEK V., RAPPRIČ V., ŠKODA R., LAUFEK F. (2010): Porcelanit s relikty mikrofosílií z lemu miocenní bazanitové žíly u Mladějova v Českém ráji. - *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **18/2**, 79-86. ISSN: 1211-0239.

Abstract

Porcellanite (fine-grained buchite) occurs at the contact of the dyke of Neogene basanite at Mladějov, Jičín District, North Bohemia. The dyke penetrated the sediments of the Březno Formation in the Jizera development of the Czech Cretaceous Basin. The protolith of the pocellanite was calcareous siltstone composed predominantly of quartz, clay minerals with dominancy of illite and carbonate (calcite represented by shells and detritus of both macro- and microfossils, mainly foraminifers, echinoderms and gastropods). The metamorphic assemblage corresponds to sanidinite facies and contains quartz + K-feldspar + anorthite + clinopyroxene + orthopyroxene + glass with minor pyrrhotite and accessory ilmenite, titanite and apatite. The groundmass of porcellanite is formed predominantly by quartz + K-feldspar + orthopyroxene whereas the assemblage anorthite + clinopyroxene occurs as pseudomorphs replacing calcitic shells of microfossils and calcic detritus of organic origin which shape remained frequently well-preserved despite of high-grade of pyrometamorphism. Elevated Cr in clinopyroxene gives evidence of the influence of fluids from the basanite. The presence of quartz and absence of tridymite indicates temperatures 840 - 900 °C at P < 0.2 Kb. Presence of ilmenite, pyrrhotite, elemental carbon (0.05 wt. % C), and analytically determined high Fe²⁺/Fe³⁺ ratio indicate low oxygen fugacity during pyrometamorphism.

Key-words: porcellanite, pyrometamorphism, basanite, clinopyroxene, orthopyroxene, Bohemian Paradise, Czech Republic

Úvod

Porcelanitu a pyrometamorfované horniny se obecně vyskytují jednak v asociaci s fosilně vyhořelými uhelnými slojemi (případně recentně na hořících haldách), jednak na kontaktech zejména kenozoických vulkanitů se sedimenty. Ve všech případech jde o projevy poměrně krátkodobé vysokoteplotní a nízkotlaké metamorfózy v „suchých“ podmínkách, která odpovídá sanidinitové facii (Grapes 2006).

Na území České republiky se největší tělesa porcelanitů vyskytují hlavně na území mostecké pánve (např. Žáček et al. 2010) a ve vídeňské pánvi u Medlovic poblíž Uherského Hradiště (Čtyroký, Novák 1978), kde v obou případech vznikla z nadložních sedimentů při spontánním hoření neogenní uhelné sloje. Zatímco relativně dlouhodobý tepelný účinek hoření uhelných slojí vedl k dostatečné produkci tepla pro krystalizaci vysokoteplotních minerálních asociací, malé rozměry podvrchových intruzí kenozoických vulkanitů vedly k rychlému vychladnutí magmatu a jen k omezenému termálnímu efektu na okolní horniny. Většina porcelanitů v lemu kenozoických vulkanitů tak nedosahuje stupně kaustické přeměny, který je běžný v případě hoření uhelných slojí. V tomto ohledu je výjimečný porcelanit zjištěný v lemu bazanitové žíly u Mladějova poblíž Jičína, který se makroskopicky a stupněm slinutí podobá porcelanitům mostecké pánve.

Metodika

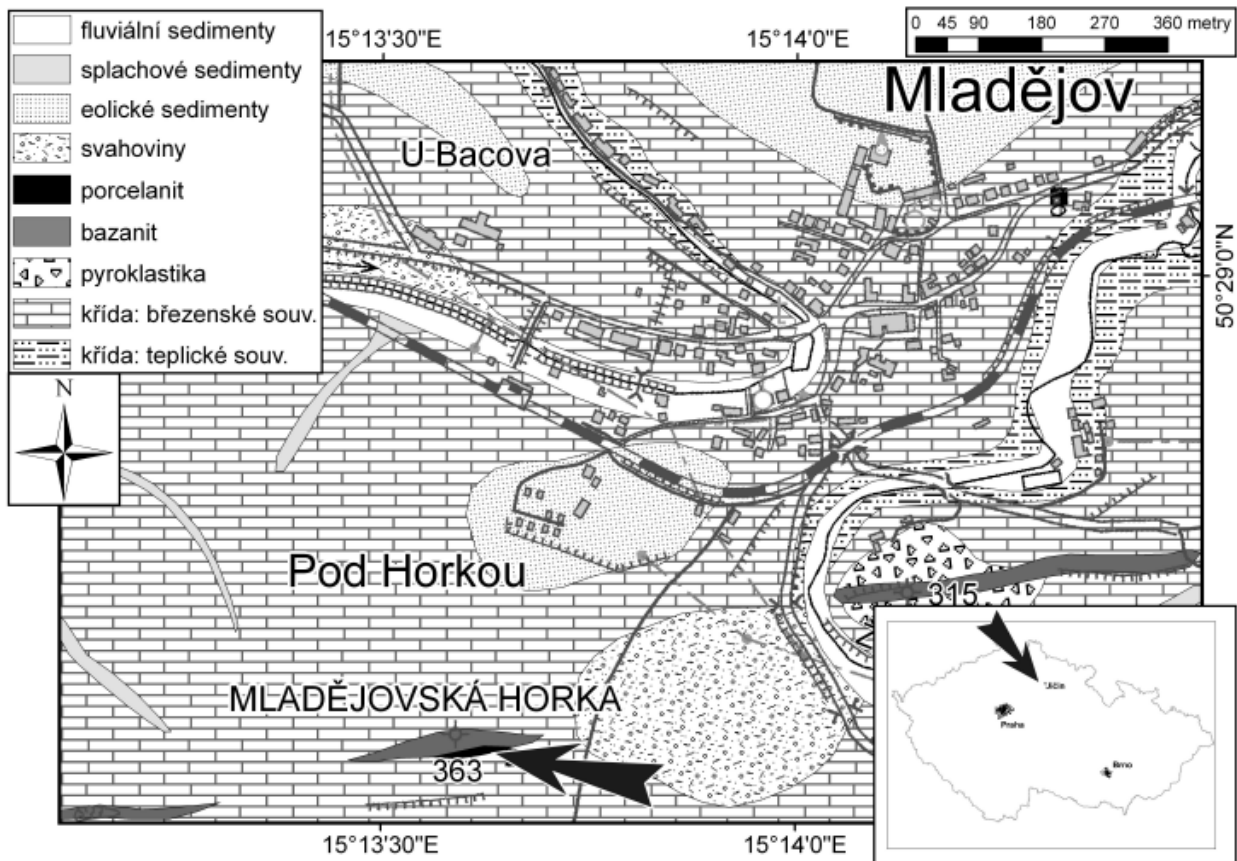
Materiál byl odebrán v roce 2010 na lokalitě Mladějovská horka (kóta 363 m, 50°28'35.5"N, 15°13'31"E), situované asi 1 km jz. od obce Mladějov, 10 km sz. od Jičína. Studován byl vzorek homogenního porcelanitu (CR068b) o velikosti 12 x 10 x 8 cm a hmotnosti asi 2.5 kg. Ze vzorku byl zhotoven leštěný výbrus a asi polovina vzorku byla použita na chemickou analýzu.

Chemická analýza celé horniny byla provedena mokrou cestou v laboratořích České geologické služby v Praze na Barrandově. Vzorek analyzovali Rosina Kašíčková a Jaromír Šíkl.

Chemické analýzy minerálů byly získány na elektronové mikroskopie Cameca SX-100 na Masarykově univerzitě v Brně (společná laboratoř Masarykovy Univerzity a České geologické služby) při urychlovacím napětí 15 kV, proudu 10 - 20 nA a době načítání 10 - 30 s. Jako standardy byly použity dobře definované minerály nebo syntetické fáze.

Prášková rentgenová difrakční data byla získána na difraktometru Phillips X'pert MPD System s grafitovým sekundárním monochromátorem za použití CuK záření v laboratořích České geologické služby v Praze. Pro identifikaci přítomných fází byl použit program Bede ZDS Search/Match spolu s databází ICDD PDF2.

Magnetická susceptibilita byla změřena na vzorku přenosným kapametrem KT-5.



Obr. 1 Schematická geologická mapa místa výskytu mladějovského porcelanitu (zjednodušeno, podle Čecha et al. 2010).

Geologická situace

Oblast Českého ráje leží mimo hlavní regiony kenozoického vulkanismu vázané na průběh oherského (oháreckého) riftu. Možná právě proto je teprve v posledních letech věnována pozornost fenoménům spojeným s vulkanickou činností v této oblasti (Rapprich et al. 2007). Výskyty vulkanických hornin Českého ráje je možné rozdělit do dvou hlavních skupin: i) relikty monogenetických vulkánků často s relikty povrchových facií a ii) žíly obnažené selektivní erozí.

Systém přibližně v.-z. bazanitových žil jižně od Mladějova se napojuje na přírodní dráhu Velké hory u Střelče. Podle dostupných dat by mohly být tyto žíly ekvivalentem miocenního troseckého souvrství, tj. asi 17 Ma (Cajz et al. 2009). Bazanitová žíla tvoří vrchol Mladějovské horky (363 m) situované asi 1 km jz. od obce Mladějov (obr. 1). Žíla byla v minulosti těžena v drobných lůmcích především na štěrk určený pro zpevnění cest v okolí Jičina. Tak jako u mnoha dalších bazanitových žil v okolí, může být v současnosti její tvar určen pouze nepřímo na základě pozůstatků po těžbě, případně s využitím geofyzikál-



Obr. 2 Studovaný vzorek porcelanitu z Mladějova. Materiál je velmi homogenní až na sporadické průřezy a otisky drobných fosilií a ojedinělé odlišně zbarvené hlízovité útvary cm velikosti. Foto V. Žáček.

ních metod. Bazanitové žíly Českého ráje mívají obvykle mocnost kolem jednoho metru a k výraznějšímu nadušení dochází pouze v místech erupčních center. Segment žíly na Mladějovské horce je dlouhý asi 300 m a po krátkém přerušení pokračuje stejná žíla dalším, asi 300 m dlouhým segmentem dále na západ. Bazanitová žíla Mladějovské horky proráží vápnnité jílovce až jílovité prachovce březenského souvrství (coniac) jizerského vývoje české křídové pánve (obr. 1). Jemnozrný bazanit má šedočernou barvu. Makroskopicky jsou identifikovatelné pouze drobné idiomorfny vyrostlice olivínu (do 2 mm) a klinopyroxenu (do 3 mm). Klinopyroxeny uzavírají starší resorbovaná jádra stejného minerálu, někdy zelenavá. Základní hmota obklopující vyrostlice je velmi jemnozrná a tvoří ji klinopyroxen, magnetit, olivín a drobné jehličky plagioklasu uzavřené v xenomorfním nefelinu. V těsném kontaktu žíly mají jílovce podobu tmavě šedých až nafialovělých porcelanitů s masivní jemnozrnou strukturou a lasturnatým lomem (obr. 2).

Kontakt bazanitové žíly s porcelanitem není odkryt v souvislé stěně, ale z distribuce úlomků je možné odvodit, že mocnost lemu porcelanitů nepřesahuje první decimetry.

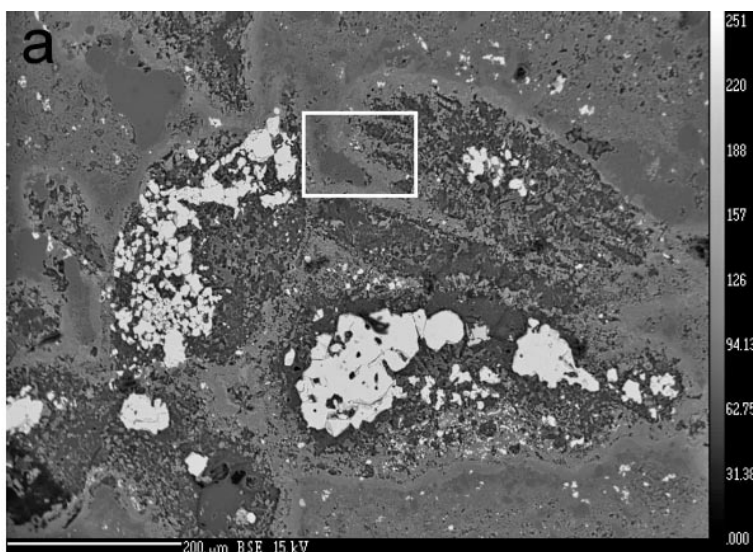
Petrologie porcelanitu

Porcelanit petrograficky odpovídá velmi jemnozrnnému buchitu, tj. obsahuje nově vzniklé krystalické fáze a podíl skla. Makroskopicky je celistvý, s lasturnatým lomem a má tmavě fialově šedou barvu (obr. 2).

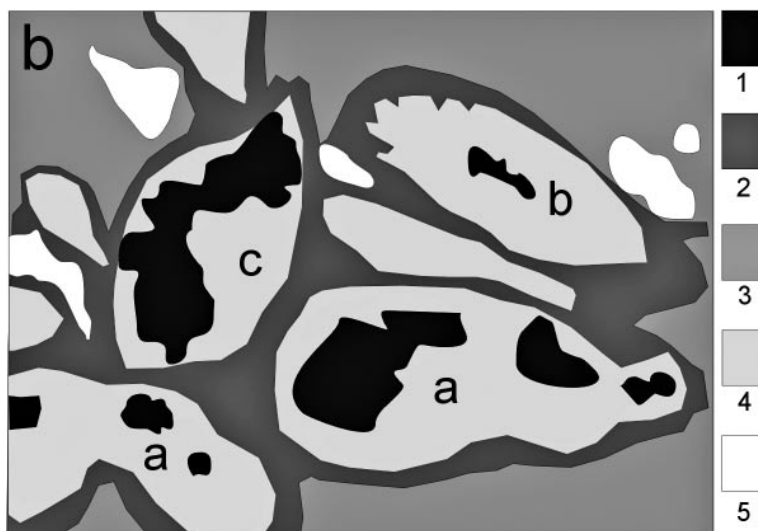
Na vzorku jsou také patrné ojedinělé drobné (mm) průřezy schránkami nebo otisky zejména gastropodů, někdy s výplní světlejšího materiálu a místy na puklinách tenké povlaky „limonitu“, sádrovce a pyrotinu nebo/a pyritu. Až 1 mm velké akumulace pyrotinu rozseté v základní hmotě jsou patrné i pouhým okem. Magnetická susceptibilita měřená na vzorku dosahuje 5.6×10^{-3} SI.

Pod mikroskopem se hornina jeví jako jemnozrná, hnědě zakalená hmota s hojnými oválnými až tyčinkovitými strukturami o velikosti 0.05 - 0.3 mm z nichž alespoň část je biogenního původu. Většina těchto agregátů má koncentrickou stavbu, bývají světlejší nebo naopak tmavší než okolní základní hmota. Z velkého množství těchto útvarů byla část určena jako prokazatelné zbytky organismů: jehlice hub, ostny ježovek (Echinoidea), průřezy planktonických foraminifer (Hedbergella sp.?) a pravděpodobně řezů bentických foraminiferami, vedle množství neurčitelného, původně vápnnitého detritu organického původu (obr. 3a).

Obr. 3a BSE mikrofoto porcelanitu z Mladějova s poměrně dobře zachovanými mikrofosiliemi s patrnou mineralogickou zonálností uvnitř i vně těchto útvarů. Rámeček vyznačuje detail zobrazený na obrázku 4. Foto R. Škoda.



Obr. 3b je překreslený BSE obraz 3a s vyznačením jednotlivých řezů mikrofosilií (a-c) a zón tvořenými různými minerály (1 - 5). Vysvětlivky: a - průřezy planktonických foraminifer rodu Hedbergella?; b - šikmý řez ostnem ježovky (Echinoidea); c - řez pravděpodobnou bentickou foraminiferou; 1 - akumulace pyrotinu; 2 - zóna v lemu mikrofosilií tvořená hlavně klinopyroxenem a anortitem; 3 - základní hmota tvořená hlavně křemenem a K-živcem; 4 - vnitřní část mikrofosilií s převahou skla; 5 - větší zrna křemene.



Tabulka 1 Práškový difrakční záznam porcelanitu z Mladějova

Mladějov CR068b		33-1161 křemen		20-20 anortit*		19-1227 sanidin*		24-79 pyrhotin-4M*	
I_{obs}	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)
6	10.2								?illit
13	7.167								
				8	6.807				
7	6.520			8	6.522	14	6.50		
7	5.542								
21	5.055								?illit
8	4.687			14	4.690				
39	4.255	22	4.257						
16	4.130					70	4.16		
38	4.044			48	4.039				
8	3.947								
8	3.916			11	3.916	25	3.91		
29	3.783					75	3.76		
19	3.729			19	3.756				
18	3.625			33	3.620	12	3.61		
13	3.456			14	3.459	50	3.45		
100	3.342	100	3.342						?illit
						75	3.27		
27	3.259			52	3.261	100	3.26		
						75	3.25		
45	3.220			63	3.210	90	3.22		
41	3.181			91	3.180				
19	3.128			39	3.122				
10	3.038			18	3.042				
17	2.990					35	2.976	100	2.971
				27	2.952				
25	2.921			19	2.934	10	2.914		
						20	2.901		
11	2.834			20	2.828			14	2.848
21	2.769					20	2.763		
13	2.656			14	2.655				
14	2.629							62	2.629
12	2.580					30	2.560		
				20	2.525				
19	2.505			28	2.501				
21	2.456	8	2.457						
6	2.321			8	2.323				
15	2.280	15	2.282	7	2.270				
10	2.235								
10	2.167					18	2.167		
12	2.141			17	2.143				
13	2.125	6	2.127						
13	2.063							91	2.060
12	2.048							97	2.052
8	2.009								?illit
8	1.9325			9	1.932				
11	1.8479			12	1.845				
				16	1.837				
21	1.8172	14	1.818						
8	1.7961			9	1.797				
6	1.7876								
11	1.7695			17	1.768				
7	1.7339			6	1.738				
13	1.7176							47	1.715
20	1.5417	9	1.542						

* pro anortit, sanidin a pyrhotin jsou vypsány difrakce pro $l > 7-14$

Kromě toho jsou v základní hmotě sporadické nodule (do 3 mm velké) s výplní izotropního skla a vtoušená drobná zrnka křemene o velikosti do 0.2 mm. Převažující komponenty základní hmoty jsou tak drobné, že je nelze v běžném mikroskopu určit, jednotlivé minerály je možné rozpoznat až pod elektronovým mikroskopem v BSE. Práškovou difrakční analýzou byly spolehlivě identifikovány křemen, anortit, K-živec (sanidin), pyrhotin a pravděpodobný illit (tab. 1). Tyto a další minerály byly identifikovány také analyticky na elektronové mikrosondě.

Z primární asociace se v porcelanitu zachovala alespoň část klastického křemene a zřejmě i malé množství illitu dokumentovaného též rentgenograficky. Studium nábrusu v BSE byla zjištěna zonalita, která odráží velmi jemné chemické nehomogenity protolitu, zejména přítomnost vápnitých schránek a klastů.

Termálním účinkem došlo k transformaci minerálů základní hmoty na jemnozrnnou směs křemene a draselného živce s vtoušeným jemným pyrhotinem a se sporadickými agregáty krystalků ortopyroxenu. Z hojných schránek mikrofosilií vznikly z primárního kalcitu zóny široké 10-50 μm tvořené velmi jemným symplektem

Tabulka 2 Chemické složení porcelanitu (hm. %). Ve druhém sloupci je modelová analýza vypočtená z reálných složení minerálů (viz tab. 3 - 6). Podíl (%) jednotlivých minerálů použitý pro výpočet je uveden v textu.

	CR068b	model
SiO ₂	58.69	59.25
TiO ₂	0.70	0.72
Al ₂ O ₃	17.17	15.37
Fe ₂ O ₃	1.01	
FeO*	5.59	7.59
MgO	2.39	2.17
MnO	0.049	0.02
CaO	5.96	6.25
Na ₂ O	0.27	0.07
K ₂ O	3.53	3.55
P ₂ O ₅	0.067	
F	0.104	
CO ₂	< 0.01	
C ^{ost}	0.049	
S ^{tot}	1.813	1.79
H ₂ O(+)*	1.61	2.66
H ₂ O(-)	0.80	
F(ekv)	-0.044	
S(ekv)	-0.452	
Total	99.80	99.46

*u modelové analýzy se počítá s FeOtot a H₂Otot

s převahou klinopyroxenu a anortitu. V centru mikrofosilií pak dominuje sklo nad pyrhotinem (který zde tvoří i hrubší agregáty) s podružným křemenem, klinopyroxenem a anortitem (viz obr. 3a-b, 4). Také většina nodulí vyplněných sklem a lemovaných symplektity s klinopyroxenem představuje pravděpodobně schránky mikroorganismů, které pouze prošly vyšším stupněm „protavení“ (obr. 5).

Mineralogie porcelanitu

Porcelanit tvoří 10 níže specifikovaných fází. Znalost chemického složení horniny (tab 2) i jednotlivých minerálů (tab. 3 - 6) umožnila vypočítat jeho přibližné mineralogické složení. Relativně největší nejistotu představuje značně nehomogenní složení klinopyroxenu, naopak, podíl K-živce, pyrhotinu a skla bylo možné vypočítat poměrně přesně podle obsahů síry, K_2O a vody. Důležitým ukazatelem je absence CO_2 (< 0.01 hm. %), ukazující, že se v hornině nezachoval primární karbonát a zároveň zvýšená koncentrace elementárního uhlíku (0.049 hm. % C), svědčící pro redukční podmínky.

Podle výpočtu se hornina se skládá ze 22 % křemene, 25 % anortitu, 21 % K-živce, 18 % skla, 5 % klinopyroxenu, 4.6 % pyrhotinu, 3 % ortopyroxenu a 1.5 % ilmenitu, akcesorické jsou titanit a apatit. RTG data ukazují také na přítomnost malého množství reliktního illitu, které nebylo

vzato při výpočtu do úvahy. Kromě toho jsou na některých puklinách tenké povlaky sádrovce a „limonitu“ supergenního původu.

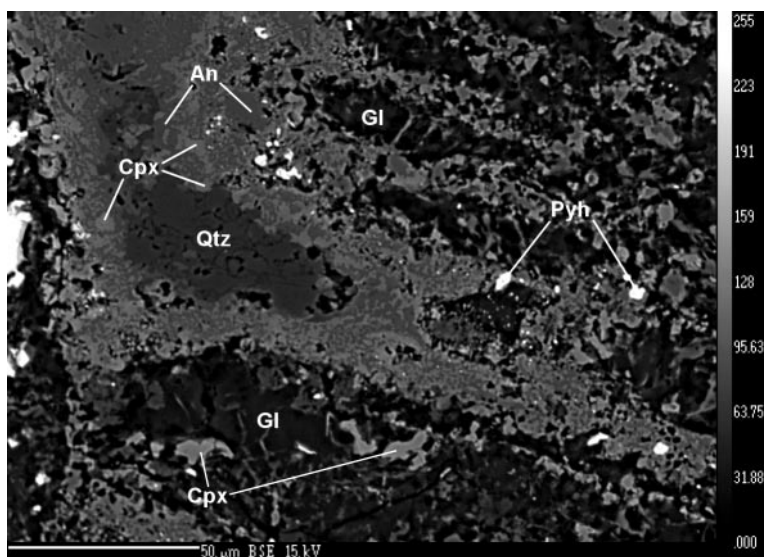
Křemen je vedle anortitu a K-živce dominantním minerálem, který byl potvrzen rentgenograficky, další modifikace SiO_2 nebyly zjištěny. Podle snímků v BSE tvoří křemen střípkovité až téměř oválné klasty o velikosti 0.01 - 0.2 mm, někdy zřetelně korodované okolní sklovitou matrix.

Plagioklas odpovídá čistému anortitu s obsahem Na_2O nejvýše 0.4 hm. %, se zvýšenou koncentrací FeO (0.88 - 1.43 hm. %) a MgO (0.15 - 0.42 hm. %). Koncentrace BaO a P_2O_5 jsou pod 0.04 hm. %.

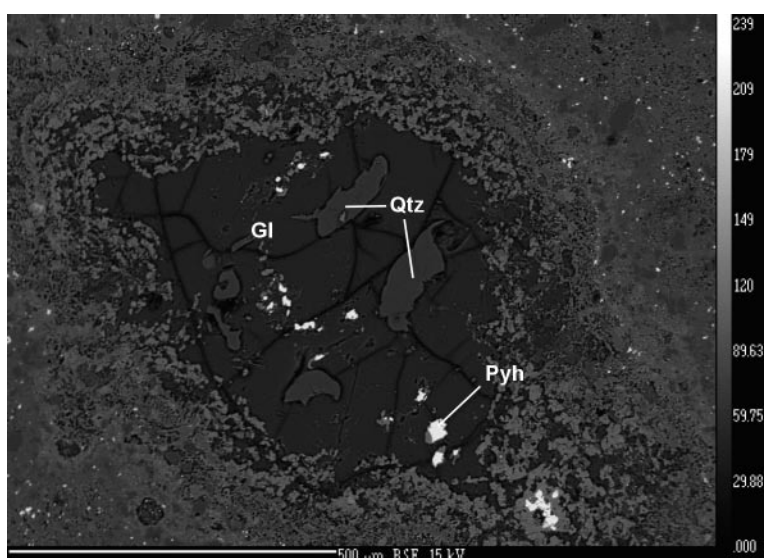
K-živec (pravděpodobně sanidin) tvoří spolu s křemenem dominantní část základní hmoty porcelanitu. Obsahuje zvýšené koncentrace oxidů Ca (0.19 - 0.42 hm. %), Ba (0.25 - 0.50 hm. %), Na a Sr (0.09 - 0.12 hm. %) a P (do 0.20 hm. %). Chemické analýzy živců jsou uvedeny v tabulce 3.

Sklo vystupuje hlavně ve formě nodulí o velikosti až 3 mm a jeví se v mikroskopu jako vysoce lomný izotropní bezbarvý až načervenalý materiál s množstvím droboučkových inkluzí. Analytické sumy skla se pohybují rozmezí 83 - 87 hm. %, tj. sklo obsahuje 13 - 17 hm. % vázané vody. Chemicky jde o Fe-Al bohaté sklo intermediárního chemismu (po přepočtu na sumu 100 % obsahuje 62 - 66 hm. % SiO_2 , je chudé alkáliemi, viz tab. 3).

Obr. 4 Detail mikrofotografie vyznačený na obrázku 3a zachycující okraj řezu ostnem ježovky pseudomorfovaný symplektem s převahou klinopyroxenu (Cpx) a anortitu (An). V okolním materiálu převažuje sklo (Gl) s inkluzemi pyrhotinu (Pyh) a klinopyroxenu (Cpx). BSE mikrofoto R. Škoda.



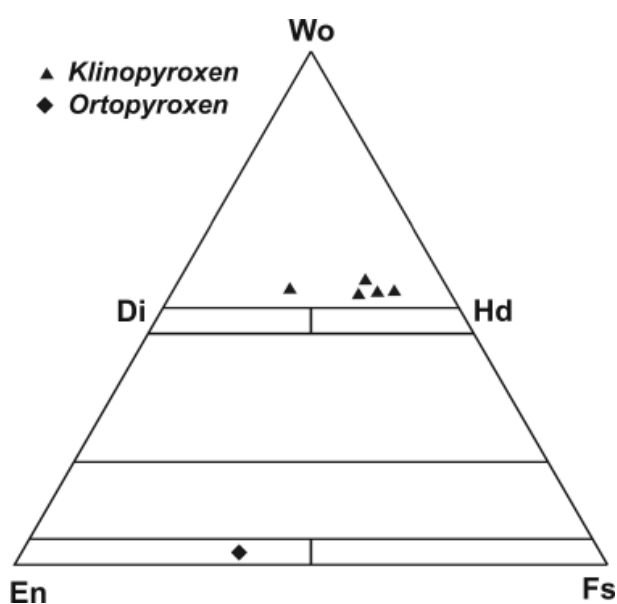
Obr. 5 Detail nodule vyplněné sklem (Gl) s nepravidelnými agregáty křemene (Qtz) a s inkluzemi pyrhotinu (Pyh). Světlejší hruběji krystalická zóna kolem nodule obsahuje hlavně klinopyroxen a anortit, tmavší a jemněji zrnitou hmotu dále od objektu tvoří hlavně křemen a K-živec. Jde zřejmě o mikrofosílii, kde původní tvar byl již setřen. BSE mikrofoto R. Škoda.



Tabulka 3 Chemické složení živců (přepočteno na 8 kyslíků) a skla (hm. %)

	plagioklas*	K-živec*	sklo*	sklo
SiO ₂	43.43	63.75	53.42	57.44
TiO ₂	0.07	n.a.	0.19	0.18
Al ₂ O ₃	34.36	18.67	14.23	15.75
FeO ^{tot}	1.43	0.26	8.79	4.56
MnO	0.00	n.a.	0.00	0.04
MgO	0.42	n.a.	6.33	6.72
CaO	19.95	0.42	1.28	0.99
Na ₂ O	0.07	0.11	0.18	0.17
K ₂ O	0.07	16.16	0.77	0.77
BaO	0.00	0.25	0.03	0.00
SrO	n.a.	0.09	n.a.	n.a.
P ₂ O ₅	0.04	0.20	0.03	0.05
total	99.84	99.90	85.26	86.68
Si	2.028	2.962		
Ti	0.002	0.000		
Al	1.891	1.023		
Fe ²⁺	0.056	0.010		
Mn	0.000	0.000		
Mg	0.029	0.000		
Ca	0.998	0.021		
Na	0.006	0.010		
K	0.004	0.958		
Ba	0.000	0.004		
Sr	0.000	0.002		
P	0.001	0.008		
total	5.017	4.998		

*analýzy použité pro modelování

**Obr. 6** Analýza pyroxenů v klasifikačním diagramu enstatit - wollastonit - ferrosilit (Morimoto et al. 1988). Vzorky klinopyroxenu se promítají mírně nad spojnici Di-Hd, což indikuje určitý podíl Si-deficitních komponent (hlavně Ca-Al tschermakit a esseneit).

Klinopyroxen je vázán do mikrokrytalických, několik desítek μm širokých zón, které lemují schránky mikrofosilií. Tvoří laločnaté až symplektitické agregáty 1 - 10 μm velké, které intimně srůstají s anortitem (obr. 3b, 4). Vznikl reakcí schránek mikroorganismů a vápenného detritu s okolními silikáty. Chemické složení klinopyroxenu je variabilní zejména co se týče poměru Fe a Mg ($\text{XMg} = 0.32 - 0.63$) a substituce Al a Fe^{3+} ($^{\text{IV}}\text{Al} = 0.09 - 0.22$, $^{\text{VI}}\text{Al} = 0.04 - 0.07$, $^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+} = 0.03 - 0.11$ apfu). Většina analyzovaných zrn tak odpovídá Si-deficitnímu hořečnatému hedenbergitu, v jednom případě jde o Si-deficitní železnatý diopsid (obr. 6, tab. 4). Klinopyroxen je chudý Na_2O (pod 0.02 hm. %), obsahuje kolísavé koncentrace TiO_2 (0.02 - 0.65 hm. %) a zvýšené koncentrace Cr_2O_3 (až 0.45 hm. %).

Tabulka 4 Chemické složení pyroxenů (hm. %), přepočteno na 6 atomů kyslíku a sumu 4 kationtů

	cpx*	cpx	cpx	opx*
SiO ₂	45.18	47.58	50.44	52.71
TiO ₂	0.65	0.04	0.07	0.02
Cr ₂ O ₃	0.00	0.44	0.34	0.21
Al ₂ O ₃	6.31	2.34	2.95	1.35
FeO	17.60	21.64	11.92	22.14
MnO	0.15	0.15	0.14	0.38
MgO	5.89	4.86	10.52	22.51
CaO	23.02	23.00	23.69	0.72
Na ₂ O	0.01	0.00	0.02	0.00
K ₂ O	0.03	0.00	0.02	0.03
ZnO	0.09	0.00	0.07	0.03
V ₂ O ₃	0.09	0.07	0.09	0.02
total	99.02	100.13	100.25	100.11
T-site				
Si	1.779	1.887	1.912	1.958
Al	0.220	0.109	0.088	0.042
Fe ³⁺		0.004		
total T	2.000	2.000	2.000	2.000
M1-site				
Al	0.072		0.043	0.017
Fe ³⁺	0.107	0.095	0.030	0.017
Ti	0.019	0.001	0.002	0.001
Cr	0.000	0.014	0.010	0.006
V	0.003	0.002	0.003	0.001
Zn	0.003	0.000	0.002	0.001
Mg	0.346	0.287	0.594	0.958
Fe ²⁺	0.450	0.600	0.316	
total M1	1.000	1.000	1.000	1.000
M2-site				
Mg				0.288
Fe ²⁺	0.022	0.018	0.032	0.671
Mn	0.005	0.005	0.004	0.012
Ca	0.971	0.977	0.962	0.029
Na	0.000	0.000	0.001	0.000
K	0.001	0.000	0.001	0.001
total M2	1.000	1.000	1.000	1.000
XMg	0.423	0.317	0.631	0.650
XFe ³⁺	0.185	0.138	0.079	0.024

*analýzy použité pro modelování

Tabulka 5 Chemické složení pyrrhotinu (hm. %)

Fe	59.24	59.51	59.44*
Co	0.02	0.01	0.02
Ni	0.06	0.09	0.11
Cu	0.01	0.00	0.03
Mn	0.01	0.00	0.01
Cd	0.14	0.03	0.00
As	0.01	0.01	0.00
S	39.96	39.68	39.84
Se	0.04	0.04	0.00
total	99.47	99.41	99.50
Fe	0.918	0.924	0.921
Co	0.000	0.000	0.000
Ni	0.001	0.001	0.002
Cu	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000
Cd	0.001	0.000	0.000
As	0.000	0.000	0.000
S	1.079	1.073	1.076
total	2.000	2.000	2.000

*analýza použitá pro modelování

Tabulka 6 Chemické složení Fe-Ti-oxidů (hm. %). Přepočteno na 3 atomy kyslíku

mineral	ilmenit*	ilmenit	pseudorutil?	pseudorutil?
SiO ₂	0.18	0.15	0.33	0.33
TiO ₂	42.68	48.16	57.48	57.47
Cr ₂ O ₃	0.10	0.05	0.07	0.03
Al ₂ O ₃	0.23	0.18	1.59	1.15
FeO ^{tot}	50.61	43.59	32.04	33.10
MnO	0.29	0.36	0.11	0.06
MgO	1.34	3.15	3.49	3.47
CaO	0.22	0.17	0.18	0.23
ZnO	0.06	0.07	0.09	0.08
ZrO ₂	0.13	0.13	0.19	0.15
V ₂ O ₃	0.57	0.10	0.32	0.13
Nb ₂ O ₅	0.06	0.14	0.14	0.11
SUM	96.46	96.24	96.02	96.29
Si	0.005	0.004	0.008	0.008
Ti	0.869	0.943	1.052	1.055
Cr	0.002	0.001	0.001	0.001
Al	0.007	0.005	0.046	0.033
Fe ²⁺ tot	1.145	0.949	0.652	0.676
Mn	0.007	0.008	0.002	0.001
Mg	0.054	0.122	0.127	0.126
Ca	0.006	0.005	0.005	0.006
Zn	0.001	0.001	0.002	0.001
Zr	0.003	0.002	0.003	0.003
V	0.012	0.002	0.006	0.003
Nb	0.001	0.002	0.002	0.001
total	2.112	2.044	1.906	1.914

*analýza použitá pro modelování

Ortopyroxen tvoří droboučké, ale poměrně dobře vyvinuté, krátce až dlouze sloupcovité krystalky 2 - 5 μm dlouhé, které vystupují buď osamocené v základní hmotě, nebo jejich skupinky vyplňují drobné okrouhlé nudule o průměru kolem 10 μm . Je v kontaktu s křemenem a s K-živcem a jeho podíl v hornině je jen několik %. Chemicky odpovídá železnatému enstatitu ($X_{\text{Mg}} = 0.65$), navíc obsahuje zvýšené koncentrace Al, Ca a stopy Cr (tab. 4).

Pyrrhotin v hornině zcela dominuje mezi přítomnými opakujícími minerály. Podle chemické analýzy hornina obsahuje 1.81 hm. % S^{tot}, což odpovídá obsahu 4.6 hm. % pyrrhotinu. Pyrrhotin je přítomen jako drobná zrnka o velikosti 1 - 5 μm roztroušená v základní hmotě, větší agregáty pyrrhotinu (ve výbrusu do 200 μm velké, ale na makrovzorku i větší) tvoří výplně některých schránek foraminifer. Jeho empirický vzorec je Fe_{0.92}S_{1.08} (obsahuje jen stopová množství Ni, Co, Cu, Cd v rozmezí 0.01 - 0.14 hm. %), tabulka 5. Nebyl zjištěn rozdíl v chemismu mezi hrubým a jemným pyrrhotinem.

Ti-Fe fáze jsou dosti častou akcesorií rozptýlenou porůznu v základní hmotě s velikostí zrn do 15 μm . Byly zjištěny dvě různé fáze. První, která je tmavší v BSE, odpovídá stechiometricky ilmenitu (FeTiO₃), druhá má více Fe a méně Mg a mohla by odpovídat pseudorutilu (Fe₂Ti₃O₉). Obě fáze jsou chudé MnO a mají zvýšené koncentrace MgO (1.34 - 3.49 hm. %) a také oxidů Zr, V a Nb (tab. 6).

Titanit tvoří hypidiomorfní izometrická zrna do 3 μm , výjimečně až 10 μm (jediné analyzované zrno). Obsahuje zvýšené koncentrace FeO^{tot}, Al₂O₃ a F (tab. 7).

Apatit byl zjištěn jako agregát nepravidelného laločnatého tvaru o velikosti asi 30 x 15 μm . Obsahoval velmi drobné inkluze silikátů. Orientační EDX analýza potvrdila vedle dominujícího P a Ca zvýšenou koncentraci Si, síra detekována nebyla. Větší část apatitu je přítomna porůznu v základní hmotě ve formě velmi drobných zrn o velikosti pod 0.5 μm .

Sádrovec supergenního původu tvoří na puklinách ojedinělé drobně šupinaté povlaky bezbarvých krystalků.

Tabulka 7 Chemické složení titanitu (hm. %), přepočteno na 5 atomů O+F

SiO ₂	30.52	Si	1.016
TiO ₂	30.57	Ti	0.765
Cr ₂ O ₃	0.07	Cr	0.002
Al ₂ O ₃	3.83	Al	0.150
FeO	3.30	Fe ²⁺	0.092
MnO	0.02	Mn	0.001
MgO	0.11	Mg	0.006
CaO	27.73	Ca	0.989
BaO	0.49	Ba	0.006
ZrO ₂	0.11	Zr	0.003
V ₂ O ₃	0.40	V	0.011
Nb ₂ O ₅	0.13	Nb	0.002
F	1.66	F	0.175
-O=F	0.70		
total	98.25	total kat.	3.043

Závěr

Protolitem porcelanitu byl vápnitý jílovitý prachovec (slínovec) březenského souvrství, bohatý makro i mikrofosíliemi, zejména foraminiferami, úlomky jehlic hub a ostnů ježovek. Sediment prodělal na kontaktu se žilou miocenního basanitu kontaktní metamorfózu v sanidiniové facii. Primárními minerály původního sedimentu byly hlavně křemen, illit a kalcit. Při termální metamorfóze došlo k transformaci původních fází na minerály sanidiniové facie, přičemž většina sedimentárních struktur i tvary původních mikroorganismů zůstaly zachovány. Podle výpočtu z celkové chemické analýzy horniny a analyticky zjištěných složení minerálů se hornina skládá ze 22 % křemene, 25 % anortitu, 21 % K-živce, 18 % skla, 5 % klinopyroxenu, 4.6 % pyrotinu, 3 % ortopyroxenu a 1.5 % ilmenitu. Zatímco základní hmota porcelanitu tvořená jemnozrnnou směsí křemene a draselného živce vznikla ze směsi klastického křemene a illitu, z vápnatých schráněk a jejich úlomků vznikly symplektity s převahou anortitu a klinopyroxenu. Unikátní je zachování tvaru schráněk mikrofosílií (pseudomorfovanými zmíněným symplektem), které svědčí pro přeměnu materiálu *in situ*, bez větších deformací. Zvýšené koncentrace Cr v klinopyroxenu zároveň svědčí pro přínos fluid z bazanitové žíly.

Podle minerální asociace, zejména pak s ohledem na přítomnost křemene a absenci tridymitu, lze teplotu vzniku porcelanitu odhadnout v petrogenetické síti konstruované pro pyrometamorfované horniny křemen-živcového složení (Grapes 2006) na 840 - 900 °C při tlaku $P < 0.2$ Kb, tj. porcelanit z Mladějova spadá do pole nízko tepevaných buchitů.

Přítomnost ilmenitu a pyrotinu a absence magnetitu pak indikují nízkou aktivitu kyslíku během pyrometamorfózy, tj. ukazují na redukční podmínky. Pro tento fakt svědčí také zvýšená koncentrace elementárního uhlíku (0.05 hm. %) a poměrně nízký podíl trojmocného železa (5.59 hm. % FeO a 1.01 hm. % Fe₂O₃), obojí zjištěné analyticky v hornině.

Poděkování

Výzkum porcelanitu z Mladějova byl podpořen projektem VaV - SP/2e6/97/08, který je financován Ministerstvem životního prostředí ČR, interním grantem ČGS č. 329200 a byl zároveň součástí Výzkumného záměru České geologické služby (MZP0002579801).

Dále autoři děkují Miroslavu Bubíkovi a Stanislavu Čechovi (Česká geologická služba) za identifikaci fosílií a Romanu Skálovi (Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha) za přepočítání empirických vzorců pyroxenů. Dík patří také recenzentům, Pavle Hršelové a Zdeňku Dolníčkovi z katedry geologie Univerzity Palackého v Olomouci.

Literatura

- Cajz V., Rapprich V., Schnabl P., Pécskay Z. (2009): Návrh litostratigrafie neovulkanitů východočeské oblasti. - *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2008*, 9-14.
- Čech S., Čáp P., Holásek O., Hroch T., Prouza V., Rapprich V., Skácelová Z., Tasáryová Z., Valín F. (2010): Základní geologická mapa České republiky 1:25 000, list 03-342 Rovensko pod Troskami. - MS, Archiv České geologické služby, Praha.
- Čtyrský P., Novák F. (1978): Flyš a medlovické porcelanity v jižní části Chřibů. - *Čas. Mineral. Geol.* **23**, 1, 77-88.
- Grapes R. (2006): *Pyrometamorphism*. - Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 275 pp.
- Morimoto N., Fabries J., Ferguson A. K., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F. A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. (1988): Nomenclature of pyroxenes. - *Mineral. Mag.* **50**, 535-550.
- Rapprich V., Cajz V., Košťák M., Pécskay Z., Řídkošil T., Raška P., Radoň M. (2007): Reconstruction of eroded monogenic Strombolian cones of Miocene age: A case study on character of volcanic activity of the Jičín Volcanic Field (NE Bohemia) and subsequent erosion rates estimation. - *J. Geosci.* **52**, 3-4, 169-180.
- Žáček V., Skála R., Dvořák Z. (2010): Petrologie a mineralogie porcelanitů mostecké pánve - produktů fosilních požárů neogenní hnědouhelné sloje. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **18**, 1, 1-32.