

CHEMICKÉ SLOŽENÍ LOŠTICKÝCH POHÁRŮ

Chemical composition of ceramic tumblers from Loštice

Renata Čopjaková¹, Vladimír Goš³, Miroslava Gregerová¹, Martin Hložek², Radek Škoda¹¹ Ústav geologických věd, PřF MU Kotlářská 2, 61137 Brno; e-mail: mirka@sci.muni.cz² Ústav archeologie a muzeologie, FF MU Arna Nováka 1, 602 00 Brno; e-mail: 10001@mail.muni.cz³ Ústav historie a muzeologie, Filosoficko-přírodovědecká fak. v Opavě, Masarykova třída 37, Opava; e-mail: vladimir.gos@fpf.slu.cz**Key words:** pottery, technology, almandine melting, chemical composition, chemical formula, firing temperature**Abstract**

The paper summarizes results of geochemical examination of the Loštice pottery. A clay nodule found during archaeological works was used for a part of tumbler replicas' production as a plastic raw material. At the temperature over 1 200 °C, the replicas made of loess collapsed. The affect of garnets on formation of "blebs" was experimentally verified. The results showed that the ceramic tumblers of the (010) and (020) groups were made of clay soil with the addition of almandine garnet as non-plastics. The "blebs" form by thermal decomposition of almandine. The firing temperature must exceed 1 200 °C. Cordierite (sekaninaite, possibly ossumilite) crystallizes from the melt. Another part of replicas was made of local loess.

Úvod

Cílem provedeného studia je rozšíření poznatků o technologickém procesu a chemickém složení středověké keramické skupiny, jež byla produkována v Lošticích a blízkém okolí od počátku 15. století do poloviny 16. století. Keramika, zejména pak poháry s věncem oušek na podhrdlí, zaujaly již ve středověku na trhu nezastupitelné místo a zpestřovaly stoly vysoké šlechty i obyčejných měšťanů. Dnes již těžko pochopíme, proč hrubý povrch pokrytý puchýřky byl ve své době tak populární. Vysvětlením může být snaha vzdělaných renesančních šlechticů zakládajících tzv. Kunstkomory (Goš 2007). V rámci stavebních aktivit v Lošticích se v roce 1978 podařilo zachytit rozsáhlé střeptišť (Goš 1983), prokazující usedlost hrncíře. Vstup do prostor byl od nynější Komenského ulice. Výměty z pecí byly uloženy na úrovni původního povrchu, takže nebylo možné stanovit přesnější rozměry.

V jámě 17 se nacházelo zhruba 700 jedinců keramiky rozdrčených na velmi malé kousky. Z nich nejpočetnější byly střepy představující tzv. loštické zboží. Cca 450 nádob, většinou pohárů štíhlých tvarů s okrajem ve tvaru okruží mělo povrch s puchýřky a hnědavou barvu (skupina 010). Do skupiny (020) spadalo 100 úlomků, do skupiny (030) můžeme zařadit 50 částí hrnců s okrajem ve tvaru okruží a 100 jedinců náleží skupině (040) – keramice písčité. Dalšími výkopy byla odkryta malá pec. Půdorys pece byl obdélníkový o vnější šířce 110 cm a vnitřní 60 cm. Stěny pece byly zbudovány z velkých kamenů omazaných hlínou, která byla do červena vypálená. Kopuli pece tvořila jemná mazanice silně promíšená střepy z těl masivních zásobnic. Dno pece bylo rovné, tvrdě vypálené do žluto červena. Vypalovací prostor měl pravděpodobně kruhovitý tvar o průměru cca 160 cm. Z pece se dochoval v jižní části lalok o celkové šíři 70 cm s vnitřní světlostí 40 cm. Lalok se plynule rozšiřoval do vypalovacího prostoru. Obě vnější stěny byly zesíleny naplocho položenými kameny. Na jaře 2004 zahájil Městský úřad v Lošticích přístavbu tělocvičny

v prostoru mezi obchodním domem Jednota a základní školou. Během výkopových prací byly odkryty další dvě pece a střepišť, které plynule navazovalo na destrukci pecí. Střeptišť obsahovalo keramické střepy skupiny (010), zlomky pohárů, hrnce s okraji ve tvaru okruží, se silně přepáleným povrchem. Keramická skupina (020) zde byla zastoupena 28 ks (hrnce). Ostatní keramické skupiny zde chybí (vyjma 1 ks hrnce skupiny 030).

Metodika

Chemické silikátové analýzy byly stanoveny v laboratořích ACME ve Vancouveru v Kanadě (celková horninová analýza hlavních oxidů byla stanovena ICP-emisní spektrometrií a stopové prvky ICP-MS). Vybrané vzorky byly analyzovány tzv. mokrou cestou v chemické laboratoři ÚGV (analyzovali P. Kadlec a I. Zavadilová), PřF MU Brno. Jednotlivé složky byly stanoveny těmito metodami: -H₂O – sušením na 110 °C; + H₂O – Penfieldova metoda; SiO₂ – vážkově; TiO₂ – fotometricky s H₂O₂; Al₂O₃ – titračně KIII; Fe₂O₃ – fotometricky; FeO – titračně K₂Cr₂O₇; MgO – AAS; CaO – titračně KIII; Na₂O – AAS; K₂O – AAS; P₂O₅ – fotometricky; MnO – AAS; SO₃ – vážkově; S – vážkově; C, F, Cl; CO₂ – absorpčně. Výsledná data byla zpracována v programu MS Excel 2002. Přepočet na normativní minerály sedimentárních hornin byl proveden pomocí programu MINLITH.

Leštěné výbrusové preparáty vybraných keramických artefaktů z pohárů byly analyzovány na elektronové mikroskopové CAMECA SX 100 za podmínek: urychlovací napětí 15 kV a proud svazku 10 nA, průměr svazku 2–10 μm, doba načítání 10–30 s na prvek (Laborať elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, ÚGV, PřF MU Brno. Analyzovali: R. Čopjaková, P. Sulovský, R. Škoda). Jako standardy pro silikáty a sklovinu byly použity: albit (Na), andradit (Ca, Fe), sanidin (K, Si), Ni (Ni), rhodonit (Mn), andalusit (Al), olivín (Mg), baryt (Ba), fluorapatit (P, F), vanadinit (Pb, Cl), chromit (Cr), pro spinelidy byly použity: gahnit (Al, Zn), andradit (Ca, Fe), titanit (Ti), chromit (Cr), spinel (Mg).

Chemické složení archeologických artefaktů

Charakteristické poháry s povrchem pokrytým puchýřky se v Lošticích, případně jejich okolí začaly vyrábět na počátku 15. století, ještě před husitskými válkami (Goš 2007).

Pro posouzení celkového složení výchozí suroviny byly provedeny chemické silikátové analýzy. Chemické analýzy byly provedeny u osmi artefaktů keramiky, dvou předpokládaných surovin a na 4 vzorcích odebraných z kupole pece (viz tab. 1). Již na první pohled je patrné, že sprašová hlína (L2) je podobná surovině použité na výstavbu pece (23/0). U ostatních analyzovaných artefaktů jsou patrné určité rozdíly v zastoupení oxidů. Protože v petrologii existují relace mezi minerálním a chemickým složením, byly vytvořeny přepočty, které dovolují převést chemickou analýzu na minerální složení. Pro odlišení od reálného minerálního složení se pro vypočtené minerální standardy používá termín „normativní minerál“. Jde o normativní křemen, albit, plagioklas atd. Stanovení těchto norm se provádí podle standardních zjednodušených vzorců minerálů pomocí počítačových programů např. MINLITH. V tab. 1 jsou uvedeny pouze vybrané normativní minerály, které byly využity pro grafické znázornění (Q – křemen, C – uhlík, Pl – plagioklasy, Carsd – karbonáty, Ill+Kn – illit + kaolinit).

Výsledky přepočtu prokázaly, že suroviny keramické skupiny (010), (020), (030) i skupiny (040) si jsou vzájemně velmi blízké. Pro ověření možnosti uplatnění normativních minerálů pro identifikaci surovinové báze loštické keramiky byly vybrány tři vzorky vizuálně rozdílných artefaktů (L4, L5, L6) první keramické skupiny (010), dva artefakty (L3, L9) druhé keramické skupiny (020) a po jednom vzorku ze zbývajících tří keramických skupin.

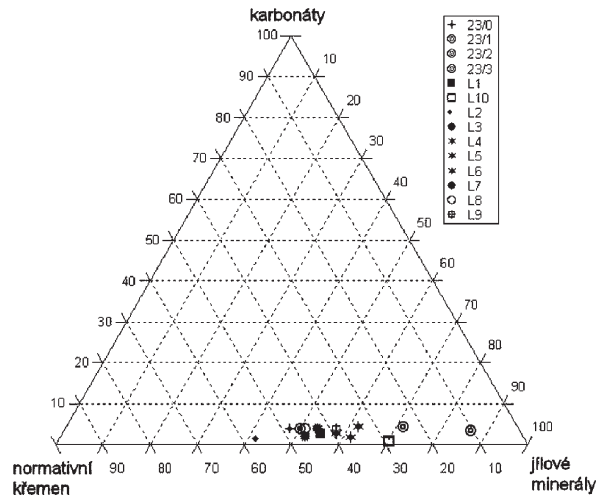
Z tab. 1, 2, 3 a obr. 1, 2 je patrné, že přepočty normativních minerálů z chemických silikátových analýz a z WDX mikrochemických analýz základní hmoty a skloviny jsou vzájemně relevantní.

Přítomnost grafitu, v minerální normě artefaktů spolu s identifikací grafitu mezi reálnými minerály ve výbrusových preparátech prokazuje používání i grafitové suroviny. Kvalitní část vytríděných grafitových klastů mohla být použita v procesu technologie grafitové keramiky. Tzv. odpad (méně grafitu v klastech, více slíd, křemene, oxidů železa tzn. horší kvalita) mohl být naopak vhodným doplňkem ostrůva v technologii keramických nádob s povrchem pokrytým puchýřky tj. zejména skupiny (010). V analyzovaných artefaktech skupiny (010) je grafit přítomen pouze od 0,2 do 1,9 hm. %.

Povrchové červené zbarvení keramických artefaktů skupiny (010) vyvolává železnatá glazura s přísadkou taviva. S výjimkou jediného ze studovaných vzorků neobsahovaly glazury Pb. Výsledky studia mikrochemismu Pb glazury jsou uvedeny v tab. 7. Je velmi pravděpodobné, že i ostatní glazury byly alkalické a obsahovaly přísadku plaveného cihlářského jílu, který během výpalu vyvolá červené až fialové červené zbarvení všech glazur. Přísadky železitých jílu nemusely být vysoké, u loštických pohárů se pravděpodobně na červeném zbarvení střepu podílela podglazurová mezivrstva.

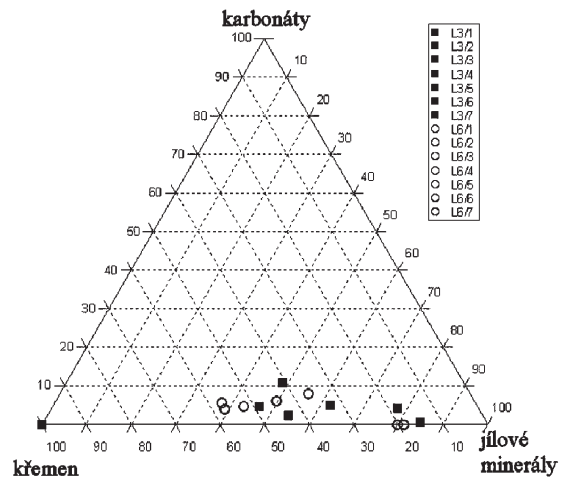
Experimentální ověření teplot výpalu a minerální skladby surovin

Pro zhotovení miniatur loštické keramiky byly jako plastické suroviny použity místní spraše a jíly, které byly odkryty během archeologických vykopávek v r. 1982. Jejich chemické složení je uvedeno v tab. 4.



Obr. 1: Normativní složení studovaných artefaktů a srovnávaných surovin, vypočtené z chemických silikátových analýz.

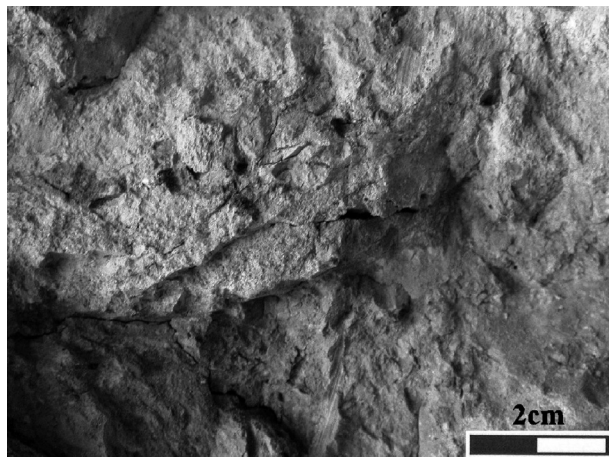
Fig. 1: Normative composition of examined artefacts and raw materials calculated from chemical silicate analyses.



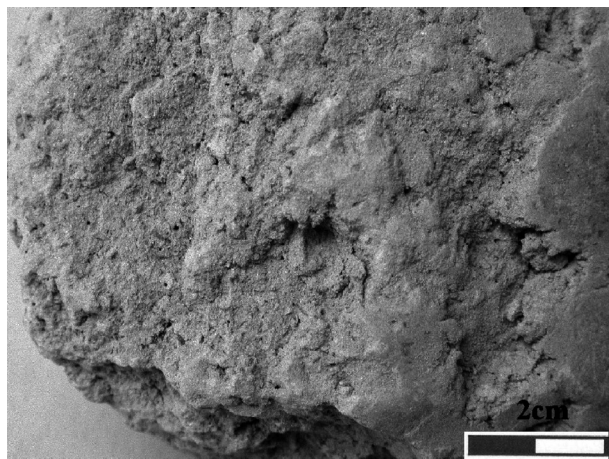
Obr. 2: Normativní složení studovaných artefaktů vypočtené z mikrochemismu skloviny a pojiva. Výsledky elektronové mikroskopie. Analyzoval P. Sulovský.

Fig. 2: Normative composition of examined artefacts calculated from the microchemism of glass and binder. Analyzed by P. Sulovský.

Vzorek makroskopicky označený jako tuhová surovina odpovídá jílu. Grafit je rozptýlený jako pigment. Surovina odpovídá terciérním ložiskům, které byly dobývány i pro výrobu keramiky v Žadlovicích a později v Litovli. Grafitový pigment zlepšoval vlastnosti střepu při vypalování (slinutější střep). Výpal surovin byl vždy bílý, na řezu střepu



Obr. 3: Jílová surovina použitá na experiment. Foto M. Hložek.
Fig. 3: Sample of clay raw material used for the experiment. Photo by M. Hložek.



Obr. 4: Spraš použitá na experiment. Foto M. Hložek.
Fig. 4: Sample of loess used for the experiment. Photo by M. Hložek.

byly stopy šedých šmouh. Zdánlivě tmavší zbarvení jílu je vysvětlováno primárním přeplavením výchozích surovin. Rozdíl mezi jílem a spraší je patrný již makroskopicky. Načervenalé zbarvení střepeu po výpalu souvisí s oxidy Fe.

Suroviny (obr. 3, 4) byly rozpracovány s vodou na plastické keramické těsto, do kterého byl jako ostřívo přimíšen granátový koncentrát (almandinové složení, obr. 5).

Výpal byl proveden v oxidační peci za teploty 1 250 °C. V průběhu výpalu vznikl v pohárcích zhotovených ze spraše takový obsah taveniny, že se zcela zhortily (obr. 6). Výrobky z jílové suroviny dokázaly odolávat vysokým teplotám bez deformace tvaru.

Ve sklovině experimentu i v keramických artefaktech skupiny (010) a (020) byly identifikovány novotvořené minerální fáze. Z obr. 7 a 8 je zřejmé, že jde o novotvořené krystaly vznikající z taveniny. Jedná se o minerály skupiny cordieritu (cordierit – sekaninait) a osumilit. Spolu nimi se objevují i spinelidy (hercynit, magnetit, magnesioferit), viz tab. 7. Výsledky chemických analýz jsou uvedeny v tab. 5 a 6.

V některých artefaktech skupiny (040) byly identifikovány reliktní granáty – pyropy (94,6 % pyropové, 4,4 % almandinové složky).



Obr. 5: Almandinový koncentrát použitý na experiment. Foto M. Hložek.
Fig. 5: Sample of almandine concentrate used for the experiment. Photo by M. Hložek.



Obr. 6: Miniatury loštických pohárů po výpalu v oxidační peci při teplotě 1 250 °C. Roztavené jsou poháry zhotovené ze spraše.
Fig. 6: Miniatures of the Loštice pottery after the firing in oxidation furnace at the temperature of 1 250 °C. The melted tumblers have been made of loess.

Provedené experimenty nám podávají důkaz o zá-měrném používání granátu almandinu. Repliky pohárů loštické keramiky zcela jednoznačně prokazují shodu patrnou makroskopicky, pozorujeme na nich stejné „puchýře“ jako u originálů. Optická i elektronová mikroskopie, výsledky studia mikrochemismu novotvořených minerálů v replikách experimentálně vypálených zcela jednoznačně prokázaly shodu mezi minerálními fázemi identifikovanými v replikách a originálech (porovnej tab. 5, 6 s tab. 8, obr. 7, 8 s obr. 9 a údaje uvedené v tab. 9).

Souhrn

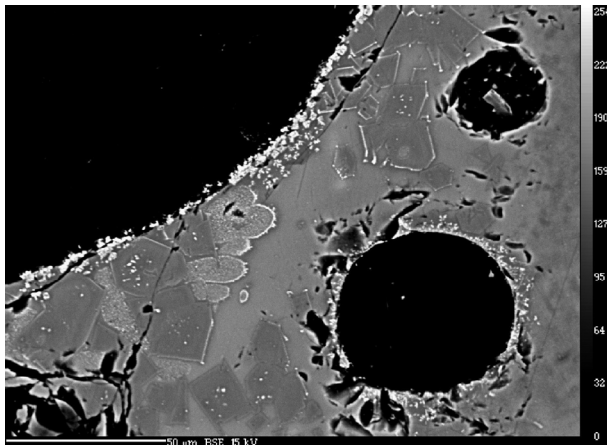
Z uvedených výsledků vyplývá, že technologie výroby loštických pohárů byla zcela odlišná, než jak ji popisují starší práce (Měchurová et al. 1992). Základní plastická surovina odpovídala jílu s nízkým obsahem velmi jemného grafitu (5–8 %). Pro experimenty byla použita originální surovina, která byla odebrána ze skládky hlíny v hrnčířské dílně zkoumané v Lošticích. Použití místní spráše z podloží bylo vyvráceno experimentálním výpalem replik zhotovených z této suroviny. Experimentální poháry z ní zhotovené se při teplotách kolem 1 200 °C zcela zdeformovaly – roztavily. Názor na vznik puchýřků rozkladem sulfidů, které obsahuje svinovský grafit (Měchurová, Čejka, Zalabák 1992) byl rovněž experimentem vyvrácen. Replika zhotovená z hlíny, odebrané v hrnčířské dílně, po provedeném výpalu neměla na povrchu žádné „puchýřky“. Ty se objevily pouze na replikách pohárů, které byly zhotovené ze shodné suroviny s přídavkem almandinu. Pro získání specifického zabarvení povrchu byla na vysušené repliky, před vlastním výpalem, nanášena engoba obsahující železité minerály a tavivo. Experimentální výpal dokazuje, že teplota výpalu loštické keramiky

se pohybovala mezi 1 200–1 250 °C. Všechny provedené analýzy vedou k jednoznačnému závěru. Počet a vzhled „puchýřů“ na pohárech loštické keramiky závisí na obsahu a chemickém složení granátu almandinu v surovinové směsi. Konverzní proces tavení granátu pyropalmandinového typu s kaolínem lze znázornit následující rovnicí: $2(\text{Fe,Mg})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12} + 4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \rightarrow (\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18} + 4(\text{Fe,Mg})\text{Al}_2\text{O}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + 9\text{SiO}_2$.

Složení spinelu, vznik cordieritu, sekaninaitu případně osumilitu závisí nejen na složení granátu, ale i na výchozí plastické surovině (Abbott – Clarke 1979, Green 1977). Teplota výpalu loštických pohárů byla téměř o 300 °C nižší než teplota uváděná Měchurovou et al. (1992) na základě RTG identifikace cristobalitu (1 470 °C). Zvýšení teploty nad 1 250 °C vede k otevření „puchýřů – bublin taveniny“ a vzniku „trychtýřů“.

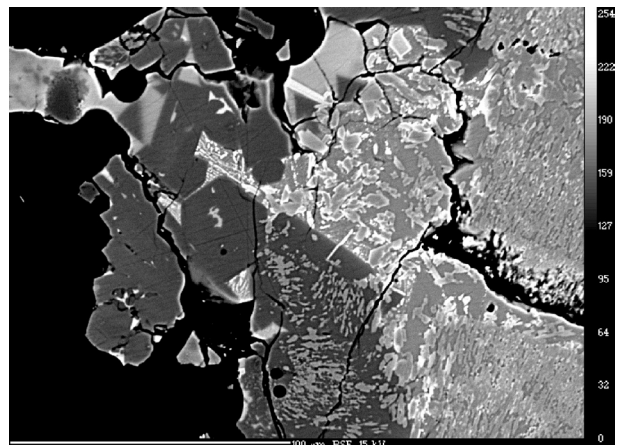
Poděkování

Příspěvek byl řešen jako součást výzkumného záměru MSM 0021622427 „Interdisciplinární studium výzkumů sociálních struktur pravěku až vrcholného středověku“.



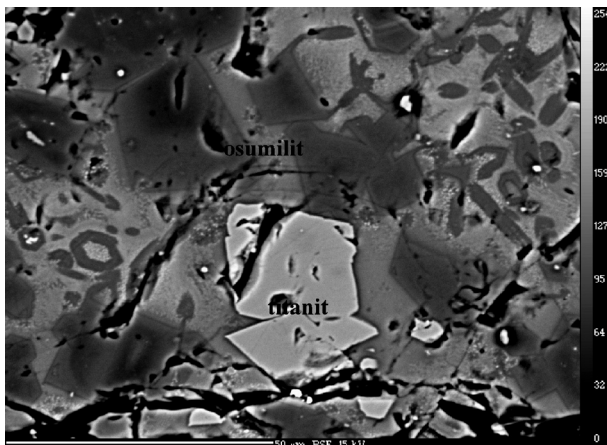
Obr. 7: „Puchýř“ loštické keramiky skupiny (020), vz. L 3, lemovaný tenkou vrstvou spinel a sklovinou s novotvořeným cordieritem. Foto R. Škoda.

Fig. 7: „Bleb“ in the Loštice pottery of the (020) group (sample no. L 3) lined with a thin layer of spinel and glass matter containing a new-formed cordierite. Photo by R. Škoda.



Obr. 9: Detailní snímek části „puchýře“ skloviny s novotvořeným cordieritem v provedeném experimentu. Foto R. Škoda.

Fig. 9: Detailed image of a glass „bleb“ with new-formed cordierite a sample after the experiment. Photo by R. Škoda.



Obr. 8: Detailní snímek osumilitu z „puchýře“ loštické keramiky skupiny (010), vz. L 1. Osumility nebývají lemované spinely. Foto R. Škoda.

Fig. 8: Detailed image of ossumilitite from the „bleb“ in the (010) group Loštice ceramics (sample no. L 1). The ossumilitite individuals are not rimmed with spinel. Photo by R. Škoda.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	Pec	Pec	Pec	Pec
											23/0	23/1	23/2	23/3
SiO ₂	55,7	72,9	66,7	60,4	58,9	64,7	68,6	67,4	65,2	45,4	72,5	58,1	54,2	51,1
TiO ₂	0,9	0,8	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,7	0,5	1,2	0,8	0,4
Al ₂ O ₃	21,8	11,2	23,4	24,8	24,8	23,2	20,9	22,1	24	17,3	13,8	31,6	25,9	30,6
Fe ₂ O ₃	4	4,1	4	5,1	5,6	5,3	4,3	3,4	3	7,4	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,2	3,5	10,9	10,4
MgO	1	1,1	1	1,1	1,3	1,2	0,9	1	1,1	1,6	0,8	0,9	2,9	2,7
CaO	0,9	0,9	0,9	0,9	1	0,8	0,6	0,9	0,9	0,9	1,2	0,7	0,9	0,7
Na ₂ O	0,3	1,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,1	0,6	0,5	0,4	0,4
K ₂ O	1,9	2,7	2,3	2,3	2,4	2,4	2,8	2,3	2,7	2,6	4,4	3	3	2,7
P ₂ O ₅	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6	0	0	0	0
MnO	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,1
C	0,6	0,2	0	1,9	1,4	0,2	0	0	0	8	0	0	0	0
S	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0
CO ₂	0,4	0	0	1,8	2,4	0,3	0	0	0	14,2	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	87,7	95,2	99,9	99,7	99,4	99,7	99,7	98,6	98,3	99,5	99	99,5	98,8	99
Normativní složení														
Q	26,4	54,1	29,2	24,3	21,7	28,4	35,1	32,1	27,4	22,2	46,6	12,9	14,8	6,8
C	0,6	0,2	0	1,9	1,4	0,2	0	0	0	8	0	0	0	0
Pl	0	10,2	0,1	0	0	0	2,5	0,2	0,9	0	5,4	2,2	0	0
Carsd	2,8	1,3	2,6	1,2	2,9	2,1	1,7	2,8	2,5	0,7	3,2	2,4	3	2,3
Ill+Kn	55	28	50,9	53,4	55,1	49,1	48,8	49,2	54,2	41,6	33,7	73,1	48,6	58,6
Chl+Mm+Sp	12,2	0,6	14	17,9	15,4	17,8	8,3	13,1	12,8	22,9	0	6,7	29,8	28,7
Ht	1,5	3,4	2	0	2,1	1	2,5	1,4	0,9	0	3,4	1,6	3,1	3,2

Tab. 1: Chemické složení vybrané loštické keramiky. Minerální norma artefaktů vyjádřená pomocí normativního křemene, plagioklasů, uhlíku a karbonátů.

Vysvětlivky: L1 – surovina šedá, jílovitá s kousky grafitu, L2 – surovina sprašová hlína, L3, L7 – keramika skupiny (020), L4, L5, L6 – keramika skupiny (010), L8 – keramika skupiny (030) L9 – keramika skupiny (040), L10 – grafitová keramika (050). Chemické analýzy vzorků označených 23/0, 23/1, 23/2, 23/3 byly stanoveny na elektronovém mikroskopu CAMECA SX100. Zkratky normativních minerálů: Q – křemen, C – grafit, Pl – plagioklas, carsd – karbonáty, Ill – illit, Kn – kaolinit, Chl – chlorit, Mm – montmorillonit, Sp – serpentín, Ht – hematit. Chemické analýzy vzorků L1–L10 byly stanoveny klasickou silikátovou analýzou tzv. mokrou cestou.

Tab. 1: Chemical composition of selected Loštice pottery fragments. The mineral norm of the artefacts is expressed using normative quartz, plagioclases, carbon and carbonates.

	světlá	světlá	tmavá	tmavá	tmavá	světlá	tmavá	světlá	světlá	světlá	světlá	tmavá	tmavá	tmavá
	L3/1	L3/2	L3/3	L3/4	L3/5	L3/6	L3/7	L6/1	L6/2	L6/3	L6/4	L6/5	L6/6	L6/7
SiO ₂	66,5	68,9	58,8	58,2	57,4	62,5	51,9	68,1	72,7	69	69,2	49,6	49,4	62,5
TiO ₂	1,6	1,5	1,3	1,1	0,2	1,2	0,3	0,1	0	0	1,1	0,4	0,4	1,3
Al ₂ O ₃	14,9	13,8	30,3	33,5	29,1	14,9	36,2	18,9	13,6	20,3	15,4	33,3	33,7	16,2
FeO	7,7	6,7	2,8	1,9	4,5	5,7	2,5	3,9	3,8	2,9	3,2	4,9	4,8	4,2
MgO	0,8	0,7	1,5	1,5	3,6	1,1	7,1	0,5	0,7	0,8	1,4	10,8	11,3	4,1
CaO	1,4	1,3	1,1	1	0,6	1,5	0,1	1,3	1,8	1,4	3,5	0	0	6,1
Na ₂ O	0,6	0,5	0,2	0,5	0,1	0,4	0,1	0,7	0,8	0,8	0,7	0	0	0,5
K ₂ O	4,4	4,6	2,1	2,1	0,4	3,1	1,2	4,1	4,6	3,7	3,4	0,1	0,2	1,9
P ₂ O ₅	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,4	0,3	0	0,8	0	0	1,5
MnO	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0,5	0,7	0	0,1	0	0,1	0,3
Total	98,1	98	97,9	99,9	95,8	90,3	99,5	97,9	98,4	98,9	98,6	99,1	99,8	98,4

Tab. 2: Chemické složení světlé a tmavé skloviny. Výsledky WDX analýz. CAMECA SX 100.

Tab. 2: Chemical composition of light and dark matter. WDX analyses results.

	světlá	světlá	tmavá	tmavá	tmavá	světlá	tmavá	světlá	světlá	světlá	světlá	tmavá	tmavá
	L3/1	L3/2	L3/3	L3/4	L3/5	L3/6	L3/7	L6/1	L6/2	L6/3	L6/4	L6/5	L6/6
Ab	4,8	4,3	0	0	0	1	0	5,4	6,4	6,4	3,6	0	0
An	0,5	0,5	0	0	0	0,1	0	0,6	0,7	0,7	0,4	0	0
Pl	5,3	4,8	0	0	0	1,1	0	5,9	7,1	7,1	4	0	0
Or	4,8	8,2	0	0	0	0	0	8,5	9,9	0	0	0	0
Q	39,9	42,8	17	9,3	19,9	38,7	6	35,7	45,2	36,3	40,7	10,7	10,2
Mm	0	0	6	14,8	2,6	10,7	4,7	0	0	1,2	9,6	0	0
Ill	37	33,3	20,5	20,3	4,4	34,6	11,2	26,4	30,2	37,9	34,6	1	1,6
Chl	0	0	4,7	2,2	17,3	0	21,8	0	0	0	2,2	41,2	42
Kn	0,8	0	48,1	50,1	54,3	3,4	54,9	17	0	13,2	0	46,7	45,7
Ap	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0,9	0,8	0	1,8	0	0
Cc	0	0	1,2	0,4	0,8	0	0	0	0	0,1	2,4	0	0
Dl	0	0,1	0	0	0,4	0	0,3	0	0,3	0	0	0	0
Ank	3,8	4,6	1,3	1,5	0	5,8	0	2,7	4,3	4,3	3,6	0	0
Rch	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0
Sd	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	0	0	0
Srp	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0
Ht	6,1	4,7	0	0	0	0	0	2,4	1,5	0	0	0,1	0,1
Prl	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0,6	0,8	0	0	0	0,1
Rt	1,6	1,4	1,2	1	0,2	1,2	0,3	0,1	0	0	1,1	0,3	0,3
Fsp	10,2	13	0	0	0	1,1	0	14,4	17	7,1	4	0	0
Pel	37	33,3	31,2	37,3	24,3	45,2	38,5	26,4	30,2	39,1	46,4	42,2	43,7
PelFsp	47,2	46,3	31,2	37,3	24,3	46,3	38,5	40,8	47,2	46,1	50,4	42,2	43,7
Carsd	3,8	4,6	2,5	1,9	1,2	10,3	0,3	2,7	4,5	4,4	6	0	0
Ill+Kn	37,8	33,3	68,6	70,4	58,7	38	66,1	43,3	30,2	51	34,6	47,7	47,3
Chl+Mm+Srp	0	0	10,7	17	19,9	10,7	27,3	0	0	1,2	11,8	41,2	42

Tab. 3: Normativní minerální složení světlé a tmavé skloviny. Přepočteno programem MINLITH.

Vysvětlivky : L6 – keramika skupiny (010), L3 – keramika skupiny (020). Ab – albit, An – anortit, Pl – plagioklas, Or – ortoklas, Q – křemen, Mm – montmorillonit, Ill – illit, Chl – chlorit, Gb – gipsit, Kn – kaolinit, Ap – apatit, C – grafit, Cc – kalcit, Dl – dolomit, Ank – ankerit, Rch – rodochrosit, Sd – siderit, Srp – serpentín, Ht – hematit, Prl – pyrolusit, Rt – rutil, Fsp – total živce, Pel – total jílové minerály, PelFsp – suma živců a jílových minerálů, Carsd – suma uhličitánů, Ill+Kn – illit+kaolinit, Chl+Mm+Srp – chlorit + montmorillonit+serpentín.

Tab. 3: Normative mineral composition of light and dark glass matter. Recalculated using the MINLITH software.

Vzorek	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	C grafit	SO ₃
1	74,79	3,32	0,54	10,2	0,95	0
2	66,97	3,17	1,17	10,43	0,17	0

Tab. 4: Výsledky parciálních silikátových analýz (Silikátové analýzy byly provedeny GP Ostrava v r. 1985, nepublikováno.).

Vysvětlivky: 1 – Tuhová surovina (odběr 1982, čtverec 4cs1, hloubka 120 cm, zásyp objektu); 2 – podložní spraš (odběr 1982, čtverec 3bs21, hloubka 200 cm).

Tab. 4: Results of partial silicate analyses.

Legends: 1 – Graphitic material; 2 – Loess in footwall.

	L 3	L 3	L 5	L 5	L6	L6	L 11	L 11	L 11	L 15	L 15	L 15
SiO ₂	54,6	47,6	49,3	48,5	49,6	47,6	47,1	47,1	46	48,3	46,3	47,3
TiO ₂	0,3	0,2	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Al ₂ O ₃	29	36,5	32,6	33,2	33,3	33,8	32,3	32,3	33,9	32	32,8	32,4
FeO	8	7,7	7,2	7	4,9	8,5	14	14	13,6	16,3	16,8	16,7
MnO	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1
MgO	7,4	7,8	9,1	9,9	10,8	8,7	4,9	4,9	4,9	3,2	3,3	3,2
CaO	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0,1	0	0,2	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0
K ₂ O	1	0,3	0,6	0,5	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,7	0,6	0,5
P ₂ O ₅	0,1	0,1			0	0	0	0	0			
Total	101	100,5	99,3	99,4	99,1	99,4	99,1	99,1	99,2	100,9	99,9	100,3
NaKCa												
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0,1	0,3	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Suma	0,1	0,3	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
FeMgMn												
Fe _(ii)	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,7	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,5
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,3	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5
Al	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0				
Subtot	1,9	2	2	2,1	2	2	2	2	2	1,9	2	2
SiAl												
Si	5,6	4,8	5	4,9	5	4,8	4,9	4,9	4,8	5	4,9	5
Al	3,4	4,2	4	4,1	4	4,1	4,1	4,1	4,2	4	4,1	4
suma	9	9	9	9	9	8,9	9	9	9	9	9	9
O	18,3	18,1	18	18,1	18,1	17,9	18	18	17,9	18	17,9	17,9

Tab. 5: Chemické složení (WDX) cordieritu v keramickém střepu ložtických pohárů skupiny (010), vz. L-5, L-6 a skupiny (020), vz. L-11, L-3 a sekaninaitu skupiny (020), vz. L15. Chemický vzorec sekaninaitu: Fe₂Al₃[AlSi₅O₁₈], chemický vzorec cordieritu: Mg₂Al₃[AlSi₅O₁₈].

Tab. 5: Chemical composition (WDX) of cordierite in ceramic fragment of the (010) group (sample no. L-5 and L-6) and (020) group (sample no. L-11) and sekaninaite in the (020) group (sample no. L15). Chemical formulae of sekaninaite: Fe₂Al₃[AlSi₅O₁₈], chemical formulae of cordierite: Mg₂Al₃[AlSi₅O₁₈].

Comment	L 3	L 3	L 5	L 5	L6	L6	L 9	L 9	L-19	L- 19	L-24	L-24
SiO ₂	60,3	58,6	59,8	54,7	62,5	62,9	60	57,6	54,1	56,5	55,3	54,5
TiO ₂	0,1	0,1	0,8	0,3	1,3	1,5	1,1	0,8	2	1,7	1,6	1,6
Al ₂ O ₃	12,5	11,6	18,4	26	16,2	15,1	23,2	30,8	12,5	13,3	15	14,7
FeO	17,9	20,3	15,8	10	4,2	4,6	6,6	2,6	23,1	20,2	15,3	15,7
MnO	0,1	0,1	0	0,1	0,3	0,3	0,1	0	0,2	0,2	0,4	0,4
MgO	0,9	0,6	0,9	4	4,1	3,8	3,1	2,1	0,4	0,4	1,3	1,4
CaO	0,7	0,9	1,2	0,5	6,1	6,3	1,2	1,1	2,7	2,7	3,2	3,5
Na ₂ O	0,7	0,8	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,3	0,2	0,2	0,8	0,7
K ₂ O	4,5	4,5	2,7	2,7	1,9	2,1	4,1	3,1	2,9	3,6	3,4	3,2
Cl	0	0			0,3	0,3	0,1	0,1	0	0		
F	0	0	0	0	1,5	1,8			0	0		
BaO	0,2	0,2	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1				
P ₂ O ₅	0,1	0,1			0	0	0	0				
Total	98	97,8	100	99,3	99	99,4	100,4	98,7	98,1	98,8	96,2	95,7
NaKCa												
Na	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,3	0,3
K	1,1	0,9	0,6	0,6	0,4	0,5	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
Ca					0,3			0,2	0,3	0,1	0	0
Suma	1,2	1	0,6	0,7	0,8	0,6	1	0,9	1,1	1	1,1	1
FeMgMn												
Fe _(ii)	1,4	1,6	1,5	1,5	0,2	0,2	1	0,4	1,6	1,4	0,9	0,9
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
Mg	0,3	0,2	0,2	0,6	1,1	1	0,8	0,5	0,1	0,1	0,4	0,4
Ca	0,1	0,2	0,2	0,1	0,9	1,2	0,2	0	0,3	0,4	0,7	0,7
Al	0	0	0	0	0	0		1,1		0,1		
Subtot	1,8	2	1,9	2,2	2,2	2,5	2	2	2	2	2,1	2,1
FeAlTi												
Al	1,7	1,3	2,4	3	2,4	2,3	2,9	3	0,7	1,1	1,3	1,2
Ti	0	0	0,1	0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
Fe	1,3	1,5	0,4	0	0,4	0,5			2	1,6	1,4	1,6
Subtot	3	2,8	2,9	3	3	3	3	3,1	3	3	3	3
SiAl												
Si	11	10,8	10,6	9,6	11	11,1	10,2	9,9	10	10,3	10,1	10
Al	1	1,2	1,4	2,4	1	0,9	1,8	2,1	2	1,7	1,9	2
Subtot	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
O	30,3	30,2	30	29,9	30,8	30,8	30,3	30,8	30,3	30,3	30,2	30,1

Tab. 6: Chemické složení osumilitu (WDX) v keramických artefaktech loštických pohárů skupiny (010), vz. L-5, L-6, L-24, L-19 a (020), vz. L-3, L-9. Chemický vzorec Fe-osumilitu : (K,Na)(Fe,Mg)₂(Al,Fe)₃(Si,Al)₁₂O₃₀, chemický vzorec Mg-osumilitu : (K,Na)(Mg,Fe)₂(Al,Fe)₃(Si,Al)₁₂O₃₀.

Tab. 6: Chemical composition (WDX) of ossumilite in the ceramic artefacts of Loštice pottery of the (010) group (sample no. L-5, L-6, L-24, L-19) and (020) group (sample no. L-3, L-9). Chemical formulae of Fe-osumilite: (K,Na)(Fe,Mg)₂(Al,Fe)₃(Si,Al)₁₂O₃₀, chemical formulae of Mg-osumilite : (K,Na)(Mg,Fe)₂(Al,Fe)₃(Si,Al)₁₂O₃₀.

PbO	70,39	70,91	70,15
SiO ₂	20,93	20,63	20,19
TiO ₂	0,23	0,26	0,21
Al ₂ O ₃	5,73	5,76	6,32
Fe ₂ O ₃	2,24	2,15	2,37
MgO	0,26	0,31	0,26
CaO	0,54	0,53	0,56
Na ₂ O	0,13	0,09	0,11
K ₂ O	0,45	0,45	0,48
P ₂ O ₅	0	0	0,08
	100,9	101,09	100,72

Tab. 7: Chemické složení glazury vz. L 19, keramické skupiny (010). Analyzovala: R. Čopjaková.

Tab. 7: Chemical composition of enamel, (010) group (sample no. L 19). Analyzed by R. Čopjaková.

Comment	1.I	1.II	1.III	1.IV	1.V	2.I	2.II	4.I	4.II	4.III	4.IV	4.V	4.VI
SiO ₂	47,6	47,3	47,9	44,6	47,1	56	52,5	51,1	51,7	51,7	47,7	50,7	48,9
TiO ₂	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,2
Al ₂ O ₃	34	34,5	33,5	36	34,3	24,4	27,3	32	32,5	32,5	29,2	32,3	36,2
FeO	7,7	7,2	7,8	8,5	7,7	14,4	14	3,3	2,6	3,6	1,9	4,3	3,2
MnO	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MgO	8,9	9,1	8,6	9,1	8,7	2	3,6	11,9	12,3	11,4	4,1	11,2	10,7
CaO	0,1	0	0	0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	15,8	0,4	0
Na ₂ O	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0,4	0	0
K ₂ O	0,7	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5	0,3
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0,3	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0
Total	99,3	99,5	99,1	99,6	99,2	98,9	98,6	98,8	99,6	99,7	99,4	99,7	99,7
NaKCa													
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
K	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0	0	0	0	0,1	0
Ca	0	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0
suma	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1
FeMgMn													
Mg	1,3	1,4	1,3	1,4	1,3	0,5	0,6	1,8	1,8	1,7	0,6	1,7	1,6
Fe	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	2,3	1,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0	0	0						0	0	1,2	0	0,2
Subtot	2	2	2	2,1	1,9	2,8	1,9	2,1	2	2	2	2	2
FeAlTi													
Al						3							
Fe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
Subtot	0	0	0	0	0	3,1	0	0	0	0	0	0	0
SiAl													
Si	4,8	4,8	4,9	4,5	4,8	9,9	5,6	5,1	5,1	5,1	4,9	5	4,8
Al	4,2	4,2	4,1	4,5	4,2	2,1	3,4	3,9	3,9	3,9	4,1	4	4,2
Subtot	9	9	9	9	9	12	9	9	9	9	9	9	9
O	18	18	18	17,9	17,9	30,5	18,2	18,2	18,1	18,1	18	18,1	18

Tab. 8: Chemické složení cordieritu, sekaninaitu a osumilitu v keramických miniaturních replikách pohárů experimentálně vyrobených a vypálených na teplotu 1 250 °C.

Tab. 8: Chemical composition (WDX) of cordierite, sekaninaite and ossumilite in ceramic miniature replicas of tumblers experimentally produced at the temperature of 1 250 °C.

	L 13	L 13	L 13	L 11	L 11	L19	L19	exp 4	L 24	L 24	exp 4	exp 4	exp-1	exp-1	exp-2	exp-2
SiO ₂	0,3	0,4	0,6	0,3	0,4	0	0	0,3	5,7	2,9	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4
TiO ₂	1,1	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	1	0,4	0,4	0,9	0,8	0,4	0,4	0,3	0,3
Al ₂ O ₃	22,2	42,2	56,6	47	49,3	57,8	56,5	25	48,8	49,8	26,4	26	61,4	61,1	42,5	58
Cr ₂ O ₃	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,4	0	2,9	2,6	0	0	0,2	0,4	0	0,4
V ₂ O ₃	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,3	0,9	0	0,2	0,2	0	0	0,4	0,5	0,1	0,3
FeO	66,3	48,5	36,3	45,9	43,9	39	39,7	65,8	31,4	29,8	65,5	65,7	27,4	28,9	52,9	34,8
MnO	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	2,1	0,2	0,2	2,2	2,2	0,2	0,3	0,3	0,3
MgO	3,7	4,4	3	3,9	4,2	4,7	3,6	2,4	8,7	8,4	2,5	2,5	9,3	8,4	2	4,9
CaO	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0
ZnO	1	0,9	0,1	0,5	0,6	0	0	0	0,3	0,2	0,1	0	0,2	0,2	0,5	0,1
NiO	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0	0	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0
SnO	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
Total	95	97,5	98,2	98,7	99,4	102,6	101,9	96,9	98,9	94,8	97,7	97,3	99,6	100,2	98,8	99,5
Si	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0,1	1,3	0,7	0	0	0	0	0	0,1
Ti	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0
Al	7	12,1	15,5	13,2	13,6	15,1	15	7,8	13,1	13,8	8,1	8	15,7	15,7	12,2	15,4
Cr	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,5	0,5	0	0	0	0,1	0	0,1
V	0	0	0,1	0	0	0,1	0,2	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0,1
Fe(iii)	8,3	3,4	0	2,5	2	0,7	0,6	7,7	0	0	7,5	7,6	0	0	3,6	0,1
Fe(ii)	6,6	6,4	7	6,6	6,6	6,5	6,9	6,8	6	5,9	6,7	6,7	5	5,3	7,2	6,4
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0,5	0	0,1	0,1	0,1
Mg	1,5	1,6	1	1,4	1,5	1,6	1,2	1	2,9	2,9	1	1	3	2,7	0,7	1,6
Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0,2	0,2	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Tab. 9: Chemické složení spinelidů ve studovaných úlomcích loštických pohárů a experimentálně zhotovených miniaturách.
 Tab. 9: Chemical composition of spinelides in the examined fragments of the Loštice tumblers and in the experimentally produced miniatures.

Literatura

Abbott, R. N. Jr. – Clarke, D. B. (1979): Hypothetical liquidus relationships in the subsystem Al₂O₃-FeO-MgO projected from quartz, alkali feldspar and plagioclase for a (H₂O)<1. – Can. Mineral 17, 549–560.
 Goš, V. (1983): Středověké hrnčířství v Lošticích. – Pět let archeologických výzkumů města, Archaeologia historica, 8, 197–209.
 Goš, V. (2007): Loštice. Město středověkých hrnčířů. Opava.
 Green, T. H. (1977): Garnet in silicic liquids and its possible use as a PT indicator. – Contr. Mineral. Petrology 65,59–67.
 Měchurová, Z. – Čejka, J. – Zalabák, P. (1992): Příspěvek k problematice tzv. loštické keramiky. – Časopis Moravského muzea – vědy společenské 57, 201–212, Brno.