

Výsledky přírodovědných analýz gotických kamnových kachlů z Českého Krumlova

Ergebnisse naturwissenschaftlicher Analysen der gotischen Ofenkacheln aus Český Krumlov

Michal Ernée – Vladimír Hanykýř – Martin Maryška

Předloženo redakci 15. 12. 2003

V roce 1918 se v areálu hradu v Českém Krumlově našel početný soubor gotických kamnových kachlů. Dodnes se dochovalo 3.868 zloмок. K poznání technologie jejich výroby a způsobů užívání slouží mimo jiné analýzy keramické hmoty. Celkem u 38 vzorků jsme provedli následující analýzy: rentgenovou difrakční analýzu, optickou mikroskopickou analýzu výbrusů, zjištění nasákovosti, objemové hmotnosti a otevřené pórovitosti, analýzu teplotní roztažnosti, chemickou analýzu a analýzu zelených glazur. Zjištěn byl vysoký podíl grafitu (až 20–30 objemových %) u největších a nejtěžších kachlů (s rozměry až 36 x 36 cm). Díky svým vlastnostem (objemová stálost při změnách teploty) byl grafit do keramické směsi přidáván záměrně – jako ostřívo. U velkých kachlů částečně nahrazoval jinak nejčastější ostřívo – křemen. Kachle s obsahem grafitu jsou odolnější při náhlých změnách teploty během výroby i při užívání. Obsah krystalických fází v použitých keramických směsích dosahoval cca 15–45 objemových %. Teplota výpalu se pohybovala v intervalu cca 800–900 °C. Zejména u kachlů s prořezávanou čelní stěnou byla na výbrusech zjištěna jednoduše uspořádaná mikrostruktura. Podařilo se tak doložit výrobu polotovárů – hliněných plátů, na hrncářském kruhu.

jižní Čechy, Český Krumlov, kamnové kachle, pozdní gotika – 15. století, analýzy keramiky

In 1918 a large collection of gothic stove tiles was found within the area of Český Krumlov Castle. 3.868 shards have survived till the present day. Analyses of the ceramic material amongst other things was employed to identify the technology of their production and manner of use. We carried out the following analyses on 38 samples altogether: x-ray diffraction analysis, optical microscopic analysis of thin sections, water absorption, volume mass and open porosity, temperature expansion analysis, chemical analysis and green glaze analysis. A high proportion of graphite was established (up to 20–30 % of volume) in the case of the biggest and heaviest tiles (with dimensions of up to 36 x 36 cm). Graphite was intentionally added to the ceramic mixture as a temper due to its attributes (volume stability during changes in temperature). It was partially replaced in the case of the large tiles by the otherwise most common grog – quartz. Tiles with a graphite content are more resistant during sudden changes in temperature during production and whilst in use. The content of the crystalline phases in the used ceramic mixture reached around 15–45 % of volume. The firing temperature fluctuated within the span of around 800–900 °C. A unilinearly arranged microstructure was established in section mainly in the case of tiles with a cut frontal wall. It was thus possible to demonstrate the production of semi-manufactures – clay slabs, on a potter's wheel.

South Bohemia, Český Krumlov, stove tiles, late gothic – 15th century, ceramic analyses

1. Úvod

Na konci roku 1918 našli dělníci při vykopávání pařezů na severním svahu pod českokrumlovským horním hradem početný soubor zvířecích kostí, střepů keramických nádob a zejména zloмок kachlů (Ernée 2002; 2003; 2004). Kostí i většinu střepů patrně již krátce po nálezů vyhodili. Tehdejší výkopce i majitele zámku však zaujalo množství krásně reliéfně zdobených i barevně glazovaných čelních vyhřívacích stěn kachlů a dalších součástí gotických a renesančních

kamen. Dodnes se z nich dochovalo celkem 4.236 zloмок – 3.868 (91,31 %) z nich náleží gotickým a 368 (8,69 %) renesančním součástem kamen.¹ Jednou z cest k poznání technologie výroby a způsobů užívání kachlů se kromě experimentu (Ernée – Vitanovský 2003) staly také analýzy keramické hmoty.

2. Analyzovaný soubor – gotické součásti kamen z nálezů v r. 1918

Prevažná většina zloмок gotických součástí kamen (3.791 ks = 98,01 %) náležela komorovým kachlům s reliéfně zdobenou čelní vyhřívací stěnou (dále ČVS). Pouze v minimálním množství byly zastoupeny další součásti kamen: nádobkové kachle (6 zl. = 0,16 %),

¹ V letech 1999–2001 byl celý soubor komplexně zpracován a vyhodnocen v rámci výzkumného projektu financovaného Ministerstvem kultury ČR (Projekt PK99P04OPP011 "Soubor gotických a renesančních kamnových kachlů z Českého Krumlova"), jehož nositelem byl Mgr. Michal Ernée (souhrnně Ernée 2002; 2004). Jedním z publikačních výstupů projektu je i tento článek.

| Typ kamenné součásti | Počet zlomků | % | Min. počet jedinců | % | Ikonograf. motivů | % |
|--------------------------|--------------|---------|--------------------|---------|-------------------|---------|
| Nález z roku 1918 | 4 236 | | 479 | | 121 | |
| Gotické součásti kamen | 3 868 | 100,0 % | 448 | 100,0 % | 102 | 100,0 % |
| Komorové kachle | 3 791 | 97,9 % | 419 | 93,5 % | 86 | 84,2 % |
| Nádobkové kachle | 6 | 0,2 % | 4 | 0,9 % | 1 | 1,0 % |
| Prořezávané kachle | 6 | 0,2 % | 1 | 0,2 % | 6 | 5,9 % |
| Římsové nástavce | 55 | 1,4 % | 18 | 4,0 % | 7 | 6,9 % |
| Obkladové desky | 10 | 0,3 % | 6 | 1,3 % | 2 | 2,0 % |

Tab. 1. Numerické charakteristiky gotické části souboru z roku 1918. – **Tab. 1.** Quantitative Angaben zu den gotischen Kacheln aus dem Komplex des Jahres 1918.

kachle s prořezávanou čelní stěnou (dále ČS; 6 zl. = 0,16 %), římsové nástavce (55 zl. = 1,42 %) a obkladové desky (10 zl. = 0,26 %). Z celkového počtu 3.791 zlomků komorových kachlů náleželo pouhých 14 (0,37 %) kachlovým komorám. Zlomky pocházejí z minimálně 448 “kachlových” jedinců. Z toho náleží 419 (93,53 %) komorovým kachlům, 4 (0,89 %) nádobkovým kachlům, 1 (0,22 %) kachli s prořezávanou ČS, 18 (4,02 %) římsovým nástavcům a 6 (1,34 %) obkladovým deskám (tab. 1).

Při zpracování souboru byly všechny zlomky nejprve přiřazeny jednotlivým typům kamenných součástí – kachlům komorovým, nádobkovým, nádobkovým s prořezávanou ČS, římsovým nástavcům, obkladovým deskám, zlomky komorových a “prořezávaných” kachlů potom jednotlivým výzdobným ikonografickým motivům, zdobícím jejich čelní (vyhřívací) stěny. Z celkového počtu 3.868 zlomků se jim takto podařilo roztrždit 3.236 (83,7 %). Zbývající náležely ČVS blíže neurčitelných komorových kachlů. Jen 18 zlomků z celého souboru (0,47 %) neslo zelenou glazuru. Všechny ostatní byly neglazované – rezné, i když v některých případech lze uvažovat o záměrné úpravě povrchu jiným způsobem (slídnaté engoby, přetahy jemně plavenou hlinou apod.).

Keramická hmota. Keramické zlomky jsme rozdělili do čtyř keramických tříd – CK 01 až CK 04 (ke keramickým třídám např.: Břeň – Kašpar – Vařeka 1995, 38–40; Ernée – Vařeka 1998, 218, 220–221) – podle následujících vlastností keramické hmoty, vizuálně pozorovatelných zejména na lomu, případně na vnějším či vnitřním povrchu střepu: a) přibližný vzájemný poměr plastické a neplastické (příměsí) složky keramické hmoty v plošných %; b) porozita či “slinutost” střepu na lomu; c) způsob lomu střepu (odlamuje se po šupinkách, ostře – rovně apod.); d) velikost (v mm) a vzhled (barva) zrn jednotlivých neplastických příměsí (hornin, písku, úlomků keramiky apod.); e) přítomnost či nepřítomnost, případně četnost výskytu tuhy (grafitu)² v keramické hmotě; f) patrnost příměsí na povrchu střepu.

CK 01: Jemně přeplavená hlína obsahuje značné množství příměsí (cca 30–50 %). **Převládají zrna tuhy do 5–6 mm (nejvíce 1–2 mm), úlomky cihlově červené horniny do 1–3 mm, šupinky slídy do 2 mm a kaménky bílé barvy do 2 mm.** Ojedinelé se vyskytnou zrna větší velikosti nad 10 mm. Střep se láme po jemných, krátkých

šupinkách. Na lomu jsou patrné četné drobné puklinky a prázdná místa s otisky vyhořelých organických příměsí. Všechny příměsí pronikají povrchovou vrstvou střepu.

CK 02: Keramická hmota působí dojmem světlé malty, lom je velmi „písčítý“ – drolivý. Množství příměsí lze odhadnout na cca 30–50 %. Patrná jsou zejména bílá zrnka do 1,5–2 mm, méně často černá a červená do 1 mm. Ojedinelé se vyskytnou šupinky slídy do 1 mm.

Ve hmotě není patrná tuha. Není vyloučeno, že zlomky byly drhotně přepáleny.

CK 03: Použitá hlína je jemně přeplavená, lom ale není tak homogenní, jako u třídy CK 04. Kromě příměsí ho narušují i podélné lomy – puklinky. Příměsí tvoří šupinky slídy do 1–2 mm, drobné částičky hornin – červené, zejména však bílé, výjimečně černé do 1–1,5 mm.

Není patrná tuha. Na povrchu střepu je patrná zejména slída, ale i jiné příměsí. Obecně jsou příměsí četnější a větší než u CK 04. Jejich množství odhadujeme na cca 20–30 % keramické hmoty.

CK 04: Velmi jemně přeplavená hlína, lom působí jednotlívým, uspořádaným až slinutým – “sametovým” dojmem, je čistý, bez “deskovitého” odlomení a podélných puklinek. Příměsí nad 0,2–0,4 mm se vyskytují jen ojedinelé. Objevují se velmi malé šupinky slídy (do 0,2 mm), cihlově červená zrnka do 0,5 mm, bílé částičky 0,2–0,3 mm, velmi výjimečně i černé téže velikosti. **Není patrná tuha.** Množství příměsí odhadujeme na cca 5–15 % keramické hmoty. Na povrchu střepu jsou z příměsí patrné jen velmi drobné šupinky slídy.

Cílem roztrždit zlomků do keramických tříd bylo získat základní představu o variabilitě způsobů přípravy a složení používané keramické hmoty a na základě jejich vzájemné podobnosti či odlišnosti stanovit množství pravděpodobných “výrobních – technologických (chronologických?) horizontů”. Zároveň tak bylo stanoveno hodnotící kritérium pro všechny zlomky v souboru. Každý z nich je totiž přinejmenším nositelem informace o keramické hmotě, ze které byl vyroben, i když nenese žádnou informaci o typu kachle, způsobu jeho výzdoby, ikonografickém motivu, úpravě povrchu apod. Keramická třída se stala nejnižším společným jmenovatelem všech hodnocených kachlových zlomků – k jedné z nich bylo možné přiřadit jakýkoli atypický omlětý zlomek bez stopy po původním povrchu.

Výše uvedených 102 katalogových položek čítá při roztrždit na keramické třídy celkem 109 položek (graf 1). Kachle s některými ikonografickými motivy byly totiž z jedné formy vyrobeny ve dvou “materiálech” – ve dvou keramických třídách. Stejný motiv byl pak v jednom případě použit i na různých součástech kamen – komorovém kachli a obkladací desce. Nejhrubší keramická třída CK 01 byla použita nejčastěji – u 52 položek (47,7 %). Následují třídy CK 03, CK 04 a CK 02. Ještě výraznější je podíl třídy CK 01 v absolutním počtu zlomků kachlů (graf 2). Mezi 3.868 zlomky tvořila 92,8 % (3.589 zlomků). Ostatní třídy jsou zastoupeny minimálně.

Dalším krokem byl výběr vzorků pro detailní analýzy. Ty měly odpovědět na řadu otázek, které před námi vstaly v průběhu zpracování souboru:

1. **Potvrdí analýzy správnost roztrždit do keramických tříd – potvrdí se metodická správnost tohoto přístupu ke třídění podobně rozsáhlých souborů?**
2. **Jaké bylo složení používaných surovin? Jaké je zastoupení jednotlivých příměsí v rámci keramické hmoty u jednotlivých tříd, které příměsí byly přidávány a proč? Které jsou četné a které výjimečné? Je možné z mineralogického a chemického složení usuzovat na**

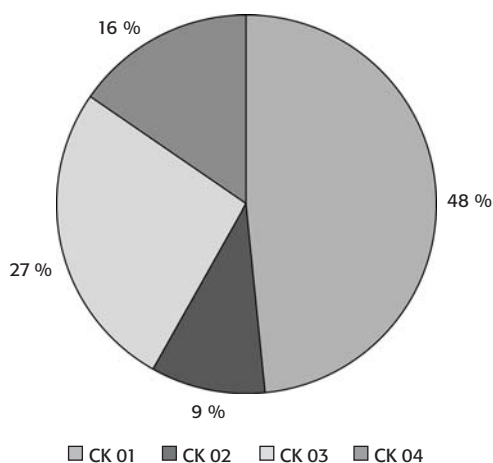
² Výrazy **tuha** a **grafit** jsou nadále používány jako synonyma.

| Č. vz. | Počet | Ker. tř. – skupiny | | | | Provedené analýzy | | | | | Ker. třídy – kusy | | | | |
|--------|-------|--------------------|----|----|----|-------------------|----|----|---|---|-------------------|-----|----|----|----|
| | | 01 | 02 | 03 | 04 | R | V | Ch | G | N | T | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 1 | 73 | 1 | | | | | | | | | | 73 | | | |
| 2 | 126 | 1 | | | | | | | | | | 126 | | | |
| 3 | 139 | 1 | | | | | 2x | | | | | 139 | | | |
| 4 | 69 | 1 | | | | | | | | | | 69 | | | |
| 5 | 52 | 1 | | | | | | | | | | 52 | | | |
| 6 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 7 | 5 | 1 | | | | | | | | | | 5 | | | |
| 8 | 4 | 1 | | | | | | | | | | 4 | | | |
| 9 | 5 | 1 | | | | | | | | | | 5 | | | |
| 10 | 3 | 1 | | | | | | | | | | 3 | | | |
| 11 | 2 | 1 | | | | | | | | | | 2 | | | |
| 12 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 13 | 5 | 1 | | | | | | | | | | 5 | | | |
| 14 | 6 | 1 | | | | | | | | | | 6 | | | |
| 15 | 10 | 1 | | | | | | | | | | 10 | | | |
| 16 | 2 | 1 | | | | | | | | | | 2 | | | |
| 17 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 18 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 19 | 3 | | | 1 | | | | | | | | | | 3 | |
| 20 | 289 | 1 | | | | | | | | | | 289 | | | |
| 21 | 62 | 1 | | | | | | | | | | 62 | | | |
| 22 | 805 | 1 | | | | | | | | | | 805 | | | |
| 23 | 890 | 1 | | | | | | | | | | 890 | | | |
| 24 | 30 | 1 | | | | | | | | | | 30 | | | |
| 25 | 14 | 1 | | | | | | | | | | 14 | | | |
| 26 | 50 | 1 | | | | | 2x | | | | | 50 | | | |
| 27 | 74 | 1 | | | | | | | | | | 74 | | | |
| 28 | 55 | 1 | | | | | | | | | | 55 | | | |
| 29 | 25 | 1 | | | | | | | | | | 25 | | | |
| 30a | 18 | 1 | | | | | | | | | | 18 | | | |
| 30b | 7 | | | 1 | | | | | | | | | | 7 | |
| 31 | 37 | 1 | | | | | | | | | | 37 | | | |
| 32a | 38 | 1 | | | | | | | | | | 38 | | | |
| 32b | 2 | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | |
| 33 | 20 | 1 | | | | | | | | | | 20 | | | |
| 34 | 29 | 1 | | | | | | | | | | 29 | | | |
| 35 | 8 | | | 1 | | | | | | | | | | 8 | |
| 35 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 36 | 4 | | | 1 | | | | | | | | | | 4 | |
| 37 | 6 | 1 | | | | | | | | | | 6 | | | |
| 38 | 7 | 1 | | | | | | | | | | 7 | | | |
| 39 | 11 | 1 | | | | | | | | | | 11 | | | |
| 40 | 12 | | | | 1 | | | | | | | | | | 12 |
| 41 | 16 | | | 1 | | | | | | | | | | 16 | |
| 42 | 11 | | | | 1 | | | | | | | | | | 11 |
| 43 | 11 | | | | 1 | | | | | | | | | | 11 |
| 44 | 13 | | | | 1 | | | | | | | | | | 13 |
| 45 | 7 | | | | 1 | | | | | | | | | | 7 |
| 46 | 5 | | | 1 | | | | | | | | | | 5 | |
| 47 | 12 | | | | 1 | | | | | | | | | 12 | |
| 48 | 2 | | | | 1 | | | | | | | | | 2 | |
| 49 | 3 | | | | 1 | | | | | | | | | 3 | |
| 50 | 5 | | | 1 | | | | | | | | | | 5 | |
| 51 | 3 | | | | 1 | | | | | | | | | 3 | |
| 52 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 53 | 4 | | | | 1 | | | | | | | | | 4 | |

| Č. vz. | Počet | Ker. tř. – skupiny | | | | Provedené analýzy | | | | | Ker. třídy – kusy | | | | | |
|--------|-------|--------------------|-------|--------|--------|-------------------|----|----|---|----|-------------------|--------|-------|-------|-------|----|
| | | 01 | 02 | 03 | 04 | R | V | Ch | G | N | T | 01 | 02 | 03 | 04 | |
| 54 | 4 | | | | 1 | | | | | | | | | | 4 | |
| 55 | 3 | | | 1 | | | | | | | | | | 3 | | |
| 56 | 2 | | | | 1 | | | | | | | | | 2 | | |
| 57 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | | | |
| 58 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 59 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 60 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 61 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 62 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 63 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 64 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 65 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 66 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 67 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 68 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 69 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 70 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 71 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 72 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 73 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | | | |
| 74 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 75 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | | | |
| 76 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 77 | 12 | 1 | | | | | | | | | | | 12 | | | |
| 78 | 2 | | | | 1 | | | | | | | | | 2 | | |
| 79 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | |
| 80 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | |
| 81 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 82 | 4 | | | | 1 | | | | | | | | | 4 | | |
| 83 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 84 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 85 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 85 | 8 | | | 1 | | | | | | | | | | 8 | | |
| 86 | 632 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | 587 | 5 | 19 | 21 |
| 87 | 6 | | | | 1 | | | | | | | | | 6 | | |
| 88 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 89 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 90 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 91 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 92 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 93 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 94 | 39 | | | | | | | | | | | | | | 39 | |
| 95 | 8 | | | | 1 | | | | | | | | | | 8 | |
| 96 | 3 | | | | 1 | | | | | | | | | | 3 | |
| 97 | 2 | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | |
| 98 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 99 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 100 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 101 | 9 | 1 | | | | | | | | | | | 9 | | | |
| 102 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| 3868 | | 52 | 10 | 29 | 18 | 38 | 24 | 9 | 3 | 10 | 2 | 3589 | 33 | 118 | 128 | |
| 109 | | 47,7 % | 9,2 % | 26,6 % | 16,5 % | | | | | | | 92,8 % | 0,9 % | 3,1 % | 3,3 % | |

Tab. 2. Zastoupení keramických tříd CK 01 – CK 04 v gotické části souboru z r. 1918 podle počtu skupin (katalogové položky) i absolutního počtu zlomků; u jednotlivých katalogových položek jsou vyznačeny jednotlivé provedené analýzy. Ve stejném pořadí jsou provedené analýzy vyznačeny na obr. 1–6: **R** – RTG, **V** – výbrus, **Ch** – chem. analýza, **G** – analýza glazury, **N** – analýza nasádkavosti, **T** – zjištění teplotní roztažnosti. — **Tab. 2.** Anteile der Keramikklassen CK 01 – CK 04 im gotischen Teil des Komplexes aus dem Jahr 1918 nach der Anzahl der Gruppen (Katalogposten) und der Gesamtzahl der Fragmente; bei den einzelnen Katalogposten sind die jeweils durchgeführten Analysen ersichtlich gemacht. In der gleichen Reihenfolge sind die durchgeführten Analysen auf den Abb. 1–6 markiert: **R** – RTG, **V** – Dünnschliff, **Ch** – chem. Analyse, **G** – Analyse der Glasur, **N** – Analyse der Wasseraufnahme, **T** – Feststellung der Wärmeausdehnung.

| Kat. pol. | CK 01 | CK 02 | CK 03 | CK 04 |
|-----------|--------|-------|--------|--------|
| 109 | 52 | 10 | 29 | 18 |
| | 47,7 % | 9,2 % | 26,6 % | 16,5 % |



Graf 1. Zastoupení keramických tříd CK 01 – CK 04 ve studovaném souboru podle katalogových položek. — **Diagramm 1.** Anteile der Keramikklassen CK 01 – CK 04 im untersuchten Komplex nach den Katalogposten.

oblast či místo původu keramické hmoty či jejich jednotlivých součástí? Lze definovat skupiny kachlových jedinců, kteří spolu nemohou za žádných okolností souviset například díky absenci některých prvků nebo způsobu přípravy keramické hmoty? Lze absolutně vyloučit výskyt grafitu v některých zlomcích?

3. Jaká byla teplota výpalu nebo druhotného přepálení?

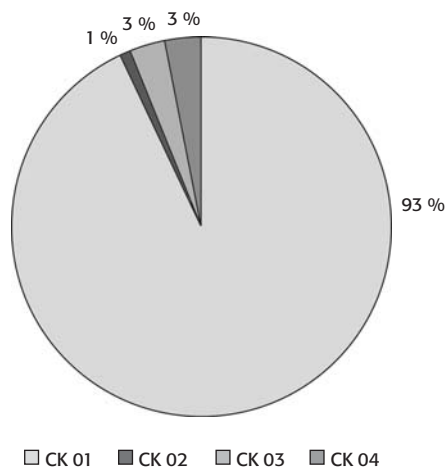
4. Jsou na některých exemplářích doložitelné stopy povrchové úpravy nanášením engoby? Většina zlomků třídy CK 01 je ve dvou formách – bez “přetahu” (červenohnědý lom přechází plynule do povrchu kachle) a s “přetahem” (většinou šedý střed lomu je lemován sv. červeným nebo sv. okroujím okrajem). Barvou hmoty i povrchu se výrazně liší i některé zlomky náležející jedinému ikonografickému motivu: č. 94 (CK 04) sv. okrová, č. 95 (CK 03) cihlově červená a č. 97 (CK 03) šedá. Je původem jiné barvy povrchu skutečně engoba, složení keramické hmoty nebo technologie a teplota výpalu?

5. Je použitá keramická hmota vhodná pro kachle s ohledem na jejich funkci – přenos tepla? Ovlivňuje složení hmoty pozitivně či negativně funkci kachlů jako základní konstrukční i funkční součásti kachlových kamen?

6. Jde v rámci souboru usuzovat na nějaký posun v kvalitě zpracování keramické hmoty? Například třída CK 04 byla vizuálně zjištěna u většiny zlomků prořezávaných kachlů – č. 88–93. Může toto složení keramické hmoty souviset s vyššími nároky na jejich pevnost a soudržnost při výrobě?

Vzorky (obr. 1–6) jsme vybrali s ohledem na položené otázky tak, aby byly reprezentativně zastoupeny všechny čtyři keramické třídy, skupiny kachlů (komorové, nádobkové, “prořezávané”, římsové nástavce, komory, obkladové dlaždice) i “ikonografické” skupiny (tab. 2).

| Zlomků | CK 01 | CK 02 | CK 03 | CK 04 |
|--------|--------|-------|-------|-------|
| 3868 | 3589 | 33 | 118 | 128 |
| | 92,7 % | 0,9 % | 3,1 % | 3,3 % |



Graf 2. Zastoupení keramických tříd CK 01 – CK 04 ve studovaném souboru podle počtu zlomků kachlů. — **Diagramm 2.** Anteile der Keramikklassen CK 01 – CK 04 im untersuchten Komplex nach der Anzahl der Kachelfragmente.

Komorové kachle: kat.č. 3, 5, 13, 17–20, 26–28, 30a–b, 31, 32a–b, 34, 37, 40, 41, 44–46, 50, 52–56, 76, 79–80.

Kachlové komory: 77, 78.

Nádobkové kachle: 87.

Nádobkové kachle s prořezávanou čelní stěnou: 88.

Římsové nástavce: 94–95, 97.

Obkladové dlaždice: 101, 102.

Zeleně glazované gotické součásti kamen: 79–80, 102.

U 38 vzorků byla provedena rentgenová difrakční analýza za účelem zjištění minerálního složení jejich krystalické fáze, u 24 z nich jsme provedli optickou mikroskopickou analýzu výbrusů střepů, u 10 zlomků jsme zjišťovali jejich nasákavost, objemovou hmotnost a otevřenou pórovitost, u 2 vzorků jejich teplotní roztažnost, u 3 vzorků jsme analyzovali zelené glazury a u 9 vzorků jsme provedli chemickou analýzu (tab. 2).³

2.1. Soupis analyzovaných kachlů

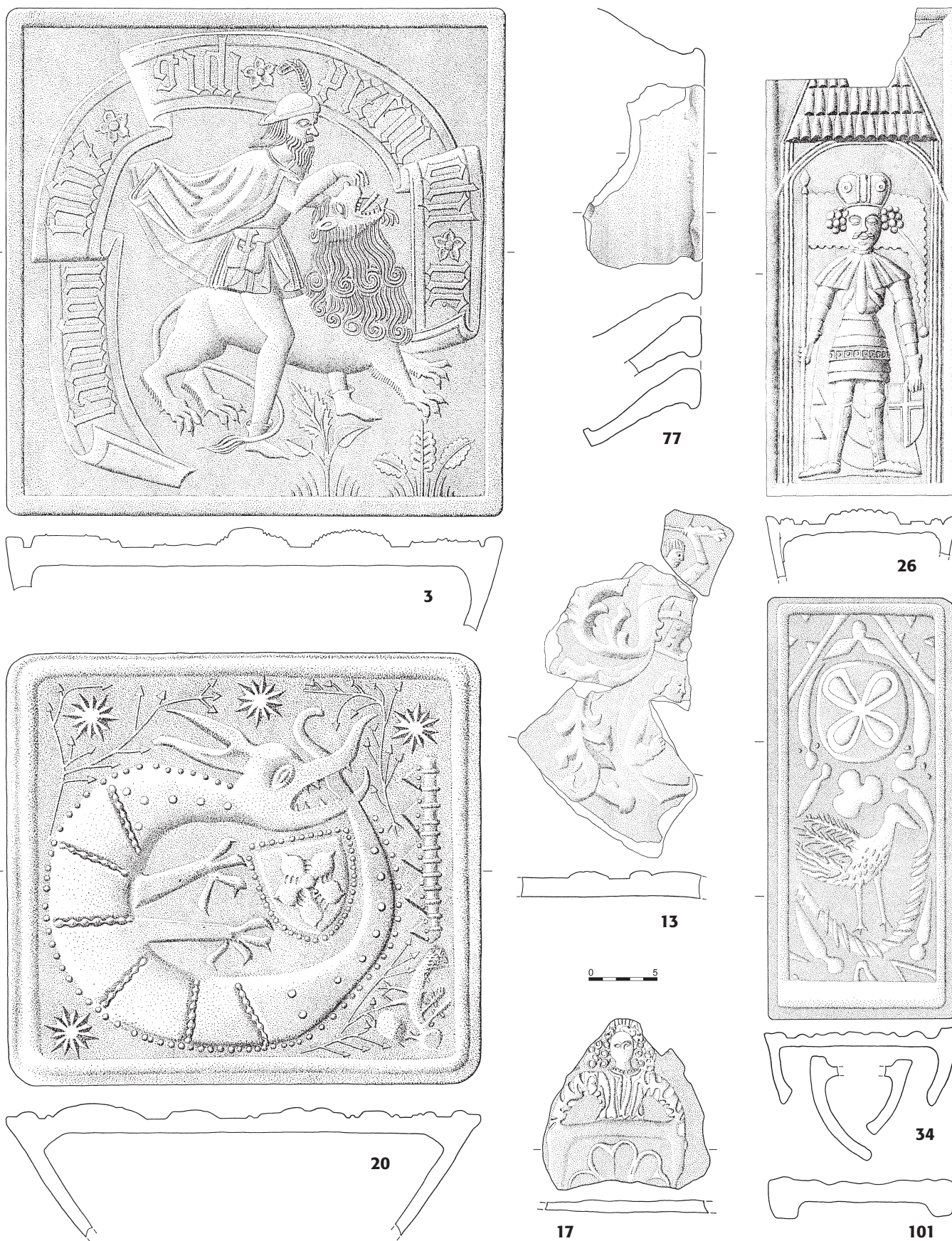
2.1.1. Keramická třída CK 01 (obr. 1–3)

3. Samson zabíjí lva

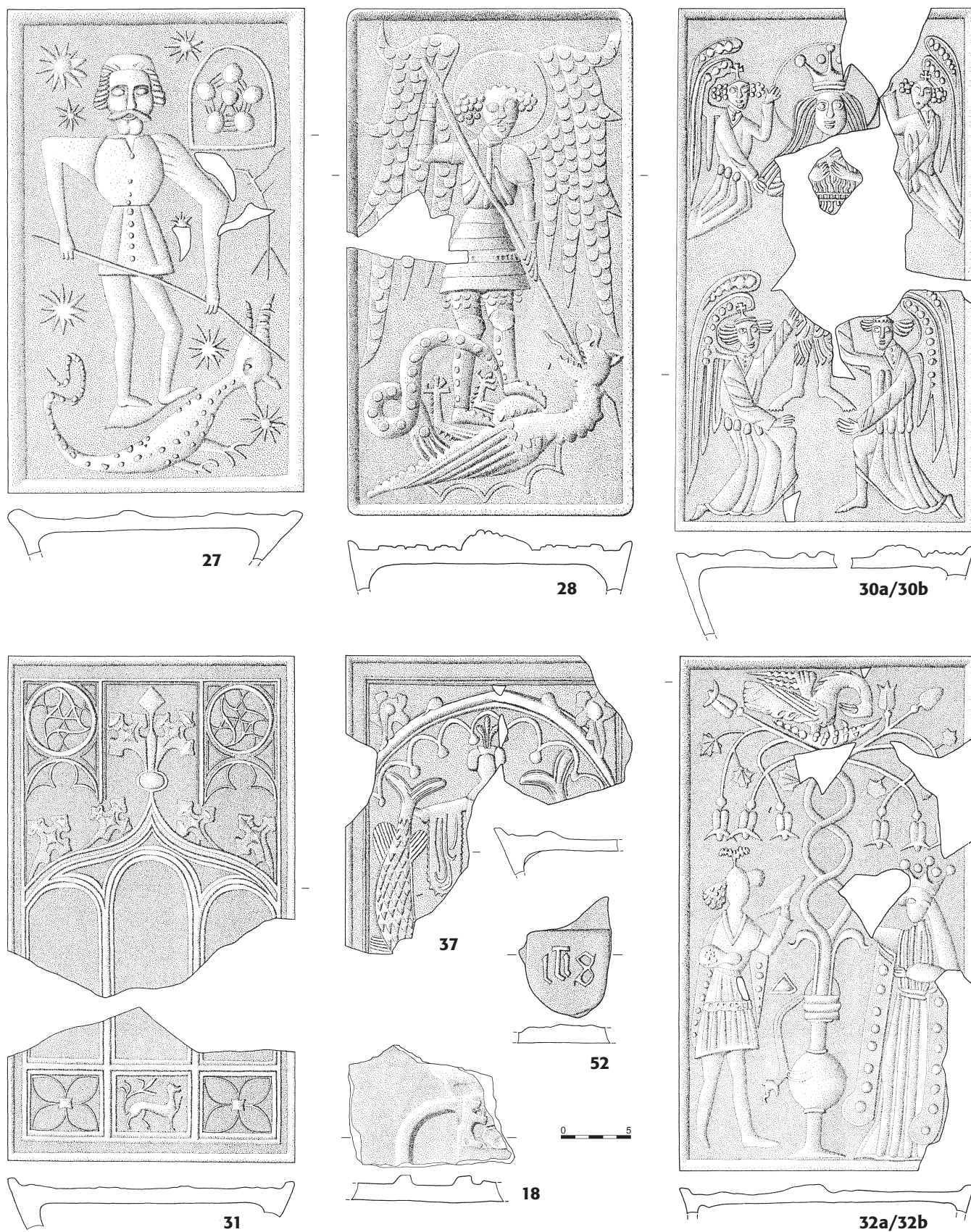
Komorový, základní, řádkový, počet zlomků v souboru: 136 / minimální počet jedinců v souboru: 7. Komorový, základní, rohový, 3 / 2.

ČVS celá, čtvercová, 365 x 365 mm (133.225 mm²). **Síla** bez reliéfu: 12–16 mm, reliéfu: + 12 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. cihl. červená až oranžová, hnědá až červenohnědá, hnědošedá, šedá; povrch hrubý, místy popraskaný s puklinkami po vyhořelých organických příměsích, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedý. **Zadní strana** sv. hnědá; povrch rovný; stopy očazení: pouze výjimečně; u většiny exemplářů je cca 70 % plochy přepáleno do krémově bílé, šedá, červenohnědá či oranžová; stopy hlazení, místy slámování.

³ Číslo vzorku je v textu totožné s číslem katalogové položky.



Obr. 1. Český Krumlov – hrad. Gotické kamnové kachle (č. 3, 13, 17, 20, 26, 34, 77) a gotická obkládací deska č. 101 třídy CK 01 zkoumané přírodovědnými metodami. Kresby J. Votava, P. Týlešová. — **Abb. 1.** Český Krumlov – Burg. Gotische Ofenkacheln (Nr. 3, 13, 17, 20, 26, 34, 77) und gotische Wandplatte Nr. 101 der Klasse CK 01, untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden. Zeichnungen J. Votava, P. Týlešová.



Obr. 2. Český Krumlov – hrad. Gotické kamnové kachle tříd CK 01 (č. 18, 27, 28, 30a, 31, 32a, 37, 52) a CK 03 (č. 30b, 32b) zkoumané přírodovědnými metodami. Kresby J. Votava, P. Týlešová. — **Abb. 2.** Český Krumlov – Burg. Gotische Ofenkacheln der Klassen CK 01 (Nr. 18, 27, 28, 30a, 31, 32a, 37, 52) und CK 03 (Nr. 30b, 32b), untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden. Zeichnungen J. Votava, P. Týlešová.

5. Meluzína

Komorový, římsový, korunní, řádkový, 52 / 6.

ČVS celá, rovnoramenný trojúhelník, v. 396 mm, š. základny 360 mm (71.280 mm²). **Síla** bez reliéfu: 9–17 mm, reliéfu: + 6 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu šedohnědá, sv. okrová, sv. cihl. červená až do oranžova; povrch místy dosti porézní až popraskaný, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedý až šedohnědý. **Zadní strana** šedohnědá; povrch hladký, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení místy do tm. šeda až černa; stopy přepálení místy do sv. šedohněda až krémově bílá; stopy hlazení, svislé prstování, prstování v soustředných kruzích, vlačování prsty do formy. **Komora** doch. zčásti, max. zjištěná hloubka 118 mm; síla stěny: 10 mm; vyhřívací otvor patrně ve spodní polovině zadní části komory.

13. Heraldický motiv

Komorový, základní, 5 / 2.

ČVS doch. částečně. **Síla** bez reliéfu: 8–17 mm; reliéfu: + 7 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. cihl. červená; povrch hladký, příměsí vystupují na povrch, svislé rýžky. **Lom** šedý. **Zadní strana** sv. cihl. červená až oranžová; povrch hladký, příměsí vystupují na povrch; stopy přepálení; stopy hlazení, prstování v soustředných kruzích.

17. Anděl štítonoš, ve štítu pětিলistá růže

Komorový, základní (?), 1 / 1.

ČVS doch. částečně. **Síla** bez reliéfu: 6 mm; reliéfu: + 13 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová; povrch nerovný, puklinky po vyhořelých org. příměsích. **Lom** šedý. **Zadní strana** sv. hnědá; povrch hladký; stopy hlazení.

18. Medvěd štítonoš přidržuje pětिलistou rožberskou růži

Komorový, základní (?), 1 / 1.

ČVS doch. částečně. **Síla** bez reliéfu: 12 mm; reliéfu: + 10 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu cihl. červená; povrch hladký, svislé rýžky. **Lom** šedý. **Zadní strana** cihl. červená až šedá; povrch hladký, příměsí vystupují na povrch; stopy přepálení; stopy hlazení.

20. Dračí řád Zikmunda Lucemburského

Komorový, základní, řádkový, 289 / 22.

ČVS celá, téměř čtvercová, 320 mm x 340 mm (108.800 mm²). **Síla** bez reliéfu: 10–14 mm; reliéfu: + 8 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová, okrově oranžová, tm. šedá; povrch porézní, popraskaný (puklinky po vyhořelých org. příměsích do 5 mm), příměsí vystupují na povrch. **Lom** sv. až tm. šedý. **Zadní strana** sv. cihl. červená až okrová; povrch nerovný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení u některých exemplářů místy do černa; stopy přepálení místy do sv. červenofialova; stopy svislého prstování, prstování v soustředných kruzích, vlačování prsty do formy. **Komora**: doch. zčásti, hloubka max. zjištěná 90 mm; síla stěny: 9–11 mm; středový úhel cca 69–70 °.

26. Sv. Jiří (?)

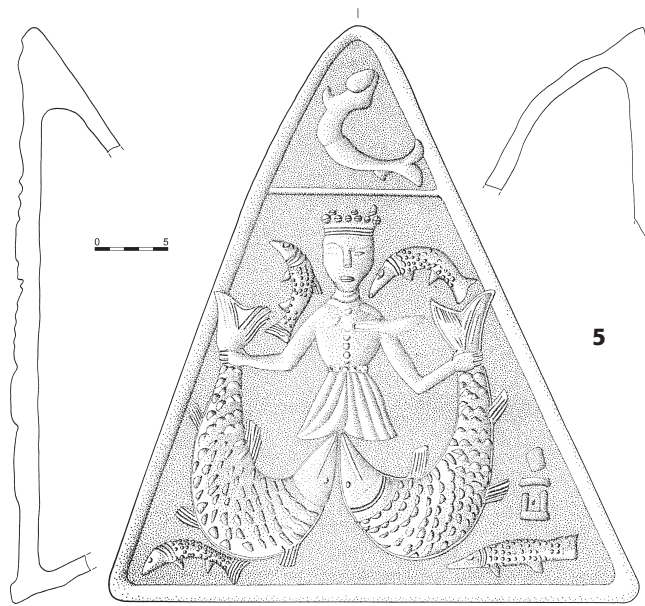
Komorový, základní, řádkový (římsový, korunní?), 50 / 8.

ČVS doch. částečně, obdélník na výšku, max. 366 – min. 276 mm x 144 mm (52.704–39.744 mm²). **Síla** bez reliéfu: 7–12 mm; reliéfu: + 10 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová až do oranžova, sv. hnědá, okrová, šedohnědá (do fialova); povrch rovný, místy porézní, popraskaný. **Lom** šedý až šedohnědý. **Zadní strana** hnědá, šedohnědá, šedá; povrch hladký, místy hrubý až drsný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení do černa (18 ks); stopy přepálení u některých zlomků do šeda až černa; stopy hlazení, svislého prstování, slámování.

27. Sv. Jiří bojující s drakem

Komorový, základní, řádkový (nárožní?), 74 / 10.

ČVS celá, obdélník na výšku, 356 mm x 218 mm (77.608 mm²). **Síla** bez reliéfu: 9–19 mm; reliéfu: +15 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. cihl. červenooranžová, sv. okrová, hnědočervená, šedá; povrch místy porézní, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedý, hnědošedý. **Zadní strana** hnědá, hnědočervená; povrch rovný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení zjištěny jen místy u 6 zlomků; stopy přepálení: u některých exemplářů do bíla, některé ožehnuty do šeda až hnědočervená; stopy hlazení.



Obr. 3. Český Krumlov–hrad. Gotický kamnový kachel č. 5 třídy CK 01 zkoumaný přírodovědnými metodami. Kresba P. Týlešová. — **Abb. 3.** Český Krumlov–Burg. Gotische Ofenkachel Nr. 5 der Klasse CK 01, untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden. Zeichnung P. Týlešová.

28. Archanděl Michael bojující s drakem

Komorový, základní, řádkový, 55 / 9.

ČVS doch. částečně, obdélník na výšku, 360 mm x 210 mm (75.600 mm²). **Síla** bez reliéfu: 5–10 mm; reliéfu: + 12 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. oranžová, sv. cihl. červená až do růžova, sv. hnědá, šedohnědá; povrch rovný, místy porézní se stopami po vyhořelých organických příměsích. **Lom** šedohnědý. **Zadní strana** sv. hnědá, šedohnědá, červenohnědá; povrch rovný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení zjištěny výjimečně (do černa); stopy přepálení zjištěny ve většině případů do sv. šeda až tm. černa; stopy svislého prstování, vlačování prsty do formy.

30a. Sv. Maří Magdalena

Komorový, základní, řádkový, 18 / 4.

ČVS doch. částečně, obdélník na výšku, 367 mm x 209 mm (76.703 mm²). **Síla** bez reliéfu: 7–9 mm; reliéfu: + 9 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. hnědá až sv. hnědošedá; povrch porézní, nerovný s hrbolky, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedohnědý. **Zadní strana** sv. šedohnědá; povrch rovný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení místy do černa, u většiny exemplářů do šedohněda; stopy hlazení, prstování podél styku ČVS a komory.

31. Dekorativní – architektonický motiv

Komorový, základní, řádkový, 37 / 7.

ČVS doch. částečně, obdélník na výšku, min. 359 mm x 205 mm (min. 73.595 mm²). **Síla** bez reliéfu: 9–14 mm; reliéfu: + 4 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. cihl. červená až červenooranžová, sv. okrová, okrově hnědá, sv. hnědošedá; povrch nerovný, s póry a prohlubněmi, příměsí vystupují na povrch. **Lom** hnědý až hnědošedý. **Zadní strana** sv. hnědá, hnědošedá, tm. šedá; povrch nerovný, příměsí vystupují na povrch; stopy přepálení místy do tm. šeda; stopy hlazení.

32a. Alegorie – milenci / pelikán krmící mláďata vlastní krví

Komorový, základní, řádkový, 38 / 7.

ČVS doch. částečně, obdélník na výšku, 376 mm x 216 mm (81.216 mm²). **Síla** bez reliéfu: 10–17 mm; reliéfu: + 12 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu šedá, šedohnědá, sv. okrová, cihl. červená; povrch rovný, velmi omletý, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedý, hnědý. **Zadní strana** sv. hnědá, sv. šedohnědá; povrch rovný, porézní, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení více do tm. šedohněda, výjimečně místy do černa; stopy svislého prstování.

34. Pták s dekorativními prvky

Komorový, základní, řádkový, 29 / 5.

ČVS celá, obdélník na výšku, 307 mm x 137 mm (42.059 mm²).**Síla** bez reliéfu: 6–14 mm; reliéfu: + 5 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. cihl. červená, hnědá, šedá; povrch hrubý, nerovný, rozpraskaný, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedý až šedohnědý. **Zadní strana** šedohnědá, sv. okrově hnědá; povrch rovný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení do černa u většiny exemplářů; stopy hlazení, prstování. **Komora:** dochována částečně, u 5 exemplářů byl dochován celý profil původně poloválcové komory; hloubka celková 46, 47, 50, 51, 72 mm; síla stěny: 7–8 mm; vyhřívací otvor – v 1 případě zjištěna vnitřní šířka 102 mm, v ostatních případech (komory byly hlubší a uzavřenější) byl tento rozměr pravděpodobně i podstatně menší.**37. Meluzína**

Komorový, základní, 6 / 2.

ČVS doch. částečně, pravouhlá, š. 218 mm. **Síla** bez reliéfu: 10–11 mm; reliéfu: + 9 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu červenohnědá, šedá; povrch nerovný, příměsí vystupují na povrch, svislé rýžky. **Lom** šedý. **Zadní strana** šedá, šedohnědá; povrch rovný, příměsí vystupují na povrch; stopy přepálení do šeda; stopy svislého prstování.**52. Erbovní štítek s nápisem IHS**

Komorový, 1 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě **Síla** bez reliéfu: 10–11 mm; reliéfu: + 4 mm. **Přední strana** barva povrchu hnědá; povrch rovný, porézni, popraskaný, příměsí vystupují na povrch, svislé rýžky. **Lom** tm. šedý. **Zadní strana** šedohnědá; povrch rovný, drsný, příměsí vystupují na povrch; stopy hrubšího hlazení.**77. Zlomky komor s dochovaným okrajem vyhřívacího otvoru**
Počet zloмок v souboru: 12.

Hloubka max. zjištěná 90 mm; síla stěny: 10–18 mm. Vyhřívací otvor kruhový; průměr: vnější 188 mm; vnitřní 128 mm. Barva sv. okrově hnědá, na řezu šedá, z vnější strany místy ožehnutá do sv. šeda; na povrchu stopy vytáčení na kruhu.

101. Pták s dekorativními prvky

Obkládací deska (?), 9 / 5.

Čelní stěna celá, obdélník na výšku, 307 mm x 137 mm (42.059 mm²). **Síla** bez reliéfu: 14 mm; reliéfu: + 5 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. cihl. červená, hnědá, šedá; povrch hrubý, nerovný, rozpraskaný, příměsí vystupují na povrch. **Lom** šedý, šedohnědý. **Zadní strana** sv. okrově hnědá, šedohnědá; povrch rovný, příměsí vystupují na povrch; stopy zarovnávání, prstování. **Okrajová lišta:** řez obdélný; šířka 14–22 mm; hloubka od zadní strany čelní stěny 13 mm.**2.1.2. Keramická třída CK 02 (obr. 4)****50. Figurální – profánní (?) motiv**

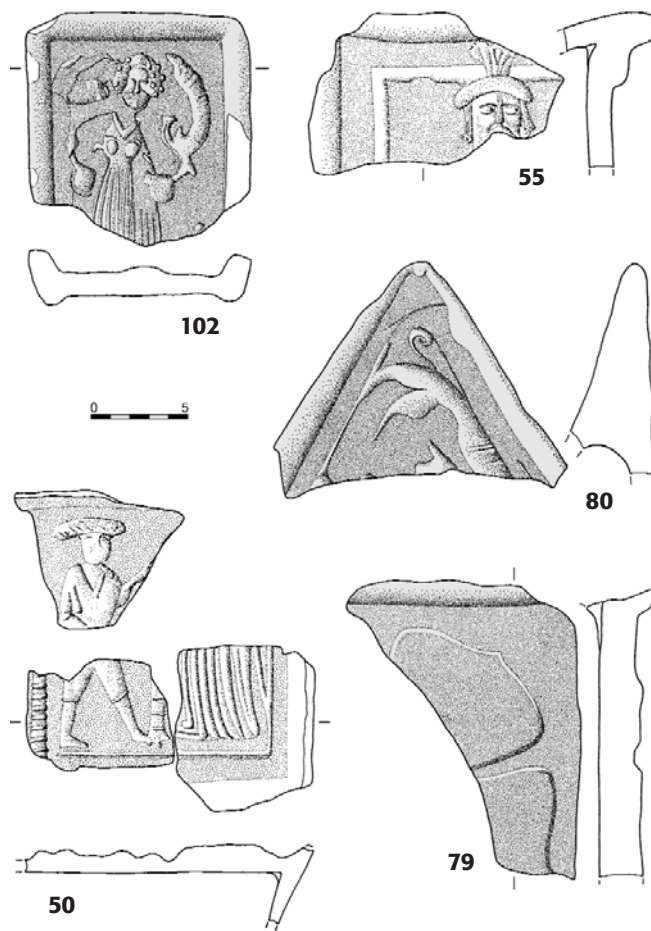
Komorový, základní, 5 / 2.

ČVS doch. zlomkovitě, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 7 mm; reliéfu: + 6 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová až okrově bílá; povrch hrubý, nerovný, značně popraskaný s četnými puklinkami. **Lom** okrově bílý. **Zadní strana** sv. okrová až okrově bílá; povrch nerovný, příměsí vystupují na povrch; stopy očazení místy do černa; stopy přepálení místy do šeda; stopy hlazení.**55. Figurální – profánní (?) motiv**

Komorový, základní, 3 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 12–16 mm; reliéfu: + 12 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová, cihl. červená; povrch rovný, porézni s četnými puklinkami. **Lom** sv. okrový, rezavě hnědý až šedý. **Zadní strana** sv. okrová, cihl. červená; povrch rovný, drsný; stopy očazení místy do černa; stopy přepálení do šeda; stopy rovnání povrchu, hlazení, svislé prstování.**79. Heraldický motiv – pětilístá růže**

Komorový, základní, řádkový (?), 1 / 1.

ČVS doch. částečně, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 19–20 mm; reliéfu: + 7 mm. **Přední strana** glazovaná; barva tm. zelená;

Obr. 4. Český Krumlov – hrad. Gotické zeleně glazované kamnové kachle (č. 79, 80), gotická zeleně glazovaná obkládací deska (č. 102) a renesanční kamnové kachle (č. 50, 55) zkoumané přírodovědnými metodami. Kresby P. Týlešová. — **Abb. 4.** Český Krumlov – Burg. Grün glasierte gotische Ofenkacheln (Nr. 79, 80), grün glasierte gotische Wandplatte (Nr. 102) und Renaissance-Ofenkacheln (Nr. 50, 55), untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden. Zeichnungen P. Týlešová.

povrch lesklý, místy zmatnělý, glazura místy opalizuje. **Lom** rezavě hnědý. **Zadní strana** rezavě hnědá; povrch rovný, drsný, popraskaný, příměsí vystupují na povrch; stopy přepálení místy do šeda; stopy zarovnávání.**80. Neurčitelný motiv**

Komorový, římsový, korunní, řádkový, 1 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě, trojúhelníková. **Síla** bez reliéfu: 6–7 mm; reliéfu: + 4 mm. **Přední strana** glazovaná; barva tm. zelená; povrch lesklý, místy zmatnělý, popraskaný. **Lom** okrový. **Zadní strana** okrová; povrch drsný, porézni, příměsí vystupují na povrch; stopy zarovnávání.**102. Figurální motiv**

Obkládací deska (?), 1 / 1.

Čelní stěna doch. částečně, obdélníková na výšku, v. min. 124 mm x š. 120 mm. **Síla** bez reliéfu: 8–10 mm; reliéfu: + 9 mm. **Přední strana** glazovaná; barva tm. zelená; povrch hladký, místy popraskaný. **Lom** okrový. **Zadní strana** cihl. červená; povrch rovný, drsný, příměsí vystupují na povrch; stopy zarovnávání. **Okrajová lišta** nevýrazná, zaoblená; šířka 14–16 mm; hloubka od zadní strany čelní stěny 5 mm.**2.1.3. Keramická třída CK 03 (obr. 5, 6)****19. Znak města Český Krumlov**

Komorový, základní (?), 3 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě. **Síla** bez reliéfu: 11–12 mm; reliéfu: + 6 mm.

Přední strana neglazovaná; barva povrchu cihl. červená; povrch rovný, hladký, místy značně omletý. **Lom** cihl. červený. **Zadní strana** cihl. červená; povrch nerovný, přiměsí vystupují na povrch; stopy hlazení, vlačování prsty do formy.

30b. Sv. Maří Magdalena

Komorový, základní, řádkový, 7 / 2.

ČVS doch. částečně, obdélná na výšku, 367 mm x 209 mm (76.703 mm²). **Síla** bez reliéfu: 6–9 mm; reliéfu: + 9 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu okrově šedá až okrově bílá; povrch hladký. **Lom** sv. okrově hnědý. **Zadní strana** sv. okrově hnědá až okrově žlutá; povrch hladký; stopy přepálení: do šeda až šedobíla; stopy hlazení.

32b. Alegorie – milenci / pelikán krmící mláďata vlastní krví

Komorový, základní, řádkový, 2 / 1.

ČVS doch. částečně, obdélník na výšku, 376 mm x 216 mm (81.216 mm²). **Síla** bez reliéfu: 7–10 mm; reliéfu: + 10 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová; povrch hladký, mikroskopicky porézni (drobné puklinky). **Lom**: sv. okrový až do sv. cihl. červená. **Zadní strana** sv. hnědá; povrch hladký; stopy hlazení.

41. Klanění tři králů

Komorový, základní, řádkový, 16 / 3–4.

ČVS doch. částečně, čtvercová, 222 mm x 210 mm (46.620 mm²). **Síla** bez reliéfu: 5–6 mm; reliéfu: + 10 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová až do červená, sv. cihl. červená; povrch rovný, místy hladký. **Lom** sv. okrový až sv. cihl. červený. **Zadní strana** sv. okrová, červenavá, sv. cihl. červená; povrch rovný, hladký; stopy očazení místy do tm. šeda; stopy přepálení místy do sv. šeda; stopy hlazení.

46. Blíže neurčitelný městský znak

Komorový, základní, 5 / 2.

ČVS doch. částečně, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 6 mm; reliéfu: 7 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrově bílá, sv. okrová až červenavá; povrch rovný, hladký, svislé rýžky. **Lom** sv. okrový. **Zadní strana** sv. okrová; povrch rovný, hladký; stopy přepálení do šeda; stopy hlazení.

53. Vegetabilní ornament lemující ústřední motiv

Komorový, základní, řádkový (?), 4 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 7 mm; reliéfu: + 5 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová (3 ks), tm. šedá (1 ks); povrch hladký, místy svislé rýžky. **Lom** sv. okrový až šedý. **Zadní strana** okrová až šedá; povrch rovný; stopy přepálení místy do šeda; stopy hlazení.

56. Arkáda lemující ústřední motiv

Komorový, základní, 2 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě, pravouhlá, v min. 220 mm. **Síla** bez reliéfu: 9 mm; reliéfu: min. + 2 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu cihl. červená; povrch rovný, hladký. **Lom** cihl. červený. **Zadní strana** cihl. červená; povrch rovný.

76. Architektonický motiv – diamantové bosování

Komorový, římsový (?), rohový, 1 / 1.

ČVS doch. částečně, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 7 mm; reliéfu: + 5 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová; povrch rovný, četné puklinky. **Lom** sv. okrový. **Zadní strana** sv. okrová; povrch rovný; stopy očazení do šeda až černá; stopy hlazení.

78. Zlomky komor s dochovaným okrajem vyhřívacího otvoru (obr. 6)

Počet zlomků v souboru: 2.

Hloubka max. zjištěná 52 mm; síla stěny: 6–7 mm. Vyhřívací otvor kruhový; průměr: vnější 156 mm; vnitřní 132 mm. Barva cihl. červená vně, uvnitř i na řezu; povrch nese stopy očazení nebo přepálení; na povrchu vnější strany stopy vytáčení na kruhu.

87. Zlomky nádobkových kachlů s dochovaným okrajem pravouhlého ústí (obr. 6)

Nádobkový, základní, řádkový (?), 6 / 4.

Doch. zčásti, zlomkovitě. Hloubka max. zjištěná: 34–70 mm; síla stěny: 5–8 mm. Barva povrchu sv. okrově červenavá (lom

šedý), sv. hnědá (lom sv. hnědý), sv. okrová (lom sv. okrový). Na vnějších stranách zachytné šroubovice.

95. Dvě poupata lilie

Římsový nástavec, částečně prořezávaný, 8 / 3.

Čelní stěna doch. částečně, v 196 mm; síla 12–20 mm; barva cihl. červená z obou stran i na lomu; povrch rovný, hladký. Trilob ve spodní části motivu je plný, oba trny po jeho stranách jsou prořezány. Podstavní destička doch. částečně (obdélná s okosenými rohy - hloubka 40 mm; šířka min. 124 mm; síla 14 mm).

97. Poupě lilie

Římsový nástavec, ořezávaný, 2 / 1.

Čelní stěna doch. zlomkovitě; síla 12–20 mm; barva šedá z obou stran i na lomu; povrch rovný, hladký. Trilob i oba trny po jeho stranách ve spodní části motivu jsou plné. Podstavní destička dochována celá (lichoběžník - hloubka 40 mm; šířka 88 mm; síla 10 mm).

2.1.4. Keramická třída CK 04 (obr. 5)

40. Kristus na hoře olivetské

Komorový, základní, řádkový (1 x rohový?), 12 / 3.

ČVS celá, čtvercová, 214 mm x 220 mm (47.080 mm²). **Síla** bez reliéfu: 7–10 mm; reliéfu: + 10 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová, místy do červená; povrch rovný, hladký. **Lom** sv. okrový. **Zadní strana** sv. okrová až do šeda; povrch rovný, hladký; stopy očazení do tm. šedé až černé u většího exempláři; stopy hlazení v soustředných kruzích od středu plochy směrem k okrajům.

44. Samson zabíjí lva

Komorový, základní, řádkový, 13 / 3.

ČVS čtvercová, 220 mm x 228 mm (50.160 mm²). **Síla** bez reliéfu: 4–8 mm; reliéfu: + 9 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová; povrch rovný, hladký, výjimečně patrné drobné puklinky a prasklinky. **Lom** sv. okrový. **Zadní strana** sv. okrová až do sv. šeda; povrch rovný, hladký; stopy očazení místy do šeda až černá; stopy hlazení v soustředných kruzích.

45. Adam a Eva u stromu poznání

Komorový, základní, řádkový (?), 7 / 3.

ČVS doch. částečně, pravděpodobně čtvercová. **Síla** bez reliéfu: 3–10 mm; reliéfu: + 9 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová až okrově šedá; povrch rovný, hladký. **Lom** sv. okrový až šedý. **Zadní strana** sv. okrová až šedá; povrch: hladký; stopy očazení; stopy hlazení.

54. Vegetabilní ornament lemující ústřední rosetu

Komorový, základní, řádkový (?), 4 / 1.

ČVS doch. zlomkovitě, pravouhlá. **Síla** bez reliéfu: 5 mm; reliéfu: + 4 mm. **Přední strana** neglazovaná; barva povrchu sv. okrová; povrch rovný, hladký, svislé rýžky. **Lom** sv. okrový. **Zadní strana** sv. okrová až okrově šedá; povrch hladký; stopy očazení do černá; stopy hlazení.

88. Dekorativní - architektonický motiv?

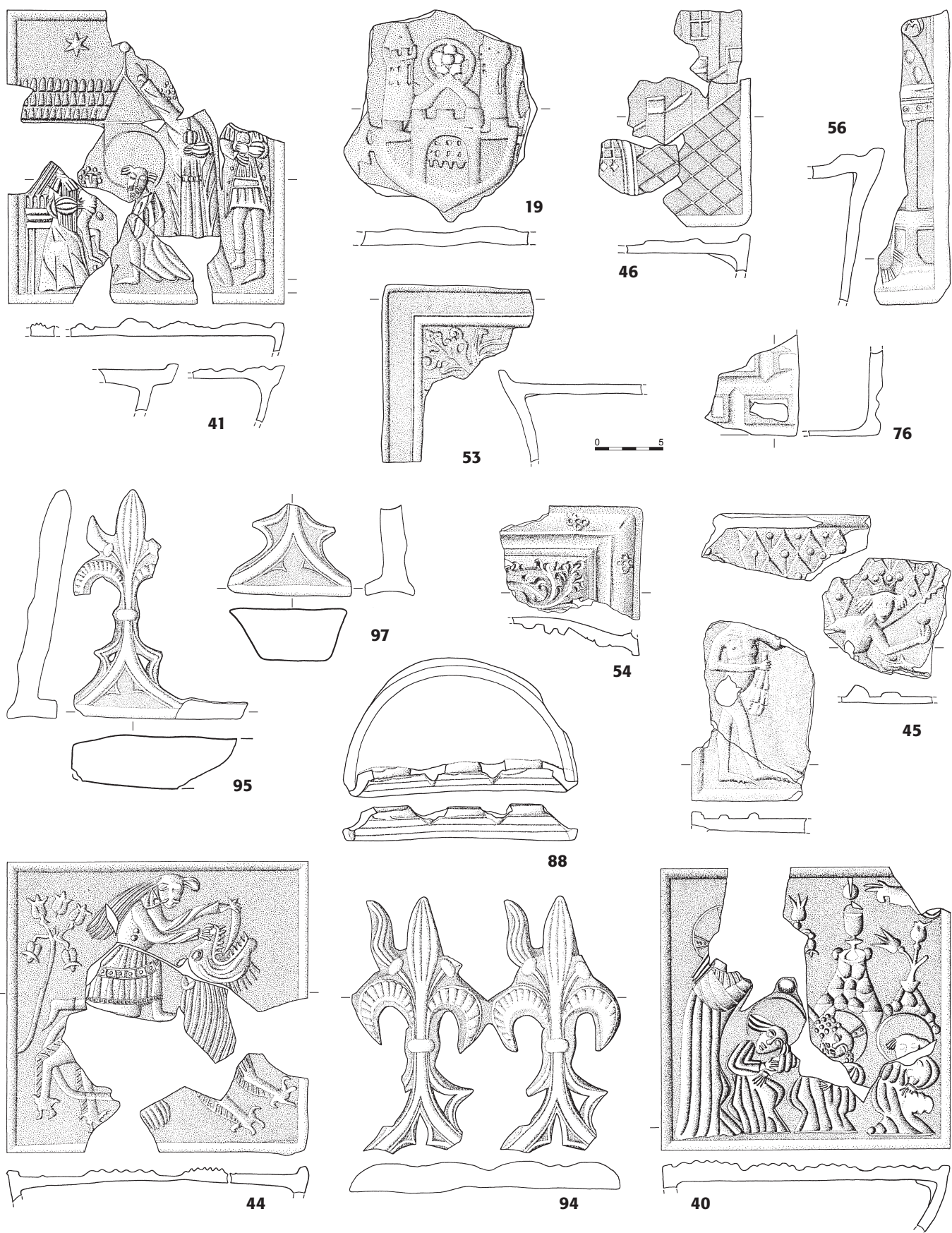
Nádobkový s prořezávanou ČVS, základní, řádkový, 1 / 1.

Čelní stěna doch. zlomkovitě, pravouhlá, š 180 mm. **Síla** 12–13 mm. **Barva** sv. okrová z obou stran i na lomu. **Povrch** rovný, hladký. **Komora** původně patrně polovalcová, dochována částečně (spodní půlkruhové dno polovalce se žlábkem v místě nasazení vlastní stěny komory), hloubka cca 100 mm, síla stěny cca 8 mm. Komora nese z vnější strany stopy očazení či přepálení; na spodní části podstavy otisk hrubší dřevěné podložky; na horní (vnitřní) části podstavy stopy vymazávání a rovnání povrchu.

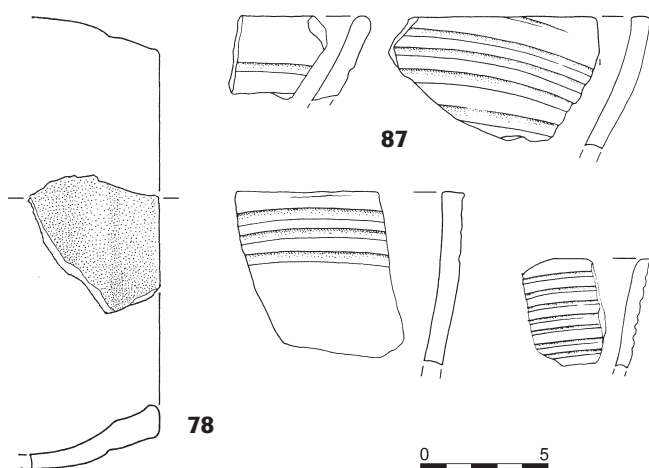
94. Dvě poupata lilie

Římsový nástavec, prořezávaný, 39 / 9.

Čelní stěna téměř celá, min. 196 mm x 204 mm; síla 12–20 mm; barva sv. okrová z obou stran, lom šedý až sv. okrový; povrch rovný, hladký. Trilob i oba trny po jeho stranách ve spodní části motivu jsou prořezány. Podstavní destička se nedochovala.



Obr. 5. Český Krumlov – hrad. Gotické a renesanční (č. 56, 76) kamnové kachle třídy CK 03 (č. 19, 41, 46, 53, 56, 76, 95, 97) a CK 04 (č. 40, 44, 45, 54, 88, 94) zkoumané přírodovědnými metodami. Kresby P. Týlešová. — **Abb. 5.** Český Krumlov – Burg. Gotische und Renaissance (Nr. 56, 76)-Ofenkacheln der Klasse CK 03 (Nr. 19, 41, 46, 53, 56, 76, 95, 97) und CK 04 (Nr. 40, 44, 45, 54, 88, 94), untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden. Zeichnungen P. Týlešová.



Obr. 6. Český Krumlov – hrad. Kachlové komory (č. 78) a nádobkové kachle (č. 87) třídy CK 03 zkoumané přírodovědnými metodami. Kresby P. Týlešová. – **Abb. 6.** Český Krumlov – Burg. Kachelkammern (Nr. 78) und Gefäßkacheln (Nr. 87) der Klasse CK 03, untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden. Zeichnungen P. Týlešová.

3. Charakteristiky jednotlivých druhů analýz

K nejjednodušším testům keramických střepů patří stanovení tzv. **skladovací vlhkosti**, tj. **aktuální vlhkosti** střepu po jeho dlouhodobém skladování v uložném prostoru, dále jeho **nasákavosti** a **objemové hmotnosti**. Při měřeních získáme i experimentální data, která umožňují vypočítat tzv. **zdánlivou pórovitost**, tj. **otevřenou pórovitost** střepu, a **zdánlivou hustotu** testovaného materiálu. Výsledky těchto zkoušek, včetně stanovení množství otevřených pórů ve střepu, do značné míry umožňují charakterizovat základní užité vlastnosti keramických výrobků, ze kterých střepy pocházejí. Se zvyšující se pórovitostí střepu klesá především jeho mechanická pevnost a mrazuvzdornost. U nádob se zmenšuje jejich schopnost dlouhodobě uchovávat tekutiny – v otevřených pórech se zachycují zbytky, které mohou kvasit či jinak reagovat, produkují zapáchající plyny apod. Tím se omezuje doba použitelnosti nádob. Pro tyto zkoušky je potřeba dodat střepy o velikosti cca 2 x 3 cm nebo větší. Testy jsou nedestruktivní.

K dalším metodám, pomáhajícím určit chemicko-technologické vlastnosti keramiky, se řadí **rentgenová difrakční analýza**, **optická mikroskopická analýza** a **chemická analýza** střepů. Tyto zkoušky vyžadují odebrat části vzorků a rozetřít je na jemný prášek (**rentgenová difrakční analýza**, **chemická analýza**), nebo je po penetraci transparentní či fluorescenční pryskyřicí vybrousit na tzv. mikroskopické výbrusy či nábrusy.

Rentgenová difrakční analýza slouží k určení mineralogického neboli tzv. fázového složení krystalické fáze střepu, respektive identifikaci těch minerálů, jejichž podíl v rámci krystalické fáze činí více než 5 objemových procent. Kvalitativní vyhodnocení digitálně zaznamenaných difraktogramů můžeme provést s využitím programu Difpatan. Semikvantitativní stanovení relativního obsahu krystalických fází ve střepu můžeme provést pomocí programu ZDS-System for Windows 95TM.

Krystalická fáze však tvoří pouze větší nebo menší podíl pevné fáze střepu. Vedle ní je ve střepu přítomna také fáze nekrystalická, která se při rentgenografické analýze nijak výrazně neprojevuje. Stanovení celkového obsahu pevných fází ve střepu je proto nutné provést kvalifikovaným odhadem z mikroskopického výbrusu. Na základě tohoto odhadu získáme představu o poměru mezi krystalickými a nekrystalickými fázemi ve studovaném střepu. Dále můžeme vypočítat obsahy jednotlivých krystalických fází v daném střepu.

Rentgenograficky tedy stanovíme mineralogické složení krystalických fází střepu a v kombinaci s mikroskopickým hodnocením mikrostruktury střepu získáme kompletní fázové složení střepu. Z jednotlivých identifikovaných krystalických fází ve střepu můžeme určit, které z minerálů s vysokou pravděpodobností tvořily surovinovou směs studované keramiky a které minerály vznikly až při jejím výpalu. Z těchto údajů můžeme potom přibližně odhadnout i **teplotu výpalu** výrobků, ze kterých studované střepy pocházejí.

Optická mikroskopická analýza střepů. Mikroskopické hodnocení vzorků se provádí na tenkých výbrusech o tloušťce cca 20 až 30 μm , orientovaných napříč stěnou výrobku, tedy přibližně kolmo k jeho povrchu. Obraz v optickém polarizačním mikroskopu je snímán videokamerou a zpracováván analýzou obrazu s využitím programu Lucia. Při hodnocení výbrusů v optickém polarizačním mikroskopu se sledují tato hlediska:

1. **Orientace textury** či **mikrostruktury střepu**, která je dána způsobem uspořádání protáhlých zrn ostřiva, destiček slídy a kanálkovitých pórů. Z charakteru textury či mikrostruktury střepu je možné usuzovat na způsob zpracování výchozí surovinové směsi a techniku tvarování výrobku.

2. **Mineralogické složení střepu**, které zahrnuje identifikaci minerálů, odhad jejich objemového podílu v plošných % a stanovení velikosti jejich zrn. Jde zejména o přírodní minerály, které doprovázejí primární ložiska kaolínů, jílu a hlín – především křemen, různé druhy živců, slídy, minerály železitých pigmentů atd. Ve střepch se však vyskytují také zrna keramického ostřiva a doprovodné minerály. Mineralogické složení střepu může prokázat podobnost či odlišnost použité surovinové směsi jednotlivých vzorků. Na základě znalosti složení výchozí surovinové směsi můžeme odhadnout vlastnosti použité suroviny a její chování při tvarování, sušení a výpalu.

3. **Homogenita střepu** je určována porovnáním vzájemného rozložení a granulometrického složení převládajících krystalických fází v celém profilu střepu. Zahrnuje také odlišnosti v makroskopickém měřítku, např. přítomnost povrchové vrstvy (jemnozrné hutné vrstvy tzv. engoby či skelné vrstvy - glazury), keramické střepy použité jako ostřivo, existenci souvislých vrstev s odlišnou texturou, mikrostrukturou či složením nebo přítomnost pórů, jejich orientací atd.

Z těchto poznatků je možné usuzovat na úroveň zpracování suroviny či směsi surovin, techniku tvaro-

vání (v ruce, na kruhu, vmačkávání do formy apod.) a povrchovou úpravu výrobku.

Mikroskopické hodnocení střepů má však i svá omezení. Jde především o jednoznačnou identifikaci některých minerálů. Identifikovat např. zrna draselného živce - ortoklasu ve výbrusu vedle zrn křemene je obtížné, protože tyto dva minerály je možné rozlišit pouze porovnáním jejich štěpnosti (ortoklas je dokonale štěpný, zatímco křemen štěpný není) nebo podle rozdílu jejich indexu lomu. Proto se velmi osvědčuje kombinace rentgenografické a mikroskopické analýzy.

K doplnění výsledků obou výše uvedených metod studia keramických střepů je možné podrobit vzorky ještě **chemické analýze**, která podává soubornou kvantitativní představu o chemickém složení studovaného materiálu. Jemně rozetřené a homogenizované zlomky střepu (cca 1–2 g) jsme analyzovali jak ve formě vytavených perel (výsledkem bylo kompletní chemické složení základních složek vzorku), tak ve formě lisovaných tablet (tím jsme získali semikvantitativní složení doprovodných prvků). Dále je třeba zjistit ztrátu žíháním. Tu jsme stanovili při teplotě 1.100 °C. Získané chemické složení můžeme potom přepočítat na 100 % zcela vyžíhaného stavu. To nám umožnilo vzájemně porovnávat chemické složení jednotlivých vzorků. Vypálené střepy by neměly vykazovat prakticky žádnou ztrátu žíháním, i když ta byla stanovována při teplotě vyšší, než byla předpokládána teplota výpalu kachlů – kolem 900 °C. Podstatně složitější situace nastane u vzorků obsahujících grafit, který při stanovení ztráty žíháním částečně nebo zcela vyhoří. Ztráta žíháním však byla zjištěna i u střepů, které grafit neobsahovaly. Je tak zřejmé, že dlouhodobé uložení střepů v půdě způsobilo jejich částečnou kontaminaci pevně vázanou vlhkostí nebo sírany, uhlíčity apod.

Kombinací všech tří metod můžeme výsledky jednotlivých měření doplnit a zpřesnit.

Vlastností, která charakterizuje chování keramického střepu při změnách jeho teploty, je **koeficient délkové teplotní roztažnosti**. Popisuje změnu délky vzorku v závislosti na zvyšující se teplotě a umožňuje posoudit velikost objemových změn a tím i odolnost výrobku proti náhlým změnám teploty. Koeficient délkové teplotní roztažnosti vypočteme z dilatační křivky, kterou získáme měřením změn délky vzorku v dilatometru v závislosti na lineárně stoupající teplotě. Měření jsme provedli na vzorcích o velikosti cca 4 x 4 x 30 mm v rozmezí teplot 20–800 °C.

K určení textury střepu studovaných výrobků se osvědčuje i *mikroskopické hodnocení lomových ploch* nebo orientovaných řezů stěn nádob. Tato metoda umožňuje, na rozdíl od mikroskopických výbrusů a nábrusů, posoudit vnitřní strukturu jednotlivých částí střepů v širších prostorových souvislostech a upřesnit tak poznatky o způsobech tvarování jednotlivých výrobků nebo jejich částí.

Vhodné je srovnávat vlastnosti střepů podobné velikosti, které pocházejí ze stejných částí předmětů obdobného původního použití.

4. Popisy a vyhodnocení analýz – stanovení vlastností použitého materiálu

4.1. Skladovací vlhkost, nasákavost, objemová hmotnost, zdánlivá pórovitost a zdánlivá hustota střepů

Ke stanovení vlhkosti střepů po jejich dlouhodobém skladování, tzv. skladovací vlhkosti, byly vzorky střepů kachlů po dostatečně dlouhém uložení v prostředí laboratoře zváženy (s přesností na 0,01 g) a potom vysušeny do konstantní hmotnosti v laboratorní sušárně při 105 °C.

Vlhkost keramického střepu W byla vypočtena podle vztahu:

$$W = (m_v - m_s) \cdot 100 / m_s \quad (\%) \quad (1)$$

kde m_v je hmotnost vlhkého vzorku střepu po dlouhodobém skladování (g), m_s je hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti (g).

Nasákavost a objemová hmotnost vypáleného keramického střepu se stanovuje tak, že vzorky vhodné velikosti se zváží opět s přesností na jednu setinu gramu a vaří se zcela potopené v destilované vodě po dobu 2 hodin. Po ukončení varu se ponechají cca 24 hodin uložené pod vodou. Po této době se vzorky znova zváží a to jak pod vodou, kdy jsou uloženy ve vhodném držáku, tak na vzduchu, po otření jejich povrchu vlhkou utěrkou.

Nasákavost vzorků E se z naměřených hodnot vypočítá podle vztahu:

$$E = (m_w - m_s) \cdot 100 / m_s \quad (\%) \quad (2)$$

kde m_w je hmotnost vzorku nasáklého vodou (g), m_s je hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti (g).

Objemová hmotnost střepu OH se vypočte podle vztahu:

$$OH = m_s \rho_{H_2O} / (m_w - m_w') \quad (\text{gcm}^{-3}) \quad (3)$$

kde ρ_{H_2O} je hustota vody (gcm^{-3}) a m_w' je hmotnost vzorku váženého pod vodou (g).

Ze získaných dat byla dále vypočtena zdánlivá hustota střepu d_{ap} a zdánlivá neboli otevřená pórovitost střepu P_{ap} .

Zdánlivá hustota materiálu vzorku po výpalu d_{ap} je hustota materiálu včetně uzavřených pórů. Je vypočtena podle následujícího vztahu:

$$d_{ap} = m_s / (m_s - m_w) \quad (\text{gcm}^{-3}) \quad (4)$$

Zdánlivá pórovitost představuje vlastně otevřenou pórovitost vzorku střepu P_{ap} , která se vypočte podle vztahu:

$$P_{ap} = (m_v - m_s) \cdot 100 / (m_v - m_w) \quad (\%) \quad (5)$$

Při vzájemném porovnání jednotlivých naměřených vlastností střepů (tab. 3) je zřejmé, že mezi vzorky tříd CK 01 a CK 04 je určitý rozdíl v nasákavosti a tím i v hodnotách otevřené pórovitosti. Tyto rozdíly však nejsou nijak zásadní. Všechny vzorky vykazují určitou skladovací vlhkost (W), pohybující se v rozmezí cca

0,1–1,3 %. U všech vzorků byla zjištěna otevřená pórovitost, která je vyjádřena hodnotou zdánlivé pórovitosti (P_{ap}), v rozsahu cca 24 až 32 %, a tedy i nasákavost (E) v rozsahu cca 13 až 17 %. Zdánlivá hustota střepe vzorků odpovídá hustotě páleného střepe připravovaného ze směsí přírodních surovin.

| Třída | Č. vz. | E (%) | OH (gcm ⁻³) | W (%) | d_{ap} (gcm ⁻³) | P_{ap} (%) |
|--------|--------|----------|-------------------------|---------|-------------------------------|--------------|
| CK 01 | 30a | 14.8 | 1.878 | 1.3 | 2.604 | 27.9 |
| | 5 | 15.2 | 1.815 | 0.3 | 2.510 | 27.7 |
| | 31 | 15.0 | 1.858 | 1.0 | 2.576 | 27.9 |
| | 77 | 13.7 | 1.884 | 0.2 | 2.542 | 25.9 |
| Průměr | | 14.7±0.7 | 1.859±0.03 | 0.7±0.5 | 2.558±0.04 | 27.3±1.0 |
| CK 02 | 79 | 12.5 | 2.004 | 0.1 | 2.676 | 25.1 |
| CK 03 | 19 | 16.1 | 1.876 | 1.2 | 2.685 | 30.1 |
| | 56 | 17.2 | 1.837 | 0.6 | 2.684 | 31.6 |
| | 30b | 13.0 | 1.946 | 1.2 | 2.607 | 25.4 |
| Průměr | | 15.4±2.1 | 1.886±0.06 | 1.0±0.3 | 2.659±0.04 | 29.0±3.2 |
| CK 04 | 94 | 12.6 | 1.916 | 1.2 | 2.526 | 24.1 |
| | 45 | 13.4 | 1.896 | 0.7 | 2.538 | 25.3 |
| Průměr | | 13.0±0.5 | 1.906±0.01 | 1.0±0.4 | 2.532±0.01 | 24.7±0.8 |

Tab. 3. Vlastností vybraných střepe kachlů: E – nasákavost, OH – objemová hmotnost, W – skladovací vlhkost, d_{ap} – zdánlivá hustota, P_{ap} – otevřená pórovitost střepe. – **Tab. 3.** Eigenschaften ausgewählter Kachelscherben: E – Wasseraufnahme, OH – Rohdichte, W – Lagerfeuchte, d_{ap} – scheinbare Dichte, P_{ap} – offene Porosität der Scherbe.

4.2. Rentgenová difrakční analýza

Pro rentgenografické hodnocení mineralogického složení krystalické fáze zlomků kachlů byly odebrány části střepe o hmotnosti cca 2 g. Potřebné množství vzorku odebrané kvartací bylo rozdrveno a jemně roztřeno v achátové misce. Difraktogramy byly pořízeny na difraktografu Rigaku Denki při Cu K α záření v rozsahu 2–64° = 2 při jednotné citlivosti zápisu (2000). Identifikaci krystalických fází v jednotlivých vzorcích jsme nejprve provedli na zápisech difraktogramů (Novotná 2000). Následně jsme vyhodnotili také digitální data odpovídajících difraktogramů podle programu ZDS. To nám umožnilo jak spolehlivou identifikaci přítomných minerálů ve vzorcích, tak stanovení jejich relativních obsahů v krystalické fázi střepe. Pro stanovení relativního obsahu jednotlivých sledovaných minerálů jsme využili linie (d_{hkl}), které se nekryly s liniemi ostatních přítomných minerálů. Porovnávali jsme intenzity (I) těchto vybraných difrakčních linií (d_{hkl}). Výsledky rentgenografické analýzy jsou pro jednotlivé keramické třídy CK 01–CK 04 uvedeny v tabulce č. 4 a na grafech č. 3–8. Nejvyšší obsah sledovaného minerálu je označen jako 100 objemových procent.

4.2.1. Výsledky rentgenografické analýzy

Rentgenové difrakční analýzy, které nám umožnily stanovit mineralogické složení krystalických fází analyzovaných vzorků a získat základní orientaci v souboru, přinesly i některá další zajímavá zjištění. Ve vzorcích jsme identifikovali krystalické fáze, které odpovídají ve

středověku patrně běžně dostupným surovinám, a to v rozmanitých vzájemných poměrech, což dokládá používání převážně přírodních, uměle nehomogenizovaných směsí s relativně stabilním poměrem plastických surovin a přírodních ostřiv.

Za hlavní složky (minerály) krystalických fází střepe můžeme považovat především **křemen**, dále různé druhy sodných (**albit**), sodnovápenatých (**plagioklas** až **anortit**) a zejména draselných (**mikroklin** a **ortoklas**) živců a slídu. V několika vzorcích byly rentgenograficky zjištěny také některé další minerály – **dolomit** (vz. 76), **crystalit** (vz. 13, 34, 94), **wavelit** (vz. 41, 95, 101), **gehlenit** (vz. 56, 97). Jako jediná záměrná příměs byl identifikován **grafit-tuha** (viz níže – kap. 4.3.5).

Křemen obsahovaly všechny vzorky v rozmanitém množství. Interval naměřených intenzit sledovaných linií d_{hkl} u křemene (5,5–35,3; průměr 14) dokládá, že některé střepe jej obsahovaly až téměř 7x více nežli jiné. Druhým nejčastěji zjišťovaným minerálem byly **různé druhy živců**. U všech 38 vzorků byla zjištěna přítomnost draselných živců **mikroklinu** a **ortoklasu**, oba v podobných relativních obsazích. Také interval jejich naměřených intenzit (2,3–23,8; průměr 8,64) svědčí o velké rozmanitosti používaných výchozích živcových surovin k přípravě keramických směsí. Sodný živec **albit** se podařilo zjistit jen u 23 vzorků, a to také s velkým rozptylem naměřených hodnot intenzit (0,7–42; průměr 8,43). Pouze u 28 vzorků byla rentgenograficky zjištěna **slída** (naměřené intenzity 3,3–18,2; průměr 8,92). Zatímco křemen a živec sloužily v keramické hmotě jako ostřivo (písky), můžeme slídu považovat za doprovodný minerál, vnášený do směsí buď jily nebo křemenem či živci. Jediná záměrná příměs **grafit-tuha**, byla zjištěna u 15 vzorků, a to v intenzitách 1,6–5,5 (průměr 3,82). Tuha byla rentgenograficky naměřena výhradně u vzorků keramické třídy CK 01, a to u všech s výjimkou vzorků č. 26 a 101.

Jediný prokazatelný vzájemný vztah mezi identifikovanými minerály byl zjištěn mezi křemenem a zejména grafitem, potažmo množinou ostatních minerálů. Obecně lze říci, že u vzorků s jistým podílem grafitu byl naměřen relativně nižší obsah křemene, nežli u vzorků, ve kterých grafit zjištěn nebyl. U vzorků s relativně nižším obsahem křemene můžeme pak sledovat také relativně vyšší obsah množiny ostatních minerálů – zejména slídy. Jinak šlo o směsi s velmi rozmanitými vzájemnými poměry jednotlivých minerálů v keramické hmotě. Právě tuto rozmanitost považujeme za doklad používání přírodních – nehomogenizovaných směsí.

Ve střepe identifikované minerály **gehlenit**, případně **anortit**, je možné považovat za produkty reakce složek keramické směsi v průběhu výpalu nad teplotou cca 850 °C. U **anortitu** je ještě možnost jeho vnesení sodnovápenatým živcem plagioklasem. Podobně ze zjištění **crystalitu** ve střepe je možné usuzovat na jeho primární vnesení do směsi s ostatními surovinami nebo na jeho vznik při výpalu z vneseného opálu (v tomto případě vzniká při teplotě nad cca 800 °C zatímco při vzniku modifikační přeměnou z křemene je to až nad teplotou cca 1200 °C). **Dolomit** i **wavelit** lze vcelku jed-

| Minerál | | Křemen – Q | | Grafit – G | | Albit – A | | K-živce – KŽ | | | | Slída – S | | Anortit – An | |
|----------|--------|-------------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|----|-----|-------------------|----------|-------------------------|----------|
| Číslo | | $d_{hkl} = 2,28 + 2,48$ | | $d_{hkl} = 1,68$ | | $d_{hkl} = 3,19$ | | $d_{hkl} = 3,24$ | | | | $d_{hkl} = 10,00$ | | $d_{hkl} = 3,18 + 3,21$ | |
| Ker. tř. | Č. vz. | l | (obj. %) | l | (obj. %) | l | (obj. %) | l | (obj. %) | mi | ov | l | (obj. %) | l | (obj. %) |
| 1 | 3 | 9,3 | 26 | 5,5 | 100 | 2,2 | 5 | 2,4 | 10 | | X | | | | |
| | 5 | 11,6 | 33 | 3,8 | 69 | | | 3,0 | 13 | | X | 3,3 | 18 | | |
| | 13 | 14,0 | 40 | 3,3 | 60 | | | 5,2 | 22 | X | | 7,7 | 42 | | |
| | 17 | 9,9 | 28 | 5,2 | 95 | 6,8 | 16 | 6,1 | 26 | X | | 10,1 | 55 | | |
| | 18 | 15,5 | 44 | 1,9 | 35 | | | 19,7 | 83 | X | | 13,9 | 76 | | |
| | 20 | 6,8 | 19 | 5,1 | 93 | 4,1 | 10 | 10,7 | 45 | | X | 3,5 | 19 | | |
| | 26/2 | 5,5 | 16 | | | 22,0 | 52 | 2,3 | 10 | X | X | 7,8 | 43 | | |
| | 27 | 10,2 | 29 | 5,0 | 91 | 5,3 | 13 | 6,9 | 29 | | X | 18,2 | 100 | | |
| | 28 | 6,6 | 19 | 4,8 | 87 | 4,0 | 10 | 14,7 | 62 | | X | 9,9 | 54 | | |
| | 30a | 10,6 | 30 | 2,9 | 53 | 42,0 | 100 | 12,1 | 51 | | X | 15,0 | 82 | | |
| | 31 | 15,2 | 43 | 4,8 | 87 | 14,5 | 35 | 12,5 | 53 | X | | 9,7 | 53 | | |
| | 32a | 8,9 | 25 | 3,7 | 67 | 4,0 | 10 | 3,1 | 13 | | X | 14,9 | 82 | | |
| | 34 | 15,7 | 44 | 1,6 | 29 | 2,5 | 6 | 6,7 | 28 | | X | 3,7 | 20 | | |
| | 37 | 10,0 | 28 | 3,2 | 58 | 5,9 | 14 | 7,2 | 30 | X | | 14,1 | 77 | | |
| | 52 | 9,1 | 26 | 3,9 | 71 | | | 4,1 | 17 | | X | 8,5 | 47 | 2,4 | 6 |
| 77 | 13,5 | 38 | 2,6 | 47 | 9,7 | 23 | 11,7 | 49 | | X | | | | | |
| 101 | 15,9 | 45 | | | | | 7,7 | 32 | | X | 6,0 | 33 | | | |
| 2 | 50 | 15,4 | 44 | | | 4,2 | 10 | 9,2 | 39 | X | | 8,0 | 44 | | |
| | 55 | 13,6 | 39 | | | 3,8 | 8 | 5,1 | 21 | X | | | | | |
| | 79 | 28,1 | 80 | | | 10,1 | 24 | 3,8 | 16 | X | X | | | | |
| | 80 | 12,1 | 34 | | | 5,3 | 13 | 15,9 | 67 | X | | | | | |
| | 102 | 22,4 | 63 | | | | | 20,2 | 85 | | X | | | | |
| 3 | 19 | 35,3 | 100 | | | 5,7 | 14 | 6,4 | 27 | | X | 9,0 | 49 | 9,9 | 66 |
| | 30b | 18,0 | 51 | | | | | 6,4 | 27 | | X | 12,8 | 70 | 6,7 | 45 |
| | 32b | 15,5 | 44 | | | | | 4,2 | 18 | | X | 9,8 | 54 | | |
| | 41 | 14,2 | 40 | | | | | 9,1 | 38 | X | | 6,9 | 38 | | |
| | 46 | 14,4 | 41 | | | 5,2 | 12 | 13,9 | 58 | X | | 7,6 | 42 | | |
| | 53 | 17,2 | 49 | | | | | 6,3 | 26 | | X | 5,0 | 27 | | |
| | 56 | 15,5 | 44 | | | 23,2 | 55 | 6,5 | 27 | X | | 11,4 | 63 | 5,3 | 36 |
| | 76 | 15,7 | 44 | | | 2,6 | 6 | 4,7 | 20 | | X | 5,0 | 27 | | |
| | 95 | 10,7 | 31 | | | | | 6,0 | 25 | X | | 3,4 | 19 | 14,9 | 100 |
| | 97 | 10,4 | 29 | | | | | 10,5 | 44 | X | X | | | | |
| 4 | 40 | 13,1 | 37 | | | | | 7,1 | 30 | | X | | | | |
| | 44 | 16,3 | 46 | | | 0,7 | 2 | 11,4 | 48 | | X | | | | |
| | 45 | 15,2 | 43 | | | 8,2 | 20 | 10,6 | 45 | | X | 7,7 | 42 | | |
| | 54 | 13,8 | 39 | | | | | 2,9 | 12 | | X | | | | |
| | 88 | 11,8 | 33 | | | | | 23,8 | 100 | X | | 6,5 | 36 | | |
| | 94 | 16,9 | 48 | | | 7,9 | 19 | 8,3 | 35 | X | | 10,3 | 57 | | |

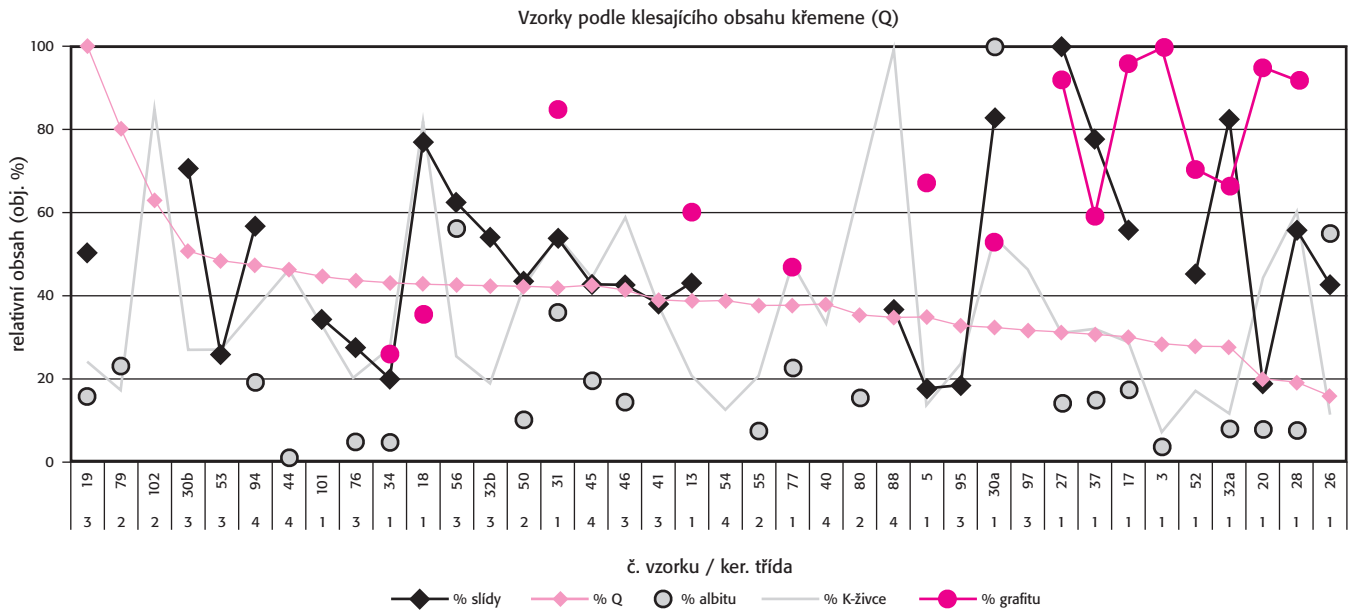
Tab. 4. Vyhodnocení difraktogramů vzorků podle keramických tříd CK 01 – CK 04. **Komentář:** Grafit byl rentgenograficky (tedy v obsahu vyšším nežli cca 5–6 objemových %) prokázán pouze u vzorků náležejících keramické třídě CK 01. U všech vzorků byla zjištěna přítomnost draselných živců mikroklinu a ortoklasu. V jejich zastoupení není výrazných rozdílů. U vzorků třídy CK 02 téměř chybí důkaz o přítomnosti slídy, u vzorků třídy CK 03 je naopak její přítomnost výrazná, stejně jako u vzorků třídy CK 01. Ve vzorcích třídy CK 03 (a s výhradou také u vzorku č. 52 třídy CK 01) byl prokázán anortit. — **Tab. 4.** Auswertung der Diffraktogramme der Proben entsprechend den Keramikklassen CK 01 – CK 04. **Kommentar:** Grafit wurde röntgenografisch (also mit einem Gehalt von mehr als ca. 5–6 Volumen %) nur bei den Proben der Keramikklasse CK 01 nachgewiesen. Bei allen Proben wurde die Präsenz der Kalifeldspatarten Mikroklin und Orthoklas festgestellt. In ihrer Repräsentanz gibt es keine deutlichen Unterschiede. Bei den Proben der Klasse CK 02 fehlt ein Nachweis von Glimmer fast völlig, bei den Proben der Klasse CK 03 ist er dagegen markant, genau wie bei den Proben der Klasse CK 01. In den Proben der Klasse CK 03 (und mit Vorbehalt auch bei Probe Nr. 52 der Klasse CK 01) wurde Anortit nachgewiesen.

noznačně považovat za produkty následné kontaminace již vypáleného střepu během jeho dlouhodobého uložení v zemi.

Právě díky zmíněné rozmanitosti použitých směsí přírodních surovin se na základě rentgenografických měření nepodařilo vyčlenit jednoznačné skupiny charakteristické určitým složením, které by se výrazněji odlišovaly od skupin jiných, či od množiny ostatních

vzorků. Vymykala se pouze skupina vzorků obsahujících příměs grafitu.

Naměřené hodnoty nám však umožňují přibližně stanovit jednak vzájemné relativní poměry jednotlivých zjištěných složek krystalických fází střepů – jednotlivých ostrých příměsí, jednak identifikovat produkty vzájemné reakce složek směsi při výpalu a nebo dodatečné kontaminace střepů při jejich dlouhodobém uložení v zemi (viz výše).

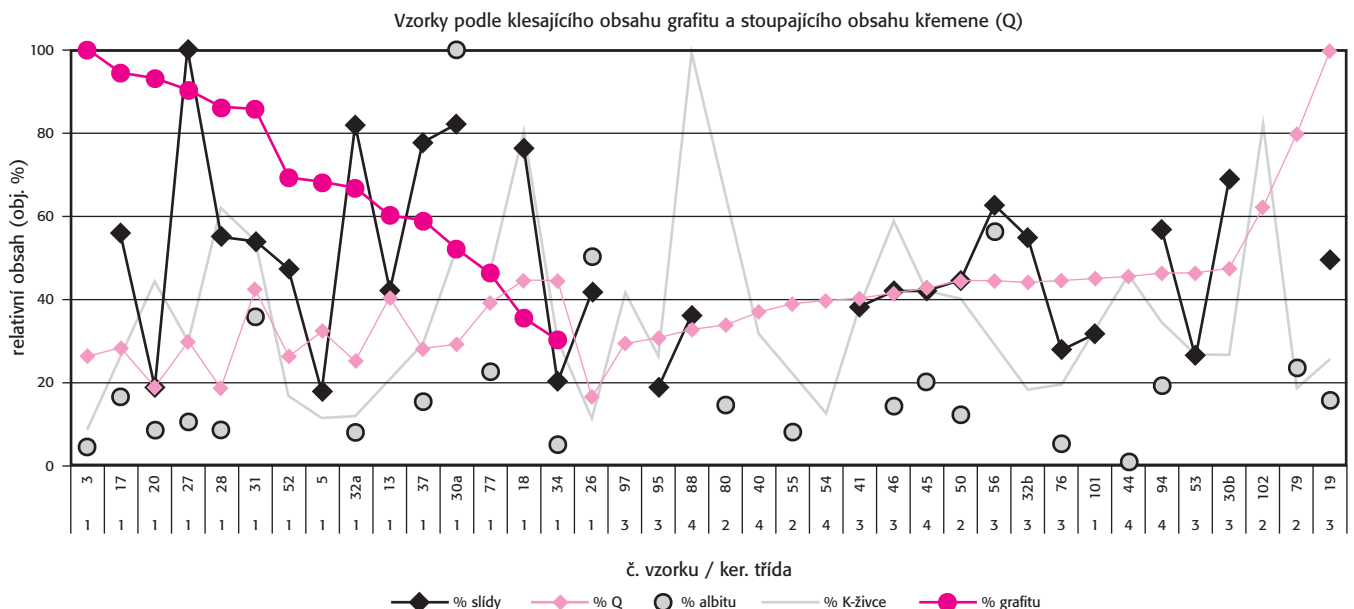


Graf 3. Kolísání mineralogického složení vzorků řazených podle klesajícího relativního obsahu křemene (Q).

Komentář: Obsah křemene ve vzorcích se většinou pohybuje v rozmezí mezi cca 25 a 50 obj. % svého max. obsahu (vzorek 19) (intenzita sledovaných linií 8,9–18) – v tomto intervalu jsou všechny vzorky kromě 3 s nejnižší a 3 s nejvyšší naměřenou intenzitou. U vzorku 19 byla, ale například, naměřena intenzita dvojnásobně vyšší. U vzorků s přítomností křemene v obsahu nižším nežli cca 34 obj. % svého max. obsahu (intenzita cca 13,1) je s klesajícím obsahem křemene patrný markantní nárůst objemu ostatních krystalických fází (příměsí) – zejména grafitu a slídy, částečně i K-živce.

Diagramm 3. Mineralische Zusammensetzung der Proben, angeordnet nach dem sinkenden relativen Quarzgehalt (Q).

Kommentar: Der Quarzgehalt in den Proben bewegt sich meist in einem Intervall von ca. 25 und 50 Vol. % seines Maximalgehalts (Probe 19) (Intensität der beobachteten Linien 8,9–18) – in diesem Intervall liegen alle Proben außer 3 mit der niedrigsten und 3 mit der höchsten gemessenen Intensität. Bei Probe 19 wurde aber z. B. eine um das Doppelte höhere Intensität gemessen. Bei den Proben mit einem Quarzgehalt von weniger als ca. 34 Vol. % seines Maximalgehalts (Intensität ca. 13,1) ist mit sinkendem Quarzgehalt ein markanter Zuwachs des Volumens der übrigen Kristallphasen (Beimischungen) bemerkbar – besonders Grafit und Glimmer, teilweise auch K-Feldspat.

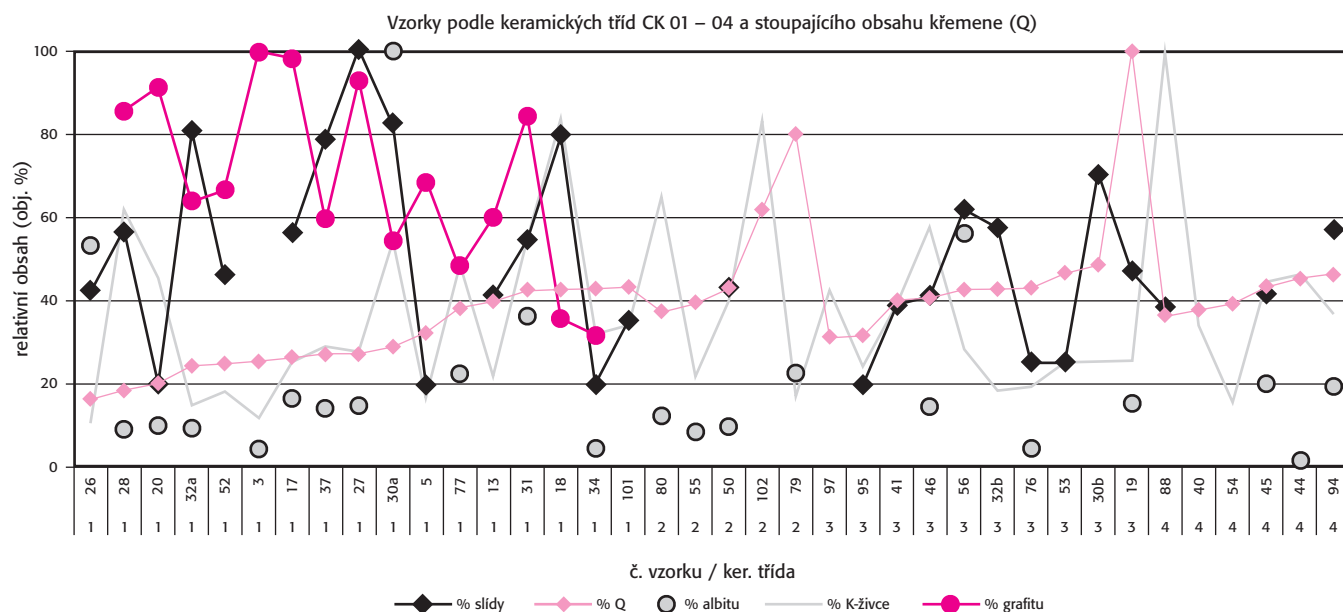


Graf 4. Kolísání mineralogického složení vzorků řazených podle klesajícího relativního obsahu grafitu a stoupajícího relativního obsahu křemene.

Komentář: U vzorků s grafitem markantně vystupuje jednak nárůst přítomnosti dalších krystalických fází (zejména slídy), jednak relativně nižší obsah křemene oproti vzorkům bez grafitu. Obsah grafitu je velmi rozmanitý a výrazně kolísá, křivka klesá (stoupá) téměř lineárně.

Diagramm 4. Mineralische Zusammensetzung der Proben, angeordnet nach dem sinkenden relativen Grafitgehalt und dem ansteigenden relativen Quarzgehalt.

Kommentar: Bei den Proben mit Grafit tritt einerseits die wachsende Präsenz weiterer Kristallphasen (vor allem Glimmer), andererseits der relativ geringere Quarzgehalt im Gegensatz zu den Proben ohne Grafit markant hervor. Der Grafitgehalt ist sehr vielfältig und schwankt deutlich, die Kurve sinkt (steigt) fast linear.

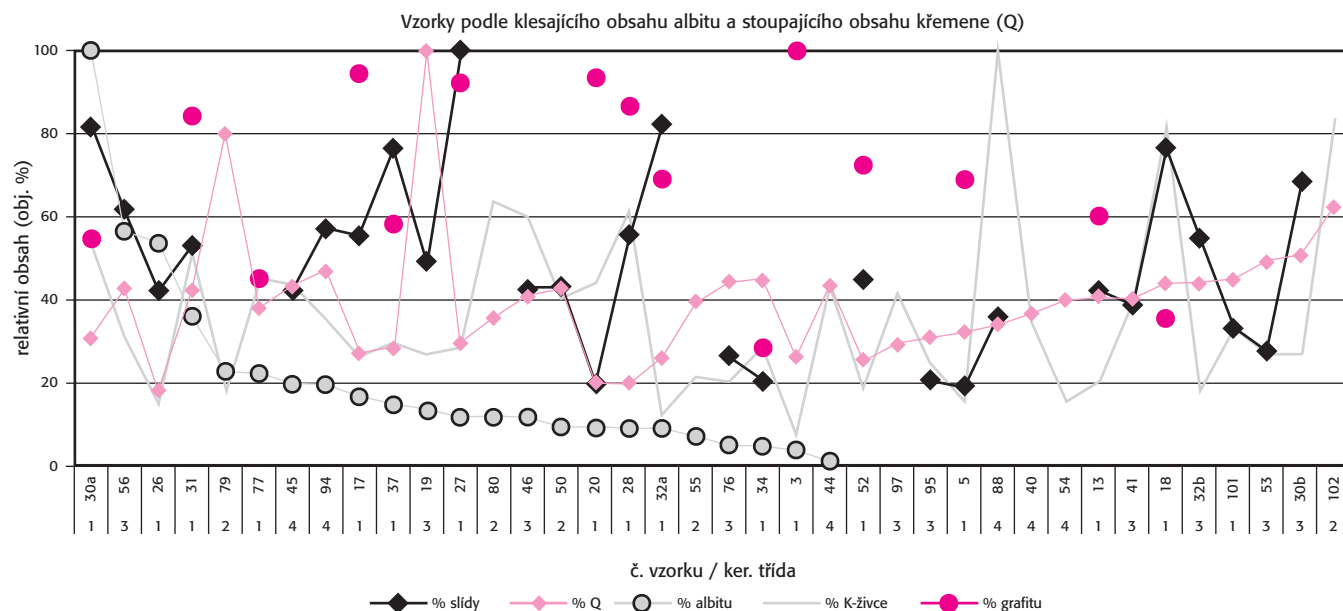


Graf 5. Kolísání mineralogického složení vzorků řazených podle keramických tříd CK 01 – CK 04.

Komentář: U vzorků třídy CK 01 je v mineralogickém složení vzorků výrazný podíl grafitu a také slidy, která více vystupuje i u vzorků třídy CK 03. Ostatní krystalické fáze (příměsi) jsou bez markantních vazeb k některé keramické třídě; patrný je relativně stoupající podíl křemene v jednotlivých třídách oproti třídě CK 01.

Diagramm 5. Mineralische Zusammensetzung der Proben, angeordnet nach den Keramikklassen CK 01 – CK 04.

Kommentar: Bei den Proben der Klasse CK 01 ist in der mineralogischen Zusammensetzung der Proben ein deutlicher Graphit- und Glimmeranteil festzustellen, der auch bei den Proben der Klasse CK 03 vermehrt hervortritt. Die übrigen Kristallphasen (Beimischungen) sind ohne markante Bindungen an eine Keramikklasse; unverkennbar ist der relativ ansteigende Quarzanteil in den einzelnen Klassen gegenüber der Klasse CK 01.

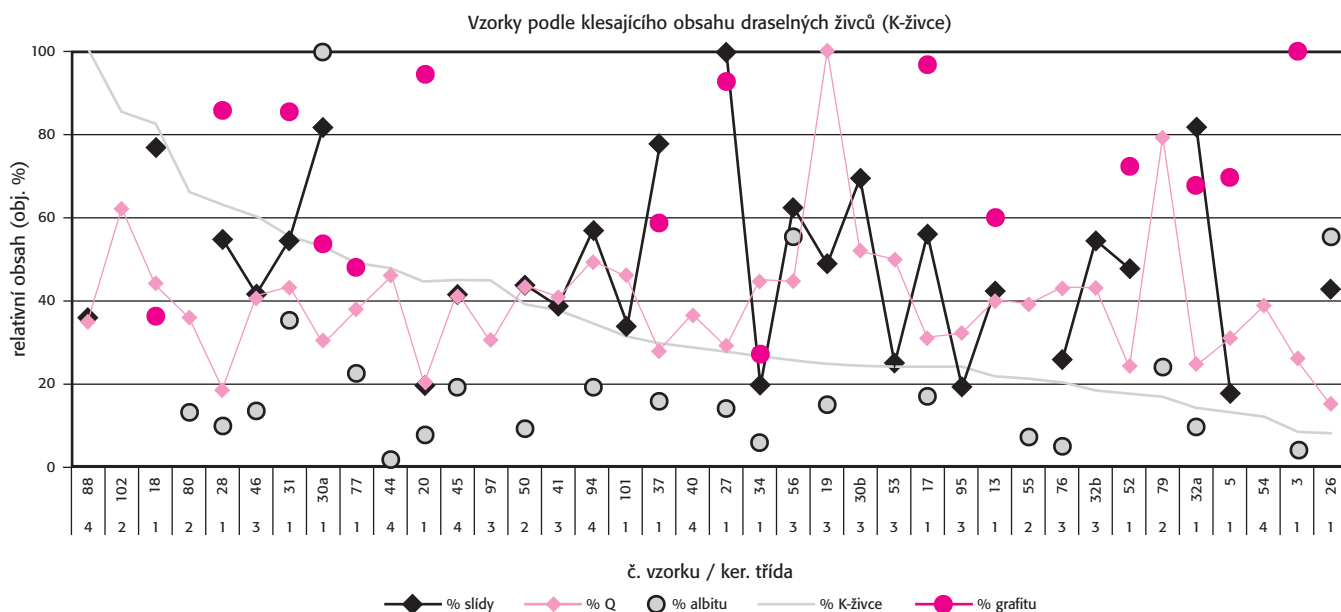


Graf 6. Kolísání mineralogického složení vzorků řazených podle klesajícího relativního obsahu albitu a stoupajícího relativního obsahu křemene (Q).

Komentář: Albit se vyskytuje pouze u 60 % vzorků. Jeho výrazná vazba k některé keramické třídě nebo jiné skupině příměsí není patrná, vztahy k obsahu dalších příměsí jsou velmi rozmanité. Albit byl u většiny vzorků zjištěn v obsahu do 20–22 obj. % svého max. obsahu (vzorek 30a).

Diagramm 6. Mineralische Zusammensetzung der Proben, angeordnet nach dem sinkenden relativen Albitgehalt und dem ansteigenden relativen Quarzgehalt (Q).

Kommentar: Albit kommt nur bei 60 % der Proben vor. Seine deutliche Bindung an irgendeine Keramikklasse oder andere Magerungsgruppe ist nicht erkennbar, die Beziehungen zum Gehalt an anderen Magerungen sind sehr vielfältig. Albit wurde bei den meisten Proben in einem Gehalt von bis zu 20–22 Vol. % seines Maximalgehalts festgestellt (Probe 30a).

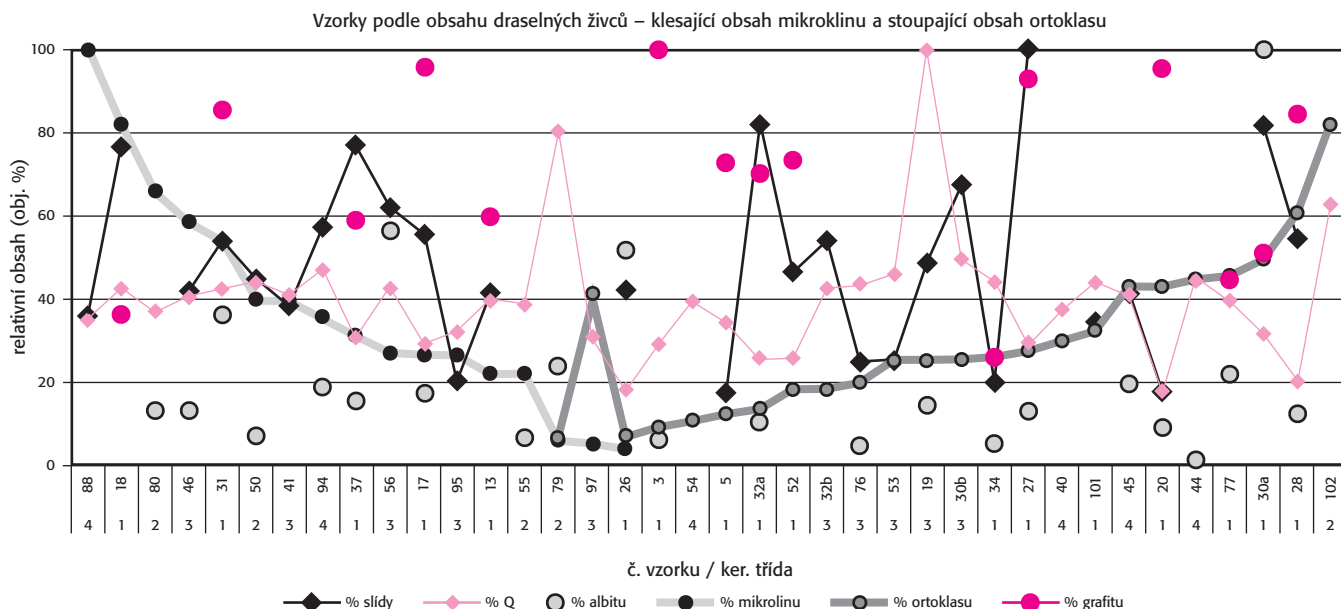


Graf 7. Kolísání mineralogického složení vzorků řazených podle klesajícího relativního obsahu draselných živců (K-živce).

Komentář: Draselné živce (K-živce) jsou přítomny ve všech vzorcích. Tvořily stabilní součást všech používaných směsí, byly však zjištěny ve velmi rozmanitých obsahích – křivka stoupá (klesá) téměř lineárně – například zjištěný podíl křemene je mnohem vyrovnanější. Vazba obsahu K-živců k některým dalším krystalickým fázím (příměsím) nebyla zjištěna.

Diagram 7. Mineralische Zusammensetzung der Proben, angeordnet nach dem sinkenden relativen Kalifeldspat-Gehalt (K-Feldspat).

Komentář: Kalifeldspat (K-Feldspat) ist in allen Proben enthalten. Er bildete einen stabilen Bestandteil aller verwendeten Beimischungen, wurde aber in sehr vielfältigem Gehalt festgestellt – die Kurve steigt (sinkt) fast linear – der festgestellte Quarzanteil zum Beispiel ist viel ausgeglichener. Eine Bindung des K-Feldspat-Gehalts an andere Kristallphasen (Beimischungen) wurde nicht festgestellt.



Graf 8. Kolísání mineralogického složení vzorků řazených podle obsahu draselných živců – podle klesajícího relativního obsahu mikroklinu a stoupajícího relativního obsahu ortoklasu.

Komentář: Ani po rozdělení relativního obsahu K-živců na mikroklin a ortoklas nebyla zjištěna žádná přímá závislost k ostatním druhům příměsí – vazby jsou velmi různorodé. Zřejmě však je, že část vzorků obsahuje pouze mikroklin a druhá část pouze ortoklas. Pouze 3 vzorky (č. 26, 79 a 97) obsahují oba druhy K-živců.

Diagram 8. Mineralische Zusammensetzung der Proben, angeordnet nach dem Kalifeldspat-Gehalt – nach dem sinkenden relativen Mikroklin-Gehalt und dem steigenden relativen Orthoklas-Gehalt.

Komentář: Auch nach der Unterteilung des relativen K-Feldspat-Gehalts in Mikroklin und Orthoklas wurde kein direkter Zusammenhang zu den übrigen Beimischungsarten festgestellt – die Bindungen sind sehr heterogen. Es ist jedoch offensichtlich, dass ein Teil der Proben nur Mikroklin und der zweite nur Orthoklas enthält. Nur drei Proben (Nr. 26, 79 und 97) enthalten beide K-Feldspat-Arten.

4.2.2. Diskuse

Z provedených rentgenografických měření (tab. 5 a 6) vyplývají **zjištění, potvrzující určité rozdíly mezi jednotlivými keramickými třídami, definované na základě makroskopického pozorování:**

- a) přítomnost grafitu v keramické hmotě se váže pouze ke třídě CK 01 (tato třída reprezentuje především velkorozměrové kachle, dosahující před výpalem rozměrů až 40 x 40 cm),
- b) grafit tu zřejmě částečně nahrazuje křemen jako ostřící příměs, křemen je tedy ze všech keramických tříd nejméně zastoupen právě u třídy CK 01, a to pouze cca 46 % z celkového obsahu krystalické fáze střepu (na rozdíl od průměrného obsahu zbývajících ker. tříd – 66 %),
- c) u třídy CK 02 je křemen naopak zastoupen v cca o třetinu vyšším obsahu (písčité charakter střepů této třídy byl konstatován již v makroskopickém popisu materiálu – viz výše),
- d) zastoupení ostatních minerálů (živců a slídy) je, co se týče vzájemných poměrů, sice velmi rozmanité (viz grafy 3–8), avšak z hlediska poměrného zastoupení v krystalické fázi střepu vzhledem k obsahu křemene je až překvapivě téměř konstantní – tvoří cca 32 až 38 % krystalické fáze střepů,
- e) relativně nejnižšího poměru vzhledem k obsahu křemene dosahují ostatní krystalické příměsi u tříd CK 02 (makroskopicky výrazně písčité střepy) a CK 03, naopak nejvyššího u střepů ze tříd CK 01 (křemen je částečně nahrazován grafitem) a CK 04 (makroskopicky „nejjemnější“ keramická třída),

| Průměrná intenzita d_{hkl} | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------|
| Ker. třída | Q | G | Ostatní | Suma |
| CK 01 | 11,08 | 3,82 | 9,06 | 23,96 |
| CK 02 | 18,32 | - | 8,56 | 26,88 |
| CK 03 | 16,69 | - | 8,09 | 24,78 |
| CK 04 | 14,59 | - | 8,78 | 23,37 |
| průměr | 15,17 | 3,82 | 8,62 | 27,61 |

Tab. 5. Porovnání průměrných intenzit sledovaných linií d_{hkl} u jednotlivých druhů minerálů podle keramických tříd (Q – křemen, G – grafit, ostatní: albit 8,43; K-živce 8,64; slída 8,92). — **Tab. 5.** Vergleich der durchschnittlichen Intensitäten der untersuchten Linien d_{hkl} bei den einzelnen Mineralarten entsprechend den Keramikklassen (Q – Quarz, G – Grafit, andere: Albit 8,43; K-Feldspat 8,64; Glimmer 8,92).

| Obsah minerálů v krystalické fázi (%) | | | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Ker. třída | Q | G | Ostatní | Suma |
| CK 01 | 46 | 16 | 38 | 100 % |
| CK 02 | 68 | | 32 | 100 % |
| CK 03 | 67 | | 33 | 100 % |
| CK 04 | 62 | | 38 | 100 % |
| průměr 02-04 | 66 | | 34 | 100 % |

Tab. 6. Porovnání % zastoupení průměrných intenzit sledovaných linií d_{hkl} v rámci krystalických fází u jednotlivých minerálů podle keramických tříd. — **Tab. 6.** Vergleich der prozentualen Verteilung der durchschnittlichen Intensitäten der untersuchten Linien d_{hkl} im Rahmen der Kristallphasen bei den einzelnen Mineralen entsprechend den Keramikklassen.

- f) rozmanité podíly draselných živců (ortoklasu nebo mikroklinu) ve všech analyzovaných střepích a také přítomnost sodných či sodnovápenatých živců albitu, event. plagioklasu, nás opravňují k tvrzení, že výchozí suroviny nepocházely z jednoho ložiska, ale z více ložisek v regionu.

4.3. Optická mikroskopická analýza

Z celkem 22 vybraných vzorků střepů byly zhotoveny mikroskopické výbrusy silné cca 20 až 30 μm , orientované kolmo k povrchu střepů kachlů. Výbrusy byly následně vyhodnoceny v procházejícím světle na optickém mikroskopu s instalovanou videokamerou a s využitím digitálního zpracování obrazu podle programu Lucia G. Popisy snímků výbrusů obsahují údaje o jejich mikrostruktuře, textuře i typickém mineralogickém složení. V případě určitých odlišností jsou uvedena i pozorování učiněná na nevyobrazených výbrusech. Písmeno **x** uvedené za číslem vzorku označuje snímek provedený ve zkřížených nikolech.⁴ Přibližný obsah krystalických fází byl stanoven z průměrného plošného zastoupení krystalů v zorném poli mikroskopu s použitím srovnávacích tabulek. Pro jednotlivé vzorky je obsah krystalických fází ve střepu uveden v objemových procentech podle jednotlivých keramických tříd (tab. 7). U relativně nehomogenních historických keramických materiálů může mikroskopické vyhodnocení výbrusu zachytit pouze malou část studovaného předmětu. Proto musí být věnována náležitá pozornost jak volbě vhodné části výrobku k odběru potřebného vzorku, tak orientaci řezu tohoto vzorku určeného ke zhotovení mikroskopického výbrusu. Při vzájemném porovnávání vlastností materiálu více předmětů je třeba vybrat vzorky pro výbrusy pokud možno ze shodného místa na hodnocených tělesech a nařezat je ve shodné orientaci. Pro zvýšení objektivit mikroskopického hodnocení materiálu je vhodné porovnat získané údaje s výsledky získanými dalšími metodami, zejména chemickou a rentgenografickou analýzou.

Uvedená mineralogická hodnocení výbrusů popisují kvalifikovaně vybranou typickou oblast příslušného vzorku střepu. Zhotovené *snímky výbrusů* dokumentují základní – typické vlastnosti hodnocených střepů, nemožnou však vždy postihnout všechny jednotlivosti zjištěné při detailním mikroskopickém hodnocení celých výbrusů.

4.3.1. Výbrusy vzorků keram. třídy CK 01 (foto 1–18)

Vzorek č. 3/1 (foto 1, 2)

Barva střepu je rezavá, cca 3/4 plochy výbrusu tvoří matrix oranžové barvy. Střep má nižší obsah grafitu i ostatního ostřiva nežli střep vzorku 3/2. Velikost zrn příměsí je však u obou vzorků velmi podobná. Zřetelná je jednosměrná orientace plochých zrn ostřiva. Zrna *grafitu* jsou více nahromaděna u jednoho okraje výbrusu. *Křemen* se ve střepu vyskytuje ve velmi širokém rozsahu velikostí, a to jak ve formě *polykrystalického křemence*, tak zaoblených pískových zrn. Zjištěna byla také zrna *draselného živce - ortoklasu* a destičky *slídy*.

⁴ V optické cestě mikroskopu jsou zasunuty jak polarizátor, tak analyzátor, tvořené polarizačními foliemi. Směr polarizátoru je kolmý na směr analyzátoru. Při zkřížených nikolech svítí ve vzorku pouze opticky anizotropní látky.

Obsah *krystalické fáze* ve střepech odpovídá cca 20 obj. %.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,08–0,42 mm, čtenější i 1,13–1,4 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 3 mm.

Vzorek č. 3/2 (foto 3, 4)

Barva střepech je černá – vykazuje relativně velký obsah grafitu; povrchová vrstva má rezavou barvu. Střep je velmi pórovitý. Ve střepech hmotě jsou vidět tokové obrazce, tvořené destičkovitými zrny jednotlivých minerálů zřejmě vzniklé při tvarování kachlů.

Zrna grafitu mají různou velikost a jsou relativně rovnoměrně rozptýlena ve střepech, s výjimkou jeho povrchové vrstvy, ve které jsou pouze ojedinělá. Pravděpodobně tu došlo k jejich vyhoření. Zrna grafitu jsou jednosměrně orientovaná. Další ostrivo tvoří jemný křemen a zaoblená zrna písku, k jemným frakcím patří také drobné destičky slídy. Ve střepech mají prakticky stejnou velikost jako zrna grafitu a jsou také relativně rovnoměrně rozptýlena. Střep obsahuje i velká zrna – slepence slídy. V levém horním rohu snímku (foto 4) je vidět velké zrno uhličitanu.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,06–0,34 mm, čtenější i 1–1,4 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 2,8 mm.

Obsah *krystalické fáze* ve střepech se pohybuje mezi 30 až 35 obj. %.

Vzorek 13 (foto 5, 6)

Charakter střepech v některých částech výbrusu působí dojmem jako by byly při tvorbě surovinové směsi smíchány a nedostatečně zhomogenizovány dva odlišné jíly, červený cihlářský a tmavý jíl s obsahem grafitu. Tato směs jílu tvoří ve střepech určité oblasti (foto 6). Různorodý materiál nevykazuje jednosměrnou orientaci pórů.

Střep obsahuje zrna grafitu. Neplastické složky příměsí tvoří dále malá zrna křemene a jemné destičky slídy. Ve středu snímku v polarizovaném světle je vidět 1,5 mm dlouhé a 1 mm široké velké bílé zrno (foto 5), které by mohlo náležet metakaolinitu (dehydroxidovaný kaolinit). Na snímku ve zkřížených nikolech (foto 6) jsou vidět malá svítící zrna křemene bez zjevné jednosměrné orientace.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,08–0,34 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 1,8 mm.

Obsah *krystalické fáze* ve střepech se pohybuje mezi 25 až 30 obj. %.

Vzorek 17 (foto 7, 8)

Na povrchu vzorku střepech je korozní vrstva. Materiál je zřejmě míšen z více výchozích surovin, což dokumentují různě zbarvené útvary ve střepech. Zrna ostriva tvoří zřetelné obrazce, vzniklé patrně při toku těsta během tvarování kachle vmačkáváním do formy.

Ve střepech jsou popraskaná velká zrna křemene. Vedle vysokého obsahu grafitu (foto 7 – velké černé zrno grafitu ve středu snímku) je ve střepech přítomna i slída. V pravém horním rohu snímku (foto 7) je vidět velké oblé slídnaté zrno žluté barvy s jemnými zrny křemene. Podobný útvar o velikosti cca 1,3 mm vidíme i na snímku vzorku ve zkřížených nikolech (foto 8). Působí dojmem, jako by slinoval při nižší teplotě, než ostatní hmota střepech. Vedle popsaného objektu se nachází veliký nerozlistovaný útvar slídy (foto 8). Ve středu snímku je vidět i ojedinělé zrno turmalínu nebo zirkonu. Ve střepech byl nalezen i vermikulární krystal metakaolinitu.

Velikost zrn příměsí (v mm): čtenější do 0,42–0,56 mm, na výbrusu

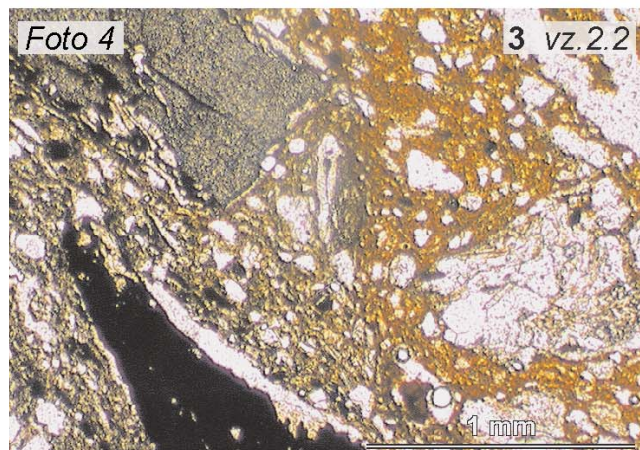
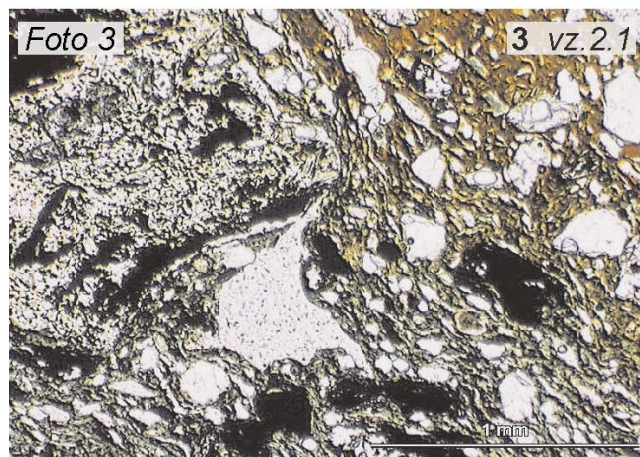
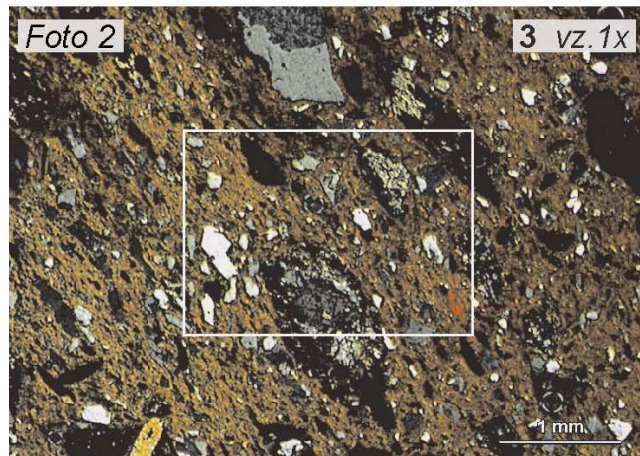
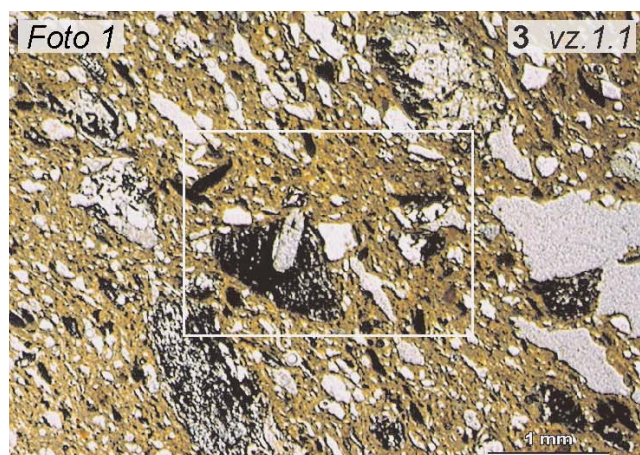
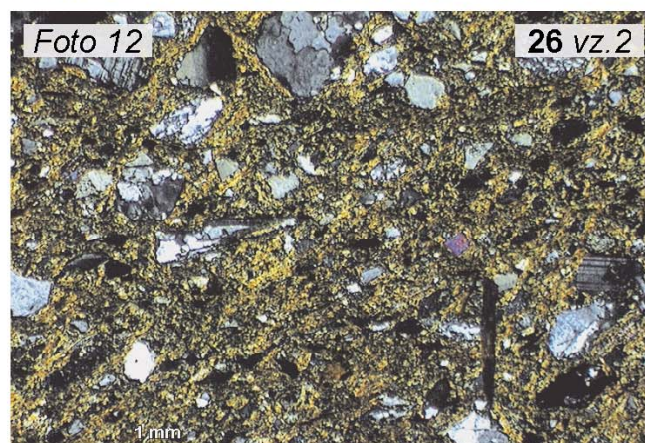
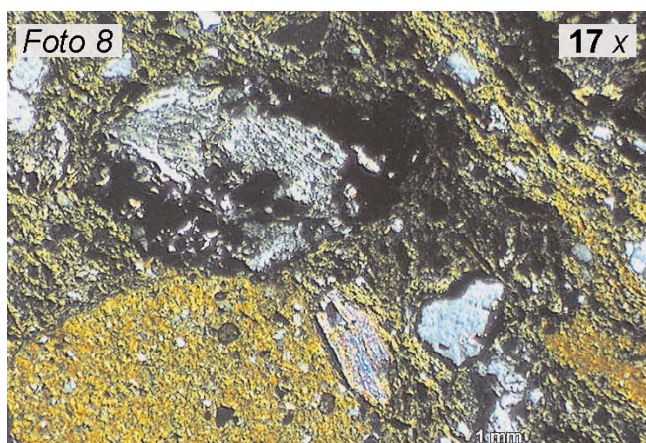
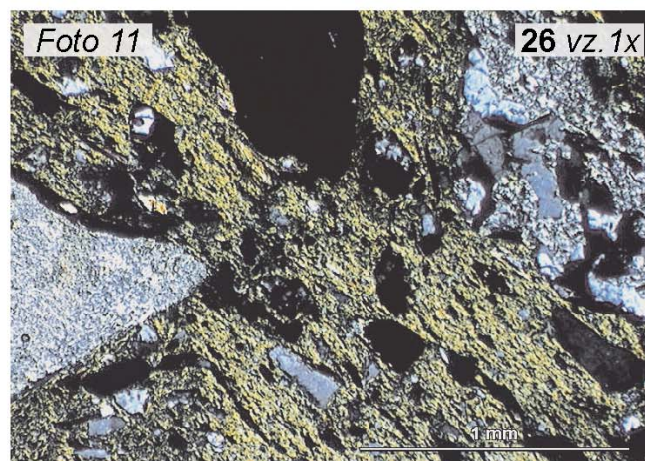
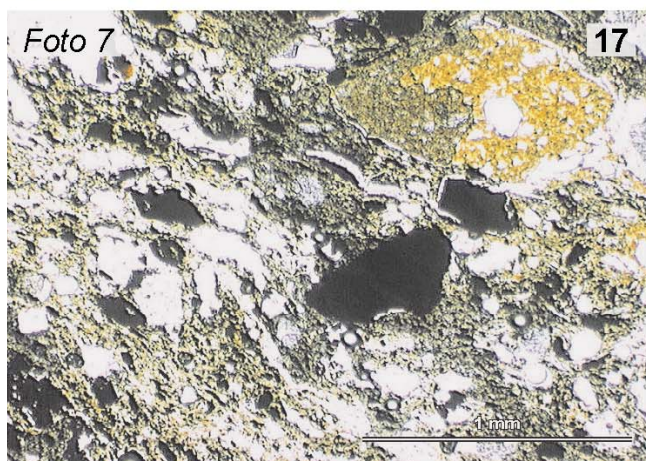
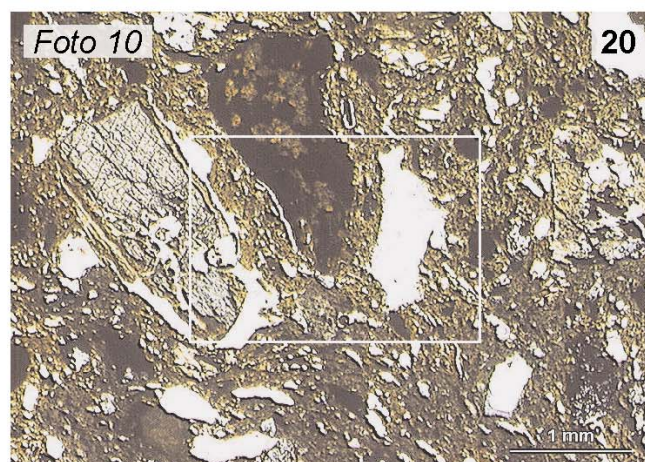
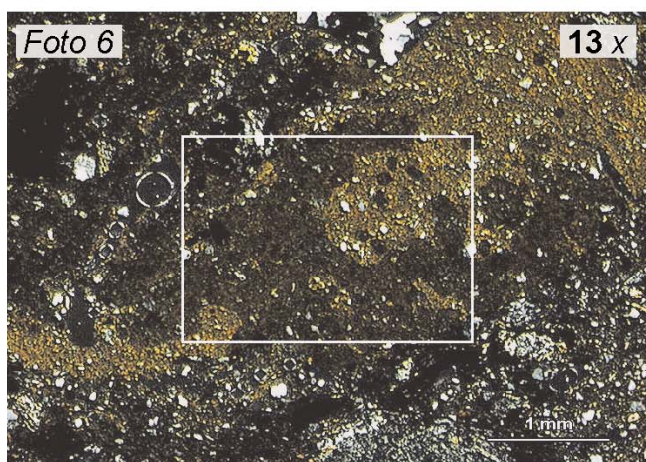
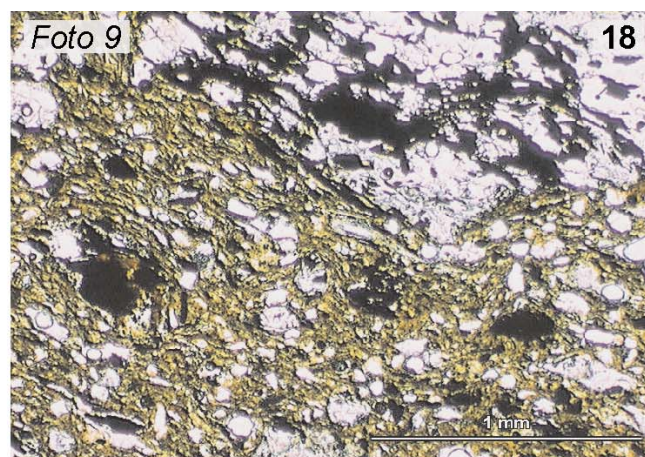
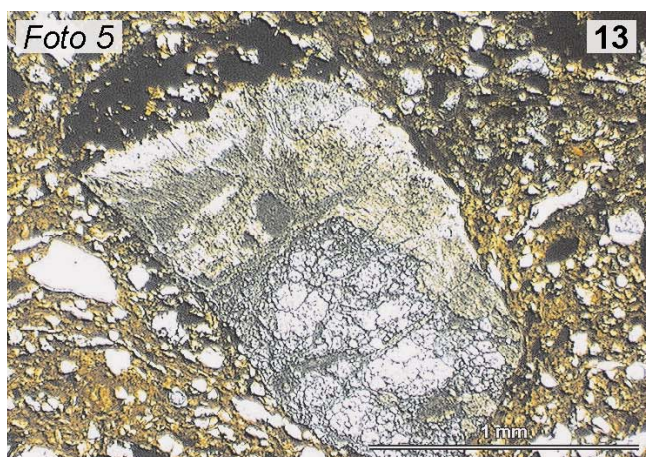
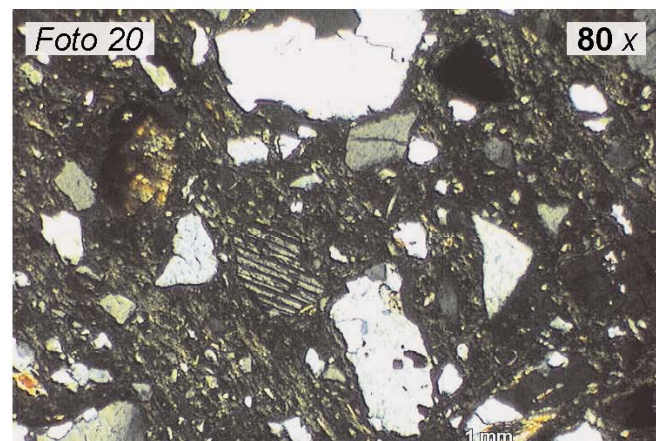
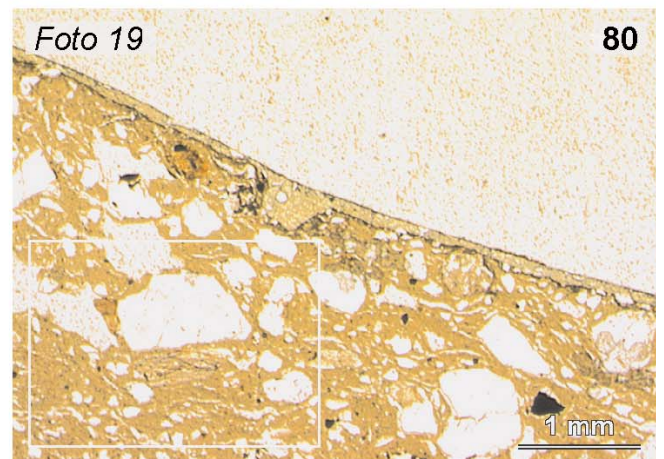
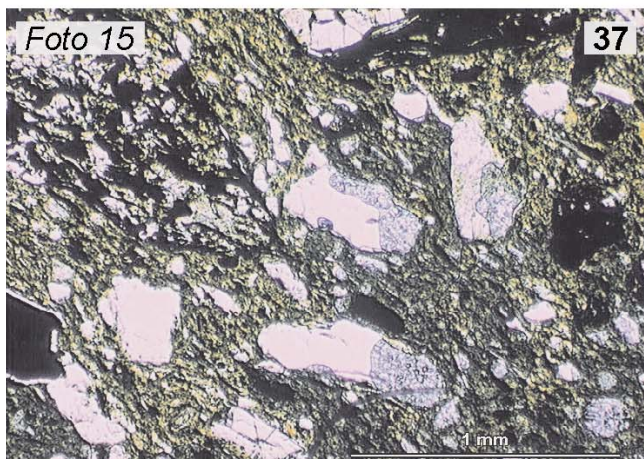
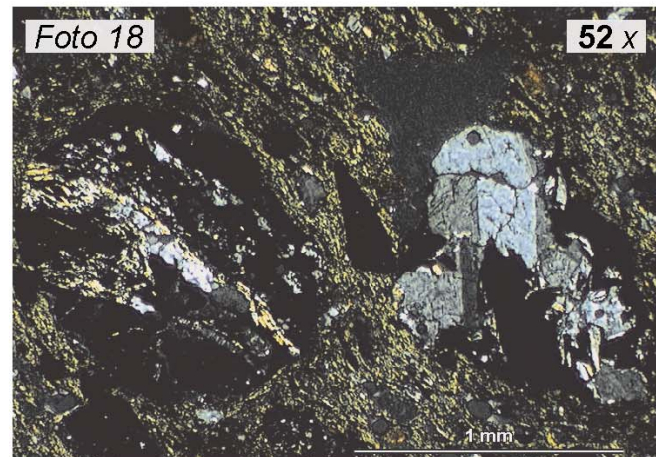
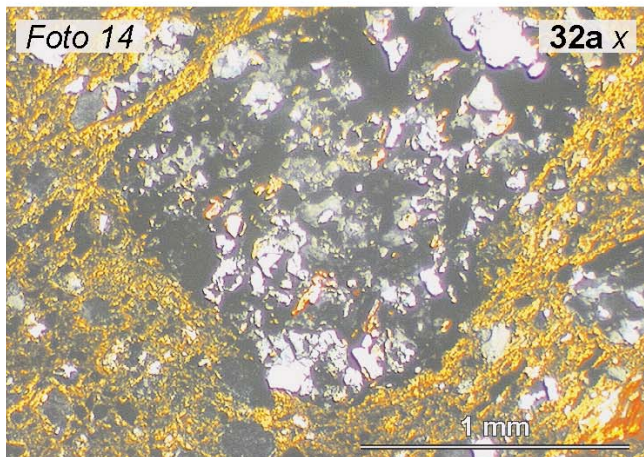
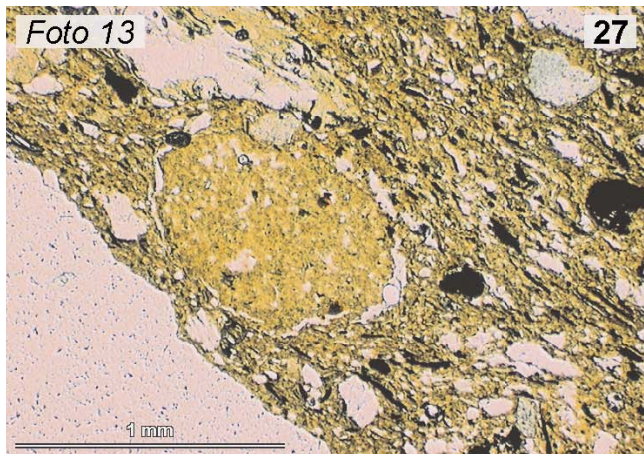


Foto 1–32. Vybrané snímky výbrusů vzorků keramických tříd CK 01 (foto 1–18), CK 02 (foto 19–20), CK 03 (foto 21–29) a CK 04 (foto 30–32). V pravém horním rohu každého snímku je uvedeno číslo vzorku (např. 27, 32b atd.) a další informace: x – snímek ve zkřížených nikolech, vz. 1.1 – pořadové číslo výbrusu a pořadové číslo snímku. Fotografie mají dva různé rozměry – 2,43 x 1,72 mm a 5,3 x 3,75 mm. Pro lepší srovnání je v tomto případě první rozměr (2,43 x 1,72 mm) vyznačen rámečkem. — **Foto 1–32.** Ausgewählte Dünnschliffaufnahmen von Proben der keramischen Klassen CK 01 (Foto 1–18), CK 02 (Foto 19–20), CK 03 (Foto 21–29) und CK 04 (Foto 30–32). In der rechten oberen Ecke jedes Bildes befinden sich die Probennummer (z. B. 27, 32b usw.) und weitere Informationen: x – Aufnahme in gekreuzten Prismen, Pr. 1.1 – Ordnungszahl des Dünnschliffs und der Aufnahme. Die Aufnahmen haben zwei verschiedene Größen – 2,43 x 1,72 mm und 5,3 x 3,75 mm. In diesem Fall ist die erste Dimension (2,43 x 1,72 mm) durch den Viereck bezeichnet.





maximálně zjištěná velikost 1–1,4 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu odpovídá cca 20 obj. %.

Vzorek č. 18 (foto 9)

Okraj střepu má rezavou barvu, relativně tmavá je i barva spodní vrstvy střepu, zbarvená železitým pigmentem. Zřejmě jde o povrchovou korozní vrstvu. Orientace zrn ostřiva, destiček slídy a protáhlých ojedinelých relativně velkých pórů, je jednosměrná. V textuře střepu jsou patrné tokové obrazce vzniklé při tvarování kachle z plastického těsta. Na snímku výbrusu ve zkřížených nikolech svítí zrna ostřiva bez zjevné orientace.

Střep obsahuje relativně značné množství *křemene*, a to jak velká, tak malá zrna. Střep obsahuje i zrna *grafitu*; bylo identifikováno také velké zrno slepence grafitu se živcem. Hrubozrnná slída světlé barvy (*muskovit*) má větší destičky než jsou zrna *křemene*. Je přítomen i *biotit*. Vzorek č. 18 se svým složením velmi blíží vzorku č. 26.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,08–0,17 mm, četnější do 0,42 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 1,9–2,25 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu odpovídá cca 30 obj. %.

Vzorek č. 20 (foto 10)

Vzorek představuje velice hrubozrnnou keramiku. Částečně orientovanou texturu střepu charakterizují tokové obrazce tvořené jednosměrným uspořádáním destičkovitých útvarů, které se vytvořily zejména kolem velkých grafitových zrn.

Ve střepu jsou velká zrna ostřiva tvořená *živcem*, *křemenem* a *grafitem*. Střep má relativně vysoký obsah jak *draselného živce ortoklasu*, tak *slídy*. Zrna *živce* dosahují velikosti až cca 1,8 x 1 mm a vyznačují se širokými štěpnými trhlinami. Velká zrna *grafitu* často obsahují náplň dalších minerálů. Na levé straně snímku je vidět zrno minerálního ostřiva obdélníkového tvaru, vpravo od něho zrno *grafitu*.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,14–0,34 mm, četnější do max. 0,7–1,27 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 2,1–2,8 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu se pohybuje mezi 30 až 35 obj. %.

Vzorek 26/1 (foto 11)

Materiál střepu má jednosměrnou orientaci protáhlých pórů. Zrna ostřiva jsou větší, než ve vzorku 26/2. Velká zrna ostřiva, která jsou tvořena *křemenem* a *draselným živcem mikroklinem*, obsahují černý pigment. Některá zrna ostřiva jsou částečně tvořena také *slepenci křemene a živce*. V základní hmotě střepu (matrix) je přítomen *Fe pigment*. Destičky *slídy (muskovitu a biotitu)* jsou přítomny ve velmi širokém velikostním rozsahu. Na snímku ve zkřížených nikolech je vidět velká destička *muskovitu* (délka 1,6 mm, šířka 0,25 mm), která je po výpalu střepu zcela neporušená – nerozlítkovaná. Teplota výpalu tohoto střepu tedy nepřekročila cca 800 °C. Kolem slídy jsou patrné drobné krystalky *uhlíčitanu*. V matrix jsou zřetelné velké tmavé útvary téměř izometrického tvaru o průměru cca 1,5 mm – některé jsou železité. Patrně jde o zrna *grafitu*.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,14–0,34 mm, četnější do max. 0,42–1 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 1,7 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu se pohybuje mezi 15 až 20 obj. %.

Vzorek 26/2 (foto 12)

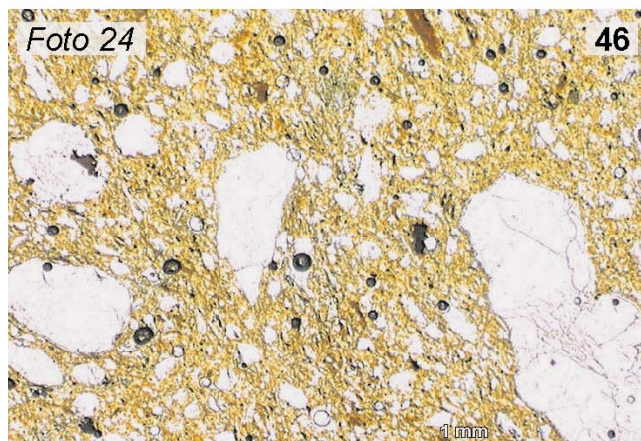
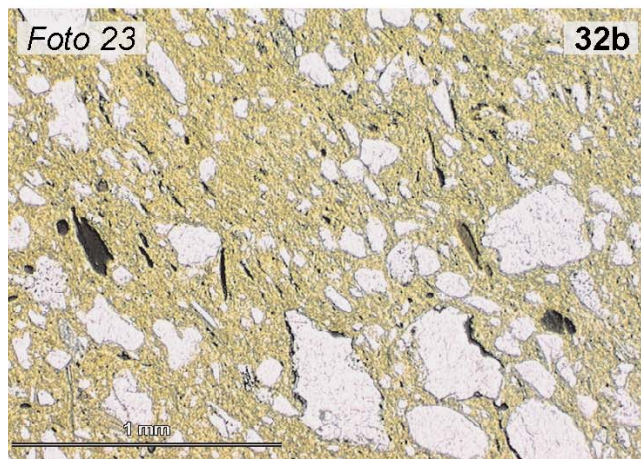
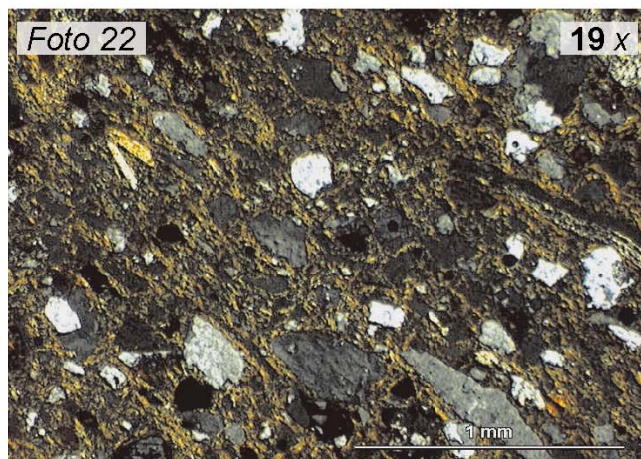
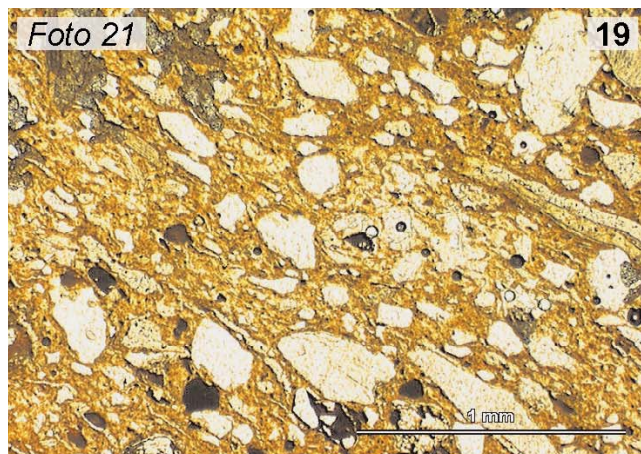
Vzorek se vyznačuje rovnoběžnou orientací protáhlých zrn ostřiva. Ostřivo tvoří především zaoblená zrna *křemene*. Kromě toho jsou přítomna zrnka *křemence*, zrna *draselného živce mikroklinu a sodnovápenatého živce plagioklasu*. Slída je zastoupena *muskovitem* i *biotitem*, a to i v nerozlítkované podobě. Dále byl identifikován *kalcit*, *železitý pigment* a *titanicité minerály*. Střepy vzorků 26/1 a 26/2 nejsou totožné.

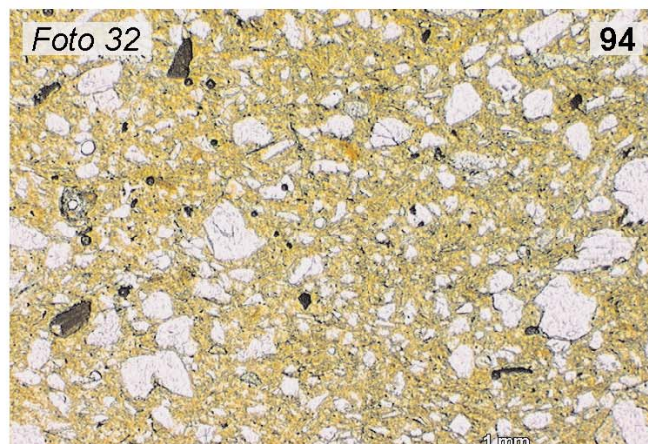
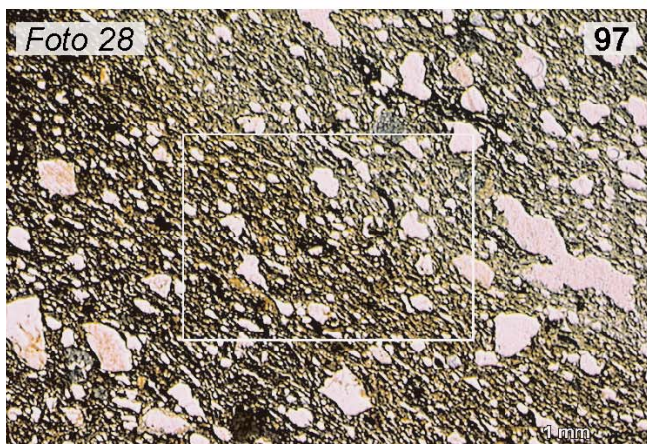
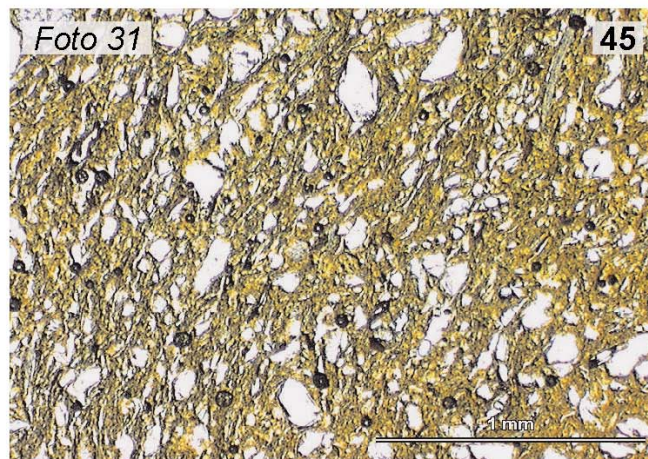
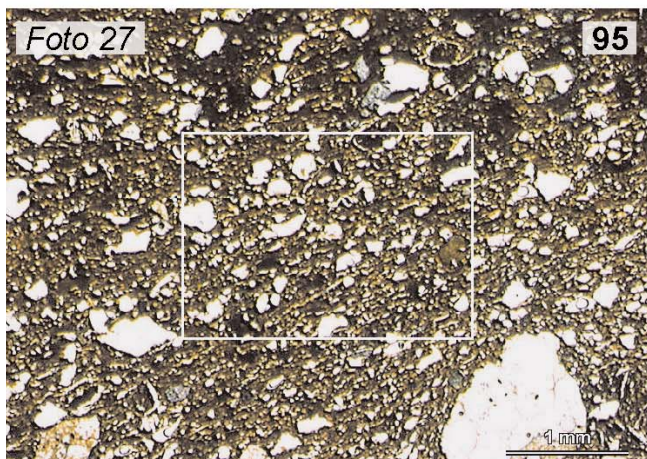
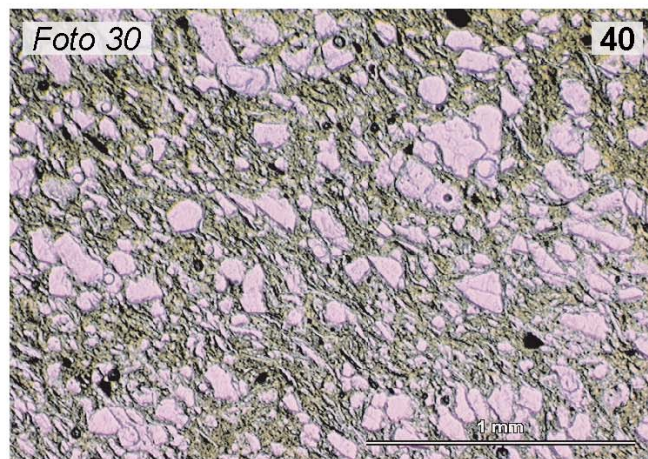
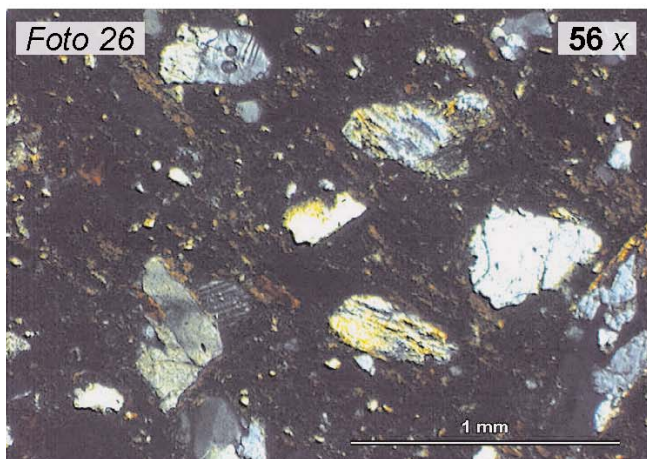
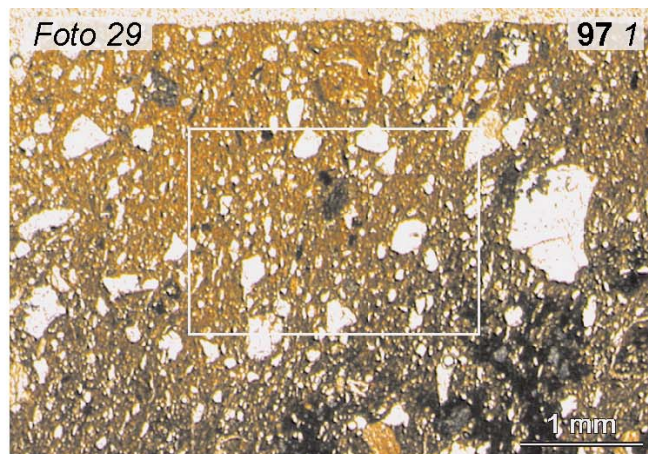
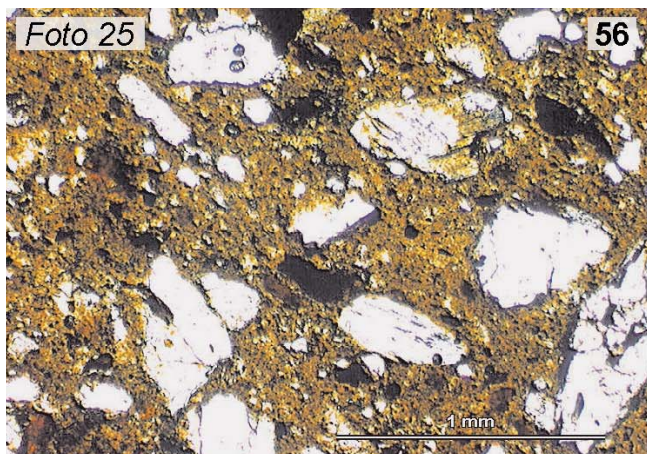
Velikost zrn příměsí (v mm): na výbrusu maximálně zjištěná velikost 0,25–0,56 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu odpovídá cca 20 obj. %.

Vzorek 27 (foto 13)

Střep obsahuje relativně jemný *křemen* a má vysoký obsah *slídy – muskovitu* i *biotitu*. Ve výbrusu se vyskytuje také malá oblast izometrického tvaru o velikosti cca 1 mm, která obsahuje fázi *růžové barvy*. Dále byla ve výbrusu pozorována zrna *sodnovápenatého živce plagioklasu* (zrno o velikosti cca 0,12 mm s rovnoběžnými lamelami v pravém dolním rohu snímku) a zrna *grafitu*. Destičkovité částice ostřiva a slídy jsou částečně jednosměrně ori-





entované. Na snímku výbrusu ve zkřížených nikolech jsou prosvětlena zrna ostřiva – zejména křemene o velikosti 0,1–0,2 mm. Ve středu dalšího snímku vzorku 27 je těsně pod povrchem střeput dobře vidět velké oválné zrno *keramického ostřiva* o velikosti cca 1 mm. Nad ním je zrno *živce*, tmavé útvary jsou zrna *grafitu*. Kolem zrna *keramického ostřiva* jsou zřetelné tokové obrazce, tvořené destičkovitými zrny krystalických fází střeput, které se vytvořily při tvarování kachle. Střep obsahuje také zrna *uhličitanů* a *Fe pigment*, který je vázán na zrna *živců*. Plocha v levém spodním rohu snímku je zalévací pryskyřice.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné do 0,14, na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 1,12–1,4 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 25 obj. %.

Vzorek 32a (foto 14)

Střep obsahuje *slepence živce s grafitem*, jsou vidět také téměř izometrická černá zrna *grafitu*, dále popraskaná zrna *křemene* do velikosti 0,5 až 1 mm a zrna *živce*. Dále jsou ve střeput jemné i hrubé destičky *slídy*. V horní části snímku vidíme zrna *grafitu* o velikosti cca 0,1 mm a jejich shluky. Ve spodní části jsou zrna ostřiva i *grafitu* uložená v matrix. Na snímku vzorku ve zkřížených nikolech vidíme v horní části *slepence živce s grafitem*. Ve středu snímku v polarizovaném světle je zřetelně vidět zrno ostřiva s prasklinou dlouhé cca 0,35 a široké 0,2 mm obklopené matrix, ve které jsou četná zrna *grafitu* o velikosti cca 0,1 mm přibližně šestiúhelníkového tvaru. *Fe pigment* je ve střeput vázán na zrna *živců* či *křemence*.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,06–0,22 mm, na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 1,83 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 25 obj. %.

Vzorek 37 (foto 15, 16)

Zrna *křemene* jsou protáhlá a částečně jednosměrně orientovaná, vzorek obsahuje značné množství *grafitu*, *slídy* a *draselného živce mikroklínu* (velké lamelované zrno je vidět v pravém dolním rohu snímku ve zkřížených nikolech – foto 16). Dále je přítomen *olivín*, průhledná zrna *zirkonu*, jsou vidět také *železité oblasti*. Podobně jako ve vzorku 17 byl ve střeput nalezen *vermikulární krystal meta-kaolinitu*. Velká zrna *grafitu* jsou vyplněna zrny dalších minerálů, pouze malá zrna *grafitu* jsou čistě *grafitická*. Také v tomto vzorku je patrné použití dvou různých výchozích surovin, které nebyly při přípravě *keramické hmoty* zcela zhomogenizovány – jíl s příměsí *grafitu* se zřetelně odlišuje od okolní matrix se slídou a ostatními doprovodnými minerály (foto 16).

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,14–0,56 mm, na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 3,9 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 35 obj. %.

Vzorek 52 (foto 17, 18)

Materiál je dosti pórovitý, póry jsou jednosměrně orientovány. Ostřivo tvoří zrna *křemene*, z nichž některá jsou *křemencového typu*, a zrna *sodnovápenatého živce plagioklasu*. Střep obsahuje protáhlá zrna *grafitu*. Na snímku jsou zřejmé téměř izometrické oblasti oranžové barvy (foto 17). Není vyloučena přítomnost *anortitu*, ne však jako produktu reakce při výpalu, ale jako příměsí v některé použité surovině. Dále jsou ve střeput pozorovatelná zrna *kalcitu* nebo *magnezitu*, též vnesená použitými surovinami. Přítomná zrna tohoto nebo těchto *uhličitanů* nejsou rozložena, teplota výpalu střeput tedy nepřekročila cca 900 °C. Střep obsahuje i destičky *slídy*, jejichž žlutá interferenční barva naznačuje teplotu výpalu v intervalu 800–850 °C. Slída se vyskytuje i v zrnech *grafitu*.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,17–0,42 mm, četnější do 1,13–1,4 mm, na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 2,25 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 20 obj. %.

4.3.2. Výbrusy vzorků keram. třídy CK 02 (foto 19–20)

Vzorek 80 (foto 19, 20)

Jedná se o hrubozrnný vzorek s jemnou matrix. Textura má charakter určité orientace plochých zrn ve směru tokových křivek *plastického těsta* vzniklých patrně při tvarování kachle. Ve střeput je málo *slídy*, *muskovitu* je přítomen ve tvaru malých *destiček*, *biotitu* naopak ve velkých *destičkách*. *Živce* se vyskytuje jako *draselný*

mikroklín a s více než ojedinelými zrny také *sodnovápenatý plagioklas*. Na snímku ve zkřížených nikolech (foto 20) svítí většinou zrna *křemene*, jsou však vidět i lamelovaná zrna *živce*.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,14–0,22 mm, na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 0,84–1,13 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput se pohybuje mezi 35 až 40 obj. %.

4.3.3. Výbrusy vzorků keram. třídy CK 03 (foto 21–29)

Vzorek 19 (foto 21, 22)

Střep obsahuje velmi málo *grafitu*, *křemen* je přítomen ve tvaru oválných zrn *písku*. Plochá, jednosměrně orientovaná zrna náleží pravděpodobně *draselnému živci - ortoklasu*. Velké *destičky slídy* (*muskovitu* a *biotitu*) nejsou rozliškovány. Ve střeput jsou také zrna *Fe pigmentu*. Podle nerozliškování *destiček slídy* je možné předpokládat, že teplota výpalu těchto kachlů nepřesahovala 800 až 850 °C. *Velikost zrn příměsí* (v mm): na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 0,5–0,7 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 30 obj. %.

Vzorek 32b (foto 23)

Střep obsahuje velké množství *slídy* (*biotitu* i *muskovitu*), méně *křemene* a *draselného živce* (*ortoklasu*) a pouze velmi málo *grafitu*. Na snímku je patrná jednosměrná orientace *slídy* a *pórů*.

Velikost zrn příměsí (v mm): na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 0,4–0,65 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput se pohybuje mezi 20 až 25 obj. %.

Vzorek 46 (foto 24)

Jedná se o jemnozrnný střep s vysokým obsahem *slídy* (*muskovitu* a *biotitu*), relativně jemnozrnným *křemenem křemencového typu* a velkými zrny *živců* (*plagioklasu* a *mikroklínu*). *Destičky slídy* i protáhlá zrna *dalšího ostřiva* jsou jednosměrně orientovaná rovnoběžně s povrchem. Nižší interferenční barvy nežli u vzorku 52 svědčí o tom, že střep vzorku 46 byl vypalován na vyšší teplotu než střep vzorku 52, tedy na teplotu o něco vyšší než 900 °C.

Velikost zrn příměsí (v mm): na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 0,5–1,1 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 35 obj. %.

Vzorek 56 (foto 25, 26)

Vzorek připomíná svým charakterem *cihlářský střep*. Vykazuje značný obsah *draselného živce mikroklínu* a *slídy*, dále obsahuje popraskaná zrna *křemene*, zrna *sodného živce albitu* a *sodnovápenatého živce plagioklasu*. Hmotu střeput zabarvuje *Fe pigment*. Nečetné protáhlé póry jsou jednosměrně orientované.

Velikost zrn příměsí (v mm): na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 0,56–0,85 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 25 obj. %.

Vzorek 78 (foto 35)

Ostřivo je tvořeno zrny *křemene*, *živců* (*plagioklasu* a zejména *mikroklínu*), *vápence* či *vápenatého slínu* a *destičkami slídy* (*biotitu* i *muskovitu*). V základní hmotě střeput byl zjištěn relativně vysoký obsah *Fe pigmentu*. Nebyl identifikován *grafit*. Na obou stranách střeput byla zjištěna *korozní vrstva* o síle cca 750 μm (foto 35).

Velikost zrn příměsí (v mm): na výbrusu zjištěné velikosti od cca 10 μm až do *maximálně* 2 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 30 obj. %.

Vzorek 87 (foto 36a–d)

Vzorek vykazuje relativně vysoký obsah *uhličitanů* či *vápenatého jílu* a velké *destičky slídy* (foto 36a, b, d). Ostřivo tvoří zrna *křemene*, *křemence* a *živců*. Zrna *ostřiva* i póry jsou zřetelně orientovány rovnoběžně s povrchem střeput (foto 36). Ve střeput nebyla zjištěna přítomnost *grafitu*. Na povrchu není patrná *korozní vrstva*. Vzorek obsahuje mnohem méně *Fe pigmentu*, nežli vzorek č. 78, ojedinelé však vidíme i velká zrna (foto 36c).

Velikost zrn příměsí (v mm): na výbrusu *maximálně* zjištěná velikost 1,5 mm.

Obsah krystalické fáze ve střeput odpovídá cca 25 obj. %.

Vzorek 95 (foto 27)

Střep vypadá jako *cihlářský* s tmavým středem – na snímku je patrné černé jádro a rezavé difúzní okraje. Je mírně hrubozrnnější než střep vzorku č. 97 a obsahuje také více hrubozrnnějšího *kře-*

mene a sodnovápenatého živce plagioklasu. Dále je přítomen draselný živec mikroklin. Slída má vysoké interferenční barvy, svědčící o teplotě výpalu kolem 800 °C. Střep obsahuje také minimální množství grafitu. Na snímku střepu je vidět poněkud širší škála rozdělení velikosti ostřiva než je tomu u vzorku č. 97. Textura vzorku je jednosměrně orientovaná.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,08–0,28 mm, čtenější max. 0,7 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 1,4 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu odpovídá cca 30 obj. %.

Vzorek 97 (foto 28, 29)

Střep se na výbrusu jeví jako kombinace červeného cihlářského střepu a černé hmoty. Světlá oblast tvoří vrstvu s difúzním přechodem do tmavého zabarvení střepu. Na snímcích je vidět rozhraní mezi oběma druhy hmoty. Mikrostruktura obou odlišných oblastí střepu je totožná. Jedná se zřejmě pouze o důsledek odlišných – redukčních a oxidačních – podmínek ve střepu při výpalu, které se projeví různými formami oxidů železa lišícími se barvou. Zrna ostřiva jsou ve střepu jednosměrně orientovaná.

Jemnozrný střep obsahuje velmi drobná, některá i popraskaná, zrna křemene. Oválná zrna písku dosahují velikosti 0,04–0,3 mm, poněkud větší zrna živce dosahují velikosti až 1 mm. Dále je přítomna slída – muskovit i biotit. Ve střepu jsou i zrna sodnovápenatého živce plagioklasu a draselného živce mikroklinu. Na snímcích jsou patrná i ojedinělá zrna doprovodných minerálů zirkonu a pleochroického turmalínu.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,08–0,4 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 0,78–1 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu se pohybuje mezi 30 až 35 obj. %.

4.3.4. Výbrusy vzorků keram. třídy CK 04 (foto 30–32)

Vzorek 40 (foto 30)

Střep vykazuje relativně vysoký obsah křemene – cca 25 obj. %. Křemen tvoří zčásti oválná zrna písku o velikosti 0,12 až 0,3 mm (nejčtenější velikost je cca 0,06 mm). Ve střepu je také značné množství slídy (muskovitu); cca 10 objemových %. Jsou to jemné destičky dlouhé až 0,22 mm a vzhledově normální destičky o délce 0,13 mm. Destičky slídy jsou jednosměrně orientovány, podobně jako většina protáhlých zrn křemenného ostřiva. Pórů je v materiálu střepu relativně málo.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,06–0,12, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 0,3 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu odpovídá cca 35 obj. %.

Vzorek 45 (foto 31)

Jde o relativně homogenní, jemnozrný materiál s jednosměrnou orientací destičkovitých zrn a železitou pigmentací. Na jedné straně střepu je zřejmě korozní vrstva, na protilehlé straně je náznak povrchové vrstvy, která obsahuje více slídy a jemných částic nežli ostatní střep.

Střep obsahuje křemen typu křemenců (některá ostrohranná zrna křemene mají trhliny), velké množství orientovaných destiček slídy (muskovitu i biotitu), zrna ortoklasu a ojediněle i plagioklasu. Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,11–0,14 mm, čtenější max. 0,19–0,22, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 0,28 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu se pohybuje mezi 25 až 30 obj. %.

Vzorek 94 (foto 32)

Střep je velmi jemnozrný, s vysokým obsahem křemene a slídy. Orientace destiček slídy je u tohoto vzorku velmi zvláštní – není v celém vzorku jednotná – při povrchu je s ním rovnoběžná, ve střepu je k povrchu kolmá. Zjištěn byl také tridymit (ojedinělé zrno kopinatého dvojčete uprostřed výbrusu). Ten se do střepu dostal zřejmě se surovinou – nejde o produkt reakce při výpalu. Střep obsahuje i draselný živec mikroklin.

Velikost zrn příměsí (v mm): běžné 0,08–0,11 mm, čtenější max. 0,25–0,28 mm, na výbrusu maximálně zjištěná velikost 0,5 mm.

Obsah krystalické fáze ve střepu odpovídá cca 35 obj. %.

4.3.5. Výsledky optické mikroskopické analýzy – diskuse

Běžné a výjimečné druhy krystalických fází

Ve všech hodnocených střepch tvoří krystalické fáze pouze určitý podíl. Tento podíl bylo možné kvalifikovaně odhadnout právě při mikroskopické analýze střepů. Analýzou byl také potvrzen výskyt základních druhů krystalických fází zjištěných již rentgenograficky, tedy především křemene, grafitu, živců a slídy. Mikroskopické hodnocení výbrusů nám umožnilo upřesnit rentgenografická data a získat mimo jiné údaje o tvaru a velikosti zrn ostřiva či různých příměsí a další zajímavé doplňující údaje potřebné např. pro odhad teploty výpalu střepů apod. Pořízené snímky výbrusů umožnily dokumentovat mikrostrukturu, úroveň orientace textury atd. Snímky byly vybrány jako typické pro jednotlivé hodnocené vzorky střepů.

Křemen tvořil hlavní podíl krystalické fáze hodnocených střepů. Byl zjištěn ve formě obých (vz. 3/1, 19, 26/2, 40, 97) i relativně ostrohranných (vz. 17, 45) zrn. Zejména u velkých zrn se občas vyskytly znatelné praskliny. V několika případech se společně se zrny písku vyskytoval křemen i ve formě křemence (vz. 3/1, 32a, 45, 46, 52).

Grafit jsme zjistili nejen poměrně čistý, ale často také ve slepencích se živcem (vz. 18, 32a) i s dalšími minerály (vz. 37, 52). Zrna grafitických slepenců dosahovala velikosti až téměř 4 mm. Zrnka čistého grafitu se ve střepu vyskytují společně se zrny slepenců s obsahem grafitu. Grafit byl do keramické směsi přidáván záměrně jako vhodné ostřivo, protože ve výchozích surovinách (jílech a hlínách) se nevyskytuje. Byl totiž velmi často zjištěn ve slepencích se živci, křemenem i dalšími minerály – např. snímky výbrusů 18 (foto 9 nahoře), 32ax (foto 14) a 37 (foto 15 vlevo nahoře), což znamená, že je v našem případě žilního původu.

Slída byla ve většině vzorků zjištěna ve světlé (muskovit) i tmavé (biotit) formě. Velké útvary výpalem nerozlišťované slídy jsou vidět na snímcích výbrusů vzorků č. 17 (Foto 8), 19 a 26/1, 26/2.

Živce byly ve vzorcích identifikovány v různých formách. Draselné živce byly zastoupeny ortoklasem a mikrokinem, sodný živec albitem a sodno-vápenatý živec plagioklasem. Ten byl identifikován celkem v 9 případech, a to u vzorků všech keramických tříd (vz. 26/2, 27, 45, 46, 52, 56, 80, 95, 97). Identifikovaná zrna živce byla neotavená, ve všech případech zde plnila pouze funkci ostřiva a ne taviva, jak je tomu až při teplotách výpalu blízkých se 1000 °C.

Keramické ostřivo bylo zjištěno pouze u vzorku 27 (foto 13).

Zvláštní příměsí. Ve třech vzorcích byla nalezena zrna, která by podle typického vzhledu mohla být označena jako vermikulární krystaly metakaolinitu (vz. 17 a 37) nebo metakaolinitu (vz. 13; foto 5). V dalších vzorcích jsme jako příměsí identifikovali nerozložené uhličitany: kalcit (vz. 26/2), kalcit nebo magnezit (vz. 52), zrno uhličitano (vz. 3/2) a zrna neurčitelných uhličitano (vz. 27). V jednom vzorku byla identifikována přítomnost anortitu vneseného do směsi některou, zřejmě živcovou surovinou (vz. 52). V dalších střepch byla zjištěna ojedinělá zrna takových minerálů jako jsou turmalín či zirkon (vz. 13 a 40) a olivín či zirkon (vz. 37). V jednom střepu to byly titaničité minerály (vz. 26/2). Velmi zajímavou skutečností je identifikace zrna tridymitu ve vzorku 94. Tento minerál musel být do

keramické směsi vnesen, podobně jako většina těchto minoritních fází studovaných střepů, také s některou ze základních surovin.

Přítomnost nerozložených uhlíčanů ve střepu (pokud se vyloučí možnost jejich sekundárního vzniku ve střepu) znamená, že teplota výpalu studovaných střepů nepřesáhla 850–900 °C. Pozitivní identifikace ostatních minerálů ve střepu by mohla být vhodnou pomůckou k určení použitých výchozích surovin, pokud by se u nich tyto doprovodné příměsi také vyskytovaly.

Neplastické příměsi působily ve směsích pouze jako ostřívo – umožňovaly regulovat vlastnosti těsta při tvarování, sušení a chování střepu při výpalu. Zatímco křemen, křemenec a živce mohly být přirozenou součástí použitých jíílů, považujeme příměs grafitu za záměrnou, podobně jako příměs drcených střepů (prokázáno na výbrusu vz. 27 – foto 13). Teplota výpalu, která nepřesáhla 900 °C, neumožňovala využít živců také jako taviva.

Rozdíly mezi mikroskopickým a rentgenografickým hodnocením střepů

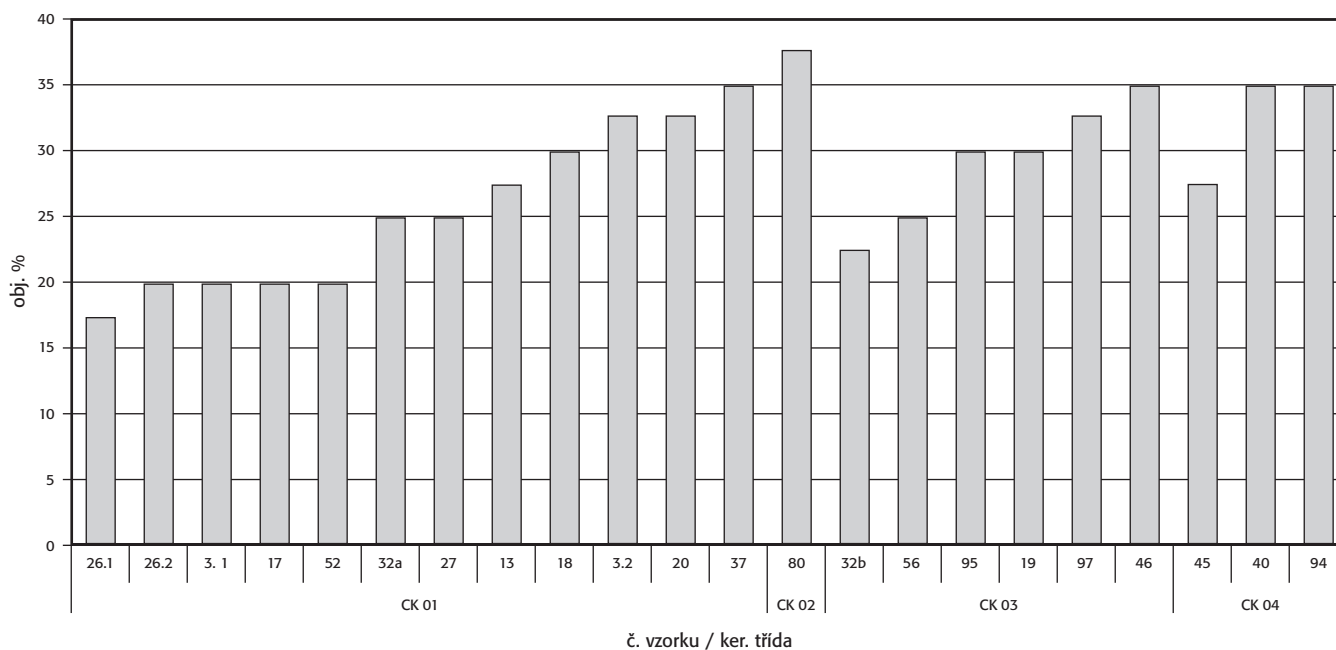
Zjištění grafitu ve vzorcích třídy CK 03 je instruktivní ukázkou nutnosti kombinace více metod při hodnocení mineralogického složení historických střepů. Mikroskopicky byl zjištěn velmi nízký obsah grafitu ve třech vzorcích (č. 19, 32b a 95) náležejících keramické třídě CK 03. Rentgenograficky ale předtím identifikován nebyl. Důvodem bylo zřejmě to, že rentgenograficky zjišťujeme krystalické fáze teprve v množství nad cca 5 hmotn. procent. V případě vzorků keramické třídy CK 03 se tedy jednalo o obsahy nižší, rentgenograficky nezjistitelné. Tak nízký obsah grafitu ve střepu nemohl nijak významně ovlivnit jeho vlastnosti. Naskytá se tedy otázka, proč se v něm nachází? Zřejmě se v těchto případech nemusí jednat

| Ker. třída | Č. vzorku | Obsah krystalických fází | |
|------------|-----------|--------------------------|--------|
| | | (obj. %) | Průměr |
| CK 01 | 26/1 | 15–20 | 25,4 |
| | 26/2 | 20 | |
| | 3/1 | 20 | |
| | 17 | 20 | |
| | 52 | 20 | |
| | 32a | 25 | |
| | 27 | 25 | |
| | 13 | 25–30 | |
| | 18 | 30 | |
| | 3/2 | 30–35 | |
| CK 02 | 80 | 35–40 | 37,5 |
| | 32b | 20–25 | |
| CK 03 | 56 | 25 | 29,2 |
| | 95 | 30 | |
| | 19 | 30 | |
| | 97 | 30–35 | |
| | 46 | 35 | |
| | 45 | 25–30 | |
| CK 04 | 40 | 35 | 32,5 |
| | 94 | 35 | |

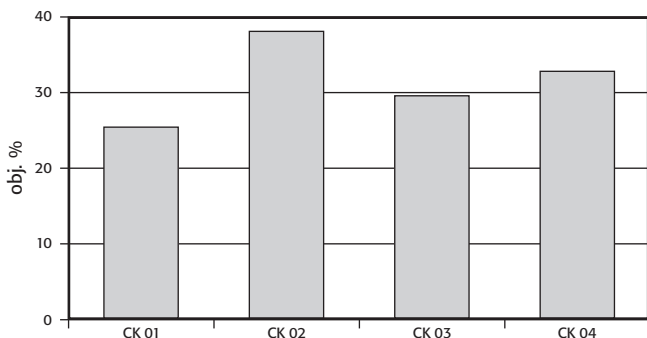
Tab. 7. Obsah krystalických fází v jednotlivých vzorcích (v obj. %) seřazených podle keramických tříd CK 01 – CK 04. — **Tab. 7.** Kristallphasen-Gehalt in den einzelnen Proben (in Vol. %), geordnet nach den Keramikklassen CK 01 – CK 04.

o záměrnou příměs, ale o důsledek vnesení grafitu spolu s jiným minerálem, nebo o kontaminaci připravované směsi z výrobního prostředí.

Podobná situace, způsobená pouze malým obsahem sledovaného minerálu, vznikla zřejmě i při identifikaci slídy. Mikroskopicky byla zjištěna u 5 vzorků, u kte-



Graf 9. Obsah krystalických fází v jednotlivých vzorcích (v obj. %) seřazených podle keramických tříd CK 01 – CK 04. — **Diagramm 9.** Kristallphasen-Gehalt in den einzelnen Proben (in Vol. %), angeordnet nach den Keramikklassen CK 01 – CK 04.



Graf 10. Průměrný obsah krystalických fází ve vzorcích (v obj. %) podle jednotlivých keramických tříd CK 01 – CK 04. — **Diagramm 10.** Durchschnittlicher Kristallphasen-Gehalt in den Proben (in Vol. %) nach den einzelnen Keramikklassen CK 01 – CK 04.

rych nebyla identifikována rentgenograficky (vz. 3/1, 3/2, 40, 80 a 97), u vzorků 80 a 97 dokonce v obou formách, jako světlý muskovit i tmavý biotit.

Objemový podíl krystalických příměsí ve hmotě střepů

Z mikroskopických výbrusů byl určen obsah krystalických fází ve střepích podle jednotlivých keramických tříd (tab. 7; graf 9, 10).

Keramickou třídu CK 01 reprezentuje největší počet vzorků ze všech srovnávaných tříd. Obsah krystalických fází ve střepích této třídy se pohybuje ve velmi širokém rozsahu od cca 17 obj. % do 37 obj. %. Jejich průměrný obsah odpovídá cca 25 obj. %, je tedy nejnižší ze všech srovnávaných tříd. Tato skutečnost zřejmě úzce souvisí se zjištěním, že průměrná velikost zrn krystalických fází je u střepů třídy CK 01 největší (graf 11).

Keramickou třídu CK 02 reprezentuje pouze jeden vzorek, což neumožňuje statisticky věrohodné porovnání se vzorky náležejícími ostatním keramickým třídám. To však plně odpovídá množství zlomků kachlů náležejících této třídě v celém souboru (33 zl. = 0,9 %; graf 1, 2). V těchto souvislostech je tedy možno také hodnotit výsledky analýzy výbrusu tohoto jediného vzorku. Zjištění, že ve střepu vzorku č. 80 se nachází vůbec největší množství krystalických fází ostřiva (35–54 obj. %) potvrzuje makroskopická pozorování, označující vzorky třídy CK 02 za velmi písčité – drolivé s podílem příměsí v intervalu cca 30–50 % (viz výše).

Střepy ze tříd CK 03 a CK 04 mají vyšší obsahy krystalických fází než střepy ze třídy CK 01 (graf 9, 10).

Velikost zrn krystalických příměsí

S klesající průměrnou velikostí zrn krystalických fází (ostřiva) se mírně zvyšuje obsah krystalických fází ve střepu (tab. 8, 9; graf 11).

Teplota výpalu

Z přítomnosti některých fází ve střepu je možné odhadnout teploty výpalu jednotlivých kachlů. Důležitými indikátory jsou v tomto směru především slída, uhličitany a také stav povrchu zrn živců. Určitou hranici tvoří teploty 950–1000 °C. Nad touto teplotou se již

v některých případech začínají otavovat zrna živců a objevují se krystaly mullitu, event. cristobalitu. Vznik krystalů anortitu je možné očekávat v teplotním rozmezí 850–950 °C. Na základě analýzy výbrusů můžeme tedy konstatovat, že většina vzorků byla patrně pálena při teplotách mezi cca 800–900 °C. To dokládají následující pozorování:

- útvary výpalem nerozliškované slídy (vz. 17, 19, 26/1, 26/2) indikují, že teplota výpalu příslušných střepů nepřekročila 800–850 °C; absence mullitu (vzniká přeměnou slídy při teplotách nad cca 900–950 °C) ve studovaných vzorcích indikuje, že všechny kachle byly páleny při teplotách nižších nežli 900 °C,
- přítomnost nerozložených uhličitánů ve střepích (vz. 3/2, 26/2, 27, 52) také znamená, že teplota výpalu těchto kachlů nepřesáhla 850–900 °C,
- v žádném studovaném vzorku nebyla pozorována otavená zrna živců, k čemuž dochází nad teplotou cca 950–1000 °C (viz výše),
- podle výšky interferenční barvy slídy je také možné vzájemně porovnávat teploty výpalů jednotlivých konkrétních střepů (např. nižší interferenční barvy u vz. 46 nežli u vz. 52 svědčí o tom, že střep vzorku 46 byl vypalován na vyšší teplotu než střep vzorku 52). Tyto rozdíly mohly vzniknout i nerovnoměrným rozdělením teploty výpalu v peci a mohly se pohybovat řádově v desítkách stupňů.

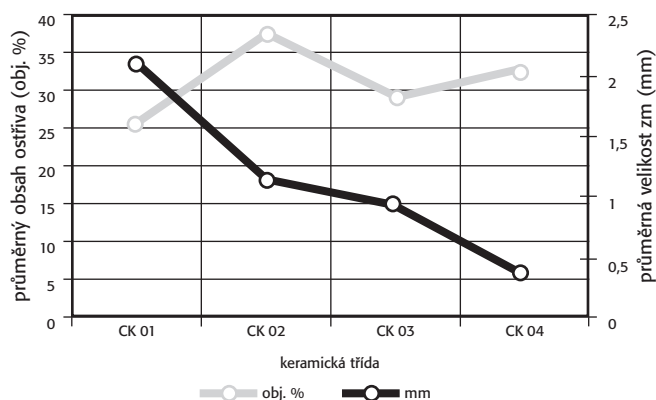
Orientace mikrostruktury střepů

| Keramická třída | Číslo vzorku | Obsah ostřiva (obj. %) | Max. velikost zrn ostřiva (mm) |
|-----------------|--------------|------------------------|--------------------------------|
| CK 01 | 26/1 | 15–20 | 1,69 |
| | 26/2 | 20 | 0,56 |
| | 3/1 | 20 | 3,00 |
| | 17 | 20 | 1,40 |
| | 52 | 20 | 2,25 |
| | 32a | 25 | 1,83 |
| | 27 | 25 | 1,40 |
| | 13 | 25–30 | 1,77 |
| | 18 | 30 | 2,25 |
| | 3/2 | 30–35 | 2,80 |
| | 20 | 30–35 | 2,80 |
| 37 | 35 | 3,10 | |
| CK 02 | 80 | 35–40 | 1,13 |
| CK 03 | 32b | 20–25 | 0,65 |
| | 56 | 25 | 0,84 |
| | 95 | 30 | 1,40 |
| | 19 | 30 | 0,70 |
| | 97 | 30–35 | 1,00 |
| | 46 | 30–35 | 1,13 |
| CK 04 | 45 | 25–30 | 0,28 |
| | 40 | 35 | 0,28 |
| | 94 | 35 | 0,51 |

Tab. 8. Porovnání podílu krystalických fází (ostřiva) v obj. % a maximální velikosti zrn ostřiva v jednotlivých vzorcích. — **Tab. 8.** Vergleich der Kristallphasen-Anteile (Magerungsmittel) in Vol. % und die maximale Korngröße des Magerungsmittels in den einzelnen Proben.

| Keramická třída | Obsah ostřiva (obj. %) | Velikost zrn ostřiva (mm) |
|-----------------|------------------------|---------------------------|
| CK 01 | 25,4 | 2,07 |
| CK 02 | 37,5 | 1,13 |
| CK 03 | 29,2 | 0,95 |
| CK 04 | 32,5 | 0,36 |

Tab. 9. Porovnání průměrného podílu krystalických fází příměsí v obj. % a maximální velikosti zrn příměsí v mm podle keramických tříd. — **Tab. 9.** Vergleich des durchschnittlichen Kristallphasen-Anteils der Beimischung in Vol. % und der maximalen Korngröße der Beimischung in mm nach den Keramikklassen.



Graf 11. Porovnání průměrného podílu krystalických fází příměsí v obj. % a maximální velikosti zrn příměsí v mm podle keramických tříd. **Komentář:** V tab. 8–9 a na grafu 11 jsou dobře patrné rozdíly mezi vzorky náležejícími jednotlivým keramickým třídám. Graf 11 názorně ukazuje vzájemnou závislost klesající velikosti zrn příměsí na jejich postupně mírně stoupajícím podílu ve střepu. Střepy náležející keramickým třídám CK 03 a 04 představují jemnozrnnější, tedy technologicky pokročilejší keramiku s lepšími mechanickými vlastnostmi, zejména mechanickou pevností, nežli mají hrubozrnné střepy keramické třídy CK 01.

Diagramm 11. Vergleich des durchschnittlichen Anteils der Kristallphasen einer Beimischung in Vol. % mit der maximalen Korngröße der Beimischung in mm nach den Keramikklassen. **Kommentar:** In den Taf. 8–9 und auf dem Diagramm 11 sind die Unterschiede zwischen den Proben einzelnen Keramikklassen gut erkennbar. Das Diagramm 11 zeigt anschaulich die gegenseitige Abhängigkeit der sinkenden Magerungs-Korngröße von ihrem allmählich leicht ansteigenden Anteil in der Scherbe. Die Scherben der Keramikklassen CK 03 und 04 stellen eine feinkörnigere, also technologisch fortgeschrittenere Keramik mit besseren mechanischen Eigenschaften (besonders mechanische Stabilität) als die grobkörnigen Scherben der Keramikklasse CK 01 dar.

Na snímcích výbrusů jsou patrné čtyři základní typy orientace (uspořádání) mikrostruktury střepů:

- mikrostruktura je **zcela neuspořádaná**; tato mikrostruktura keramické hmoty vznikla v důsledku jejího zpracování, probíhajícího v zásadě pouze v ruce, a lze ji považovat u tohoto druhu výrobků za přirozenou – je patrná zejména u vzorků třídy CK 01, ale i u vz. č. 80 třídy CK 02 (foto 20) a částečně u vzorků třídy CK 03 (zejména vz. 56 – foto 25, 26);
- mikrostruktura je **částečně uspořádaná** – jsou patrné *tokové obrazce*; tokové obrazce, jakési částečné uspořádání mikrostruktury střepů do proudů, vlnících se různými směry zejména v okolí větších zrn příměsí – např. vz. 3/2 (foto 3, 4), 18 (foto 9), 20 (foto 10), 27 (foto 13), 52 (foto 17), vzniklo v důsledku vtlačování keramické hmoty do formy. Pod tlakem prstů hrncíře měkká hlína „obtékala“

tvrdá zrna příměsí a tento proces byl výpalem zafixován.

- mikrostruktura je **uspořádaná dvěma navzájem kolmými směry** (povrchová vrstva x střed); uspořádání mikrostruktury dvěma rozdílnými, navzájem kolmými směry u vzorku č. 94 mohlo vzniknout např. v důsledku uhlazení povrchu (povrchové vrstvy) výrobku prsty, latí apod.
- mikrostruktura je **jednosměrně uspořádaná** – souběžně s povrchem střepu; jednosměrně, souběžně s povrchem uspořádanou mikrostrukturu mají zejména střepy třídy CK 04 (vz. 40, 45 – foto 30, 31), CK 03 (vz. 32b, 95, 97 – foto 23, 27, 28), ojedinelé však také silnostěnné střepy třídy CK 01 (např. vz. 3/1x – foto 2); takto pravidelné uspořádání vnitřní struktury střepu mohlo vzniknout pouze záměrnou jednosměrnou úpravou keramické hlíny patrně na hrncířském kruhu – vytvořením polotovaru, hliněného plátu, který byl posléze dále zpracováván – prořezáván či vtlačován do formy (viz níže, kap. 5.5).

Použité směsi

Mísení dvou různých, nedostatečně zhomogenizovaných typů keramických směsí je patrné na snímcích výbrusů vzorků č. 13x (foto 6 – použity byly patrně dva odlišné jíly – červený cihlářský a tmavý s obsahem grafitu), 17 a 37x (např. foto 16 – jíl s obsahem grafitu se zřetelně odlišuje od okolní matrix se slídou a ostatními doprovodnými minerály). U vzorku č. 97 (foto 28, 29 – střep se na výbrusu jeví jako kombinace červeného cihlářského střepu a černé hmoty – světlá oblast tvoří vrstvu s difuzním přechodem do tmavého zbarvení střepu) se může jednat o důsledek různých – redukčních a oxidačních – podmínek při výpalu, které se projeví, různými formami oxidů železa lišícími se vzájemně barvou (černá, rezavá). Mikrostruktura obou odlišných oblastí střepu je totiž totožná.

Povrchové vrstvy střepů

Na několika snímcích jsou patrné jinak zbarvené povrchové vrstvy střepů kachlů jasně oddělené od vnitřní části zlomků. Jsou to především *snůmky vzorků č. 3/2 (foto 3, 4) a 18 (foto 9)* s jasně patrnou povrchovou vrstvou rezavé barvy. Zatímco na *snímku vzorku č. 3* mají obě vrstvy podobnou strukturu, obsahuje tato rezavá vrstva u *vzorku č. 18* méně zrn grafitu než ostatní střep. Není vyloučeno, že grafit při výpalu tohoto kachle vyhořel.

V některých případech se patrně jedná o korozní vrstvy na povrchu střepů, vzniklé jako projev stárnutí v důsledku reakce s prostředím, ve kterém byly dlouhodobě uloženy. Povrchové korozní vrstvy byly zjištěny u vz. 17 (foto 33), 18 (foto 34), 45 a 78 (foto 35).

4.4. Chemické analýzy

Pro ověření poznatků získaných rentgenografickou a mikroskopickou analýzou jsme u 9 vzorků zjišťovali

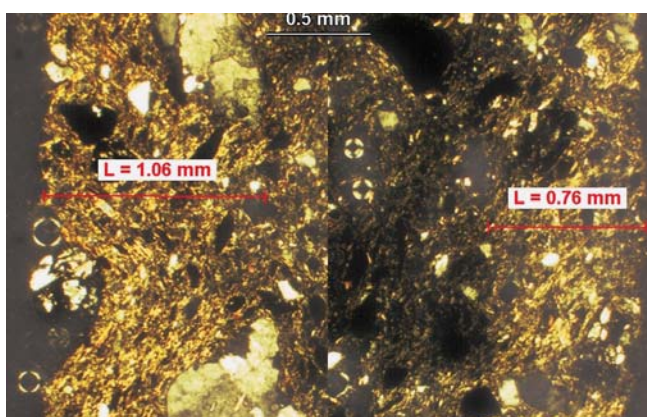


Foto 33. Složený snímek výbrusu vzorku č. 17 třídy CK 01 ukazuje světleji zbarvené korozní vrstvy při obou okrajích střepu. Síla korozních vrstev, které vznikly v důsledku kontaktu střepu s kapalinami různého složení, dosahuje cca 1060 a 760 μm . — **Foto 33.** Die Dünnschliffbilder der Probe Nr. 17 der Klasse CK 01 zeigen heller gefärbte Korrosionsschichten an beiden Rändern der Scherbe. Die Stärke der Korrosionsschichten, die in Folge des Kontakts der Scherbe mit Flüssigkeiten von verschiedener Zusammensetzung entstanden sind, erreicht ca. 1060 und 760 μm .

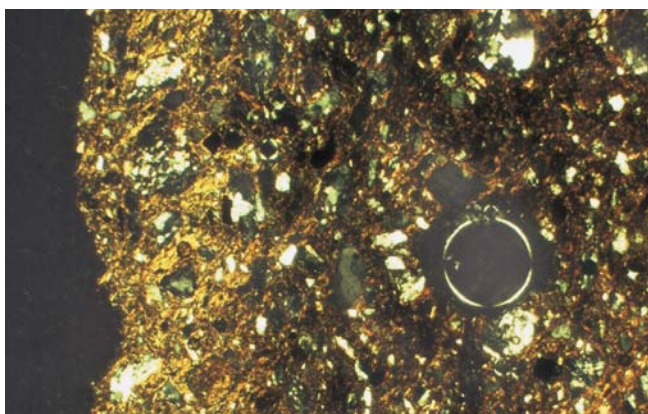


Foto 34. Snímek výbrusu vzorku č. 18 třídy CK 01 ve zkřížených nikolech ukazuje světlejší, cca 1000 μm (1 mm) silnou korozní vrstvu difúzního charakteru na povrchu střepu, plynule přecházející do jádra střepu. — **Foto 34.** Die Dünnschliffaufnahme der Probe Nr. 18 der Klasse CK 01 in gekreuzten Prismen zeigt eine hellere, ca. 1000 μm (1 mm) dicke Korrosionsschicht von diffussem Charakter auf der Scherbenoberfläche, die fließend in den Kern der Scherbe übergeht.

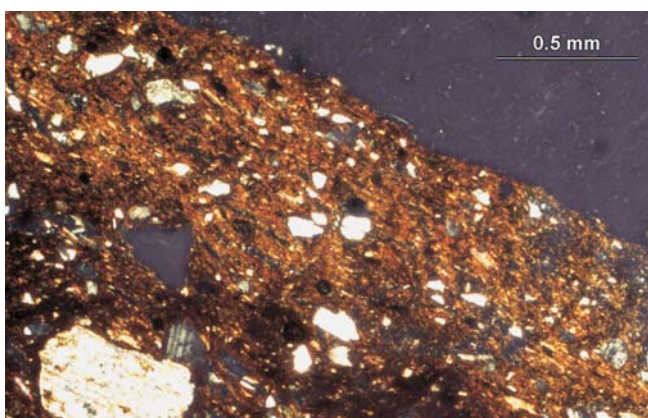


Foto 35. Snímek výbrusu vzorku č. 78 (kachlová komora) třídy CK 03 ve zkřížených nikolech. Při povrchu kachle je dobře patrná barevně odlišná korozní vrstva o síle cca 750 μm . — **Foto 35.** Dünnschliffaufnahme der Probe Nr. 78 (Kachelkammer) der Klasse CK 03 in gekreuzten Prismen. An der Oberfläche der Kachel ist die farblich unterschiedliche Korrosionsschicht von ca. 750 μm Stärke gut erkennbar.

jejich chemické složení metodou rentgenofluorescenční analýzy (tab. 10–12). Cílem bylo především ověřit množství ve střepích přítomného grafitu, a to zejména ve vzorku č. 19, kde byl identifikován mikroskopicky, rentgenograficky však prokázán nebyl. Obsah grafitu zřejmě ovlivní jak hodnotu ztráty žíháním, tak obsahy jednotlivých složek. Zajímá nás také výskyt příměsí a doprovodných prvků, které mohou naznačovat složení směsi a pomoci při rozčlenění skupin střepů podle možného původu složek použité keramické hmoty. Vzorky k měření byly připraveny ve formě vytavené perly, ztráta žíháním *zž* byla provedena při teplotě 1100 °C.⁵ Chemické složení vzorků střepů provedené metodou rentgenové fluorescenční analýzy je souhrnně uvedeno v tab. 10.

Problémem je stanovení grafitu ve vzorcích. Vysoké ztráty žíháním u většiny vzorků signalizují přítomnost spalitelné složky střepu, tedy i grafitu. U vzorku č. kat. 20 byly proto provedeny dvě analýzy vzorku nežíháního a vzorku po vytavení. Ze zjištěného rozdílu sumy složek v obou vzorcích lze předpokládat, že vzorek 20 obsahuje cca 21,51 hmotn. % grafitu (uhlíku), viz tab. 5. Vzorky, které neobsahují, však vykazaly také určitou ztrátu žíháním, v průměru tato hodnota činila cca *zž* = 1,05 %. Jestliže je tato ztráta žíháním uvažována také u vzorku 20, pak vychází obsah grafitu v tomto vzorku na 20,51 hmotn. %.

Výsledky chemických analýz – diskuse

Chemická analýza vzorků nám přinesla přesné údaje o procentuálním zastoupení *uhlíku-grafitu* v jednotlivých vzorcích (tab. 10–12). To se u měřených vzorků pohybovalo v rozmezí od cca 5,4 (vz. 19) přes 19,5 (vz. 52), 20,1 (vz. 17) až po 30,2 (vz. 20) hmotn. %.

Chemickou analýzou prokázaný výskyt uhlíku u vzorku č. 19 třídy CK 03 v obsahu odpovídajícím cca 5,4 hmotn. % potvrzuje zjištění velmi malého podílu grafitu učiněné mikroskopickým pozorováním výbrusů. Relativně velmi nízká naměřená hodnota pouze mírně překračující 5 % se pohybuje na samé hranici zjistitelnosti rentgenografickou analýzou (do 5 %). Patrně proto nebyl grafit ve vzorku č. 19 rentgenograficky identifikován.

Údaje v tabulce č. 13 a na grafu č. 12 dokládají přímý vztah mezi stoupajícím podílem oxidu křemičitého a klesajícím podílem uhlíku (grafitu) ve vzorcích a také vazbu výskytu grafitu zejména na vzorky třídy CK 01. Ve vzorcích, ve kterých nebyl výskyt grafitu doložen vůbec, je obsah SiO_2 nejvyšší. Průměrný podíl SiO_2 v grafitických střepích je 55,2 hmotn. %, zatímco ve střepích bez grafitu stoupá až na 68,4 hmotn. %, tedy o více než 13 hmotn. %. Poněkud stoupá také podíl oxidu hlinitého Al_2O_3 – z průměrných 18,7 hmotn. % u grafitických střepů na 20,4 u střepů bez grafitu. Jinak je však podíl Al_2O_3 vcelku stabilní a u všech vzorků se pohybuje v rozmezí 16,9–22,5 hmotn. %. Toto zjištění je v protikladu k nejčastější příměsí – křemenu, jehož podíl značně kolísá. To dokumentuje

⁵ Jedná se o úbytek hmotnosti vzorku po jeho vyžhání po dobu cca 1 h při uvedené teplotě.

| Třída. | Č.vz. | Složka (hmotn. %) | | | | | | | | | Suma |
|--------|-------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-------|------|
| | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Zž | |
| 3 | 46 | 68,66 | 20,37 | 3,57 | 0,84 | 0,55 | 0,96 | 3,48 | 0,68 | 0,87 | 100 |
| 4 | 45 | 67,37 | 22,06 | 3,49 | 0,81 | 0,45 | 0,72 | 2,92 | 0,40 | 1,78 | 100 |
| 3 | 19 | 67,09 | 19,29 | 4,84 | 0,78 | 0,81 | 0,86 | 2,00 | 0,42 | 3,90 | 100 |
| 3 | 97 | 67,01 | 18,08 | 6,38 | 0,90 | 1,32 | 1,72 | 3,07 | 1,00 | 0,50 | 100 |
| 1 | 18 | 64,44 | 20,05 | 4,42 | 0,72 | 0,45 | 1,03 | 3,85 | 0,42 | 4,61 | 100 |
| 1 | 37 | 61,19 | 19,39 | 5,56 | 0,86 | 1,76 | 1,31 | 2,84 | 1,07 | 6,02 | 100 |
| 1 | 20 | 56,83 | 20,47 | 3,62 | 0,89 | 0,91 | 0,64 | 3,51 | 0,84 | 12,28 | 100 |
| 1 | 17 | 54,90 | 21,09 | 4,70 | 0,95 | 0,83 | 0,95 | 3,60 | 0,33 | 12,64 | 100 |
| 1 | 52 | 47,06 | 19,48 | 7,48 | 0,73 | 1,09 | 1,18 | 2,48 | 1,04 | 19,44 | 100 |

Tab. 10. Chemické složení vybraných vzorků. Vzorky jsou seřazeny podle klesajícího obsahu oxidu křemičitého SiO₂.

Komentář: Vzorky jsou v tab. 9 seřazeny podle klesajícího obsahu nejvýraznější složky – oxidu křemičitého (SiO₂), jehož obsah značně kolísá – v rozmezí 68,66 % (vz. 46) – 47,06 % (vz. 52). Nejvyšší podíl SiO₂ mají vzorky tříd CK 04 a CK 03, u vzorků třídy CK 01 podíl SiO₂ výrazně klesá – až o 20 %. Téměř úměrně se snižováním podílu SiO₂ roste hodnota ztráty žháním – od cca 0,5–4 % u vzorků třídy CK 03 až po téměř 20% u vzorku č. 52 třídy CK 01, který má také nejvyšší obsah SiO₂ – 47,06 %. Podíly ostatních složek jsou relativně konstantní a s výjimkou oxidu hlinitého Al₂O₃ (18,08 – 22,06 %), oxidu železitého Fe₂O₃ (3,49–7,48 %) a oxidu draselného K₂O (2–3,85 %) jen výjimečně překračují 1%. Nepatrně vyšším podílem CaO, MgO a Na₂O (nad 1%) se poněkud odlišují vzorky č. 37, 52 a 97.

Tab. 10. Chemische Zusammensetzung ausgewählter Proben. Die Proben sind nach dem sinkenden Oxid-Gehalt des Quarz- SiO₂ geordnet.

Komentář: Die Proben sind in Taf. 9 nach dem sinkenden Gehalt des markantesten Bestandteils – Quarz-Oxid (SiO₂) geordnet, dessen Gehalt beträchtlich in einem Intervall von 68,66 % (Pr. 46) – 47,06 % (Pr. 52) schwankt. Den höchsten Anteil an SiO₂ haben die Proben der Klassen CK 04 und CK 03, bei den Proben der Klasse CK 01 sinkt der SiO₂-Gehalt deutlich – bis um 20 %. Fast proportional zum Absinken des SiO₂-Anteils wächst der Wert für den Verlust durch Kalzination von ca. 0,5–4 % bei den Proben der Klasse CK 03 bis beinahe 20 % bei Probe Nr. 52 der Klasse CK 01, die auch den niedrigsten SiO₂-Gehalt hat – 47,06 %. Die Anteile der übrigen Bestandteile sind relativ konstant und mit Ausnahme von Aluminiumoxid Al₂O₃ (18,08–22,06 %), Eisenoxid Fe₂O₃ (3,49–7,48 %) und Kalioxid K₂O (2–3,85 %) überschreiten sie nur in Ausnahmefällen 1%. Die Proben Nr. 37, 52 und 97 unterscheiden sich durch einen geringfügig höheren Anteil an CaO, MgO und Na₂O (über 1%).

| Č.vz. | Složka (hmotn. %) | | | | | | | | | | Suma |
|-------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-------|-------|------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Zž | C | |
| 20 | 56,83 | 20,47 | 3,62 | 0,89 | 0,91 | 0,64 | 3,51 | 0,84 | 12,28 | | 100 |
| 20* | 46,56 | 19,90 | 4,94 | 1,05 | 1,00 | 0,59 | 3,72 | 0,73 | | 21,51 | 100 |
| 20** | 46,56 | 19,90 | 4,94 | 1,05 | 1,00 | 0,59 | 3,72 | 0,73 | 1,00 | | 100 |
| 20*** | 52,13 | 18,78 | 3,32 | 0,82 | 0,84 | 0,59 | 3,22 | 0,77 | | 19,53 | 100 |

Tab. 11. Porovnání chemického složení vzorku č. 20 obsahujícího grafit; * analýza byla provedena na práškovém nevyžháněném vzorku, ** po přepočtu obsahu složek za předpokladu, že vzorek vykazuje také průměrnou ztrátu žháním zž = 1,0 %, *** obsah grafitu vypočtený ze zjištěné zž za předpokladu, že skutečná zž odpovídá průměrné zž = 1,0 % jako u vzorků střepu bez grafitu a tato hodnota byla znásobena poměrem 21,51/11,39, tj. obsahem grafitu stanoveným přímo / vypočteným ze zž.

Tab. 11. Vergleich der chemischen Zusammensetzung der grafithaltigen Probe Nr. 20; * Die Analyse wurde an einer pulverförmigen, nicht kalzinierten Probe durchgeführt, ** nach einer Umrechnung des Gehalts an Bestandteilen unter der Voraussetzung, dass die Probe auch den durchschnittlichen Verlust durch Kalzination (zž) = 1,0 % aufweist, *** Grafitgehalt errechnet aus dem festgestellten zž unter der Voraussetzung, dass der tatsächliche zž dem durchschnittlichen zž von 1,0 % entspricht wie bei den Proben ohne Grafit. Dieser Wert wurde mit dem Verhältnis 21,51/11,39, d. h. dem direkt aus dem zž bestimmten/berechneten Grafitgehalt multipliziert.

| Třída | Č.vz. | Složka (hmotn. %) | | | | | | | | | | Složka (hmotn. %) | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-------|------|-------------------|-------------------------------|------|------------------|------|------|------|--------------------------------|------|------|
| | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | C | Suma | SO ₃ | P ₂ O ₅ | BaO | ZrO ₂ | SrO | MnO | ZnO | Cr ₂ O ₃ | Suma | |
| 1 | 17 | 50,21 | 19,29 | 4,30 | 0,87 | 0,76 | 0,87 | 3,29 | 0,30 | 20,1 | 100 | 0,14 | 0,17 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,07 | | | | 0,49 |
| 1 | 52 | 40,79 | 16,89 | 6,49 | 0,64 | 0,95 | 1,02 | 2,15 | 0,91 | 30,18 | 100 | 0,14 | 0,21 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | | | | 0,50 |
| 3 | 46 | 69,26 | 20,55 | 3,60 | 0,85 | 0,56 | 0,97 | 3,51 | 0,69 | | 100 | 0,11 | 0,11 | 0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,02 | | | | 0,36 |
| 1 | 37 | 59,14 | 18,74 | 5,38 | 0,83 | 1,70 | 1,26 | 2,75 | 1,04 | 9,16 | 100 | 0,10 | 0,20 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | | | | 0,47 |
| 3 | 97 | 67,35 | 18,18 | 6,41 | 0,91 | 1,32 | 1,73 | 3,09 | 1,01 | | 100 | 0,06 | 0,21 | 0,06 | 0,04 | 0,01 | 0,09 | | | | 0,47 |
| 1 | 18 | 63,05 | 19,62 | 4,33 | 0,71 | 0,44 | 1,01 | 3,77 | 0,41 | 6,67 | 100 | | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,27 |
| 3 | 19 | 66,05 | 18,99 | 4,77 | 0,77 | 0,80 | 0,85 | 1,97 | 0,42 | 5,39 | 100 | | 0,30 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,49 |
| 1 | 20 | 52,13 | 18,78 | 3,32 | 0,82 | 0,84 | 0,59 | 3,22 | 0,77 | 19,53 | 100 | | 0,18 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,38 |
| 4 | 45 | 68,59 | 22,46 | 3,55 | 0,83 | 0,46 | 0,73 | 2,97 | 0,41 | | 100 | | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,26 |

Tab. 12. Chemické složení vzorků a semikvantitativní složení příměsí.

Komentář: Střepy vzorků č. 18, 19, 20 a 45 obsahují jako příměsí ZnO a Cr₂O₃, na rozdíl od vzorků zbývajících, obsahujících naopak SO₃.

Tab. 12. Chemische Zusammensetzung der Proben und semiquantitative Zusammensetzung der Magerung.

Komentář: Die Scherben der Proben Nr. 18, 19, 20 und 45 enthalten als Beimischung ZnO und Cr₂O₃, im Gegensatz zu den übrigen Proben mit SO₃.

| Třída | Č.vz. | Složka (hmotn. %) | |
|-------|-------|-------------------|-------|
| | | SiO ₂ | C |
| 1 | 52 | 40,79 | 30,18 |
| 1 | 17 | 50,21 | 20,10 |
| 1 | 20 | 52,13 | 19,53 |
| 1 | 37 | 59,14 | 9,16 |
| 1 | 18 | 63,05 | 6,67 |
| 3 | 19 | 66,05 | 5,39 |
| 3 | 97 | 67,35 | |
| 4 | 45 | 68,59 | |
| 3 | 46 | 69,26 | |

Tab. 13. Srovnání podílu SiO₂ a C (grafitu) ve vzorcích. — Tab. 13. Vergleich der Anteile von SiO₂ und C (Grafit) in den Proben.

zjištěný obsah SiO₂ v rozmezí cca 40,8–69,3 hmotn. %. Rozdíl mezi největším a nejmenším zastoupením tedy činí cca 28,5 hmotn. %. Je zřejmé, že roli křemene jako ostřiva ve vzorcích třídy CK 01 částečně přebírá grafit.

Chemická analýza umožnila rozdělit 9 studovaných vzorků do dvou skupin, a to na základě zastoupení různých příměsí. **Skupina A** (vz. 17, 37, 46, 52 a 97) se vyznačuje přítomností SO₃ (který se však mohl do střepů dostat i sekundárními procesy při jejich uložení v zemi) a absencí ZnO a Cr₂O₃, **Skupina B** se liší od ostatních vzorků přítomností ZnO a Cr₂O₃ a absencí příměsí SO₃ (vz. 18, 19, 20, 45). Vzorky č. 37, 52 a 97 ze skupiny A mají navíc vyšší podíly CaO, MgO a Na₂O – kolem nebo i výrazněji nad 1 %. To ukazuje na použití surovin nejspíše nejméně ze dvou odlišných ložisek a přípravu směsí na výrobu kachlů ve dvou „vářkách“. Příměsí nejsou v žádném vztahu ani k jednotlivým keramickým třídám (k jednotlivým skupinám můžeme přiřadit kachle náležející různým keramickým třídám), ani k přítomnosti či nepřítomnosti grafitu. Z předchozího zjištění můžeme usuzovat na několik skutečností. Grafit se neváže na žádné specifické složení keramické hmoty – do směsí byl proto účelově přidáván. Základní směsí – hlíny a jíly – byly zřejmě získávány z více ložisek. Při výrobě keramického těsta se do nich přidávalo ostřivo (zejména grafit a křemenný/živcový písek atd.) různé velikosti zrn i v různém množství podle toho, o jaký (jak velký či výrobně náročný) finální výrobek se mělo jednat.

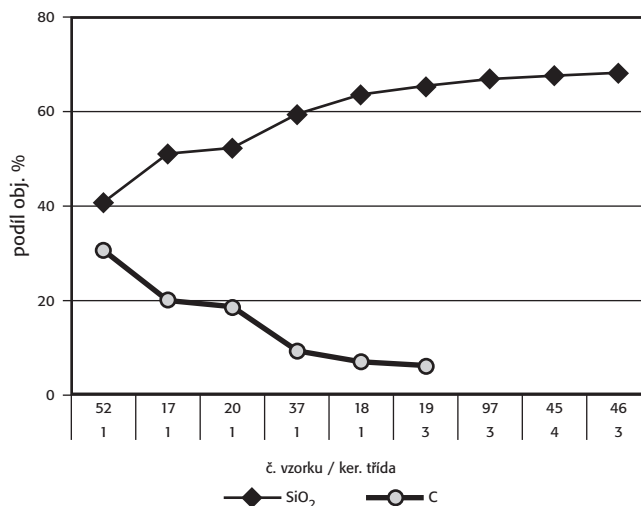
4.5. Stanovení délkové teplotní roztažnosti

Určení koeficientu délkové teplotní roztažnosti keramického střepu nám umožňuje sledovat velikost objemových změn výrobku v závislosti na měnící se teplotě a posoudit jeho odolnost proti náhlým změnám teploty (tab. 14; graf 13–14).

Střední koeficient délkové teplotní roztažnosti (α nebo KTR) se vypočte podle vztahu

$$\alpha = \Delta l / l_0 \Delta t \quad (\text{K}^{-1}) \quad (6)$$

kde Δl je změna délky vzorku v průběhu lineárního



Graf 12. Srovnání podílu SiO₂ a C (grafitu) ve vzorcích. Komentář: Na tabulce č. 13 a grafu č. 12 je dobře patrná vzájemná závislost mezi podílem oxidu křemičitého (SiO₂) a uhlíku (C) ve vzorcích střepů, a také závislost výskytu uhlíku zejména u vzorků keramické třídy CK 01. — Diagramm 12. Vergleich des SiO₂- und C (Grafit)-Anteils in den Proben. Kommentar: Auf Tafel Nr. 13 und Diagramm Nr. 12 ist die gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem Quarzoxid (SiO₂)- und dem Kohlenstoff (C)-Anteil in den Scherbenproben gut erkennbar, und auch die Abhängigkeit des Kohlenstoffs, besonders in den Proben der Keramikklasse CK 01.

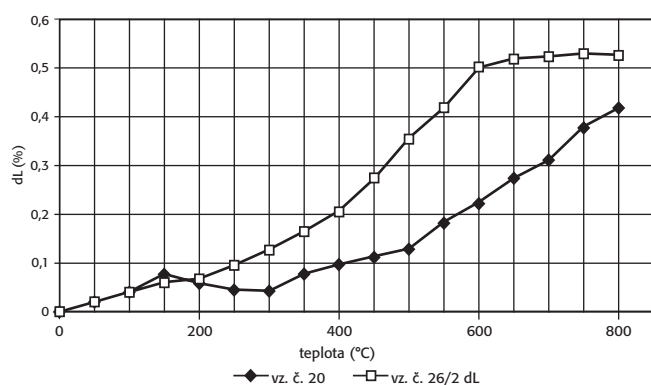
ohřevu ve sledovaném teplotním intervalu (mm), l_0 je původní délka vzorku (mm) a Δt je teplotní interval odečítání změny délky vzorku (°C).

Vypočtené hodnoty koeficientu délkové teplotní roztažnosti (tab. 14) a průběh dilatačních křivek obou měřených vzorků v závislosti na lineárně zvyšované teplotě (graf 13) přinesly následující zjištění: Dilatační křivky studovaných vzorků č. 20 a 26/2 nemají lineární průběh – jsou prohnuty k teplotní ose. Do teploty 180 °C mají vzorky podobné dilatační chování. Mezi 180–200 °C došlo k zastavení roztažnosti, a to patrně v důsledku uvolňování chemisorbované vody v pórovitém střepu. K jejímu vázání ve střepu došlo dlouhodobou hydratací, která je projevem určitého stárnutí keramických střepů vzniklých z přírodních jílových surovin. U vzorku č. 26/2 nastalo nad touto teplotou opět roztahování až do intervalu teplot 573 až 600 °C. U vzorku č. 20 došlo nad teplotou 200 °C k mírnému poklesu roztažnosti až do teploty cca 300 °C s následným mírným nárůstem délky vzorku až do teploty 800 °C. Prodleva na dilatační křivce pravděpodobně vznikla částečným vyhoříváním grafitu v tomto vzorku. Hodnoty středního koeficientu délkové teplotní roztažnosti vzorku č. 20 jsou od teploty 200 °C nižší než u vzorku č. 26/2 a se vzrůstající teplotou se rozdíl dále zvyšuje (tab. 14). Na křivce vzorku č. 26/2 se nad teplotou 573 °C projevuje efekt modifikační přeměny křemene $\beta \leq \alpha$ doprovázené zvětšením objemu zrn křemene ve vzorcích o cca 4,7 obj. %. Na dilatační křivce vzorku č. 20 s vysokým obsahem grafitu je tento efekt téměř nezatelný.

Výsledky měření – diskuse

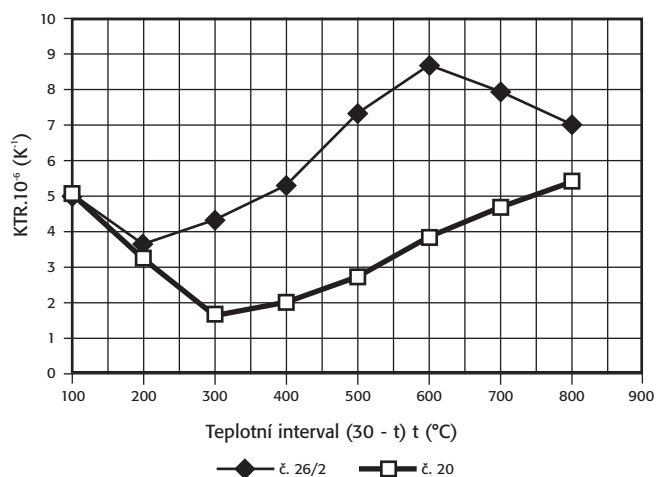
| Střední koeficient délkové teplotní roztažnosti pro Δt | $\alpha_{\Delta t} \cdot 10^{-6} (K^{-1})$ | |
|--|--|-----------|
| | vzorek 26/2 | vzorek 20 |
| $\alpha_{30-100\text{ °C}}$ | 5,18 | 5,35 |
| $\alpha_{30-200\text{ °C}}$ | 3,78 | 3,16 |
| $\alpha_{30-300\text{ °C}}$ | 4,32 | 1,72 |
| $\alpha_{30-400\text{ °C}}$ | 5,32 | 2,19 |
| $\alpha_{30-500\text{ °C}}$ | 7,41 | 2,73 |
| $\alpha_{30-600\text{ °C}}$ | 8,67 | 3,80 |
| $\alpha_{30-700\text{ °C}}$ | 7,86 | 4,59 |
| $\alpha_{30-800\text{ °C}}$ | 7,00 | 5,44 |

Tab. 14. Porovnání hodnot středního koeficientu délkové teplotní roztažnosti měřených vzorků č. 20 a 26/2. — **Tab. 14.** Vergleich der Werte des mittleren Koeffizienten der Längen-Wärmeausdehnung der Proben Nr. 20 und 26/2.



Graf 13. Průběh dilatačních křivek vzorků č. 20 a 26/2 v závislosti na lineárně zvyšované teplotě.

Diagramm 13. Verlauf der Dilatationskurven der Proben Nr. 20 und 26/2 in Abhängigkeit zur linear erhöhten Temperatur.



Graf 14. Teplotní závislost středních koeficientů délkové teplotní roztažnosti (KTR) na teplotě. — **Diagramm 14.** Wärmeabhängigkeit der mittleren Koeffizienten der Längen-Wärmeausdehnung (KTR) von der Temperatur.

Každý kachel mění při zahřívání a opětovném chladnutí svůj objem. Oba vzorky (č. 20 a 26/2) vykazují prakticky stejné hodnoty délkové teplotní roztažnosti až do teploty cca 200 °C. Poté se obě křivky rozbíhají. Dilatační křivka vzorku č. 20 s obsahem grafitu vykazuje mírný pokles a ještě při cca 350 °C nemění vzorek

výrazněji svoji délku – ta zůstává prakticky shodná s délkou tohoto vzorku při 200 °C, což odpovídá délkové změně v rozmezí Δl cca 0,08–0,1 %, tedy přibližně v hodnotách mezi 0,8–1 mm/m. Dilatační křivka vzorku č. 26/2 od teploty cca 200 °C stoupá strměji a při teplotě 400 °C dosahuje již dvojnásobné délkové změny (0,2 % = 2 mm/m) oproti vzorku č. 20. Těto hodnoty dosahuje roztažnost u vzorku č. 20 teprve při teplotě okolo 600 °C.

Kachel s obsahem cca 20 % grafitu v keramické hmotě (vz. 20) zvětší při teplotě 400 °C svůj rozměr o cca 1 mm/m. Kachel bez grafitu (vz. 26/2) zvětší při téže teplotě svůj rozměr o dvojnásobek, tedy o 2 mm/m. Při teplotě cca 600 °C je tento rozdíl ještě větší – u kachle č. 20 s grafitem činí 2 mm/m, u kachle č. 26/2 bez grafitu již 5 mm/m.

Tyto rozdíly ve vlastnostech kachlů se projeví výrazně již při jejich výpalu, zejména ve fázi chlazení. Kachle vyrobené ze směsi s obsahem grafitu budou díky své nižší teplotní roztažnosti daleko lépe odolávat tlaku na vznik trhlin, které jsou způsobeny např. modifikační přeměnou křemene (viz výše). Tyto kachle budou odolnější proti náhlým změnám teploty při teplotách vyšších než 200 °C také po celou dobu fungování samotných kamen – při opětovném zatápnění a chladnutí.

Dalším rizikovým faktorem je různá míra zahřívání vnější a vnitřní strany kachlů. Při teplotě v kamnech (na vnitřní straně kachlů) cca 600 °C se stěna kamen o původní délce 1 m z kachlů s příměsí grafitu v obsahu cca 20 % zvětší o 2 mm, zatímco stěna kamen o stejné délce z kachlů bez příměsí grafitu, s ostřivem převážně křemenitým, dokonce o 5 mm, a to všemi směry. Zatímco vnitřní stěna kamen o ploše 1 m² – tedy 10.000 cm², sestavená z kachlů vzorku č. 20 s příměsí grafitu, se tedy zvětší o 40 cm², zvětší se stěna z kachlů vzorku č. 26/2 bez příměsí grafitu až o cca 100 cm² (10 x 10 cm).

Bude-li mít vnější stěna kachlových kamen o původní délce 1 m teplotu cca 200 °C, prodlouží se u obou srovnávaných kachlů pouze o cca 0,8 mm. Vnější stěny kamen o ploše 1 m² (10.000 cm²) se tedy v obou případech zvětší pouze o cca 16 cm² (4 x 4 cm).

Teplotní gradient mezi vnitřní a vnější stranou kachlů vyvolá různě velké napětí v jejich vnější i vnitřní povrchové vrstvě. Toto napětí bude násobně nižší u kachlů se střepe s nižším koeficientem délkové teplotní roztažnosti. Napětí ve střepe se bude zvyšovat při zvyšování teplotního rozdílu mezi vnitřní a vnější stranou kachlů – například při zatápnění.

5. Srovnávací vyhodnocení analýz – interpretace – diskuse

Množství dílčích poznatků se nyní pokusíme syntetizovat a navázat na předmět poznání – historický technologický proces výroby středověkých kamnových kachlů. Při výkladu se v zásadě přidržíme jednotlivých postupných kroků, které v průběhu výroby a užívání kachlů figurovaly, a zjištění, která se k jednotlivým technologickým postupům váží. Zmíníme jen ty části výrobního procesu, ke kterým mají výsledky analýz co říci.

5.1. Výchozí suroviny

Výchozími surovinami pro přípravu keramických směsí byly v našem případě snadno dostupné přírodní hlíny a jíly s rozmanitým obsahem doprovodných minerálů. Hrnčíři je získávali z více zdrojů – ložisek v regionu. Různý původ výchozích surovin dokládá přítomnost doprovodných minerálů v odlišných vzájemných poměrech a kombinacích (např. různé podíly draselných živců mikroklinu a ortoklasu – viz *graf 8*) i výskyt některých specifických prvků v určitých skupinách vzorků (např. přítomnost stopových množství zinku a chromu; na *tab. 12* jsou vyjádřeny jako oxidy – ZnO a Cr₂O₃).

Výchozí suroviny obsahovaly kromě plastické složky také neplastické krystalické součásti – zejména zrna křemene, různé druhy živců a slídu (viz *tab. 4*, dále *kap. 4.3*).

Různý původ hlín používaných v jedné dílně byl patrně zcela normální, jak ostatně dokládají i písemné prameny (např. *Leminger 1926*). Např. při sepisování majetku zesnulého hrnčíře Jana Doubka se v roce 1561 krom jiného našly i „*labské hlíny okolo 4 vozy a od Bilan hlíny okolo 6 vozů*“ (*Leminger 1926*, 179, pozn. 66; poněkud jinak viz *Šimek 1893–95*, 660–661, pozn. 9, 10).

Rozdílné mineralogické složení hlín a jílu patrně nemělo za následek jejich zásadně odlišné technologické vlastnosti, které by se projevovaly různým chováním keramických směsí v procesu výroby – při tváření, sušení a výpalu finálních výrobků; nezdá se, že by se svými vstupními vlastnostmi nějak výrazně odlišovaly jedna od druhé. Analýzy v našem případě nedokládají žádnou vazbu mezi určitým mineralogickým (viz *tab. 4; graf 3–8*) či chemickým (*tab. 12*) složením výchozích surovin a některou „technologickou“ skupinou výrobků – keramickou třídou. Například stopově zjištěná množství zinku a chromu (ZnO a Cr₂O₃) nemají vazbu ani na přítomnost či nepřítomnost grafitu ve střepu. Analýzy naopak dokládají použití výchozích surovin se stejným chemickým složením k výrobě kachlů zařazených do různých keramických tříd (*tab. 12*) a lišících se výrazně svojí velikostí, silou a zejména texturou a mikrostrukturou střepu (viz výbrusy vzorků č. 18, 20 a 45 – *foto 9, 10, 31*).

V některých případech však písemné prameny dokládají i záměrný výběr vhodných hlín pro určitý druh výrobků. Například kutnohorský hrnčíř Antonín Mřenek vyráběl počátkem 17. století mufler a další druhy prubířské keramiky do prubíren na Vlašském Dvoře. „*Poněvadž k tomu dílu hlína domácí se nehodila, dovážel mu Jan forman hlínu z Ledče*“ (*Leminger 1926*, 182, pozn. 18). Důležitost dostupnosti vhodných ložisek vyplývá i z textu statut plzeňských hrnčířů, potvrzených roku 1562 králem Ferdinandem I.: „*Těž aby oni hrnčíři hlínu, kteráž by se řemeslu jejich hodila, na cizích gruntech čichžbykoli bez překážky a z hájení jim od kohožkoliv sobě kopati a bráti i voziti dáti mohli*“ (*Halík 1948*, 33).

Některých specifických vlastností keramických směsí, které vyžadovala výroba různě technologicky náročných finálních výrobků, se dosahovalo až jejich

úpravou v hrnčířské dílně. Metod bylo jistě více. Analýzami se podařilo doložit zejména záměrné regulování druhů, množství a velikostí zrn přidávaného ostřiva (viz níže).

5.2. Keramická směs – těsto

Při přípravě keramického těsta se kromě jiných postupů do výchozích surovin záměrně přidávalo ostřivo.⁶ V některých případech se tak zvyšovalo množství již přítomných minerálů (např. křemene a živců přidáváním písku), jindy se do keramických směsí přidávaly dosud nepřítomné komponenty s určitými konkrétními žádanými vlastnostmi (např. grafit – viz níže). Cílem mohlo být:

1. regulovat vlastnosti keramické směsi v procesu výroby kachlů:
 - a) v plastickém stavu – při tvarování výrobku,
 - b) v průběhu jeho sušení,
 - c) chování výrobku během výpalu,
2. ovlivnit vlastnosti kachlů (kachlových kamen) při jejich následném používání – topení.

Různé druhy ostřiva, především písek (křemen, křemence, živce) a grafit, se přidávaly v různém množství a v různé velikosti zrn podle toho, o jaký (zejména jak velký či výrobně náročný) finální výrobek mělo jít. Jednotlivé kachle či jejich skupiny se od sebe navzájem odlišují právě těmito vlastnostmi (charakteristikami) použité keramické směsi:

- a) přítomností/nepřítomností některých druhů příměsí,
- b) množstvím příměsí, případně jejich různými vzájemnými poměry,
- c) rozptylem velikostí zrn příměsí.

Druhy příměsí. Všechny zjištěné minerály (viz *kap. 4.3*) mohly být přirozenou součástí použitých výchozích surovin – jílu a hlín, a vyskytovaly se v rozmanitých vzájemných poměrech ve všech studovaných vzorcích. Záměrně byl do keramického těsta přidáván pouze grafit (viz výše, *kap. 4.3.5*). V některých případech předpokládáme, že se do keramické směsi přimíchával jako ostřivo také písek. Tím se zvyšoval podíl především křemenné (případně živcové) složky ostřiva v příslušných směsích. Za doklad přidávání písku považujeme jednak velké procentuální kolísání podílu křemene ve studovaných vzorcích (viz *tab. 4* – v některých vzorcích bylo zjištěno až 5x více křemene než ve vzorcích jiných), zejména však prokázanou vzájemnou závislost podílu grafitu a křemene ve vzorcích třídy CK 01 (viz *tab. 13; graf 12*).

Do keramické směsi se jako příměsí přidávaly také látky organického původu – např. plevy, sláma, seno, piliny apod. I hrnčíř Antonín Mřenek z Kutné Hory kupoval počátkem 17. století opakovaně „*plúvy a chlupy do hlíny*“ (*Leminger 1926*, 182–183, pozn. 19). V našem případě fungovaly patrně především jako lehčivka – při

⁶ Ostřiva zejména snižují plastičnost keramického těsta (snižují nebezpečí „deformace“ výrobků) a zmírňují jeho smrštění při sušení i výpalu výrobku.

výpalu vyhořely, zvýšily tím pórovitost střepu a snížily tak relativní hmotnost kachle po výpalu (viz *tab. 3* – nejnižší objemová hmotnost u vizuálně „nejpórovitějších“ vzorků největších a nejtěžších kachlů třídy CK 01).

Zjištěné hodnoty nasákavosti střepů (*tab. 3*) se prakticky neodlišují od hodnot naměřených například u střepů pozdně středověké a raně novověké (tedy zhruba stejně staré) kuchyňské keramiky z Mostu (*Klápště 2002: tab. 11, 14, 17*). Nezdá se proto, že by se příprava keramické směsi pro výrobu kachlů nějak zásadně odlišovala od přípravy těsta používaného při točení nádob.

Obsah příměsí (množství zrn ostřiva) v jednotlivých vzorcích kolísal v intervalu mezi cca 15/20 a 40 obj. %. Obsah ostřiva ve střepu však nebyl u všech skupin kachlů (keramických tříd) stejný (*tab. 7; graf 9–11*). Nepochybný je zjištěný vzájemný vztah mezi obsahem a velikostí zrn ostřiva ve střepěch – čím jemnozrnější je ostřivo, tím jsou jeho zrna ve střepu četnější (viz *tab. 9; graf 11*).

Aby určitá příměs splnila v keramické směsi požadovanou technologickou roli, musí jí směr obsahovat **technologicky významné množství**, tedy takové množství, které **je schopno ovlivnit technologické vlastnosti materiálu** – jeho chování v průběhu výrobního procesu – požadovaným směrem. U záměrně přidávaných komponent se tak můžeme pokusit odlišit některé technologicky nevýznamné cizorodé kontaminace pocházející patrně z výrobního prostředí (viz níže).

Velikost zrn příměsí byla velmi rozmanitá (*kap. 4.3.1–4.3.4*). Největší na výbrusech zjištěné rozměry jednotlivých zrn dosahovaly až 3 mm a vizuálně byla pozorována i zrna ještě výrazně větší – i více než 10 mm. Byly zjištěny výrazné rozdíly mezi jednotlivými keramickými třídami (*tab. 8 a 9; graf 11*). Tyto rozdíly nebyly v žádném případě náhodné a závislé na nárocích výrobního procesu té které skupiny finálních výrobků na vlastnosti použitého materiálu. Zjištěná závislost mezi obsahem a velikostí zrn ostřiva ve střepěch kachlů zařazených do jednotlivých keramických tříd byla již zmíněna výše.

5.3. Příprava keramické směsi

Mísení více výchozích surovin. Při přípravě keramických směsí docházelo k mísení více (nejméně dvou) různých výchozích surovin. Mikroskopické výbrusy to v našem souboru prokázaly ve třech případech (*kap. 4.3.5*). Nedostatečné promísení dvou různých výchozích surovin či přímo keramických směsí vidíme na snímcích výbrusů vzorků č. **13x** (*foto 6 – dva odlišné jíly – červený cihlářský a tmavý s obsahem grafitu*), **17** a **37x** (např. *foto 16 – jíl s obsahem grafitu se zřetelně odlišuje od okolní matrix se slídou a ostatními doprovodnými minerály*).

Také doklady mísení více druhů hlín, respektive přidávání jednoho druhu hlíny do druhé, najdeme v písemných pramenech. Velké množství – několik vozů – voprachu („hlína drobná, podobná drobnému písku, jíž se mastná hlína močí, aby nádoba z ní zhotovená v peci nebouchla“; *Šimek 1893–95, 661, pozn. 11*) měl

v době své smrti v roce 1561 ve své dílně kutnohorský hrnčíř Jan Doubek (*Šimek 1893–95, 661*).

Kontaminování připravovaných směsí nečistotami z výrobního prostředí. V keramické dílně patrně běžně docházelo k mimovolnému kontaminování připravovaných směsí různými nečistotami z okolního prostředí. Dokladem mohou být velmi malá, technologicky bezvýznamná množství některých příměsí, zjištěná na mikroskopických výbrusech či chemickou analýzou. Jedná se především o nízká množství grafitu (zejména vz. č. 19 třídy CK 03), jejichž přítomnost zde patrně nemá, na rozdíl od koncentrací vyšších, žádný technologický význam, nebo o větší či menší úlomky vypálené keramiky (*foto 13 – výbrus vz. 27*).

Tyto samovolné – neúmyslné kontaminace z výrobního prostředí mohou mít za následek jisté zkreslení výsledků analýz ve velmi citlivé oblasti stopových prvků, důležitých například při pokusech o určení původu výchozích surovin či teploty výpalu. Přítomnost některých stopových prvků tak může nechtěně odrážet spíše stav výrobního prostředí. Všechny minerály (prvky) zastoupené jen v malém, technologicky nevýznamném či stopovém množství je nutné podrobit důsledné kritice ještě před pokusy o interpretaci jejich přítomnosti ve zkoumaných vzorcích.

5.4. Role grafitu jako příměsí

Grafit výrazně ovlivňoval jak chování keramické směsi v průběhu celého výrobního procesu (zejména během výpalu a chladnutí kachlů), tak vlastnosti kachlů a celých kamen v době jejich fungování jako otopného zařízení.

Obsah grafitu v jednotlivých vzorcích jsme zjišťovali rentgenograficky (relativní množství v obj. %) a chemickou analýzou (absolutní množství v hmotn. %). Výsledky a vzájemné srovnání naměřených hodnot jsou uvedeny v *tab. č. 15* a na *grafu č. 15*. Ze srovnání obou měření vyplývá:

- 1. Nejvyšší** rentgenograficky naměřená relativní objemová množství grafitu (vz. 27, 20, 17 a 3; viz *tab. 15*) se podle zjištění chemických analýz rovnají cca 20 hmotn. % uhlíku ve střepu. Naměřené údaje si svojí celkovou tendencí odpovídají (při klesajícím relativním obsahu hlésá i naměřená koncentrace grafitu ve vzorcích střepů – viz *graf 15*). Anomálie u vz. 52 (30 hmotn. % při 71 obj. %) je důsledkem heterogenity analyzovaných střepů. Koncentrace jednotlivých druhů příměsí v různých částech studovaného střepu se mohou výrazně lišit. Na základě provedených měření můžeme konstatovat, že maximální naměřený obsah uhlíku-grafitu ve střepu se ve studovaném souboru pohybuje v rozmezí 20 až místy 30 hmotn. %.
- 2. Nejnižší** obsah uhlíku ve střepu byl zjištěn u vzorku č. 19 třídy CK 03, a to cca 5,4 hmotn. % (*tab. 12, 13*). Vzhledem k tomu, že rentgenograficky nebylo možno registrovat obsah pod cca 5–6 obj. %, byla předpokládána naprostá absence grafitu v některých střepěch (zejména u tříd CK 03 a 04) ověřena chemickou analýzou (viz *tab. 12, vz. č. 46, 97 a 45*).

| č. vz. | Stanoveno C – RTG (relat. obj. %) | Stanoveno C - chem. (hmotn. %) | Vypočteno C – chem. (hmotn. %) |
|---------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 3 | 100 | | 21,07 |
| 17 | 95 | 20,10 | 20,02 |
| 20 | 93 | 19,53 | 19,60 |
| 27 | 91 | | 19,18 |
| 28 | 87 | | 18,33 |
| 31 | 87 | | 18,33 |
| 52 | 71 | 30,18 | 14,96 |
| 5 | 69 | | 14,54 |
| 32a | 67 | | 14,12 |
| 13 | 60 | | 12,64 |
| 37 | 58 | 9,16 | 12,22 |
| 30a | 53 | | 11,17 |
| 77 | 47 | | 9,90 |
| 18 | 35 | 6,67 | 7,38 |
| 34 | 29 | | 6,11 |
| 26 vz.2 | | | |
| 101 | | | |

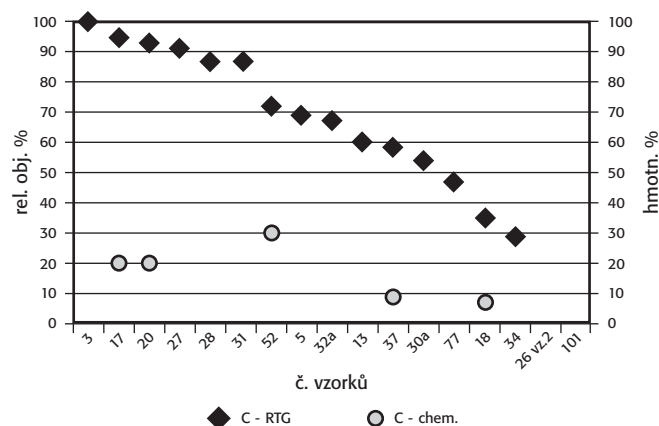
Tab. 15. Srovnání množství grafitu/uhlíku v analyzovaných vzorcích třídy CK 01 – absolutní hmotnostní množství je dopočítáno podle vzájemného vztahu množství grafitu zjištěného rentgenograficky a chemickou analýzou u vzorků 17, 20, 52, 37 a 18. — **Tab. 15.** Vergleich der Grafit/Kohlenstoffmengen in den analysierten Proben der Klasse CK 01 – die absolute Gewichtsmenge wird nach dem gegenseitigen Verhältnis der röntgenographisch festgestellten Grafitmenge und der chemischen Analyse der Proben 17, 20, 52, 37 und 18 errechnet.

Pokud byl grafit v keramickém střepu vůbec zjištěn, pak ne ve stopovém množství, ale v koncentracích nad cca 5 hmotn. %.

3. Analýza délkové teplotní roztažnosti střepů vzorků č. 20 a 26/2 (viz kap. 4.5) prokázala, že příměs grafitu ve výši kolem cca **20 hmotn. %** můžeme považovat za **technologicky významné množství**, které zásadním způsobem ovlivňovalo vlastnosti keramické hmoty (graf 13, 14; tab. 14). Vliv grafitu v množstvích blízkých se zjištěným minimálním hodnotám kolem 5 hmotn. % nemusel být sice tak výrazný, přesto však možná dostatečný (např. vzhledem k velikosti výrobku).

Funkce grafitu. V technologicky významném množství byla příměs grafitu zjištěna téměř výhradně u vzorků kachlů zařazených do třídy CK 01. Jde většinou o největší kachle (36,5 x 36,5 cm – obr. 1: 3; 32 x 34 cm – obr. 1: 20; 21 x 36 cm, 22 x 38 cm – obr. 2: 30a; maximální zjištěná výška 39,6 cm u římsového korunního kachle č. 5 – obr. 3), s čelní stěnou silnou až 20 mm a nejplastičtějším reliéfem (až 17 mm nad povrch ČS). Síla ČVS kachle o rozměrech 36,5 x 36,5 cm činila včetně reliéfu až 3,4 cm. U kachlů třídy CK 01 byly zjištěny i největší velikosti zrn ostřiva, a to jak vizuálně, tak na výbrusech (viz tab. 8, 9; graf 11). To se týká také zrn grafitu-tuhy.

Ostřivo snižuje plasticitu keramické hmoty a redukuje procento smrštění při výpalu. Tím zmenšuje nebezpečí deformace výrobku v plastickém stavu i riziko jeho popraskání v peci. Největší zjištěné rozměry zrn ostřiva právě u kachlů třídy CK 01 odpovídají jejich



Graf 15. Srovnání množství grafitu/uhlíku v analyzovaných vzorcích třídy CK 01 na základě rentgenografického měření a chemické analýzy. — **Diagramm 15.** Vergleich der Grafit/Kohlenstoffmenge in den analysierten Proben der Klasse CK 01 auf Grund der Röntgendiffraktometrie Messung und der chemischen Analyse.

rozměrům, objemu keramické hmoty i velké váze těchto kachlů.

Nejběžněji užívaným ostřivem byl bezesporu křemen – křemenný písek (viz tab. 4, 10, 12). Křemen zvětšuje v průběhu výpalu ve fázi ohřevu (při cca 573 °C) svůj objem asi o 4,7 %. Ve fázi chlazení se pak při stejné teplotě opět smrští na původní velikost. U velmi malých zrn tato vratná (reverzibilní) modifikační přeměna nepředstavuje výrazný technologický problém. U velkých zrn tomu však může být jinak. Během výpalu není keramický střep při teplotě 573 °C ještě dostatečně pevný a proto se zvětšujícímu se zrnu křemene většinou bez potíží přizpůsobí. Při výpalu na vyšší teploty se však spojení mezi jednotlivými částicemi směsi podstatně zpevní. Ve fázi chlazení mají pak taková zrna křemene tendenci se od okolní vypálené keramické hmoty odtrhnout. U zrn křemene o velikosti cca 10 mm (a zjištěna byla i zrna ještě delší) se zrno zvětší a posléze zmenší až o 0,5 mm. Může tak docházet k tvorbě velmi četných vnitřních prasklin vycházejících z okolí zrn, která výrazně změnila svoji velikost. To může následně negativně ovlivnit mechanickou pevnost kachle i jeho odolnost proti náhlým změnám teploty. Čím blíže k povrchu kachle se praskliny nacházejí, tím jsou pro jeho pevnost i teplotní odolnost nebezpečnější.

Do směsí pro zhotovování velkých výrobků bylo vhodné přidávat velká zrna ostřiva. Křemen však mohl být nebezpečný. Řešením byl právě grafit. V oblastech, kde je k dispozici ve větším množství, se přímo nabízel – v Českém Krumlově se průmyslově těžil ještě v 90. letech 20. století. Výskyt největšího množství grafitu právě u největších kachlů ze souboru potvrdily i analýzy. Není asi náhoda, že rentgenograficky byl největší podíl grafitu zjištěn právě u jednoho z největších a nejmohutnějších kachlů celého souboru (obr. 1: 3), zatímco u „nejmenších“ kachlů této třídy se podíl grafitu v keramické směsi pohyboval „pouze“ kolem 30 % zjištěného maxima (obr. 1: 34), nebo nebyl identifikován vůbec (obr. 1: 26/2). Také největší zrna příměsí byla patrná na výbrusech vzorků největších kachlů (tab. 8) – u obou vzorků č. 3.1 a 3.2 (obr. 1: 3) je to 3

a 2,8 mm a u vz. 20 (obr. 1: 20) 2,8 mm. Zajímavá je i absence grafitu u vzorku 101 (patrně obkládací deska s motivem kachle č. 34). Vysvětlení je možná nasnadě – formát jednak nebyl tak velký, navíc výsledný produkt nesloužil jako kachel (šlo patrně o obkládací desku) a nebyl tedy při „výkonu funkce“ – „v provozu“ tak tepelně namáhán.

Již v diskusi ke *kap. 4.2* a *4.4* jsme konstatovali vzájemný vztah podílu grafitu a křemene u vzorků třídy CK 01 (*graf 12*) a skutečnost, že u největších kachlů třídy CK 01 grafit částečně nahrazuje ve funkci hrubozrnného ostřiva křemen, který je ze všech tříd právě zde nejméně zastoupen (rentgenograficky průměrně pouhých 46 % celkového obsahu krystalické fáze střepu na rozdíl od průměrného obsahu u ostatních tříd, který činí 66 %). Důvodem jsou právě vlastnosti grafitu – jeho stálost při změnách teploty, a to jak při zahřívání, tak při chladnutí.

Objemová stálost grafitu ve vztahu ke kolísání teploty okolního prostředí se však neprojevuje pouze při výrobě kachlů – při výpalu a chladnutí, ale také následně – při každém zatápní v kamnech a jejich opětovném vychládání. Také již jednou vypálená keramika totiž při změnách teploty mění svůj objem (viz níže).

5.5. Technologie výroby – tvarování kachlů a jejich částí

Již na první pohled je zřejmé, že jednotlivé zlomky se mnohdy výrazně liší kvalitou zpracování keramického těsta (srovnaj snímky výbrusů vzorků třídy CK 01 a CK 04 – *foto 1–18* a *30–32*), a to zejména **a)** homogenitou/nehomogenitou na lomu (vizuální pozorování), **b)** pravidelným/nepravidelným rozptylem zrn příměsí ve střepu (mikroskopické výbrusy), **c)** rozptylem velikostí zrn příměsí (výbrusy) a **d)** uspořádáním-orientováním mikrostruktury střepu (výbrusy).

Důvod mnohdy velmi výrazných rozdílů však není „chronologický“. Rozdíly nejsou důsledkem „mladšího – technologicky pokročilejšího“ způsobu výroby. Ten byl v našem případě diktován především velikostí a výrobní náročností toho kterého výrobku:

- a)** velké, silnostěnné kachle, vážící i několik kilogramů, potřebovaly hrubozrnné ostřivo a patrně také organické přísady, které po vypálení zmizely, střep se stal pórovitějším (viz pozorování na lomech střepů třídy CK 01) a tím také o něco lehčím (měřené střepy třídy CK 01 měly nejmenší objemovou hmotnost – viz *tab. 3*); na první pohled proto jeho lom působí velmi neuspořádaným, heterogenním dojmem střepu v ruce vyráběné pravěké nádoby,
- b)** tenkostěnné kachle malých formátů, nebo dokonce kachle prořezávané tříd CK 03 a zejména CK 04, mají velmi homogenní mikrostrukturu, omezenou velikost zrn příměsí a zejména v celém objemu výrazně jednosměrně uspořádanou – orientovanou texturu. To jednoznačně svědčí o odlišném způsobu tvarování těchto kachlů (jejich polotovarů).

K významnému technologickému zjištění přispěly v tomto směru zejména mikroskopické výbrusy, umož-

ňující sledovat uspořádání mikrostruktury střepů. Ze čtyř výše popsaných typů orientace (uspořádání) mikrostruktury střepů (viz *kap. 4.3*) je důležitý zejména typ **d)** s jednosměrně, souběžně s povrchem střepu uspořádanou mikrostrukturou – drobné, protáhlé póry a zrna příměsí jsou svými delšími osami orientovány rovnoběžně, jedním směrem (viz zejména *fota výbrusů 95, 97, 40* a *45*).

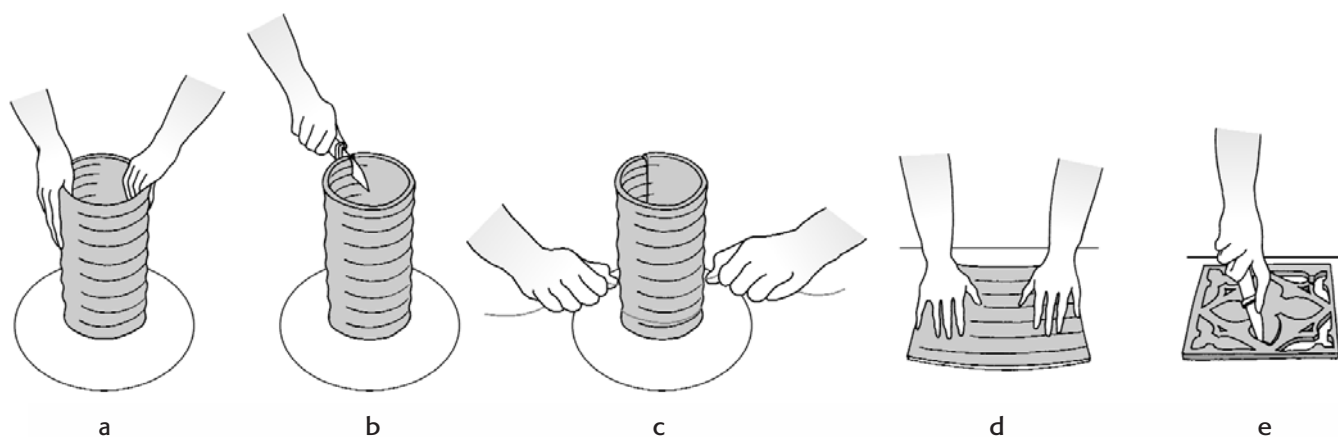
Takto uspořádané mikrostruktury střepu nebylo možno docílit předpokládaným „běžným“ způsobem přípravy těsta či polotovarů, tedy mísením/hnětením v ruce a následným vlačováním plátů hlíny (připravovaných pouze rukama, pomocí válečku nebo odřezávacím strunou) do kachlové formy. Mohla vzniknout pouze záměrnou jednosměrnou úpravou (tažením – tvarováním) keramické hmoty při přípravě polotovaru – hliněného plátu. Podle našeho názoru postupoval hrnčír následujícím způsobem (*obr. 7*): **a)** na hrnčířském kruhu vytočil válec předem daných rozměrů (síla stěny, výška a průměr), **b)** vytočený válec na jedné straně svisle rozřízl nožem, **c)** odřízl ho strunou od podložky, a to včetně dna, **d)** vytvořený plát hlíny položil na podložku a narovnal. Získal tím téměř ideálně rovnou, všude stejně silnou hliněnou desku pravouhého tvaru (možná i požadovaných rozměrů) s rovnými hranami a zejména silně homogenizovanou, jednosměrně uspořádanou vnitřní strukturou. Takto připravený plát hlíny měl daleko větší vnitřní pevnost v plastickém stavu i při sušení, nežli by měl podobný plát připravený výše zmíněnými „ručními“ způsoby.

Používání této výrobní technologie dokládá srovnání mikroskopických výbrusů vzorků reliéfních a prořezávaných kachlů tříd CK 03 (např. č. 19, 32b, 95 a 97 – *foto 21–23, 27–28*) a CK 04 (č. 40 a 45 – *foto 30, 31*) se snímky zcela jednoznačně na kruhu vytáčených stěn nádobkového kachle č. 87 třídy CK 03 (*foto 36a–d*).

Technická i technologická náročnost výroby prořezávaných kachlů (kachlů s prořezávanou čelní stěnou) byla již v literatuře konstatována (*Pařík – Hazlbauer 1991*). Není proto jistě náhoda, že používání „**předtáčených**“ plátů bylo výbrusy zjištěno u těchto výrobně náročných exemplářů (vz. č. 95, 97 a 94 – *foto 27, 28, 32*), velmi choulostivých právě na homogenitu, vnitřní pevnost a soudržnost použité hlíny. Ta zmenšovala riziko neúspěchu jak při prořezávání výzdobného motivu, tak při sušení i výpalu křehkého výrobku. Na základě analýzy výbrusů můžeme konstatovat, že popsaná technologie byla užívána i u maloformátových kachlů s neprořezávanou ČS (např. vz. č. 19, 32b, 40 a 45 – *foto 21, 23, 30, 31*).

5.6. Úprava povrchu kachlů

Pouze na 18 zlomcích (0,47 % ze souboru) třídy CK 02 byla zjištěna zelená, olovnatá glazura (*tab. 16*; cca 0,14 mm silnou vrstvičku glazury nanesené přímo na střep vidíme na snímku výbrusu vzorku č. 80 – *foto 19*). Žádné další úpravy povrchu (nátěry, engoby z jemně plavené hlíny apod.) nebyly na zlomcích kachlů pozorovány. Vnější strany jejich ČVS byly vesměs rezné. Také na výbrusech byl patrný plynulý – difuzní



Obr. 7. Kresebná rekonstrukce výroby polotovaru – hliněného plátu pro výrobu prořezávaných kachlů: Hrnčič **a**) na hrnčířském kruhu vytočil váleček předem daných rozměrů, **b**) váleček na jedné straně svisle rozřízl nožem, **c**) odřízal ho strunou od podložky, **d**) vytvořený plát hlíny položil na podložku a narovnal, **e**) po předkreslení dekoru mohl začít s prořezáváním.

Abb. 7. Zeichnerische Rekonstruktion der Herstellung der Tonplatte zur Herstellung von durchbrochenen Kacheln: Der Töpfer **a**) drehte auf der Töpferscheibe eine Walze von vorgegebenen Ausmaßen, **b**) schnitt die Walze auf einer Seite mit einem Messer senkrecht auf, **c**) schnitt sie mit einer Saite vom Untergrund ab, **d**) legte die Tonplatte auf eine Unterlage und richtete sie aus, **e**) nach dem Vorzeichnen des Musters konnte er mit dem Ausschneiden beginnen.

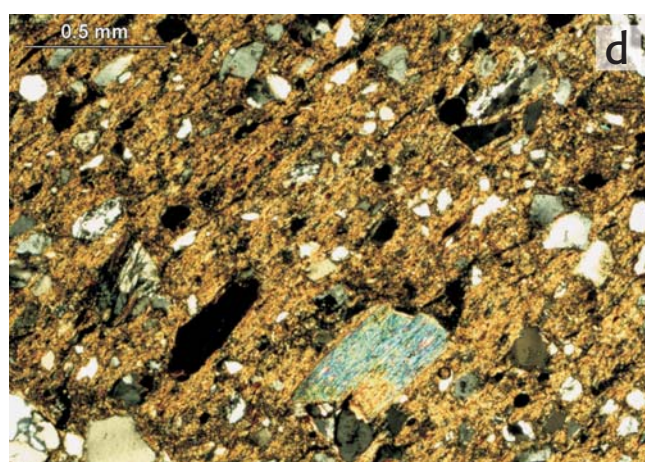
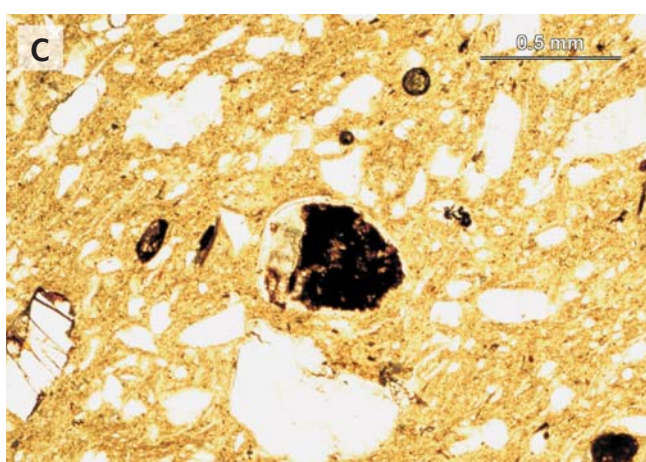
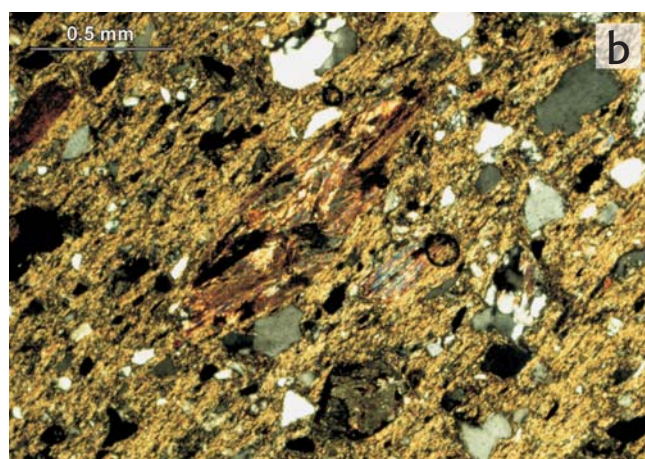
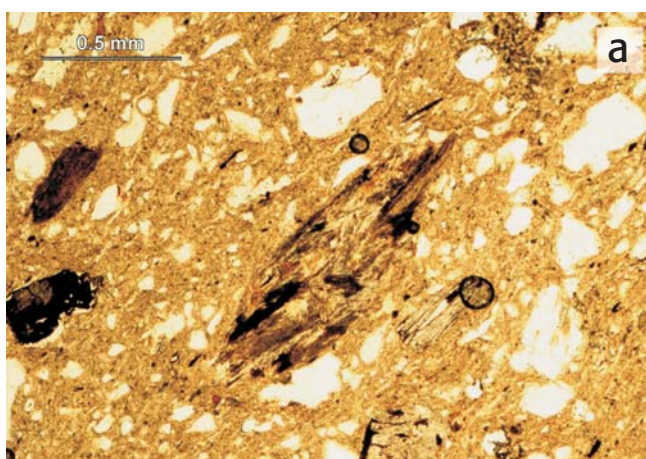


Foto 36a–d. Na snímcích výbrusů vzorku č. 87 (nádobkový kachel) třídy CK 03 (snímky **b**, **d** ve zkřížených nikolech) je patrná jednosměrná orientace pórů a příměsí, zejména destiček slídy.

Foto 36a–d. Auf den Dünnschliffaufnahmen der Probe Nr. 87 (Gefäßkachel) der Klasse CK 03 (Aufnahmen **b**, **d** in gekreuzten Prismen) ist die einheitliche Orientierung der Poren und Beimischungen, besonders der Glimmerplättchen, erkennbar.

přechod mikrostruktury mezi povrchem a vnitřkem střepů.

5.7. Výpal

Přibližnou **teplotu výpalu** analyzovaných vzorků bylo možno určit zejména na základě studia mikroskopických výbrusů. U kachlů našeho souboru se pohybovala v rozmezí mezi cca 800–900 °C (viz výše, zejména *kap. 4.3.5*). Některá další zajímavá pozorování se týkají možného **prostředí v peci**. Na *výbrusech* vz. 97 vidíme například difuzní přechod/rozhraní mezi červeně a černě zbarvenou částí střepu (viz *foto 28, 29*). Nejde ani o dva typy použitých surovin (viz výše), ani o jinak zbarvenou povrchovou vrstvu, ale patrně o důsledek odlišných – redukčních a oxidačních – podmínek při výpalu, které se projeví vznikem více forem oxidů železa lišících se vzájemně barvou (černá, reza- vá). Mikrostruktura obou odlišných oblastí střepu je totiž totožná a přechod zcela plynulý. Důsledkem rozdílných teplot v různých částech pece při výpalu jedné várky kachlů pak mohou být také odlišná zbarvení povrchu kachlů (šedé, cihlově červené, sv. okrově žluté). Barva střepů je funkcí obsahu barvicích oxidů (zejména oxidů železa) v keramické směsi a prostředí v peci během výpalu. I když byla teplota výpalu obecně stanovena v rozmezí cca 800–900 °C, naznačují rozmanité interferenční barvy šupinek slídy (viz *kap. 4.3.1–4.3.4*), že jednotlivé kachle (či jejich části) byly vypalovány při různých teplotách v tomto obecném rámci. Na možné důsledky odlišného chemického složení výchozích surovin pocházejících z různých částí jednoho ložiska pro výslednou barvu povrchových vrstev finálních výrobků pálených při téže teplotě a za stejných podmínek upozornili například *J. Žegklitz* a *J. Zavřel* (1990, 126).

5.8. Užívání kamen – doba funkce kachlů

Výpalem v peci se z keramického výrobku nestává předmět s napříště neměnnými vlastnostmi. Keramika i po výpalu velmi citlivě reaguje na okolní prostředí, zejména na jeho vlhkost a teplotu. To se týká i kachlů, potažmo celého tělesa kachlových kamen.

Každý kachel mění při zahřívání a opětovném chlad-

nutí svůj objem. Při provozu kamen se navíc vnitřní a vnější stěny kachlů nezahřívají rovnoměrně (viz *kap. 4.5*). Čím větší je rozdíl mezi teplotou uvnitř a vně kamen (např. při zatápění), tím větší napětí vzniká mezi vnější a vnitřní stranou ČVS – vnitřní strana zvětšuje svůj objem více a rychleji, nežli strana vnější. Při příliš častém zatápění a tím opakovaném namáhání kachlů mohlo docházet jednak k jejich praskání, jednak ke vzniku spár a trhlin mezi stěnami komor kachlů a vypáleným výmazem. Těmi mohl začít do vytápěné místnosti pronikat kouř i nepříjemný zápach.

Podobně negativní dopad mohla mít schopnost vypálené keramiky (v tomto případě tedy celých kamen) absorbovat atmosférickou vlhkost. Není pravděpodobné, že by se ve všech kamnech, snad s výjimkou těch kuchyňských, topilo nepřetržitě celý rok. Běžné bylo sezónní vytápění (v chladných zimních měsících) i vytápění příležitostně (např. v místnostech či apartmánech pro hosty apod.). Během odstávek kachle (kamna) „nasávaly“ vlhkost z prostředí. Čím byla odstavka delší a v čím extrémnějších podmínkách, tím hůře. Při příliš rychlém zatápění (např. měla-li náhle přijet vrchnost či návštěva) mohlo pak dojít k vážnému poškození celých kamen. Naakumulovaná atmosférická voda v pórech při zahřívání kondenzuje, mění se v páru, která zvětšuje svůj objem a má tendenci se rozpínat. To mohlo vést až k popraskání či roztrhání některých kachlů i částí kamen a k takovému poškození tělesa kamen, které vyžadovalo buď důkladnou opravu, nebo přímo jejich zboření a postavení jiných.

Dokladů o „předsezónních“ i průběžných opravách kamen najdeme v písemných pramenech ze závěru středověku i časného novověku celou řadu (mj. např. *Leminger 1926, 174–186*). Tak i na zámku krumlovském koncem roku 1630 „*Gregorovi hrnčiči od opravování a vymazování kamen v zámku dolejší na zimu kde se přebějvá a JMK věci řídí, k tomu 23 nových kachlíků dání, více v domě zahradním kamen sebrání a zase po novu s přidanými 38 nových zelených kachlíků postavení dáno 6-0-0*“, tedy 6 kop grošů míšeňských (SOA T, pob. ČK, VÚČK, sign. II A 7 R alfa 19). Kamna se přestavovala, nechávala znovu vymazávat, měnily se kachle – jednotlivé i ve větším množství. Zajímavé je v tomto směru zjištění o možné roli grafitu i v této fázi

| Vzorek | Prvek | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------|----|----|-----|-----------|-----|-----|----------|-----|----|----------|-----------|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|
| | Si | Al | Fe | Cu | Pb | Ca | Na | K | Mg | Ti | Zn | Ba | B | P | Cr | Ni | V | Mn | Sn | Sb | Ag | |
| 79 | glazura | 1 | 1 | 0-1 | 0 | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | 0 | 0 | (-1)-(0) | (-2)-(-1) | -1 | -2 | -1 | -2 | -3 | (-3)-(-2) | - | -3 | -2 | -2 |
| | střep | 1 | 1 | 0-1 | (-3)-(-2) | -1 | 0 | 0 | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | - | -1 | -2 | - | -2 | -3 | (-3)-(-2) | -2 | - | - | - |
| 80 | glazura | 1 | 1 | 0-1 | 0 | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | (-1)-(0) | -1 | -2 | -1 | -2 | -3 | (-3)-(-2) | -2 | -3 | 2 | -2 |
| | střep | 1 | 1 | 0-1 | (-3)-(-2) | -1 | 0 | (-1)-(0) | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | - | -1 | -2 | - | -2 | -3 | (-3)-(-2) | -2 | - | - | - |
| 102 | glazura | 1 | 1 | 0-1 | 0 | 0-1 | 0-1 | 0 | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | (-1)-(0) | -1 | -2 | -1 | -2 | -3 | (-3)-(-2) | -2 | -3 | -2 | -2 |
| | střep | 1 | 1 | 0-1 | (-3)-(-2) | -1 | 0 | (-1)-(0) | 0-1 | 0 | (-1)-(0) | - | -1 | -2 | - | -2 | -3 | (-3)-(-2) | -2 | - | - | - |

Tab. 16. Výsledky emisní spektrální semikvantitativní analýzy glazur a střepů vzorků č. 79, 80, 102 třídy CK 02. Čísla uváděná v tabulkách znamenají řady koncentrací v ‰: 1 = 10¹ = řádově desítky (10 a více) ‰; 0 = 10⁰ = řádově jednotky (1–9) ‰; -1 = 10⁻¹ = řádově desetiny (0,1) ‰; -2 = 10⁻² = řádově setiny (0,01) ‰; -3 = 10⁻³ = řádově tisícin (0,001) ‰. — **Tab. 16.** Ergebnisse der Emissions-Spektral-Semiquantitativ-Analyse der Glasuren und der Scherbenproben Nr. 79, 80, 102 der Klasse CK 02. Die Zahlen in den Tabellen bedeuten die Konzentrationsränge in ‰: 1 = ‰ in der Größenordnung 10¹ (= 10 ‰ und mehr); 0 = ‰ in der Größenordnung 10⁰ (= 1–9 ‰); -1 = in der Größenordnung 10⁻¹ (= 0,1 ‰) usw.

„života“ středověkých kachlů. Jeho technologicky významná příměs redukovala zvětšování objemu kachlů během jejich zahřívání při zatápění v kamnech (viz výše *kap.* 4.5). Není prokazatelné, zda si i tuto vlastnost grafitu středověcí kamnáři uvědomovali, zda s ní počítali a záměrně jí využívali. Faktem však zůstává, že kamna z kachlů s relativně vysokým obsahem grafitu ve střepech by měla mít za stejných podmínek delší životnost (bez nutných oprav spár, výmazů apod.), nežli kamna z kachlů s výhradně negrafitickým ostřivem.

5.9. Uložení v zemi a možné kontaminace

Ke kontaminacím keramické hmoty kachlů docházelo i během jejich uložení v zemi. Tyto „sekundární“ kontaminace mohou výrazně ovlivnit nejen dnešní fyzický vzhled (barvu a strukturu povrchu), ale i fázové složení střepech. Důsledkem může být určité zkreslení výsledků měření. Proto je nutno věnovat tomuto problému pozornost ve fázi kritiky pramene – kritiky získaných dat.

Povrch některých střepech byl narušen korozí. Na několika střepech byly patrné jinak zbarvené povrchové vrstvy, o kterých jsme se původně domnívali, že jejich vznik souvisí se záměrem barevně (šedě, cihlově červeně nebo světle okrově) odlišit jednotlivé kachle. V některých případech se však patrně jedná o povrchové korozní vrstvy – projev stárnutí střepech v důsledku reakce s prostředím, ve kterém se dlouhodobě nacházely (viz výše, *kap.* 4.3). Na to, že korozní změny na povrchu střepech je nutno brát vážně, upozornili např. V. Hanykř, E. Ticová a V. Salač (*Hanykř – Ticová – Salač 1998*, 107, 113).

Také mnohé rentgenograficky či na výbrusech zjištěné prvky se do keramické hmoty dostaly teprve v zemi – v důsledku dlouhodobého kontaktu s kapalinami různého charakteru. Některé vzorky byly evidentně kontaminovány fosforečnanovými roztoky (vz. 41, 95, 101), byl v nich totiž identifikován minerál *wavelit* [$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{F},\text{OH})_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$]. Pravděpodobné vysvětlení poskytují nálezkové okolnosti – zlomky kachlů byly uloženy s velkým množstvím zvířecích kostí. U některých vzorků můžeme předpokládat i určité důsledky stárnutí keramického střepech. Projevují se hydratací málo krystalických fází a dehydroxidovaných jílových minerálů ve střepech. Tak lze např. vysvětlit přítomnost zrn *kaolinitu* ve vzorcích č. 13 a 37. Podobně překvapující přítomnost zrn kalcitu a magnezitu ve vzorku 52 se dá vysvětlit buď nedostatečnou teplotou výpalu této části střepech (např. magnezit se rozkládá při teplotě cca 600 °C), nebo sekundárním vykrystalováním uvedených minerálů při kontaminaci střepech vápenatými a hořečnatými roztoky.

5.10. Keramické třídy

Jedním z cílů prováděných analýz bylo i ověření smysluplnosti „vizuálního“ posuzování velkých souborů keramických zlomků a jejich třídění do tzv. keramických tříd. Na příkladu našeho konkrétního souboru tak můžeme alespoň naznačit odpovědi na některé otázky: **a)** o čem mohou vypovídat tzv. keramické třídy,

b) jaké druhy analýz nám mohou pomoci při jejich ověřování, **c)** jaké jsou některé meze makroskopického posuzování keramických zlomků.

Velikost zrn příměsí a obsah příměsí v použitém materiálu dovoluje většinou přesně stanovit pouze měření jednotlivých zrn na mikroskopických výbrusech. Výbrus nám poskytne i poměrně přesnou informaci o tom, jaké velikosti zrn příměsí jsou v tom kterém vzorku běžné a jaké výjimečné – extrémní. Vizualní posouzení tu není směřodlatné – je totiž ovlivněno rozpoznávací schopností lidského oka. To běžně registruje, jak jsme měli možnost zjistit vlastním pozorováním, až poněkud větší zrna (cca od velikosti 0,2/0,3–0,5 mm), zejména odlišují-li se barevně od základní hmoty (např. zrna bílého křemene, černého grafitu či lesknoucí se slídy), ne však zrnka velmi malá (cca 0,06–0,12 mm), barvou navíc často se základní hmotou splývající (např. zrníčka světlého písku na světlém pozadí).

Při hodnocení střepech pouhým okem jsme tedy schopni, a to i za ideálních podmínek (pozorování jsme prováděli na zcela čerstvých lomech, což se o většině jiných hodnocených souborů zdaleka nedá říci), identifikovat jen část množiny zrn příměsí. Ve většině případů proto nemůžeme objektivně stanovit, a to ani přibližně, jaká velikost zrn příměsí je pro ten který studovaný vzorek charakteristická a možná i technologicky nejvýznamnější.

Pěknou ukázkou je např. srovnání původního vizuálního odhadu obsahu příměsí pro jednotlivé keramické třídy (*kap.* 2) s jeho následným určením kvalifikovaným odhadem z výbrusů (*kap.* 4.3.1–4.3.4; *tab.* 7). Vizualně jsme odhadli nejvyšší podíl příměsí v keramické směsi vzorků třídy CK 01 (30–50 %). Dále se postupně snižoval (CK 02 – 30–50 %; CK 03 – 20–30 %) až na 5–15 % u třídy CK 04. Hodnocení výbrusů poskytlo zcela opačnou tendenci. S výjimkou nejvyššího podílu u vzorku třídy CK 02 (35–40 %), byl nejvyšší podíl příměsí zjištěn právě u vzorků třídy CK 04 (cca 25–35 %, průměr cca 32,5 %) a postupně klesal přes cca 20–35 % (průměr cca 29,2 %) u vzorků třídy CK 02 až k cca 15–35 % (průměr cca 25,4 %) u vzorků třídy CK 01. Příčina tkví podle nás právě v tom, že zatímco u vzorků třídy CK 01 se vyskytovalo větší množství zrn příměsí lidským okem snadno odlišitelných od základní hmoty (viz *kap.* 4.3.1), u vzorků třídy CK 03 bylo jejich množství již podstatně menší (např. vz. 32b, 46 – *foto* 23, 24) a u vzorků třídy CK 04 se takřka nevyskytovaly (např. vz. č. 40, 45 – *foto* 30, 31). Vizualně jsme zde proto identifikovali pouze nižší obsah příměsí větších velikostí (cca nad 0,2/0,3 mm), a ne jejich největší část o velikosti kolem 0,1 mm (ale i podstatně menších), tvořících právě tu masu ostřiva, která je u vzorků této keramické třídy (CK 04) jasně patrná na snímcích mikroskopických výbrusů (např. vz. č. 40, 45 – *foto* 30, 31). Tato zrnka našim očím splývala se základní hmotou, póry, puklinkami apod. a při vizuálním hodnocení zlomků nebyla brána v potaz (srovnej např. *Gregerová – Procházka 1998*, 277).

Pouhým okem jsme tedy schopni zhruba odhadnout procentuální podíl zrn příměsí s velikostí nad cca 0,2/0,3–0,5 mm. Střepech s vyšším podílem větších zrn příměsí tak působí na první pohled dojem, jako by

obsahovaly více ostřiva, i když to ve skutečnosti nemusí být pravda. Vlastnosti keramické směsi mohou v technologicky významném množství ovlivnit i zrna příměsí o velikostech kolem 0,05–0,1 mm.

Také vizuální určení alespoň hlavních **druhů příměsí** mnohdy závisí právě na velikosti příslušných zrn. Problémem většinou není identifikace černých zrn grafitu či destiček slídy (často jsme schopni odlišit i světlý muskovit od tmavého biotitu). Poznat můžeme i větší zrna křemene. Problémem je však makroskopická identifikace živců (jejich odlišení od křemene) i správné zařazení dalších příměsí. Cihlově červená zrnka, která jsme pokládali za jeden z charakteristických znaků většiny zkoumaných zlomků, se například ukázala být železitou pigmentací. Makroskopicky pak nelze odhadnout ani vzájemné poměry jednotlivých druhů příměsí – křemene, živců, slídy, případně grafitu a dalších. U některých lze snad říci, zda se jich ve směsi nachází „hodně“ či „málo“.

Vizuálně neidentifikovatelné jsou, až na vzácné výjimky, také minerály (nebo jejich modifikace) přítomné ve stopovém množství – ty odhalí pouze mikroskopické výbrusy (*kap. 4.3.5*) v kombinaci s chemickou analýzou (*tab. 12*). Právě tyto elementy však mohou přinést velmi důležité informace o teplotě výpalu (jedná-li se o modifikace vznikající při určitých teplotách), místu výroby předmětu, případně původu surovin a podobně.

Vizuálně jsme mohli zlomky třídit podle některých výrazných společných znaků, případně odlišností, i když jejich původ nebyl v té chvíli znám. Při vizuálním hodnocení střepů nebyla například brána v potaz technologie tvarování kachlů. Na výbrusech jsme však později identifikovali mikroskopické stopy vytáčení na kruhu (jednosměrně uspořádaná mikrostruktura) i vlačování hlíny do forem (tokové obrazce), příznačné pro jednotlivé keramické třídy. Nevědomky jsme tak vlastně přeci jen projevy tvarování keramické hmoty při výrobě kachlů zohlednili.

Zařazování do tříd neprobíhalo na základě měřitelných skutečností, ale podle toho, jakým celkovým dojmem ten který zlomek na posuzovatele působil, a to na základě empirických zkušeností získaných dlouhodobým vizuálním i fyzickým kontaktem s tisíci zlomky souboru. Všechny posuzované zlomky měly čerstvé lomy, takže podobnosti či rozdíly ve vztahu k ostatním posuzovaným zlomkům bylo možno při jejich zařazování dostatečně zdůvodnit. Tuto skutečnost považujeme za velmi důležitou. Ani v jednom případě nedošlo po provedení analýz k přeřazení některého zlomku do jiné keramické třídy. Provedené analýzy potvrdily správnost rozdělení souboru do zmíněných čtyř keramických tříd, mnohdy však paradoxně z jiných důvodů, nežli jsme měli původně na mysli.

Jednotlivé keramické třídy můžeme v našem případě ztotožnit na jedné straně s určitými typy keramických směsí, používaných pro určité konkrétní druhy kachlů (velké, prořezávané apod.). Speciálně připravené keramické směsi se od sebe navzájem lišily zejména množstvím, druhy a velikostí zrn ostřiva i zastoupením organických příměsí. Na druhé straně se do hodnocení promítly také stopy technologie tvarování samotných kachlů nebo jejich polotovarů. Složení použitých kera-

mických směsí i zvolená technologie tvarování pak společně odrážejí náročnost technologie výroby toho kterého konkrétního druhu kachle.

Námi pozorované charakteristiky, sloužící jako měřítko při zařazování do jednotlivých keramických tříd, vznikly jako důsledek velikosti nebo výrobně-technologické náročnosti finálních výrobků. Odrážejí vlastně nároky výrobního procesu na vlastnosti použité keramické hmoty a nároky finálního výrobku na zvolenou techniku tvarování. Jako regulátor vlastností keramické hmoty v procesu výroby a v některých případech i jako regulátor chování finálních výrobků sloužilo ostřivo různých druhů, velikostí zrn a v různém množství.

Na základě provedených analýz můžeme tedy jednotlivé keramické třídy charakterizovat následujícím způsobem:

Třída CK 01. Vzorky charakterizuje především přítomnost většího množství grafitu (5–20/30 %; u vzorků jiných tříd vizuálně identifikován nebyl), velká nevyváženost velikostí zrn příměsí (zcela běžně až do 2, 3 i 5 mm), také značná heterogenita vnitřní struktury střepů (i díky četným puklinkám po vyhořelých organických příměsích) a výrazné tokové obrazce patrné na výbrusech.

Třída CK 02. Konstatovaná výrazná „písčítost“ střepu je důsledkem velkého podílu příměsí (cca 35–40 %) a převahy vizuálně již dobře identifikovatelných velikostí zrn mezi 0,5–1 mm.

Třída CK 03. Zrna ostřiva mají výrazně užší granulometrickou skladbu, nežli je tomu u vzorků třídy CK 01, a ve střepu jsou poměrně rovnoměrně rozptýlena. Převažují relativně jemně zrnité fáze s ojedinělými většími zrny do cca 0,5 mm. U několika vzorků byl analýzami identifikován grafit, avšak pouze ve velmi malém množství. U některých zlomků předpokládáme zpracování polotovarů na hrncířském kruhu.

Třída CK 04. Výrazná je jemnozrnnost příměsí s vizuálně téměř nepostřehnutelnými zrny do velikosti cca 0,2–0,3 mm. Zrna jsou ve střepěch rovnoměrně rozptýlena. Vizuálně pozorovaná „slinutost“ střepu je vlastně důsledkem a) velikosti zrn příměsí, b) výrobního procesu – přípravy výrobku na hrncířském kruhu. O tom svědčí jednosměrná orientace textury a velká homogenita střepu. Zlomky mají relativně nízkou otevřenou pórovitost a vysokou objemovou hmotnost. Střep je proto velmi „hutný“ a takovým dojmem působí i vizuálně.

Správnost rozdělení do uvedených keramických tříd, a tedy i použitelnost metody, byla v případě našeho souboru prokázána. Vizuální pozorování je však nezbytné a) provádět na čerstvých lomech u 100 % exemplářů, b) ověřovat pomocí přírodovědných metod, c) při interpretaci zjištění brát v úvahu specifčnost kachlů jako technické keramiky.

Nevěrohodným hodnotícím kritériem se ukázala být dnešní barva povrchu kachlů. Tu mohlo ovlivnit příliš mnoho faktorů – chemické složení keramické hmoty, prostředí v peci, teplota výpalu a také prostředí v půdě, ve které byly kachle nalezeny.

V rozporu s rozdělením do jednotlivých tříd se v našem případě ukázaly být výsledky chemických analýz. Chemické složení používaných výchozích suro-

vin je patrně příliš subtilní vlastností, která neovlivňovala vlastnosti keramické hmoty v průběhu výroby ani užité vlastnosti finálních výrobků. To platí i v případě *grafitu-uhlíku*. Důležité byly především jeho fyzikální vlastnosti.

6. Závěr

Zkoumání historické keramiky přírodovědnými metodami stojí u nás stále ještě na samém počátku. Výzkum prozatím nestojí na systematických základech a poznatky získané řešením dílčích problémů mnohdy rozličnými přístupy a metodami lze na základě publikovaných informací většinou jen obtížně srovnávat. I tomuto směru bádání by v budoucnu například prospěla určitá standardizace, ať již co se terminologie, nebo publikačních výstupů – zejména jejich dokladového materiálu – týče. Velmi přínosné se jeví například zveřejňování snímků mikroskopických výbrusů v jednom měřítku (alespoň v rámci jednoho článku; určitým potížím jsme se v tomto směru nevyhnuli ani my). Bylo by tak možné vizuálně srovnávat důležité rysy textury a mikrostruktury jednotlivých analyzovaných vzorků. To je na základě dosavadních publikací zatím těžko myslitelné (naposledy např. *Krajíc 1997*, 231, příl. 28 – 3 různá měřítka na 8 snímcích; *Klápště 2002*, 57–71, obr. 3–61 – 9 různých měřítek na 59 snímcích). Různým měřítkům se naopak nevyhneme při zveřejňování určitých detailů (např. *Vařilová 2001*, obr. 15–20).

Při interpretacích naměřených hodnot je třeba mít vždy na paměti, že studované výrobky nejsou produktem řízené průmyslové výroby. To se týká jak používaných směsí, jejich složení a způsobů přípravy – mísení a hnětení, tak tváření i výpalu finálních výrobků. Exaktnost závěrů proto musí být vždy úměrná exaktnosti způsobů výroby (např. *Hanykůjř – Ticová – Salač 1998*, 107).

Otevřena také zůstává otázka možné míry zobecnění získaných poznatků. Jedním z důvodů je nedostatek srovnávacího materiálu, druhým pak určitá specifická studovaných předmětů – kamnových kachlů. Jedná se o technickou keramiku s velmi omezeným využitím a jasně danými požadovanými vlastnostmi. Srovnávat výsledky měření např. s analýzami kuchyňské keramiky se tedy prozatím jeví jako přinejmenším předčasné. I v našem případě tedy prezentované poznatky v zásadě platí pro studovaný soubor, před pokusem o jejich zobecnění je však třeba je ještě ověřit na podobných souborech z jiných regionů.

Velmi zavádějícím pro hodnocení vyspělosti technologického postupu se ukazuje být fyzický vzhled výrobků. U pravěké keramiky na tento problém již upozornili *V. Hanykůjř, E. Ticová a V. Salač (Hanykůjř – Ticová – Salač 1998*, 110), kteří prokázali výrobu hrubozrné laténské keramiky pomocí hrnčířského kruhu. Fyzický vzhled je zásadně ovlivněn účelem konkrétního výrobního postupu a požadovanými funkčními vlastnostmi daného výrobku, a ne vyspělostí oboru v dané době.

Předmětem našeho zájmu nebyla zatím provenience používaných surovin. Zkušenosti v tomto směru jsou u nás prozatím velmi rozmanité – od nepříliš povzbudi-

vých (např. *Žegklitz – Zawřel 1990; Hanykůjř – Ticová – Salač 1998*) až po nadějně (např. *Gregerová – Procházka 1998* nebo *Vařilová 2001*). Používání a pravděpodobně mísení surovin z více ložisek v jedné středověké či raně novověké dílně prokazují jak naše zjištění, tak zprávy písemných pramenů (viz výše); „*používání několika různých zdrojů surovin na jedné lokalitě v jednom časovém období*“ pak například pro laténské období uvádějí *V. Hanykůjř, E. Ticová a V. Salač (Hanykůjř – Ticová – Salač 1998*, 112). Jako velmi perspektivní se v tomto směru jeví systematické analyzování keramických výrobků z výplní archeologicky zkoumaných hrnčířských pecí (pro římsko-provinciální a germánské prostředí naposledy např. *Becker – Rasbach 2003*, 165–171).

Ani možnosti jednotlivých druhů analýz nejsou podle našeho názoru v interpretační rovině vždy využívány v plném rozsahu. Jejich výsledky někdy slouží jako pouhá ilustrace bez konkrétního přínosu (i bez potřebné dokladové dokumentace) a stávají se jen jakýmsi „zvědečujícími“ přívazky archeologických publikací, které však postrádají jakékoli konkrétní poznávací vyznění (např. *Vařeka 2002*). Jejich skutečný přínos je tím čtenáři mnohdy utajen.

Za nezbytnou podmínku úspěchu při hledání odpovědi na položené otázky považujeme kombinování více druhů analýz a srovnávací vyhodnocení získaných dat v intenzivní diskusi archeologa s příslušným specialistou. Právě díky tomu se nám podařilo nejen nalézt odpovědi na většinu v úvodu položených otázek, ale i nalézt řadu odpovědí na otázky další a, samozřejmě, otevřít celou řadu námětů k další práci.

Zusammenfassung

1. Einleitung

Ende 1918 wurde auf dem Burg- und Schlossgelände in Český Krumlov eine umfangreiche Sammlung von Tierknochen, Keramikgefäß-Scherben und besonders von Ofenkachel-Fragmenten aus der Gotik und Renaissance gefunden (*Ernée 2002; 2004*). Bis heute sind insgesamt 4.236 Fragmente erhalten geblieben; 3.868 (91,31%) gehören zu gotischen und 368 (8,69 %) zu Renaissance-Kacheln (*Tabelle 1*). Zum Verständnis ihrer Herstellungstechnik und Nutzungsweise dienten uns außer einem Experiment (*Ernée – Vitanovský 2003*) auch Analysen der Scherben.

2. Analysierte Kollektion – gotische Ofenkacheln aus dem Fund des Jahres 1918

Keramikmasse. Die Keramikscherben haben wir nach den folgenden visuell wahrnehmbaren Eigenschaften der Keramikmasse in vier Klassen eingeteilt (CK 01 – CK 04; zu den Keramikklassen z. B. *Břeň – Kašpar – Vařeka 1995*, 38–40; *Ernée – Vařeka 1998*, 218, 220–221): **a)** nach dem gegenseitigen Verhältnis der plastischen und nichtplastischen (Beimischungs) Bestandteile der Keramiksubstanz; **b)** nach dem Aussehen der Scherbe an der Bruchstelle; **c)** nach der Art des Bruchs; **d)** nach der Größe (in mm) und Farbe der Körner der jeweiligen Magerungsbestandteile (Gestein, Sand, Keramikbruch usw.); **e)** nach der An- bzw. Abwesenheit, gegebenenfalls nach der Menge von Grafit; **f)** nach der An- bzw. Abwesenheit von Körner der Magerung an der Oberfläche der Scherbe.

CK 01: Der relativ feine Ton enthält eine beträchtliche Menge an Beimischungen (ca 30–50 %). Es überwiegen Grafitkörner bis 5–6 mm (meist 1–2 mm), ziegelrote Gesteinssplitter bis 1–3 mm, Glimmerschuppen bis 2 mm und weiße Steinchen bis 2 mm. Vereinzelt treten Körner von mehr als 10 mm Größe auf. Die Scherbe bricht in feinen, kurzen Schuppen. An der Bruchstelle sind zahlreiche kleine Risse und leere Stellen mit Abdrücken verbrannter orga-

nischer Beimischungen erkennbar.

CK 02: Der Scherben wirkt wie heller Mörtel, die Bruchstelle ist sehr „sandig“ - mürbe. Die Menge der Beimischungen läßt sich auf ca. 30–50 % schätzen. Es sind vor allem weiße Körner bis 1,5–2 mm, weniger häufig schwarze und rote bis 1 mm erkennbar. Vereinzelt treten Glimmerschuppen bis 1 mm auf. Grafit ist nicht erkennbar. Es ist nicht auszuschließen, dass die Fragmente sekundär verbrannt wurden.

CK 03: Der verwendete Ton ist fein, die Bruchstelle ist aber nicht so homogen wie in Klasse CK 04. Außer von Beimischungen wird sie auch von Längsrissen gestört. Glimmerschuppen bis 1–2 mm, kleine Gesteinsteilchen – rote, besonders aber weiße, in Ausnahmefällen schwarze – bis 1–1,5 mm bilden die Zusätze. Grafit ist nicht erkennbar. Die Beimischungen sind zahlreicher und größer als in Klasse CK 04. Ihre Menge schätzen wir auf ca 20–30 %.

CK 04: Sehr feiner Ton, die Bruchstelle macht einen einheitlichen Eindruck, sie ist rein und ohne Risse. Beimischungen von mehr als 0,2–0,4 mm Größe kommen nur vereinzelt vor. Es tauchen sehr kleine Glimmerschuppen (bis 0,2 mm), ziegelrote Körner bis 0,5 mm, weiße (in Ausnahmefällen schwarze) Teilchen bis 0,2–0,3 mm auf. Grafit ist nicht erkennbar. Die Menge der Beimischungen schätzen wir auf ca 5–15 %.

Ziel der Einteilung der Fragmente in Keramikklassen war es, eine grundlegende Vorstellung über die Variabilität der Aufbereitung und Zusammensetzung der Keramik zu gewinnen und auf Grund ihrer Ähnlichkeiten und Unterschiede die Menge der wahrscheinlichen "herstellungs-technologischen" (chronologischen?) Horizonte zu bestimmen. Gleichzeitig wurde so ein Wertungskriterium für alle Fragmente im Komplex bestimmt. Jedes von ihnen ist nämlich zumindest Träger von Informationen über die Keramikmasse, aus der es hergestellt worden war (Diagramme 1–2).

Wir haben die Proben für die einzelnen Analysen (Abb. 1–6) mit Hinblick auf die folgenden Fragen so ausgesucht, dass alle vier Keramikklassen, Kachelgruppen (Blattkacheln: Kat. Nr. 3, 5, 13, 17–20, 26–28, 30a–b, 31, 32a–b, 34, 37, 40–41, 44–46, 50, 52–56, 76, 79–80; Kachelkammern: 77, 78; Gefäßkacheln: 87; durchbrochene Kacheln: 88; Gesimseinsätze: 94–95, 97; Wandfliesen: 101, 102; grün glasierte Ofenteile: 79–80, 102) und "ikonografische" Gruppen vertreten sind (Tabelle 2).

1. Bestätigen die Analysen die Richtigkeit der Einteilung in die Keramikklassen – wird die Richtigkeit dieser Methode der Unterteilung ähnlich umfangreicher Komplexe bestätigt?
2. Wie waren die benutzten Rohstoffe zusammengesetzt? Wie sind die einzelnen Beimischungen im Rahmen der Keramikmasse bei den einzelnen Klassen vertreten, welche Beimischungen wurden zugesetzt und warum? Welche sind häufig und welche Ausnahmen? Ist es möglich, aus der mineralogischen und chemischen Zusammensetzung auf das Herkunftsgebiet oder die Lagerstätte der Keramikmasse oder ihrer einzelnen Bestandteile zu schließen? Kann man Gruppen von einzelnen Kacheln, die keinesfalls miteinander in Zusammenhang stehen können, zum Beispiel dank der Absenz einiger Elemente oder der Zubereitungsart der Keramikmasse definieren? Kann man das Vorkommen von Grafit in einigen Bruchstücken vollkommen ausschließen?
3. Wie hoch war die Brenntemperatur bzw. die sekundäre Brenntemperatur?
4. Gibt es auf einigen Exemplaren belegbare Spuren von Engobe? Die meisten Fragmente der Klasse CK 01 haben zweierlei Formen – ohne "Überzug" (rotbraune Bruchstelle geht fließend in die Kacheloberfläche über) und mit "Überzug" (die meist graue Mitte des Bruchstücks ist gesäumt von einem rotbraunen oder hell ockerfarbenen Rand). Auch einige Fragmente, die zu einem einzigen ikonographischen Motiv gehören, unterscheiden sich erheblich in der Farbe der Masse und der Oberfläche: Nr. 94 (CK 04) hell ockerfarben, Nr. 95 (CK 03) ziegelrot und Nr. 97 (CK 03) grau. Ist die Ursache für die unterschiedlichen Oberflächenfarbe wirklich Engobe, die Zusammensetzung der Keramikmasse oder die Brenntechnologie und -temperatur?
5. Ist die verwendete Keramikmasse in Hinsicht auf ihre Funktion – Wärmeübertragung – für Kacheln geeignet? Beeinflusst die Zusammensetzung der Masse positiv oder negativ die Funktion der Kacheln als grundlegender konstruktiver und funktioneller Bestandteil von Kachelöfen?
6. Kann man im Rahmen des Komplexes auf eine Verbesserung in

der Qualität der Keramikmassen-Verarbeitung schlussfolgern? Zum Beispiel wurde die Klasse CK 04 visuell bei den meisten Fragmenten der durchbrochenen Kacheln festgestellt – Nr. 88–93. Kann diese Keramikmassen-Zusammensetzung mit höheren Anforderungen an ihre Stabilität und Kohäsion bei der Herstellung zusammenhängen?

3. Verwendete Analysenarten

Bei 38 Proben wurde eine Röntgenbeugungsanalyse zur Feststellung der Mineralzusammensetzungen ihrer Kristallphase durchgeführt, bei 24 von ihnen haben wir eine mikroskopische Analyse von Scherbandünnschliffen durchgeführt, bei 10 Bruchstücken haben wir ihre Wasseraufnahme, ihre Rohdichte und ihre offene Porosität festgestellt, bei 2 Proben ihre Wärmeausdehnung, bei 9 Proben haben wir eine chemische Analyse durchgeführt und bei 3 Proben haben wir die grünen Glasuren analysiert (Tabelle 2).

4. Beschreibungen und Auswertungen der Analysen – Eigenschaften der Kachelfragmente

4.1. Lagerfeuchte, Wasseraufnahme, Rohdichte, scheinbare Porosität und scheinbare Dichte der Scherben

Die gemessenen Werte werden in Taf. 3 dargestellt. Die Lagerfeuchte (W) der Proben bewegt sich in einem Intervall von ca. 0,1–1,3 %. Die offene Porosität, ausgedrückt durch den Wert der scheinbaren Porosität (P_{app}), bewegt sich in einem Ausmaß von ca 24 bis 32 %. Die Wasseraufnahme (E) bewegt sich in einem Intervall zwischen 13 und 17 %. Zwischen den Proben der Klassen CK 01 und CK 04 existiert ein bestimmter Unterschied in der Wasseraufnahme und damit auch in den Werten der offenen Porosität.

4.2. Röntgenbeugungsanalyse

Die Ergebnisse der röntgenographischen Analyse sind für die einzelnen Keramikklassen CK 01 – CK 04 in Tabelle 4 und in den Diagrammen 3–8 angegeben. Der höchste relative Gehalt eines beobachteten Minerals ist als 100 Volumsprozent kenntlich gemacht.

Die Hauptkomponenten – Minerale – der kristallinen Phasen der Scherben waren vor allem **Quarz**, außerdem verschiedene Arten von **Feldspat** – Natronfeldspat (**Albit**), Kalk-Natronfeldspat (**Plagioklas** bis **Anorthit**) und besonders Kalifeldspat (**Mikroclin** und **Orthoklas**) sowie **Glimmer**. In manchen Proben wurden vereinzelt weitere Minerale festgestellt – **Dolomit** (Pr. 76), **Cristobalit** (Pr. 13, 34, 94), **Wavelit** (Pr. 41, 95, 101) und **Gehlenit** (Pr. 56, 97). Als einzige absichtliche Beimischung wurde **Grafit** identifiziert.

Alle Proben enthielten in unterschiedlicher Menge **Quarz** – manche Proben enthielten fast siebenmal mehr davon als andere. Das zweithäufigste Mineral waren verschiedene Arten von **Feldspat**. Bei allen 38 Proben wurden **Mikroclin** und **Orthoklas** festgestellt. **Albit** kam bei 23 Proben vor. Bei 28 Proben wurde **Glimmer** röntgenographisch festgestellt. Während **Quarz** und **Glimmer** in der Keramikmasse als Magerungsmittel dienen (Sand), können wir **Glimmer** als Begleitmaterial betrachten, das entweder mit dem Lehm oder mit **Quarz** oder **Feldspat** in die Mischung gebracht worden war. **Grafit** wurde bei 15 Proben in Intensitäten von 1,6–5,5 (Durchschnitt 3,82) festgestellt. Es handelte sich ausschließlich um Proben aus der Keramikklasse CK 01.

Unter den Mineralien sind nur **Quarz** und **Grafit** koreliert: bei den Proben mit **Grafit** wurde ein relativ geringerer **Quarz**anteil gemessen als bei den Proben ohne **Grafit**. Bei den Proben mit relativ geringem **Quarz**gehalt sehen wir auch einen relativ höheren Gehalt anderer Minerale, besonders **Glimmer**. Im übrigen handelte es sich um sehr vielfältige Mischungen unterschiedlicher Mineralien. Diese Vielfalt sehen wir als Beweis für die Verwendung von natürlichen, nicht homogenisierten Tonen an.

Daher gelang es nicht, mit Hilfe röntgenographischer Messungen eindeutige, durch bestimmte Zusammensetzungen charakterisierte Gruppen abzusondern. Nur die Gruppe der **Grafit**beimischungen enthaltenden Proben trat hervor.

Diskussion

Die röntgenographischen Messungen (Tabellen 5–6) bestätigen auf Grund mikroskopischer Beobachtung definierten Unterschiede zwischen den einzelnen Keramikklassen:

- a) Grafit tritt nur in Klasse CK 01 auf (vor allem großformatige Kacheln, die vor dem Brand Ausmaße bis 40 x 40 cm erreichen),
- b) bei den Proben der Klasse CK 01 ersetzt Grafit offenbar teilweise Quarz als Magerungsbestandteil – Quarz ist gerade in Klasse CK 01 am wenigsten vertreten (nur ca 46 % des Gesamtgehalts der Kristallphase), im Unterschied zum durchschnittlichen Gehalt von 66 % bei den übrigen Klassen,
- c) bei den Proben der Klasse CK 02 ist Quarz im Gegensatz dazu um ein Drittel häufiger vertreten als bei den Proben der Klasse CK 01 (der „sandige“ Charakter der Scherben der Klasse CK 02 wurde schon visuell beobachtet – siehe oben),
- d) andere Minerale (Feldspat und Glimmer) sind zwar sehr vielfältig vertreten (siehe Diagramme 3–8), ihr relativer Anteil in der Kristallphase der Scherbe in Bezug auf den Quarzgehalt ist aber überraschend konstant (ca. 32 bis 38 % der Kristallphase der Scherben),
- e) in bezug auf den Quarzgehalt sind die übrigen Kristall-Beimischungen bei den Klassen CK 02 und CK 03 nur in niedrigen Anteilen vertreten, bei den Scherben der Klassen CK 01 und CK 04 hingegen in hohen Anteilen,
- f) die vielfältigen Feldspatanteile in allen analysierten Scherben berechtigen uns zu der Behauptung, dass die Ausgangsrohstoffe nicht aus einer einzigen Lagerstätte, sondern aus mehreren Lagerstätten stammten.

4.3. Optische mikroskopische Analyse

Die Beschreibungen der Dünnschliffe (Auswahl siehe Foto 1–32) enthalten Angaben über Mikrostruktur, Textur und mineralogische Zusammensetzung. Der Buchstabe x hinter der Probennummer bezeichnet eine Aufnahme in gekreuzten Prismen. Der ungefähre Gehalt an Kristallphasen wurde aus der durchschnittlichen flächenmäßigen Verteilung der Kristalle im Sichtfeld des Mikroskops unter Benutzung von Vergleichstabellen bestimmt. Für die einzelnen Proben wird der Gehalt an Kristallphasen in der Scherbe in Volumen % entsprechend den einzelnen Keramikklassen angegeben (Tabelle 7). Die mineralogischen Auswertungen der Dünnschliffe beschreiben einen typischen Bereich der entsprechenden Scherbenprobe. Die fertigen Aufnahmen der Dünnschliffe dokumentieren die grundlegenden Eigenschaften der ausgewerteten Scherben, sie können aber nicht immer alle Details erfassen.

Geläufige und außergewöhnliche Arten von Kristallphasen. Durch die Analyse wurde das röntgenographisch festgestellte Vorkommen der Kristallphasen-Grundarten bestätigt – vor allem Quarz, Grafit, Feldspat und Glimmer. Die mikroskopische Auswertung der Dünnschliffe ermöglichte eine Präzisierung der röntgenographischen Daten und Angaben über Form und Größe der Magerungsbestandteile sowie weitere Angaben, z. B. eine Schätzung der Brenntemperatur. Die Aufnahmen dokumentieren die Mikrostruktur, das Orientierungsniveau der Textur der Scherben usw. **Quarz** bildete den Hauptanteil der Kristallphase der ausgewerteten Scherben. Er wurde in Form runder (Pr. 3/1, 19, 26/2, 40, 97) und auch relativ scharfkantiger (Pr. 17, 45) Körner gefunden. Besonders bei den großen Körnern treten gelegentlich Risse auf. In einigen Fällen kam Quarz gemeinsam mit Sandkörnern auch in Form von Quarzit vor (Pr. 3/1, 32a, 45, 46, 52).

Grafit haben wir nicht nur verhältnismäßig rein, sondern oft auch in Konglomeraten mit Feldspat (Pr. 18, 32a) und mit anderen Mineralen (Pr. 37, 52) gefunden. Grafitkonglomerat-Körner erreichten eine Größe von 4 mm. Körner reinen Grafits kommen in der Scherbe zusammen mit Konglomerat-Körnern vor.

Glimmer wurde bei den meisten Proben in heller (Muskovit) und auch in dunkler Form (Biotit) festgestellt. Große Formationen von Glimmerblättchenstapeln sind auf den Dünnschliffen der Proben Nr 17, 19 und 26/1, 26/2 zu sehen.

Feldspat wurde in verschiedenen Formen identifiziert – die röntgenographischen Messungen wurden bestätigt. Kalk-Natron-Plagioklas wurde in insgesamt 9 Fällen identifiziert, und zwar bei Proben aus allen Keramikklassen (Pr. 26/2, 27, 45, 46, 52, 56,

80, 95, 97). Die Feldspatkörner waren nicht geschmolzen – in allen Fällen dienten sie nur als Magerung, nicht als Schmelzmittel, was erst bei Brenntemperaturen nahe 1000 °C der Fall ist.

Ein keramisches Magerungsmittel wurde nur bei Probe 27 festgestellt. **Besondere Zusätze.** Bei drei Proben wurden vermikulare Metakaolinit-Kristalle (Pr. 17 und 37) oder Metakaolinit (Pr. 13) gefunden. In weiteren Proben haben wir unzersetzte Karbonate identifiziert: Kalkstein (Pr. 26/2), Kalkstein oder Magnesit (Pr. 52), ein Karbonatkorn (Pr. 3/2) und Körner unbestimmbarer Karbonate (Pr. 27). In Probe 52 haben wir Anortit identifiziert, der anscheinend mit dem Feldspat in die Beimischung gelangte. Auch vereinzelte Turmalin- oder Zirkon-Körner (Pr. 13 und 40) und Olivin oder Zirkon (Pr. 37) traten auf. In einem Fall waren es titanartige Minerale (Pr. 26/2). Interessant ist der Fund eines Tridymit-Korns in Probe 94. **Unterschiede zwischen der mikroskopischen und der röntgenographischen Auswertung der Scherben.** Mikroskopisch wurde in drei Proben der Klasse CK 03 ein sehr niedriger Grafitgehalt gefunden (Nr. 19, 32b und 95). Röntgenografisch war dieser zuvor nicht identifiziert worden. Der Grund dafür war offenbar seine geringe Menge. Eine ähnliche Situation entstand auch bei der mikroskopischen Identifikation von Glimmer bei den Proben 3/1, 3/2, 40, 80 und 97 – bei den Proben 80 und 97 sogar in beiden Formen, als heller Muskovit und als dunkler Biotit.

Volumensanteil der kristallinen Zusätze. Anhand der Mikroskopschliffe wurde der Gehalt an kristallinen Phasen in den Scherben entsprechend den einzelnen Keramikklassen bestimmt (Tabelle 7; Diagramme 9–10). Der Gehalt an Kristallphasen in den Scherben der Klasse CK 01 bewegt sich innerhalb eines weiten Intervalls von ca. 17 bis 37 Volumen %. Der durchschnittliche Gehalt von ca. 25 Volumen % ist demnach der niedrigste von allen verglichenen Klassen. Die durchschnittliche Korngröße der Kristallphasen ist bei den Scherben der Klasse CK 01 hingegen am größten (Diagramm 11). In einer Scherbe der Probe Nr. 80 der Klasse CK 02 befindet sich die größte Anzahl kristalliner Phasen eines Magerungsmittels (35–54 Volumen %), was makroskopische Beobachtungen bestätigen, die die Proben der Klasse CK 02 als sehr sandig – mürbe mit einem Anteil an Zusätzen in einem Intervall von ca 30–50 % (siehe oben) bezeichnen. Die Scherben aus den Klassen CK 03 und CK 04 haben einen höheren Gehalt kristalliner Phasen als die Scherben aus der Klasse CK 01 (Diagramm 9–10).

Korngröße der Kristall-Zusätze. Mit sinkender Durchschnittsgröße der Körner der Kristallphasen (Magerungsmittel) erhöht sich der Gehalt der Kristallphasen in der Scherbe leicht (Tabellen 8–9; Diagramm 11).

Brenntemperatur. Die meisten Proben wurden offensichtlich bei Temperaturen zwischen ca 800 und 900 °C gebrannt:

- a) die Formationen der Glimmerblättchen-Stapel (Pr. 17, 19, 26/1, 26/2) deuten an, dass die Brenntemperatur der betreffenden Scherben 800–850 °C nicht überschritten hatte; die Absenz von Mullit (entsteht bei der Umwandlung von Glimmer bei Temperaturen von etwa über 900–950 °C) in den untersuchten Proben indiziert, dass alle Kacheln bei Temperaturen von weniger als 900 °C gebrannt worden sind.
- b) Die Präsenz unzersetzter Karbonate in den Scherben (Pr. 3/2, 26/2, 27, 52) bedeutet ebenfalls, dass die Brenntemperatur dieser Kacheln 850–900 °C nicht überschritten hatte,
- c) bei keiner der untersuchten Proben waren teilweise geschmolzene Feldspatkörner beobachtet worden, wozu es bei einer Temperatur von über ca. 950–1000 °C kommt (siehe oben),
- d) entsprechend der Höhe der Interferenzfarbe des Glimmers ist es möglich, die Brenntemperaturen der einzelnen Scherben miteinander zu vergleichen – diese Unterschiede konnten jedoch auch durch ungleichmäßige Verteilung der Brenntemperatur im Ofen entstehen und konnten sich in einer Größenordnung einigen Zehn Grad bewegen.

Orientierung der Scherben-Mikrostruktur. Auf den Dünnschliffen sind vier Orientierungs-Grundtypen der Scherben-Mikrostruktur erkennbar:

- a) die Mikrostruktur ist gänzlich **ungeordnet**; diese Mikrostruktur der Keramikmasse entstand als Konsequenz ihrer Verarbeitung, die im Grund nur manuell erfolgte, und man kann sie bei dieser Art von Produkt als natürlich betrachten – sie ist besonders bei den Proben der Klasse CK 01 zu beobachten, aber auch bei Probe Nr. 80 der Klasse CK 02 (Aufnahme in

gekreuzten Prismen) und teilweise bei den Proben der Klasse CK 03 (besonders Pr. 56);

- b) die Mikrostruktur ist **teilweise geordnet** – erkennbar sind Flussfiguren, sozusagen eine Anordnung der Mikrostruktur besonders in der Umgebung größerer Beimischungs-Körner bzw. in verschiedene Richtungen wogende Ströme, (z. B. Pr. 3/2, 18, 20, 27, 52). Sie entstanden in Folge des Pressens der Keramikmasse – unter dem Druck der Finger des Töpfers „umfloss“ der weiche Ton die harten Magerungskörner, und dieser Prozess wurde durch den Brand fixiert.
- c) die Mikrostruktur ist **in zwei zueinander rechtwinkeligen Richtungen angeordnet** (Oberflächenschicht x Scherbenmitte); diese Anordnung bei Probe Nr. 94 kann z. B. in Folge einer Glättung der Oberfläche (Oberflächenschicht) mit den Fingern, einer Leiste usw. entstanden sein.
- d) die Mikrostruktur ist **einheitlich ausgerichtet** – parallel zur Oberfläche der Scherbe; eine einbahnig und parallel zur Oberfläche angeordnete Mikrostruktur haben besonders die Scherben der Klasse CK 04 (Pr. 40, 45), CK 03 (Pr. 32b, 95, 97), vereinzelt aber auch die dickwandigen Scherben der Klasse CK 01 (z. B. Pr. 3/1x); eine so regelmäßige Anordnung der inneren Struktur konnte nur auf einer Töpferscheibe, erfolgen – durch die Drehung des halbfertigen Produkts, der Tonplatte, die danach weiter verarbeitet wurde – durchgeschnitten oder in eine Form gepresst (siehe unten, Kap. 5.5).

Verwendete Mischungen. Die Vermengung zweier verschiedener, ungenügend homogenisierter Tone ist auf den Dünnschliffaufnahmen der Proben Nr. 13x (offenbar wurden zwei unterschiedliche Lehmarten verwendet – roter Ziegeleiten und dunkler mit Grafitgehalt), 17 und 37x (der Lehm mit Grafitgehalt unterscheidet sich deutlich von der umgebenden Matrix mit Glimmer und anderen Begleitmineralen) zu erkennen. Bei Probe Nr. 97 (*die Scherbe erscheint auf dem Schliff wie eine Kombination aus Ziegeleischerbe und einer schwarzen Masse – der helle Bereich bildet eine Schicht mit diffussem Übergang zur dunklen Färbung der Scherbe*) kann es sich um eine Folge verschiedener – Reduktions- und Oxidations-Bedingungen beim Brand handeln, die in farblich unterschiedlicher Eisenoxiden zum Ausdruck kamen (schwarz, rostfarben). Die Mikrostruktur beider Bereiche der Scherbe ist nämlich identisch.

4.4. Chemische Analysen

Die chemische Analyse der Proben ergab genaue Daten über die prozentualen Anteile von Grafit in den einzelnen Proben (Tabellen 10–12). Diese bewegte sich in einem Rahmen von ca 5,4 (Pr. 19) über 19,5 (Pr. 52), 20,1 (Pr. 17) bis 30,2 (Pr. 20) Gewichtsprozenten.

Die Angaben in *Tabelle Nr. 13* und auf *Diagramm Nr. 12* belegen eine direkte Beziehung zwischen dem ansteigenden Anteil an SiO₂ und dem sinkenden Anteil an C (Graphit) in den Proben und auch eine Bindung des Grafits besonders an die Proben der Klasse CK 01. In den Proben ohne Grafit ist der SiO₂-Anteil am höchsten. Der durchschnittliche SiO₂-Anteil in den grafithaltigen Scherben beträgt 55,2 Gewichts %, während er in den Scherben ohne Grafit bis 68,4 Gewichts % ansteigt. Der SiO₂-Gehalt in den Scherben schwankt erheblich, und zwar in einem Bereich von etwa 40,8–69,3 Gewichts %.

Wir können die Proben in zwei Gruppen einteilen: Gruppe A (Pr. 17, 37, 46, 52 und 97) zeichnet sich besonders durch die Absenz von ZnO und Cr₂O₃ aus, Gruppe B (Pr. 18, 19, 20, 45) hingegen durch Präsenz von ZnO und Cr₂O₃. Diese Zusätze stehen weder in Zusammenhang mit den einzelnen Keramikklassen noch mit Grafit. Grafit ist an keine spezielle Tonzusammensetzung gebunden.

4.5. Bestimmung der Längen-Wärmeausdehnung

Die Dilatationskurven der Proben Nr. 20 und 26/2 haben keinen linearen Verlauf – sie sind zur Wärmeachse hin gekrümmt (*Tabelle 14; Diagramm 13*). Bis 180 °C haben sie ein ähnliches Dilatationsverhalten. Zwischen 180 und 200 °C kam es zu einem Stop der Ausdehnung, und zwar offensichtlich in Folge einer Freisetzung von chemisorbtem Wasser in der porösen Scherbe. Bei Probe Nr. 26/2 kam es dann wiederum zu einer Ausdehnung bis zum Intervall von 573 bis 600 °C. Bei Probe Nr. 20 kam es bei

über 200 °C zu einem leichten Absinken der Ausdehnung bis ca. 300 °C mit einem darauffolgenden leichten Anstieg bis 800 °C. Die Verzögerung auf der Dilatationskurve entstand wahrscheinlich durch ein teilweises Ausbrennen des Grafits in dieser Probe. Die Werte des mittleren Koeffizienten der Probe Nr. 20 sind ab 200 °C niedriger als bei Nr. 26/2, und der Unterschied vergrößert sich mit steigender Temperatur laufend (*Tabelle 14*). Auf der Kurve von Probe Nr. 26/2 macht sich bei über 573 °C der Quarz-Phasenumwandlungseffekt $\beta \gtrsim \alpha$ bemerkbar, begleitet von einer Volumsvergrößerung der Quarzkörner in den Proben um ca. 4,7 Vol. %. Auf der Dilatationskurve der Probe Nr. 20 mit hohem Grafitgehalt ist dieser Effekt beinahe unkenntlich.

Messergebnisse - Diskussion

Jede Kachel ändert bei Erhitzung und erneuter Abkühlung ihr Volumen. Beide Proben zeigen bis ca. 200 °C praktisch die gleichen Längen-Wärmeausdehnungswerte. Dann laufen die beiden Kurven auseinander. Die Dilatationskurve von Probe Nr. 20 mit Grafitgehalt zeigt ein leichtes Absinken auf, und noch bei ca. 350 °C ändert die Probe ihre Länge nicht wesentlich. Die Dilatationskurve von Probe Nr. 26/2 steigt bei ca 200 °C steiler an und bei 400 °C erreicht sie schon die doppelten Längenänderungen (0,2 % = 2 mm/m) gegenüber Probe Nr. 20. Diese Werte erreicht die Ausdehnung bei Probe Nr. 20 erst bei rund 600 °C).

Eine Kachel mit ca 20 % Grafitgehalt in der Keramikmasse (Pr. 20) vergrößert ihr Ausmaß bei 400 °C um ca. 1 mm/m. Eine Kachel ohne Grafit (Pr. 26/2) vergrößert ihr Ausmaß bei der gleichen Temperatur um das Doppelte, also um 2 mm/m. Bei ca. 600 °C ist dieser Unterschied noch größer – bei Kachel Nr. 20 mit Grafit beträgt er 2 mm/m, bei Kachel Nr. 26/2 ohne Grafit bereits 5 mm/m.

Diese Unterschiede in den Eigenschaften der Kacheln kommen schon beim Brennen deutlich zum Vorschein, besonders in der Abkühlphase. Kacheln aus Grafitton halten dank ihrer niedrigeren Wärmeausdehnung dem Druck zur Bildung von Rissen, die z. B. durch eine Phasenumwandlung des Quarzes verursacht werden, eindeutig besser stand (siehe oben). Diese Kacheln halten auch den plötzlichen Temperaturänderungen bei über 200 °C während der Funktionsdauer des Ofens besser stand bei wiederholtem Aufheizen und Wiederabkühlen.

Ein weiterer Risikofaktor ist das unterschiedliche Ausmaß der Erhitzung auf der Außen- und der Innenseite der Kacheln. Bei einer Temperatur von ca 600 °C innerhalb des Ofens (auf der Innenseite der Kacheln) vergrößert sich eine Ofenwand von 1 m Länge aus Kacheln mit einer Grafitbeimischung von ca. 20 % um 2 mm, während sich eine Ofenwand von gleicher Länge aus Kacheln ohne Grafitbeimischung, mit einem hauptsächlich quarzhaltigen Magerungsmittel, sogar um 5 mm vergrößert, und zwar in alle Richtungen. Während sich die innere Ofenwand von 1 m² Fläche aus den Kacheln von Probe Nr. 20 mit Grafitbeimischung um 40 cm² vergrößert, vergrößert sich die Wand aus den Kacheln von Pr. Nr. 26/2 ohne Grafitbeimischung um bis zu ca 100 cm² (10 x 10 cm).

Wenn die Außenwand eines Ofens von 1 m Länge eine Temperatur von ca 200 °C hat, verlängert sie sich bei beiden verglichenen Kacheln nur um ca 0,8 mm. Die Außenwände von 1 m² Fläche vergrößern sich demnach in beiden Fällen nur um ca 16 cm² (4 x 4 cm).

Der Temperaturgradient zwischen der Innen- und Außenseite der Kacheln ruft in beiden Materialien verschieden große Spannungen in den Oberflächenschichten ihrer Innen- und Außenseite hervor. Die Spannung wird bei Kacheln aus Material mit niedrigerem Längen-Wärmeausdehnungs-Koeffizienten um ein vielfaches niedriger. Die Spannung in der Scherbe wird sich bei Anstieg des Temperaturunterschieds zwischen Innen- und Außenwand der Kacheln – z. B. beim Anheizen – erhöhen.

5. Vergleichende Auswertung der Analysen – Interpretation – Diskussion

Wir versuchen, die Teilergebnisse zusammenzufassen und sie an den einzelnen Schritten des Herstellungsprozesses mittelalterlicher Ofenkacheln zu erörtern.

5.1. Ausgangsrohstoffe

Ausgangsstoffe für die Keramik waren in unserem Fall leicht zugänglicher Naturlehm und Ton mit vielfältigem Gehalt an Begleitmineralen. Die Töpfer gewannen sie aus mehreren Lagerstätten in der Region. Der unterschiedliche Ursprung der Ausgangsstoffe wird belegt durch die Präsenz von Begleitmineralen in unterschiedlichen Verhältnissen und Kombinationen (z. B. verschiedene Anteile von Kalifeldspat, Mikroklin und Orthoklas – siehe *Diagramm 8*) und vom Vorkommen einiger spezifischer Elemente in bestimmten Proben Gruppen (z. B. die Präsenz von Zink und Chrom in geringsten Mengen; in *Tabelle 12* sind sie als Oxide gekennzeichnet – ZnO und Cr₂O₃). Auch schriftliche Quellen dokumentieren den unterschiedlichen Ursprung des Lehms in den frühmittelalterlichen Werkstätten (z. B. *Leminger 1926; Šimek 1893–95, 660–661*).

Die unterschiedliche mineralogische Zusammensetzung der Lehm- und Tonsorten hatte offenbar nicht grundsätzlich verschiedene technologische Eigenschaften zur Folge. Die Analysen belegen in unserem Fall keinerlei Verbindung zwischen einer bestimmten mineralogischen (siehe *Tabelle 4; Diagramme 3–8*) oder chemischen (*Tabelle 12*) Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und irgendeiner „technologischer“ Produktgruppe – Keramikklasse. Die Analysen beweisen im Gegenteil die Verwendung von Ausgangsstoffen mit gleicher chemischer Zusammensetzung zur Herstellung von in verschiedene Keramikklassen (*Tabelle 12*) eingeteilten und in Größe, Stärke und besonders Textur und Scherben-Mikrostruktur deutlich unterschiedlichen Kacheln (siehe *Dünnschliff* der Proben 18, 20 und 45 – *Fotos 9, 10 und 31*).

5.2. Tonmischung

Bei der Herstellung eines Tones wurde den Ausgangsstoffen absichtlich ein Magerungsmittel zugesetzt. In einigen Fällen erhöhte sich dadurch die Menge der schon vorhandenen Minerale (z. B. die von Quarz und Feldspat durch Zugabe von Sand), in andere wurden bislang nicht vorhandene Komponenten mit bestimmten erwünschten Eigenschaften in die Tonmischung gegeben (z. B. Grafit – siehe unten). Das Ziel konnte sein:

- 1) Regelung der Eigenschaften einer Keramikmischung im Kachel-Herstellungprozess:
 - a) im plastischen Zustand – bei der Formung des Produkts,
 - b) im Verlauf des Trocknens,
 - c) Verhalten des Produkts während des Brennens.
- 2) Beeinflussung der Kachel-Eigenschaften (Eigenschaften des Ofens) bei ihrer nachfolgenden Verwendung – dem Heizen.

Verschiedene Magerungsmittel, vor allem Sand (Quarz, Quarzit, Feldspat) und Grafit, wurden in verschiedenen Mengen und in verschiedener Korngröße beigegeben, je nach der Größe des Endproduktes. Die einzelnen Kacheln bzw. ihre Gruppen unterscheiden sich voneinander durch folgende Eigenschaften (Charakteristika) der verwendeten Tonmischung:

- a) Präsenz/Absenz einiger Beimischungsarten,
- b) Menge der Magerungen, gegebenenfalls ihre verschiedenen gegenseitigen Verhältnisse,
- c) Verteilung der Größe der Körner in der Magerung.

Magerungsarten. Alle gefundenen Minerale (siehe *Kap. 4.3*) konnten natürlicher Bestandteil der verwendeten Ausgangsstoffe – Lehm und Ton – sein, und kamen in vielerlei gegenseitigen Verhältnissen in allen untersuchten Proben vor. Absichtlich wurde dem Ton nur Grafit beigegeben, der in den Ausgangsstoffen nicht vorkommt. In einigen Fällen nehmen wir an, dass der Keramikmischung auch Sand als Magerungsmittel zugesetzt wurde. Dadurch erhöhte sich vor allem der Quarzanteil (evtl. auch der Feldspatanteil) an der Magerung. Der Beweis für die Sandbeimischung ist die große prozentuale Schwankung des Quarzanteils in den untersuchten Proben (siehe *Tabelle 4* – in einigen Proben wurde bis zu 5x mehr Quarz gefunden als in anderen), vor allem aber die nachgewiesene gegenseitige Abhängigkeit der Grafit- und Quarzanteile in den Proben der Klasse CK 01 (siehe *Tabelle 13; Diagramm 12*).

Der Inhalt der Magerung (Menge der Magerungsmittel-Körner) in den einzelnen Proben schwankte in einem Intervall zwischen ca. 15/20 und 40 Vol. %. Der Magerungsmittel-Gehalt in der Scherbe war allerdings nicht bei allen Kachelgruppen (Keramik-

klassen) gleich (*Tabelle 7; Diagramme 9–11*). Unzweifelhaft ist der Zusammenhang zwischen Gehalt und Größe der Magerungskörner in den Scherben – je feinkörniger das Magerungsmittel ist, desto zahlreicher sind seine Körner in der Scherbe (siehe *Tabelle 9; Diagramm 11*).

Damit ein Zusatz in der Keramikmischung der erwünschten Effekt erzielen kann, muss die Mischung eine **technologisch bedeutsame Menge** davon beinhalten, also eine Menge, die die **technologischen Eigenschaften des Materials – sein Verhalten während des Herstellungsprozesses – in die gewünschte Richtung beeinflussen kann**.

Die Korngröße der Beimischungen war sehr vielfältig (*Kap. 4.3.1–4.3.4*). Die in den Dünnschliffen festgestellten Körner waren bis zu 3 mm groß, und visuell wurden auch noch größere Körner beobachtet (10–15 mm). Markante Unterschiede zwischen den einzelnen Keramikklassen wurden festgestellt (*Tabellen 8–9; Diagramm 11*).

5.3. Zubereitung des Tons

Mischung mehrerer Ausgangsstoffe. Bei der Zubereitung von Tonmischungen kam es zur Vermengung mehrerer verschiedener Ausgangsstoffe. Mikroskopische Schcliffe bewiesen das in unserem Komplex in drei Fällen (*Kap. 4.3.5*). Wir finden in schriftlichen Quellen auch Beweise für die Vermengung von mehreren Lehmarten bzw. die Zugabe einer Lehmart zu einer anderen (*Šimek 1893–95, 661*).

Kontaminierung vorbereiteter Mischungen aus dem Produktionsumfeld. In der Keramikwerkstatt kam es offensichtlich häufig zu einer unwillkürlichen Kontaminierung vorbereiteter Mischungen durch Schmutz aus der Umgebung. Das kann man durch sehr kleine, technologisch unbedeutende Mengen einiger Beimischungen beweisen, die auf den mikroskopischen Schcliffe oder bei der chemischen Analyse gefunden wurden. Es handelt sich um geringe Mengen Grafit (besonders in Pr. Nr. 19 der Klasse CK 03), deren Präsenz keinerlei technologische Bedeutung hat, oder um vereinzelte Keramikbruchstücke.

5.4. Die Rolle des Grafits als Beimischung

Grafit beeinflusste deutlich die Eigenschaften einer Tonmischung im Verlauf des gesamten Herstellungsprozesses (besonders während des Brennens und Abkühlens der Kacheln) und auch die Eigenschaften der Kacheln und der ganzen Öfen während ihrer Funktionsdauer als Heizanlage.

Den Grafitgehalt haben wir röntgenographisch (relative Menge in Vol. %) und durch chemische Analyse (absolute Menge in Gewichts %) festgestellt. Aus dem Vergleich beider Messungen (*Tabelle 15; Diagramm 15*) geht hervor:

- 1) Die **höchsten** röntgenographisch gemessenen Grafit-Gehaltsmengen entsprechen nach den chemischen Analysen ca 20 Gewichts % Grafit in der Scherbe. Die bei Pr. Nr. 52 festgestellte Anomalie entstand als Folge der Heterogenität der analysierten Scherbe. Der höchste gemessene Grafitgehalt bewegt sich in den untersuchten Scherben in einem Bereich von 20 bis vielleicht 30 Gewichts %.
- 2) Der **niedrigste** Grafitgehalt in einer Scherbe (5,4 Gewichts %) wurde bei Probe Nr. 19 der Klasse CK 03 festgestellt (*Tabellen 12–13*).
- 3) Die Analyse der Längen-Wärmeausdehnung der Proben Nr. 20 und 26/2 (siehe *Kap. 4.5*) belegte, dass wir eine Grafitbeimischung von rund ca. **20 Gewichts %** als **technologisch bedeutende Menge** betrachten können, die in grundlegender Weise die Eigenschaften der Keramikmasse beeinflusste (*Diagramme 13–14; Tabelle 14*). Der Einfluss von Grafit in Mengen nahe den festgestellten Mindestwerten um 5 Gewichts % musste nicht so markant sein, aber vielleicht trotzdem ausreichend (z. B. hinsichtlich der Größe des Produkts).

Funktion des Grafits. In technologisch markanter Menge wurde eine Grafitbeimischung ausschließlich bei den Proben der Kacheln aus Klasse CK 01 gefunden. Meist handelt es sich um die größten Kacheln (36,5 x 36,5 cm – *Abb. 1: 3; 32 x 34 cm – Abb. 1: 20; 21 x 36 cm, 22 x 38 cm – Abb. 2: 30a*; höchste gemessene Höhe 39,6 cm bei der Gesims-Kronenkachel Nr. 5 – *Abb. 3*). Die Dicke

der Kachelblätter mit den Maßen 36,5 x 36,5 cm betrug einschließlich des Reliefs bis zu 3,4 cm. Bei den Kacheln der Klasse CK 01 wurden auch die größten Magerungskörner festgestellt (siehe *Tabellen 8–9; Diagramm 11*). Das betrifft auch die Grafitkörner.

Das Magerungsmittel als solches verringert die Plastizität der Keramikmasse und reduziert die prozentuale Schrumpfung beim Brennen. Dadurch verringert es die Gefahr der Deformierung des Produkts im plastischen Zustand und das Risiko des Reißens im Ofen. Die festgestellte Größe Maße der Magerungskörner gerade bei den Kacheln der Klasse CK 01 entsprechen den Maßen und dem Volumen der Keramikmasse und dem hohen Gewicht dieser Kacheln.

Das meistverwendete Magerungsmittel war Quarz bzw. Quarzsand (siehe *Tabellen 4, 10, 12*). Quarz vergrößert beim Brennen in der Erwärmungsphase (bei ca. 573°C) sein Volumen um etwa 4,7 %. In der Abkühlungsphase schrumpft er dann bei der gleichen Temperatur wieder auf die ursprüngliche Größe. Bei kleinen Körnern stellt diese umkehrbare (reversible) Modifikation kein bedeutendes technologisches Problem dar. Bei großen Körnern kann das anders sein. In der Abkühlungsphase haben diese Quarzkörner die Tendenz, sich von der umgebenden Keramikmasse abzulösen. So kann es zur Bildung von Innenrisen kommen, ausgehend vom Kornumfeld. Das kann in der Folge die mechanische Haltbarkeit der Kachel und ihre Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Temperaturänderungen negativ beeinflussen.

In Mischungen zur Herstellung großer Produkte mussten aber große Magerungsmittelkörner beigegeben werden. Gerade Grafit konnte die Lösung sein. Die Region Český Krumlov ist für ihre Lagerstätten bekannt und noch in den 90er Jahren des 20. Jhdts. wurde hier Grafit industriell gewonnen. Bei den größten Kacheln der Klasse CK 01 ersetzte er teilweise Quarz in der Funktion des grobkörnigen Magerungsmittels (siehe *Kap. 4.2, 4.4; Diagramm 12*). Quarz war gerade bei den Proben der Klasse CK 01 am wenigsten vertreten (röntgenografisch durchschnittlich nur 46 % des Gesamtgehalts der Kristallphase der Scherbe im Gegensatz zum Durchschnittsgehalt bei den anderen Klassen, der 66 % beträgt). Grund dafür sind die Eigenschaften des Grafits – seine Beständigkeit bei Temperaturänderungen, und das sowohl beim Erwärmen als auch beim Abkühlen.

Seine Volumenbeständigkeit im Verhältnis zu Temperaturschwankungen der Umgebung zeigt sich auch bei jedem Beheizen des Ofens und bei seiner erneuten Abkühlung.

5.5. Produktionstechnologie – das Formen der Kacheln und ihrer Teile

Die einzelnen Fragmente unterscheiden sich oftmals in der Qualität der Verarbeitung der Tonmischung (vgl. Schliffbilder der Proben aus den Klassen CK 01 und CK 04), der Korngröße der Beimischungen und der Anordnung/Orientierung der Mikrostruktur der Scherbe. Der Grund für diese Unterschiede ist nicht „chronologisch“. Die Unterschiede sind keine Folge einer technologisch fortgeschritteneren Produktionsweise. Die Herstellungstechnologie wurde vor allem von der Größe und der Herstellungsanspruchigkeit eines konkreten Produkts bestimmt:

- a)** große, dickwandige Kacheln, die auch mehrere Kilogramm wiegen konnten, benötigten grobkörniges Magerungsmittel und offenbar auch organische Zusätze, die nach dem Brennen verschwanden. Die Scherbe wurde poröser (siehe Beobachtungen an den Bruchstellen der Scherben der Klasse CK 01) und etwas leichter (die vermessenen Scherben der Klasse CK 01 hatten das geringste Gewicht – siehe *Tabelle 3*); auf den ersten Blick macht deshalb die Bruchstelle einen sehr unordentlichen, heterogenen Eindruck wie bei einem manuell hergestellten urzeitlichen Gefäß,
- b)** die dünnwandigen kleinformatischen und die durchbrochenen Kacheln der Klassen CK 03 und CK 04 haben eine sehr homogene Mikrostruktur, eine beschränkte Körnergröße der Beimischungen und besonders im Gesamtvolumen eine markant einbahnig orientierte Textur (siehe besonders die Schliffbilder 95, 97, 40 und 45).

Diese ordentliche Mikrostruktur der Scherbe konnte nur durch absichtliche einbahnige Formung der Keramikmasse

entstehen. Der Töpfer ging wahrscheinlich so vor (*Abb. 7*): **a)** auf der Töpferscheibe drehte er einen Zylinder von vorgegebenen Maßen (Wandstärke, Höhe und Durchmesser), **b)** den gedrehten Zylinder schnitt er an einer Seite mit einem Messer senkrecht auf, **c)** er schnitt ihn mit einer Seite von der Unterlage ab, und zwar einschließlich des Bodens, **d)** die entstandene Tonplatte legte er auf eine Unterlage und richtete sie aus. So gewann er eine fast ideal gerade, überall gleich dicke Tonplatte von rechteckiger Form (erforderlichen Maßen) mit geraden Rändern und vor allem stark homogenisierter einbahnig geordneter innerer Struktur. Eine so vorbereitete Tonplatte hatte eine weit größere innere Festigkeit im plastischen Zustand und auch beim Trocknen.

Die Verwendung dieser Herstellungstechnologie wird durch einen Vergleich der mikroskopischen Dünnschliffe der Proben von Relief- und durchbrochenen Kacheln (*Proben Nr. 95, 97, 40, 45*) mit den Bildern von eindeutig auf der Scheibe gedrehten Gefäßkacheln (*Fotos 36a–d*) belegt. Die Mikrostruktur dieser Proben ist vollkommen übereinstimmend angeordnet.

5.6. Die Oberflächenbearbeitung der Kacheln

Nur auf 18 Fragmenten (0,47 % des Komplexes) der Klasse CK 02 wurde eine grüne bleihaltige Glasur festgestellt (*Tabelle 16*; Schliffbild der Probe Nr. 80). Es wurden keine weiteren Oberflächenbearbeitungen (Anstriche, Engoben aus feinem Ton usw.) auf den Kachelfragmenten festgestellt. Die Innenseiten der Kachelblätter waren rau. Auch auf den Schliffen war der fließend – diffuse Übergang der Mikrostruktur zwischen der Oberfläche und dem Inneren der Scherben bemerkbar.

5.7. Der Brand

Die Brenntemperatur (siehe *Kap. 4.3*) bewegte sich innerhalb eines Intervalls von 800–900°C. Weitere Beobachtungen betreffen das mögliche Umfeld im Ofen. Unterschiedliche Bedingungen beim Brennen (reduzierende und oxidierende) machten sich bei Probe Nr. 97 durch die Entstehung von mehreren Eisenoxidformen bemerkbar, die sich farblich voneinander unterschieden (schwarz, rostfarben). Durch unterschiedliche Temperaturen in verschiedenen Teilen des Ofens kann auch die Kacheloberfläche verschieden gefärbt sein (grau, ziegelrot, hell ockergelb). Es kann sich aber auch um die Folge einer Kontaminierung handeln (siehe unten *Kap. 5.9*). Verschiedene Interferenzfarben der Glimmerschuppen weisen darauf hin, dass die einzelnen Kacheln oder ihre Teile bei unterschiedlichen Temperaturen im Rahmen des festgestellten Intervalls von 800–900 °C gebrannt wurden.

5.8. Verwendung der Kacheln – Verwendungsdauer der Kachelöfen

Durch das Brennen im Ofen wird aus dem keramischen Produkt kein Gegenstand mit unveränderlichen Eigenschaften. Keramik reagiert auch nach dem Brennen sehr empfindlich auf Einflüsse von außen, besonders auf Feuchtigkeit und Temperatur. Das betrifft auch Kacheln als Auflage des gesamten Körpers der Kachelöfen.

Jede Kachel ändert beim Erwärmen und erneuten Abkühlen ihr Volumen. Die innere und die äußere Kachelwand erwärmt sich noch dazu nicht gleichmäßig (siehe *Kap. 4.5*). Bei zu häufigem und wiederholtem Erhitzen der Kacheln konnte es zum Platzen und zur Bildung von Fugen und Rissen zwischen den Kachelkammern und dem gebrannten Lehmewurf kommen. Durch diese konnten Rauch und unangenehmer Geruch in den beheizten Raum gelangen.

Eine ähnlich negative Auswirkung konnte die Fähigkeit der gebrannten Keramik (der gesamten Öfen) haben, Feuchtigkeit aus der Atmosphäre zu absorbieren. In den Öfen wurde in der Regel nicht das ganze Jahr geheizt. Gewöhnlich heizte man nur in den kalten Jahreszeiten oder zu bestimmten Gelegenheiten (in Räumen für Gäste usw.). Während der Ruhepausen „sog“ der Ofen Feuchtigkeit aus der Umgebung auf. Je länger die Pause war und je extremer die Bedingungen, desto größer war die Gefahr, daß angesammelte atmosphärische Wasser in den Poren beim Erwärmen kondensierte, sich zu Dampf verwandelte, und dadurch Teile des Ofens abplatzen. Bei schnellem Erwärmen konnte es zu

ernsthafte Beschädigung des Ofens kommen.

Eine wichtige Rolle konnte auch hier der Grafit spielen. Seine Beimischung reduzierte die Vergrößerung des Kachelvolumens beim Einheizen im Ofen (siehe oben in Kap. 4.5). Es ist nicht klar, ob die mittelalterlichen Kachelofenbauer sich dieser Eigenschaft bewusst waren, mit ihr rechneten und sie absichtlich nutzten. Die Tatsache aber bleibt, dass Öfen aus Kacheln mit relativ hohem Grafitgehalt bei gleichen Bedingungen eine höhere Lebensdauer haben als Öfen aus Kacheln mit ausschließlich grafitlosem Magerungsmittel.

5.9. Lagerung im Boden und mögliche Kontaminierungen

Zu Verunreinigungen der Gegenstände kam es auch bei der Lagerung im Boden. Diese „sekundären“ Verschmutzungen konnten sowohl das heutige physische Aussehen (Oberflächenfarbe und -Struktur) als auch die (Phasen- oder chemische) Zusammensetzung der Scherben beeinflussen. Diesem Problem müssen wir bei der Auswertung der erhaltenen Daten Beachtung schenken.

Auf einigen Scherben waren andersfarbige (graue, ziegelrote oder hell ockerfarbene) Oberflächenschichten bemerkbar. Es kann sich um Korrosions-Schichten – Alterserscheinung der Scherben in Folge der Reaktion mit der Umgebung, in der sie sich langfristig befanden (Fotos 33–35; siehe oben, Kap. 4.3), oder um die Auswirkung verschiedener Temperaturen im Brennofen (siehe Kap. 5.7) handeln.

Die Proben Nr. 41, 95, 101, in denen das Mineral *Wavelit* / $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{F},\text{OH})_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ / identifiziert worden war, waren augenscheinlich mit Phosphorlösungen verunreinigt. Eine mögliche Erklärung bieten die Fundumstände – die Kachelfragmente waren zusammen mit einer großen Menge Tierknochen gelagert. Auch die Präsenz von Calcit- und Magnesit-Körnern in Probe 52 ist durch sekundäre Kristallisation der erwähnten Minerale bei der Kontaminierung der Scherbe mit Kalk- und Magnesiumlösungen erklärbar. Eine der Alterserscheinungen von Keramikscherven kann die Hydratation von geringkristallinen Phasen und dehydroxydierter tonhaltiger Minerale in der Keramikmasse sein. So kann man z. B. auch die Präsenz von Kaolinitkörnern in den Proben Nr. 13 und 37 erklären.

5.10. Keramikklassen

Ein Ziel der durchgeführten Analysen war auch zu überprüfen, ob es sinnvoll ist, große Komplexe von Keramikfragmenten in sog. Keramikklassen einzuteilen. Am Beispiel unseres konkreten Komplexes können wir so wenigstens Antworten auf einige Fragen andeuten: **a)** was können die sog. Keramikklassen aussagen, **b)** welche Analysenarten können uns bei ihrer Überprüfung helfen, **c)** welche Grenzen gibt es bei der makroskopischen Beurteilung der Keramikfragmente.

Die Korngröße der Beimischungen lässt sich nur durch ihre Messung an mikroskopischen Dünnschliffen genau bestimmen. Der Dünnschliff gewährt auch eine relativ genaue Information darüber, welche Magerungs-Korngrößen in dieser oder jener Probe normal und welche aussergewöhnlich oder extrem sind. Eine visuelle Beurteilung ist hier nicht ausschlaggebend – sie ist nämlich durch die Erkennungsfähigkeit des menschlichen Auges beeinflusst. Dieses registriert normalerweise erst etwas größere und farblich unterschiedliche Körner (ca. ab einer Größe von 0,2/0,3–0,5 mm), aber keine sehr kleinen Körner (ca. 0,06–0,12 mm).

Bei der Beurteilung von Scherben mit dem bloßen Auge sind wir, und das auch bei ausschließlich frischen Bruchstellen, nur fähig einen Teil der Gesamtmenge der Magerungs-Körner zu identifizieren. In den meisten Fällen können wir daher nicht objektiv bestimmen, welche Magerungs-Korngröße für eine konkrete Probe charakteristisch und vielleicht technologisch am markantesten ist.

Diese Einschränkung beeinflusst auch unsere Fähigkeit, visuell den **Magerungsgehalt** in der Keramikmischung zu bestimmen. Mit dem bloßen Auge können wir grob den Anteil an Beimischungskörnern schätzen, die größer als ca. 0,2/0,3–0,5 mm sind. Scherben mit einem höheren Anteil an größeren Bei-

mischungskörnern machen so auf den ersten Blick den Eindruck, als ob sie mehr Magerungsmittel enthielten, auch wenn das tatsächlich nicht der Fall sein muss. Die Eigenschaften einer Keramikmischung können aber auch von Beimischungskörnern, in technologisch bedeutender Menge, in einer Größe von 0,05–0,1 mm beeinflusst werden.

Auch die visuelle Bestimmung wenigstens der **Hauptbestandteile der Magerung** hängt oft gerade von der Größe der jeweiligen Körner ab. Makroskopisch kann man weder die Verhältnisse der einzelnen Beimischungsarten – Quarz, Feldspat, Glimmer, gegebenenfalls Grafit u.a. – zueinander abschätzen. Bei einigen kann man wohl sagen, ob es davon in der Mischung „viel“ oder „wenig“ gibt. Meist sind auch die Minerale visuell nicht erkennbar, die nur in Spuren enthalten sind. Gerade diese Elemente können aber sehr wichtige Informationen über die Brenntemperatur eines Produkts, den Herstellungsort oder den Herkunftsort der verwendeten Rohstoffe bringen.

Visuell konnten wir die Fragmente nach einigen markanten gemeinsamen Merkmalen, gegebenenfalls auch nach Unterschieden, einteilen, auch wenn ihre Herkunft zu dem Zeitpunkt nicht bekannt war. Bei der visuellen Bewertung der Scherben wurde zum Beispiel die Technologie der Kachelformung nicht in Betracht gezogen. Auf den Dünnschliffen haben wir jedoch danach die mikroskopischen Spuren des Drehens auf der Scheibe (einbahnig angeordnete Mikrostruktur) und das Pressen des Tons in Formen (Flussbilder) identifiziert. Unbewusst haben wir so eigentlich auch die Äußerungen des Formens der Keramikmasse berücksichtigt und nicht nur die Eigenschaften der Keramikmasse selbst.

Die einzelnen Fragmente wurden nicht nach den messbaren Fakten in die Keramikklassen eingeteilt, sondern auf Grund empirischer Erfahrungen, gewonnen durch langfristigen visuellen und physischen Kontakt mit tausenden Fragmenten des Komplexes. Nicht in einem einzigen Fall kam es nach der Durchführung der Analysen zur Überführung eines Fragments in eine andere Keramikklasse. Die durchgeführten Analysen bestätigten die Richtigkeit der Einteilung des Komplexes in die erwähnten vier Keramikklassen, oftmals jedoch paradoxerweise aus anderen Gründen als wir ursprünglich gedacht haben (siehe oben).

Die einzelnen Keramikklassen können wir auf der einen Seite mit bestimmten Typen von Keramikmischungen gleichsetzen, die für bestimmte Kachelarten verwendet wurden (große, durchbrochene usw.). Speziell zubereitete Tone unterschieden sich voneinander besonders durch die Menge, die Arten und die Korngröße des Magerungsmittels und durch die organischen Beimischungen. Auf der anderen Seite zeigten sich in der Bewertung auch die Spuren der Technologie beim Formen der Kacheln oder der halbfertigen Produkte. Die Zusammensetzung der verwendeten Tone und die gewählte Herstellungstechnologie spiegeln zusammen wider, wie anspruchsvoll die Produktion dieser speziellen Kachelart war.

Die von uns beobachteten Charakteristika, die als Maßstab für das Einordnen in die einzelnen Keramikklassen diente, werden der Größe oder der Herstellungstechnologie der Endprodukte gerecht. Sie spiegelt eigentlich die Ansprüche des Herstellungsprozesses an die Eigenschaften der verwendeten Tone und die Ansprüche des Endprodukts an die gewählte Formungstechnik wider. Als Regulator für die Eigenschaften der Tone im Herstellungsprozess und in manchen Fällen auch als Regulator für das Verhalten des Endprodukts dienen Magerungsmittel verschiedener Art und Korngröße und in unterschiedlicher Menge.

Kein verlässliches Kriterium ist hingegen die heutige Farbe der Kacheloberfläche. Diese konnte von einer Reihe Faktoren beeinflusst werden – die chemische Zusammensetzung der Keramikmasse, das Umfeld im Ofen, die Brenntemperatur und auch die Bodenverhältnisse, zu denen die Kacheln gefunden wurden.

Es zeigte sich auch, dass die chemische Zusammensetzung der verwendeten Rohstoffe weder die Eigenschaften der Keramikmasse während des Herstellungsprozesses noch die Eigenschaften des Endprodukts beeinflusste. Das gilt auch für den Grafit. Wichtig waren vor allem die physikalischen Eigenschaften.

6. Schlussfolgerung

Bei der Interpretation der Analysen müssen wir bedenken,

dass die untersuchten Produkte kein Ergebnis gesteuerter industrieller Herstellung sind. Das betrifft sowohl die Zusammensetzung und Zubereitungsweise der verwendeten Tone, als auch die Formung und den Brand der Endprodukte. Die Genauigkeit der Schlussfolgerungen muss darum immer proportional zur Genauigkeit der Herstellungsweise sein (z. B. *Hanykýř – Ticová – Salač 1998*, 107).

Auch die Frage des möglichen Limits für die Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse bleibt offen. Ein Grund dafür ist der Mangel an Vergleichsmaterial, ein zweiter die Spezifität der untersuchten Gegenstände – der Ofenkacheln. Es handelt sich um technische Keramik mit sehr begrenzter Nutzung und klar vorgegebenen geforderten Eigenschaften.

Als sehr irreführend für die Bewertung der Entwicklung der technologischen Prozedur erweist sich die physische Erscheinung der Produkte. Bei urzeitlicher Keramik wiesen schon *V. Hanykýř, E. Ticová* und *V. Salač (1998, 110)* auf dieses Problem hin, die die Herstellung grobkörniger latènezeitlicher Keramik mit Hilfe der Töpferscheibe nachgewiesen hatten. Das physische Aussehen wird grundsätzlich durch den konkreten Herstellungsprozess und die geforderten Funktionseigenschaften des Produkts, und nicht durch die Entwicklung des Handwerks zu der gegebenen Zeit beeinflusst.

Als notwendige Bedingung für den Erfolg betrachten wir die Kombination mehrerer Analysearten und eine vergleichende Auswertung der Daten in intensiver Diskussion zwischen dem Archäologen und entsprechenden Spezialisten.

Deutsch von B. Aitchison, P. Trebsche, English by S. Aitchison

Literatura

Becker, A. – Rasbach, G. 2003:

Die spätaugusteische Stadtgründung in Lahnau-Waldgirmes. Archäologische, architektonische und naturwissenschaftliche Untersuchungen. Mit Beiträgen von Susanne Biegert, Thomas Brachert, Thomas Keller, Angela Kreuz und Udo Schreiber. *Germania* 81, 147–199.

Břeň, D. – Kašpar, V. – Vařeka, P. 1995:

K problematice počítačového zpracování středověké keramiky (Databáze KLASIFIK). *Archeologické fórum* 4, 36–41.

Ernée, M. 2002:

Krummauer Ofenkacheln der Gotik und Renaissance. Ein Beitrag zu den Kontakten des südlichsten Böhmen mit dem Donauraum im Spätmittelalter. In: Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen. 11. Treffen, 20. bis 23. Juni 2001 in Oberzell, Rahden/Westf., 273–285.

Ernée, M. 2003:

Svatá Kateřina Alexandrijská, Kristus, nebo král? K interpretaci gotických kachlových reliéfů z Českého Krumlova a Velkého Meziříčí — St. Katharina von Alexandria, Christus oder

König? Zur Interpretation gotischer Kachelreliefs aus Český Krumlov und Velké Meziříčí. *Archeologické rozhledy* 55, 68–75.

Ernée, M. 2004:

Gotické a renesanční kamnové kachle z hradu a zámku v Českém Krumlově. *Castellologica bohemica* 9, 127–144.

Ernée, M. – Vařeka, P. 1998:

Die Graphittonkeramik des 13. Jahrhunderts in Südböhmen und Prag. In: Poláček, L. (Hrsg.): Frühmittelalterliche Graphittonkeramik in Mitteleuropa — Naturwissenschaftliche Keramikuntersuchungen, Internationale Tagungen in Mikulčice IV. Brno, 217–230.

Ernée, M. – Vítanovský, M. 2003:

Rezaná negativní dřevěná forma – první krok při výrobě čelní vyhřívací stěny kamnového kachle? — Die geschnitzte Negativform aus Holz – der erste Schritt bei der Herstellung der reliefierten Blattkachel? *Archeologické rozhledy* 55, 548–560.

Gregerová, M. – Procházka, R. 1998:

Erste Ergebnisse naturwissenschaftlicher Untersuchungen an Graphittonkeramik aus Brno (Brünn). In: Poláček, L. (Hrsg.): Frühmittelalterliche Graphittonkeramik in Mitteleuropa – Naturwissenschaftliche Keramikuntersuchungen, Internationale Tagungen in Mikulčice IV. Brno, 275–278.

Halík, J. 1948:

O starých plzeňských kamnářích. Plzeň.

Hanykýř, V. – Ticová, E. – Salač, V. 1998:

Chemicko-technologický průzkum laténské keramiky ze severozápadních Čech. *Archeologické rozhledy* 50, 106–115.

Klápště, J. 2002:

Archeologie středověkého domu v mostě (čp. 226) — The archaeology of a medieval House (No. 226) in Most. Praha – Most.

Krajč, R. 1997:

Středověká kachlová kamna v Táboře (Archeologický výzkum v Křižkově ulici čp. 28). Tábor.

Leminger, E. 1926:

Umělecké řemeslo v Kutné Hoře. Praha.

Novotná M. 2000:

Změny mikrostruktury, fázového složení a technologie keramických materiálů v rozmezí 1000 let. Diplomová práce FCHT, VŠCHT Praha.

Pařík, V. – Hazlbauer, Z. 1991:

Technologie výroby gotických kachlů s prořezávanou čelní stěnou. *Archaeologia historica* 16, 293–304.

Šimek, J. 1893–95:

Zprávy o kutnohorských hrnčích (1435–1583). *Památky archeologické* 16, 653–662.

Mgr. Michal Erneé, Archeologický ústav AV ČR Praha, Letenská 4, CZ 118 01 Praha 1, e-mail: erne@arup.cas.cz

Doc. Ing. Vladimír Hanykýř, DrSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Katedra skla a keramiky, Technická 5, CZ 166 28, Praha 6-Dejvice, e-mail: vladimir.hanykyr@vscht.cz

Doc. Ing. Martin Maryška, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Katedra skla a keramiky, Technická 5, CZ 166 28, Praha 6-Dejvice, e-mail: martin.maryska@vscht.cz