

Koucká, Andrea; Novák, Marek

### **Experimentální výroba laténské grafitové keramiky v Panské Lhotě**

In: *Workshopy ke středověké a novověké keramice : Panská Lhota 2015*. Měřínský, Zdeněk (editor); Klápště, Jan (editor). 1. vydání Brno: Masarykova univerzita, 2016, pp. 56-67

ISBN 978-80-210-8151-2 (print); ISBN 978-80-210-8152-9 (online)

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/135472>

Access Date: 28. 11. 2024

Version: 20220831

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

# EXPERIMENTÁLNÍ VÝROBA LATÉNSKÉ GRAFITOVÉ KERAMIKY V PANSKÉ LHOTĚ

Andrea Koucká – Marek Novák

## Abstrakt:

*Příspěvek se zabývá tématem grafitové keramiky z doby laténské, zejména jejími funkčními vlastnostmi. Teoretická část se snaží především kriticky zhodnotit dosud předpokládané a obecně rozšířené představy o vlastnostech grafitové keramiky. Dále se zaměřuje na některé technologické aspekty grafitové keramiky, kterými jsou množství grafitu v keramické hmotě a optimální teplota výpalu grafitové keramiky. Všechny tyto informace jsou pak využity v praktické části, jež popisuje experimenty s grafitovou keramikou, které byly provedeny letos na vědecko-výzkumné základně ÚAM FF MU v Panské Lhotě. Cílem těchto experimentů bylo ověřit některé z obecně předpokládaných užitkových vlastností grafitové keramiky.*

## Klíčová slova:

**grafit – keramika – doba laténská – experiment – výpal v mlíži.**

## Abstract:

**Experimental production of La Tène graphite pottery in Panská Lhota**

*The paper is focused on the topic of graphite pottery from the La Tène period, particularly on its functional properties. The theoretical part mainly tries to critically evaluate the hitherto assumed and widespread ideas of properties of graphite pottery. It is also targeted at several technological aspects of graphite pottery, for example the graphite content in ceramic material and the optimal firing temperature of graphite pottery. All this information is then used in practical part which describes the experiments with graphite pottery which were carried out in 2015 in the scientific and research base of the Department of Archaeology and Museology, Faculty of Arts, Masaryk University, at Panská Lhota. The aim of these experiments was to verify some of the generally assumed utility properties of graphite pottery.*

## Keywords:

**graphite – pottery – La Tène Period – experiment – firing in a charcoal kiln.**

## Úvod

Grafitová keramika patří v mladší době železné, zejména v jejím středním stupni, k určitému standardu hrnčířské produkce a rozsah jejího území často přesahuje hranice střední Evropy (viz Kappel 1969, 123; Hlava 2008, 215). Grafitová keramika je zastoupena téměř na každém laténském sídlišti a její přítomnost na lokalitách, často i značně vzdálených od přirozených výchozů grafitu (viz Havancsák et al. 2009, 39), nám dovoluje považovat ji za jistou nedílnou, nebo snad dokonce nutnou součást laténské domácnosti.

Jaké jsou však důvody pro takovou oblibu/potřebu grafitové keramiky? Proč se grafitová keramika vyskytuje jen v určitéch

tých obdobích a kulturách? Jaký byl její účel a byl její účel ve všech obdobích stejný? Používala se snad grafitová keramika k neznámým kultovním praktikám, nebo měla čistě praktické využití, případně nějaký symbolický význam? Jaká je vlastně funkce grafitu v keramické hmotě?

Náš tým se na otázky týkající se praktického využití grafitové keramiky pokusil získat odpověď metodou experimentů uskutečněných v roce 2015 na vědecko-výzkumné základně ÚAM FF MU v Panské Lhotě čp. 31. Částečně jsme tak navázali na předchozí sezóny zaměřené na výrobu a výpal středověké keramiky (viz Bočková et al. 2014). V roce 2015 se část experimentů probíhajících v Panské Lhotě mj. zaměřila na přípravu surového grafitu a výrobu grafitových nádob, dále na výpal grafitové keramiky a následně zjištění/ověření předpokládaných užitkových vlastností grafitové keramiky. Při našich experimentech jsme vycházeli z hypotézy, že pokud grafit v keramice vytváří nějakou speciální vlastnost, kvůli které dosáhla grafitová keramika tak široké obliby, měla by se touto vlastností grafitová keramika od negrafitové výrazně odlišovat. Ona specifická vlastnost, kterou předpokládáme, musela být pro tehdejší uživatele potřebná a běžně pozorovatelná, tudíž i my bychom ji měli být schopni identifikovat, a tím interpretovat funkci grafitové keramiky. Dalším předpokladem je, že tuto specifickou vlastnost by měl poskytovat grafit sám o sobě bez ohledu na druh použité hlíny. Vycházíme z toho, že se předpokládá transport grafitu, nikoliv samé hlíny, což mj. dokládají i novější přírodovědné analýzy nálezů z lokalit ležících mimo surovinové zdroje grafitu (Gregor–Březinová 2008, 95; Thér–Mangel 2014, 22).

## Předpokládané funkční vlastnosti grafitové keramiky

Studium grafitové keramiky je dlouhodobě zaměřeno spíše na otázky týkající se provenience grafitu a distribuce grafitové keramiky, nejčastěji za využití mikropetrografické analýzy (Köhler–Morton 1954; Woerman 1969; Kristová 1994; Bibr 1997; Hložek–Gregerová 2001; Hložek 2003; Gregor–Čambal 2009; Březinová–Gregor 2012; Havancsák et al. 2014), ze které se dají určit i některé technologické vlastnosti grafitové keramiky, například orientační teplota výpalu, charakter vypalovacího zařízení, zda je grafit součástí pojiva nebo ostřiva, případně zda byl před přidáním do těsta upravován (Hložek–Gregerová 2001, 118). Otázkám fyzikálních vlastností a případné funkce grafitové keramiky však nebyla až na výjimky (Wirska–Parachoniak 1980, 77–79; Rzeźnik–Stoksik 2004) ve větší míře věnována pozornost.

Většina badatelů zabývajících se grafitovou keramikou nejen z doby laténské se přiklání k jejímu praktickému využití (Kappel 1969, 24; Hložek 2003, 29; Fusek–Spišiak 2005, 291–292; Hlava 2008, 213–214; Gregerová a kol. 2010, 99–100). Při svých závěrech většinou vycházejí z fyzikálně-chemických

vlastností grafitu jako nerostu, které automaticky připisují i grafitové keramice. Mezi tyto vlastnosti patří především voděodolnost, vysoká žáruvzdornost,<sup>2</sup> tepelná vodivost a odolnost vůči teplotním šokům, z čehož se obvykle vyvozuje, že grafitová keramika je méně propustná/nasáková, žáruvzdorná/ohnivzdorná,<sup>3</sup> lépe drží teplo a je vhodná pro přímé vaření v ohni. Pokud by grafitová keramika měla všechny tyto vlastnosti, nabízela by se široká škála využití.

Výše jmenované předpokládané vlastnosti grafitové keramiky, pokud je latěnská hrnčířská tehdy znali, by se daly dále dobře využít při přípravě pokrmů či skladování potravin. Z konkrétních surovin se uvažovalo například o sádle nebo o medu (Hložek 2003, 108), starší názory na skladování soli (Břeň 1987, 3) se dnes nepovažují za oprávněné (Hlava 2008, 214). Předpokládaná menší nasákovost grafitové keramiky by mohla nasvědčovat i přechovávání tekutin, ale s tím se zase neslučuje častá reparace grafitových nádob (Jansová 1955, 175), po které by již nebyly na přechovávání tekutin vhodné. Na druhé straně reparace grafitových nádob nejen v době laténské vypovídá o jisté důležitosti grafitové keramiky. Pro vaření v přímém ohni by mohly svědčit zuhelnatělé příškvary na vnitřních stranách grafitových nádob (souhrnně Hlava 2008, 214), ovšem grafitová keramika se objevuje i v hrobech (Benadik 1961), kde plnila pravděpodobně spíše funkci obalových nádob. Je třeba vzít v úvahu i experimentálně ověřený fakt, že při pravidelném vaření v přímém ohni, tedy za silně oxidačních podmínek, by časem došlo k vyhoření grafitu a celkovému snížení kvality keramiky (Kreiter et al. 2013, 175). Kuchyňskou a uskladňovací funkci by naopak podporovala tvarová škála latěnských grafitových nádob, která je v naprosté většině omezena na situlovitě, hrncovitě a zásobnicovitě tvary (Haník 2010, 353). Podobně je tomu i v ostatních obdobích spojených s výskytem grafitové keramiky. V kultuře s lineární keramikou je grafitová hmota vázána převážně na hrubou keramickou produkci (Tichý 1969, 80), pozděně halštatská grafitová keramika je opět spjata především s hrncovitými nádobami (Podborský 1970, 77) a v mladší době hradištní a ve vrcholném středověku je grafit ve velkém množství přidáván hlavně do masivních zásobnic a hrnců (Mackerle 1955, 84; Nekuda–Reichertová 1968, 31). Vnější stěny laténské grafitové keramiky jsou často zdrsňeny souvislým rýhováním. Podle M. Hložka rýhování sloužilo při chlazení obsahu nádob po vaření pomocí kamenů, protože rýhy zvětšují na povrchu plochu chlazenou vzduchem (Hložek 2003, 30), což by bylo trochu kontraproduktivní vzhledem k tomu, že se předpokládá, že grafitová keramika měla dobrou tepelnou vodivost.

Pokud bychom připustili kuchyňskou a uskladňovací funkci grafitové keramiky, musíme počítat s jedním výrazným negativem při jejím používání. Grafitová keramika se velmi snadno otírá. Zejména při vaření by tudíž muselo docházet k časté kontaminaci potravin grafitem, což sice mohlo mít podle M. Hložka pozitivní vliv na organismus (2003, 32), nemyslíme si však, že by zabarvení připravovaných pokrmů bylo žádoucí. Dalším negativem této interpretace je fakt, že vlastnosti spojené s přípravou a přechováváním potravin nebyly prozatím experimentálně ověřeny, výsledky některých analýz tyto užitečné vlastnosti grafitové keramiky naopak spíše nepotvrzují (Rzeźnik–Stoksik 2004, 342).

Ještě je potřeba zmínit další důležitou vlastnost grafitu, kterou je jeho nízký koeficient tření, díky němuž se používá

jako mazadlo například v textilních strojích (Kučvart 1984, 168). Tuto vlastnost lze využít i při formování nádob, kdy grafit usnadňuje práci s hlinou, dodává hmotě klouzavost, zvyšuje její plasticitu a zároveň funguje jako lehčivo (Rzeźnik–Stoksik 2004, 342). A v neposlední řadě je třeba vzít v úvahu i estetické hledisko, které však nelze experimentálně ověřit.

Prozatím spíše ojedinělé, ale o to zajímavější jsou názory na neutilitární funkci grafitové keramiky vycházející z etnografických studií. Použití grafitu jako ostřiva v keramice mohlo mít i hlubší význam z hlediska symboliky a chápání grafitu jakožto minerálu, který v sobě obsahuje celý proces svého získávání a zpracování, včetně náročnosti takového procesu, například dlouhé cesty, kterou musel urazit od svých zdrojů. Důležitou roli mohla hrát i symbolika místa, odkud grafit pocházel, případně symbolika daného minerálu, který nemusel vždy vykazovat technologicky vhodné vlastnosti pro určité použití, ale přesto byl použit. Získání, případně zpracování takto metaforicky chápaného grafitu pak mohlo výrazně posílit sociální vztahy mezi výrobcí grafitových nádob a těmi, kteří grafit dováželi (Kreiter et al. 2013, 176–177).

#### Kvantitativní zastoupení grafitu v keramické hmotě

Abychom mohli prakticky vyzkoušet některé z předpokládaných vlastností grafitové keramiky, bylo potřeba vyrobit grafitové hlíny, které by měly kvantitativní podíl grafitu podobný laténské keramice. Výsledky takto zaměřených analýz grafitové keramiky jsou však problematické, neboť ukazují, že množství grafitu v keramické hmotě značně kolísá (Hlava 2008, 232). L. Franz, který analyzoval střepy z Třisova, zjistil, že jeden střep obsahoval 42,86 % grafitu a jeden dokonce 83 % (Břeň 1987, 4). Pozdější analýzy latěnských a středověkých grafitových střepů tyto výsledky nepotvrdily, množství grafitu se pohybovalo buď v rozmezí 17–21 %, nebo 10–13 % (Břeň 1987, 7). Podle novějších analýz grafitové keramiky z maďarských latěnských lokalit nepřesáhlo množství grafitu ve hmotě 40 % (Havancsák et al. 2009, 39). Množství grafitu kolísá i v polské grafitové keramice od 6,8 % do 34,3 % (Wiraska–Parachoniak 1980, 80, tabula 4). P. Trebsche stanovil pro výpočet množství hlíny a grafitu potřebného k výrobě jedné nádoby procentuální hmotnostní zastoupení grafitu na 20 % (Trebsche 2011, 451). Podobně rozporuplné jsou i výsledky analýz středověké grafitové keramiky ze Šindolky, podle kterých množství čistého grafitu kolísalo od 1,34 % do 37,98 % (Fusek–Spišiak 2005, 295). Experimentálně bylo zjištěno, že pokud je kvantitativní zastoupení grafitu v keramice více než 15 %, zvyšuje se ohnivzdornost nádoby (Wiraska–Parachoniak 1980, 79). Jinak by se však z výše uvedeného mohlo zdát, že pro grafitovou keramiku nebylo ani tak prvořadé množství grafitu jako spíše sama jeho přítomnost v keramické hmotě. Kromě množství grafitu je různorodá i zrnitost grafitu. Z mikropetrografických rozborů víme, že do keramického těsta byl přidáván jak jemně mletý grafit (několik  $\mu\text{m}$ ), který se stal nedílnou součástí pojiva, tak i hrubě drcený grafit (max. do 5 mm), který zastával funkci ostřiva (Hložek–Gregerová 2001, 124; Havancsák et al. 2009, 39).

#### Výpal grafitové keramiky

Určit teplotu výpalu grafitové keramiky se pokoušela již řada badatelů, přesto ani v této oblasti nepanuje shoda. Zjištěné

hodnoty jsou, podobně jako v případě procentuálního množství grafitu v keramice, značně různé. Technologickými rozborů byla teplota stanovena maximálně na 800 °C (Hlava 2008, 232). Podle M. Hložka bylo 95 % laténské grafitové keramiky páleno v rozmezí 300–700 °C a pouze 5 % na teplotu vyšší než 700 °C, přičemž redukční výpal probíhal v rozmezí teplot 500–650 °C, oxidační v rozmezí 600–900 °C (Hložek 2003, 63–64). K opačným hodnotám dospěli slovenští badatelé, podle nichž oxidační výpal keramiky probíhal maximálně do 600 °C, zatímco redukční výpal mohl dosahovat teploty až 900 °C (Gregor–Čambal 2009, 263). Badatelé vycházejí ze základní vlastnosti minerálu – grafit má tendenci s narůstající teplotou v oxidačním prostředí vyhořívát, proto by oxidační výpal grafitové keramiky neměl přesahovat 600 °C, zatímco v redukční atmosféře je grafit stálý až do 900 °C. Proto je při výpalu grafitové keramiky vhodnější dodržovat redukční prostředí. Stanovení teploty, od které dochází k oxidaci grafitu, se ovšem v podání dalších autorů poněkud liší. Podle některých začíná oxidace mezi 400 a 600 °C (Procházka et al. 2011, 308), jiní uvádějí rozmezí 600 až 700 °C (Kužvart 1984, 124). Lze najít i poměrně široký rozptyl 400–1100 °C (Kappel 1969, 24). Oxidace grafitu závisí i na jeho zrnitostní frakci. V případě submikrokrytalického až mikrokrytalického grafitu dochází k jeho oxidaci v rozmezí 510–550 °C, makrokrytalický grafit začíná oxidovat až při 700–730 °C (Beránková 1996, 43; Bibr 1997, 28–29). Poměrně vysoké teploty výpalu grafitové keramiky uvádí polská badatelka M. Wirska-Parachoniak, podle které teplota výpalu závisela na množství grafitu v keramické hmotě. Pokud se pohybovalo v rozmezí 6–12 %, bylo možné nádoby vypalovat na 1100–1120 °C, pokud obsahovaly 16–30 % grafitu, teplota výpalu se musela pohybovat v rozmezí 1280–1320 °C (Wirska-Parachoniak 1980, 79). To by poněkud odporovalo teorii, že grafit byl do keramické hmoty přidáván z důvodu snížení teploty potřebné k výpalu keramiky (Hložek–Gregerová 2001, 126). Posledně jmenovaní badatelé uvádějí teplotu výpalu laténské grafitové keramiky kolem 700 °C (tamtéž). Stejnou teplotu výpalu předpokládá M. Hložek i u neolitické grafitové keramiky (2012, 39, 42). Pro srovnání s laténskou grafitovou keramikou zde uvedeme ještě hodnoty výpalu mladší grafitové keramiky. V případě raně středověké grafitové keramiky byla maximální teplota výpalu stanovena v některých případech na 500 °C (Kristová 1994, 38), v jiných případech na 700 °C (Bibr 1997, 39–42). Stejně teploty (700 °C) pak bylo dosaženo i při experimentálním výpalu raně středověké grafitové keramiky (Beránková 1996, 54). Experimentální výpal 20% grafitové keramiky provedl v rámci svých četných výpalů i R. Thér (2009, 215–216), bohužel však bez bližší specifikace výsledků. Poměrně nízké teploty výpalu (550–560 °C) byly zjištěny u středověké grafitové keramiky ze Slezska (Rzeźnik–Stoksik 2004, 335).

### Experimentální výroba grafitové keramiky

Pro naše experimenty jsme měli k dispozici grafit celkem ze tří lokalit: z Drhověle u Písku, z Lubnice u Jemnice a z Jevíčka. Vzorok z všech tří lokalit jsme pomocí kamene<sup>4</sup> a kladiva nadrtili a prosíváním přes různá síta (obr. 1A–C) rozdělili na celkem čtyři zrnitostní frakce F0–F3, přičemž F0 je nejjemnější a F3 nejhrubší frakce (viz tab. 1). Dále jsme měli k dispozici i průmyslově zpracovaný jemně namletý grafit, ten



Obr. 1. A – přírodní grafit; B – drcení grafitu; C – přesívání grafitu; D – zapracování grafitu do keramické hmoty.

Abb. 1. A – Naturgraphit; B – Zerschlagen von Graphit; C – Durchsieben von Graphit; D – Beimengung von Graphit zur keramischen Masse.

	Drhověle	Lubnice	Jevíčko
F0	0,25	0,25	0,25
F1	0,25–3	1	1
F2	3–11	2	2
F3	více než 3	více než 2	více než 2

Tab. 1. Přehled jednotlivých frakcí grafitu získaných po drcení.

Tab. 1. Übersicht einzelner Graphitfraktionen nach dem Zerschlagen.

byl však použit pouze v jednom případě. Jako surovinu pro výrobu keramiky jsme použili jednak průmyslově zpracovanou točířskou hlinu, jednak místní hlinu ze staré cihelny u Panské Lhoty a hlinu z cihelny ve Šlapanicích u Brna.

Grafitovou hlinu jsme vyráběli ve dvou etapách. V první etapě jsme se zaměřili na použití hrubší a jemnější frakce grafitu v různém objemovém poměru. Použili jsme převážně šedou točířskou hlinu, což se později ukázalo jako nepřilíš vhodné vzhledem k nutnosti vysokého stupně výpalu, a zkušebně jsme použili do jednoho vzorku průmyslový grafit. Grafit jsme do hlín přimíchávali ručně (obr. 1D) za občasných přidávání menšího množství vody, což je nutné zejména v případě točířské hlíny, která je již připravena v ideálním poměru. Jednu hlinu jsme pro srovnání ponechali bez příměsí grafitu. Z takto získaných grafitových hlín (viz tab. 2) jsme od každého druhu vyrobili válečkovou technikou malou nádobku (průměr dna 8 cm, výška 8–14 cm; obr. 2A) a dvě zkušební cihličky o rozměrech 7 × 2,5 cm.

Ve druhé etapě jsme se zaměřili na rozdíly mezi jednotlivými druhy grafitu, proto jsme se rozhodli pro výrobu grafitových hlín s jednotným 30% objemovým obsahem grafitu. Tuto hodnotu jsme na základě výše uvedené rešerše zjištěných



Obr. 2. A – grafitové nádoby I–VI z první etapy výroby; B – grafitové nádoby a kolečka I–VII z druhé etapy výroby; C – grafitová keramika z prvního výpalu v milíři.

Abb. 2. A – Graphittongefäße I–VI aus der ersten Etappe der Herstellung; B – Graphittongefäße und -räder I–VII aus der zweiten Etappe der Herstellung; C – Graphittonkeramik aus dem ersten Brand im Meiler.

procentuálních množství grafitu v keramice stanovili jako průměrnou. Rovněž jsme v jednom případě zkusili grafit nahradit nadrceným dřevěným uhlím, jehož užití se předpokládalo dříve (Makyta 1971, 97), ale dnes je nahlíženo spíše skepticky (Hlava 2008, 198). Použita byla výhradě hlína ze Šlapanic a opět byl pro porovnání ponechán vzorek jedné hlíny bez příměsi (viz tab. 2). Z každé hroudy grafitové hlíny jsme vymačkáním v ruce vyrobili malou polokulovitou nádobku o průměru okraje 8–10 cm a síle stěny ca 1,5 cm a vykrajovátkem

čtyři zkušební kolečka o průměru ca 3 cm (obr. 2B). Nádoby z první i druhé etapy budou použity na praktické zkoušky s vařením vody, cihličky a kolečka budou použita do různých druhů výpalů, abychom mohli sledovat chování grafitu při jednotlivých výpalech.

Nádoby z první etapy jednoznačně už na první pohled barevně připomínaly laténskou keramiku, nádoby z druhé etapy byly výrazně světlejší, vyjma nádoby s přidavkem dřevěného uhlí. Je to pravděpodobně způsobeno jednak druhem grafitu, který byl použit, a jednak druhem hlíny. Grafit z Drhovle byl nejměkčí a na omak nejmastnější, takže hlína od něho byla silně obarvená, naproti tomu grafit z Jevíčka, který byl nejtvrdší, hlínu téměř nezabarvil. Sama točířská hlína byla v odstínech šedé, zatímco šlapanická hlína byla zbarvena více do žluta.

Zkusili jsme také jiný způsob přimíchávání grafitu do keramické hmoty. Vysušenou a nadrcenou hlínu z Panské Lhoty (frakce menší než 2 mm) jsme v poměru 5 : 3 (hlína : grafit) smíchali za sucha s grafitem z Drhovle (F1) a přidávali postupně vodu. Takto vzniklá směs je samozřejmě nepoužitelná a musí se nechat odležet, aby se veškeré jílové částice nasákly vodou a vytvořily kompaktní hmotu. Po zhruba třech měsících jsme se pokusili vypracovat z této hmoty keramické těsto, ze kterého by se dala vytvořit větší grafitová nádoba na kruhu. Ukázalo se však, že takto zpracovaná hlína není příliš vhodná k vytáčení nádob, podařilo se nám z ní vytvořit pouze tři malé nádoby.

#### Stavba milíře a experimentální výpal

Přestože základna v Panské Lhotě disponuje od roku 2013 replikou středověké pece (viz Bočková et al. 2014), bylo zapotřebí vzhledem k malému množství grafitové keramiky a k potřebě rychlejšího provedení výpalu postavit jiné vypalovací zařízení. Ideální se nám pro naše účely jevil milíř, jehož konstrukce nezabere příliš mnoho času, jeho velikost se může přizpůsobit množství keramiky, lze v něm provést redukční výpal, který je pro grafitovou keramiku vhodný, a zároveň lze teplotu uvnitř částečně korigovat. Navíc výpal netrvá tak dlouho

etapa	vzorek	zdroj hlíny	zdroj grafitu	frakce grafitu	množství hlíny (ml)	množství grafitu (ml)	zastoupení grafitu (%)
I.	I	točířská	–	–	500	–	0
	II	točířská	Drhovle	F2	500	150	23
	III	točířská	Drhovle	F2	500	150	23
	IV	točířská	Drhovle	F1	500	300	37,5
	V	točířská	Drhovle	F1	500	500	50
	VI	Panská Lhota	<i>průmyslový</i>	F0	500	200	28
II.	I	Šlapanice	Drhovle	F1	350	150	30
	II	Šlapanice	Lubnice	F1	350	150	30
	III	Šlapanice	Lubnice	F2	350	150	30
	IV	Šlapanice	Jevíčko	F2	175	75	30
	V	Šlapanice	Jevíčko	F1	175	75	30
	VI	Šlapanice	<i>dřevěné uhlí</i>	–	350	150	30
	VII	Šlapanice	–	–	500	–	0

Tab. 2. Přehled vytvořených grafitových hlín v průběhu první a druhé etapy výroby.

Tab. 2. Übersicht der erzeugten Graphittonne während der ersten und zweiten Etappe der Herstellung.



Obr. 3. A – grafitové vzorky v nádobě zasypané pilinami; B – dřevěná konstrukce milíře z trámků; C – průřezový pohled na keramiku uvnitř milíře, dřevěnou konstrukci a nedokončený mazanicevý omaz; D – hotový milíř před výpalem.

Abb. 3. A – Graphitproben in einem mit Sägespänen zugeschütteten Gefäß; B – hölzerne Balkenkonstruktion des Meilers; C – Querschnitt durch den Meiler mit Keramik im Innern, die Holzkonstruktion und den unbeeendeten Lehmewurf; D – der fertige Meiler vor dem Brand.

ho jako třeba v případě výpalu v jámě (Tichý–Tintěra 2001, 120), i když to je samozřejmě závislé na velikosti celého milíře. U milířů, které mají v průměru kolem 2 m, může výpal trvat i 24 hodin (Voss 1991, 393). Cílem našeho konání bylo provést redukční výpal grafitové keramiky a dosáhnout minimálně teploty 500 °C. Stejně vysokou teplotu si pro výpal středověké grafitové keramiky v elektrické peci zvolila V. Beránková (1996, 50). Těto teploty jsme chtěli dosáhnout pozvolným nárůstem teplot, ideálně 100 °C/1 hod.

Milíř byl postaven 15. 7. 2015 na zahradě v Panské Lhotě a předlohou se mu stal milíř z experimentu provedeného ve Věstarech v roce 2002 (Thér 2004, 100–101). V místě budoucího milíře jsme vyhloubili mělkou jámu o vnitřním průměru 60 cm a vnějším průměru 70 cm. Jáma byla zahloubená asi 10–12 cm. Na takto připravené dno jsme poskládali do hranice drobné třísky, které jsme lehce prosypali dřevěným uhlím a pilinami. Na vzniklý rošt jsme začali stavět nádoby (obr. 3A). Jelikož jsme chtěli pro grafitovou keramiku zajistit opravdu redukční podmínky, rozhodli jsme se vložit grafitové nádoby a cihličky do již vypálené větší nádoby, zasypat je pilinami a přikrýt je rovněž již vypálenou mísou dnem vzhůru. Na dno mísy jsme pak poskládali zbývající nádoby/vzorky, celkem jich bylo páleno 20, včetně již dvou vypálených. Výška na sobě naskládaných nádob byla zhruba 50 cm. Kolem takto vzniklého sloupce keramiky jsme začali stavět milíř. Na dřevěnou konstrukci milíře jsme na rozdíl od milíře ve Věstarech, který byl postaven z kulatin, použili smrkové vysušené trámky obdélného průřezu o rozměrech 4,5 × 2,5 cm a délce zhruba 60 cm, které tvořily hlavní kostru milíře. Trámky jsme o sebe pouze



Obr. 4. A – zazzděný západní vchod po ukončení výpalu; B – zasypaná keramika neshořelými pilinami těsně po otevření milíře; C – vylomený západní vchod milíře po vyjmutí keramiky.

Abb. 4. A – der zugemauerte westliche Eingang nach dem Ende des Brandverfahrens; B – die mit ungebrannten Sägespänen zugeschüttete Keramik gleich nach der Öffnung des Meilers; C – der aufgebrochene westliche Eingang in den Meiler nach dem Herausnehmen der Keramik.

datum	čas	popis situace
15. 7. 2015	16.00	začátek výpalu, rozdělaný malé ohničky před vchody a hnán teplý vzduch dovnitř, tak aby teplota uvnitř rovnoměrně stoupala, pomalu se venku přikládalo a uhlíky se sypaly dovnitř
	17.45	při teplotě v peci 179,7 °C vybuchl uvnitř šálek s tlustou lištou na výduti, který shodil nádoby stojící na míse otočené dnem vzhůru
	17.47	zakrytí všech otvorů z důvodu rychlejšího nárůstu teplot, přestalo se přikládat
	17.52	max 224 °C
	18.18	začala uvnitř hořet konstrukce, rychlý nárůst teploty
	18.22	530 °C, ucpan komín mazanicí, teplota začala potom rychle klesat a vrátila se do normálu
	18.30	316,9 °C
	19.45	teplota pozvolna samovolně stoupala, postupně se začal hroutit a zvětšovat západní otvor a teplota začala uvnitř zase stoupat
	20.00	430 °C, proto se oba vchody zakryly dlaždicemi a lehce zamazaly mazanicí, teplota začala zase klesat
	20.15	poprvé byla větší teplota uvnitř nádoby než vně nádoby
	20.18	otevřen východní vchod a přiloženo dřevo (od 17.47 se nepřikládalo) a žhavé uhlíky a udělán malý otvor v komíně (4 × 4 cm), otevřen i západní otvor, aby se mohlo začít přikládat
	20.20	poprvé se objevil tzv. liščí ohon 441 °C; se dvěma otvory začala teplota velmi rychle stoupat nad 500 °C
	20.30	západní vchod uzavřen
	20.45	oba vchody byly otevřeny, dovnitř byly nasypány piliny a poté byly oba vchody pečlivě zamazány a byly ucpany i malé škvíry v plášti, aby došlo k zakouření keramiky, při krátkém otevření vchodů ke vhození pilin se teplota prudce vyšplhala na 740 °C, po záspy prudce klesla na 350 °C
21.00	ukončení výpalu	
16. 7. 2015	19.15	milíř otevřen a nádoby vyjmuty

Tab. 3. Průběh prvního výpalu v milíři.

Tab. 3. Verlauf des ersten Brandes im Meiler.

zaklínili, nebyly zatlukány do země, jako tomu bylo v jiných případech (Tintěra et al. 1986, 280). Mezery mezi těmito trámkami jsme vyplnili drobnějšími dřívky (obr. 3B). Ponechali jsme dva příkladací otvory na východě a na západě a jeden otvor/komín na odvod spalin. Takto vzniklá konstrukce nebyla sama o sobě příliš stabilní a bylo nutné ji zpevnit mazanicí. Mazanice byla z hlíny pocházející ze staré cihelny v Lukách nad Jihlavou ostřená pískem a slámou. Tloušťka mazanice byla zhruba 5 cm a celková výška milíře po dokončení byla asi 70 cm (obr. 3C–D). Teplota uvnitř byla měřena pyrometrem se dvěma čidly. Jedno čidlo bylo umístěno uvnitř nádoby na redukční výpal a druhé v prostoru milíře. Teplota byla měřena čidly každých 15 minut. Čidla musela být instalována až po většinové dostavbě milíře, tudíž omaz nemohl být proveden rovnoměrně po celé ploše milíře. Jelikož celá konstrukce nebyla příliš stabilní, došlo tlakem mazanice k mírnému náklonu milíře směrem k západu, ke straně, kde zůstal milíř neomazaný kvůli potřebné manipulaci čidly a keramikou. Náklon však neměl na průběh výpalu vliv.

Výpal v milíři proběhl tentýž den jako jeho stavba a jeho průběh shrnuje tab. 3. Během výpalu dosáhla venkovní teplota maxima 23 °C, vítr foukal z jihovýchodu a dosáhl maximální rychlosti 27 km/h, tlak byl 1018 hPa.<sup>5</sup> Celková doba výpalu byla 5 hodin. Teplotní křivka je viditelná na obr. 5. Nejvyšší dosažená teplota uvnitř milíře byla 692 °C, nepočítáme-li jednorázové výkyvy spojené s náhlým prouděním vzduchu, které vyhnaly vnitřní teplotu až na 740 °C. V nádobě stoupala teplota v porovnání s milířem pomaleji, ale zato konstantně, nedocházelo zde k prudkým výkyvům. Nejvyšší dosažená teplota v nádobě

byla podle čidla kolem 520 °C. Problém byl v tom, že jsme tuto teplotu neudrželi déle, milíř jsme na závěr kvůli zakouření zaplnili pilinami a uzavřeli, čímž byl oheň příliš rychle udušen a teplota začala poměrně rychle klesat. Po otevření milíře jsme zjistili, že většina pilin, roštu ani dřevěné armatury nevyhořela, pouze zuhelnatěla (obr. 4B–C). V důsledku redukčního prostředí a zakouření pilinami byla veškerá keramika silně černě zbarvená. Z grafitových hlín byla vypálena jedna série cihlíček I–VI z první etapy výroby a tři menší grafitové nádoby vytočené na kruhu. Jelikož šlo o první zkušební výpal v takovémto typu zařízení, rozhodli jsme se vypálit pouze určité vzorky grafitových hlín (točířská hlína a Panská Lhota – Cihelna), přičemž je jasné, že v případě cihlíček vyrobených převážně z točířské hlíny nebyl výpal dostačující. Zajímavým zjištěním bylo, že čerstvá mazanice použitá na omazání milíře při výpalu nepopraskala, přestože nebyla předtím vysušena. Naproti tomu mazanice, která byla použita v průběhu výpalu na zakrytí příkladacích otvorů a komína, popraskala.

Milíř je vypalovací zařízení s dočasnou izolační strukturou (Thér 2009, 93–94), tudíž není ideální pro více než jeden výpal, přestože v některých milířích byl výpal bez problémů prováděn dvakrát (Tintěra et al. 1986, 287). Naším původním záměrem nebylo výpal v milíři opakovat. Potřebovali jsme však vypálit grafitové nádoby z první a druhé etapy výroby a zároveň nás zajímalo, zda by konstrukce milíře další výpal vydržela. Proto jsme se na poslední chvíli rozhodli výpal opakovat i s rizikem, že může dojít k destrukci milíře.

Druhý výpal byl uskutečněn 11. 10. 2015 a jeho cílem bylo pokusit se dosáhnout teploty 600 °C a udržet ji alespoň hodi-



Obr. 5. Teplotní křivka prvního výpalu v milíři.

Abb. 5. Die Temperaturkurve des ersten Brandes im Meiler.



Obr. 6. Teplotní křivka druhého výpalu v milíři.

Abb. 6. Die Temperaturkurve des zweiten Brandes im Meiler.

nu. Před výpalem bylo nutné milíř opravit, zejména zmenšit otvory pro příkládání, které byly po prvním výpalu dost vydrolené. Dovnitř byly na sebe ve dvou patrech naskládány zbývající grafitové nádoby (celkem 13 jedinců) plus další drobná keramika, celkem 21 nádob (obr. 7A). Vnitřní teplota byla opět měřena pyrometrem se dvěma čidly, tentokrát každých 5 minut. Čidlo 1 bylo umístěno v úrovni druhého patra keramiky,

čidlo 2 nad keramikou pod otvorem pro odvod spalin, což se záhy ukázalo jako špatné rozhodnutí, neboť v komíně dochází vlivem neustálé cirkulace vzduchu k velmi náhlým výkyvům teplot, takže pro stanovení teploty uvnitř milíře nejsou naměřené hodnoty objektivní (obr. 6). Postup při druhém výpalu byl ze začátku velmi podobný prvnímu výpalu (viz tab. 4). Venkovní teplota se vyšplhala k 8 °C a tlak byl 1011 hPa.<sup>6</sup> Problémem však byl velmi silný severovýchodní vítr o rychlosti až 53 km/h, který výrazně ovlivňoval nárůst a pokles teplot v milíři. Pravděpodobně právě kvůli větru byl nárůst teplot oproti prvnímu výpalu téměř dvojnásobně rychlejší. Skoro po dvou a půl hodinách jsme dosáhli teploty 500 °C. To však mělo za následek další negativum. Hlína použitá na omaz se s rychle narůstající teplotou začala čím dál tím více drolit, čímž se uvolňovala nevypálená dřevěná armatura. Ta pak společně s vydrolenou hlinou postupně zasypávala keramiku a topné kanálky, což zapříčinilo špatnou cirkulaci vzduchu a následný pokles teploty. Byl to patrně jeden z důvodů, proč se nám nedařilo vytáhnout teplotu v milíři dlouhodobě nad 500 °C. Drolením začaly navíc na slabších místech pláště vznikat trhliny, kterými unikal teplý vzduch. Zhruba po hodině, kdy teplota v milíři postupně klesala a nepodařilo se ji zvýšit, jsme přistoupili ke krajnímu řešení. Milíř jsme naplnili dřevem a dmýháním před příkladacím otvorem jsme se pokusili zvednout teplotu uvnitř. To se částečně podařilo a v určitých intervalech se teplota několikrát dostala až na 720 °C, jakmile jsme však dmýchat přestali, teplota začala zase rychle klesat pod hranici 500 °C. Tímto způsobem jsme pokračovali zhruba půl hodiny, nakonec jsme pec naposledy naplnili dřevem, uzavřeli všechny otvory a tím výpal ukončili. Po zakrytí otvorů teplota začala postupně klesat, podobně jako při prvním výpalu. Když byl milíř po dvou dnech otevřen, zjistili jsme, že keramika byla vydrolenou hlinou z pláště zasypaná kompletně. Nedokázali jsme přesně stanovit, kdy došlo k celkovému zasypaní, tudíž nebylo jisté, zda keramika byla dostatečně vypálena. Jelikož však minimálně polovina grafitových nádob byla vytvořena z točírské hlíny

datum	čas	popis situace
11. 10. 2015	11.00	začátek výpalu, rozdělány ohničky před vchodem a teplý vzduch byl vhnán dovnitř pece, ze začátku velmi dobrý tah do komína
	11.49	prasknutí nádoby s průmyslovým grafitem 116,9 °C
	12.45	z milíře vyhrabány uhlíky a pomalu příkládáno
	13.15	drolením se začal zvětšovat otvor v komíně
	13.50	drolením pláště začaly na několika místech postupně vznikat praskliny, které odváděly teplý vzduch z vnitřku
	14.10	ucpán komín, teplota klesala kvůli ucpáným kanálkům
	14.27	otevřen komín
	14.40	vyhrabán popel a vydrolená hlína z topeniště, teplota začala postupně stoupat až na 480 °C, pak začala zase klesat na 450 °C
	15.00–15.30	vzhledem ke špatným povětrnostním podmínkám a špatné cirkulaci vzduchu uvnitř pece bylo přistoupeno k dmýhání, pec se naložila dřevem a začalo se dmýchat, čímž se teplota vyhnala až na 720 °C, vždy když se přestalo dmýchat, teplota začala zase klesat
15.30	bylo naposledy přiloženo, otvory zadělány a výpal ukončen	
13. 10. 2015	17.00	milíř otevřen a nádoby vyjmuty

Tab. 4. Průběh druhého výpalu v milíři.

Tab. 4. Verlauf des zweiten Brandes im Meiler.



ny, která má teplotu výpalu minimálně 950 °C, bylo jasné, že tyto nádoby dostatečně vypálené nebudou. Otázkou bylo, jak dopadly nádoby I–VII vyrobené ze šlapanické hlíny. Povrch keramiky byl částečně zakouřený, ale objevila se i světlá místa, nicméně k oxidaci grafitu nedošlo.

S ohledem na snahu zjistit teplotu, při které dochází k oxidaci grafitu, což byla rovněž jedna z našich výzkumných otázek, jsme nechali druhou sérii cihliček z grafitových hlín I–VI z první etapy výroby oxidačně vypálit v elektrické peci na teplotu 800 °C. Ve všech případech grafit vyhořel a vzorky měly cihlově červenou barvu.

### Měření nasákavosti

Jednou z předpokládaných předností grafitové keramiky by měla být její menší nasákavost oproti keramice bez příměsí grafitu. Hmotnostní nasákavost (NH) bývá měřena standardní metodou (Hanykýř–Kutzendörfer 2002, 259). Vybrané vzorky jsme zvažili na váze s přesností na tisícinu gramu, poté jsme je povařili dvě hodiny v destilované vodě a po vyjmutí z lázně opět zvažili.<sup>7</sup> Hmotnostní nasákavost jsme pak vypočítali podle vztahu:

$$NH = \frac{m_v - m_s}{m_s} \times 100$$

kde  $m_s$  je hmotnost vysušeného vzorku a  $m_v$  hmotnost vzorku nasáklého vodou. Přehled naměřených hodnot podává tab. 5.

Hmotnostní nasákavost byla měřena u třech sérií vzorků. U grafitových cihliček vypálených v oxidační peci měla výrazně největší nasákavost cihlička obsahující průmyslový grafit (19 %), cihlička bez obsahu grafitu měla nasákavost 15 %. Nasákavost ostatních grafitových cihliček se pohybovala v roz-

mezi 11 až 12 %, výrazně nejnižší nasákavost měla cihlička IV (6 %). Je potřeba zdůraznit, že i když grafit v oxidační atmosféře vyhořel a teplota v elektrické peci byla stálá, nasákavost se u jednotlivých hlín dost odlišovala. U grafitových cihliček vypálených v milíři byl nejvíce patrný rozdíl nasákavosti mezi grafitovou (9–10 %) a negrafitovou keramikou (13 %), přestože to nebyl rozdíl extrémně výrazný. Mezi kolečky, která byla vypálena v oxidačně-redukční atmosféře milířovité pece, měl největší nasákavost (20 %) vzorek VI, který obsahoval místo grafitu příměs dřevěného uhlí. Nejmenší nasákavost (12 %) měl kupodivu vzorek VII, který grafit neobsahoval vůbec. Menší nasákavost než negrafitová keramika měly pouze vzorky, které byly vypáleny na nízkou teplotu 500 °C v milíři. U ostatních vzorků grafit ve hmotě nehrál při měření nasákavosti kladnou roli v tom smyslu, že by nasákavost snižoval, což mohlo být způsobeno jeho oxidací. Podobné výsledky při měření nasákavosti grafitové keramiky získala i M. Wirska-Parachoniak (1980, 78), která uvádí rozmezí 10–14 %. U některých grafitových vzorků středověké keramiky z Ratiboře byla změřena nasákavost až 17,7 % (Rzeźnik–Stoksik 2004, 341), přičemž autoři uvádí, že keramika bez příměsí grafitu měla nasákavost menší, většinou 8–12 %.

### Vaření vody v grafitových nádobkách

Abychom prakticky ověřili další předpokládanou vlastnost grafitové keramiky, kterou by měla být lepší vodivost tepla, pokusili jsme se v experimentálně vytvořených nádobkách přivést vodu k bodu varu. Jelikož jsme pro měření neměli k dispozici žádné termometry, bylo pro nás hlavním kritériem určení teploty bodu varu probublávání vody. Pro vaření vody jsme vybrali silnostěnné polokulovité nádoby I–VII z druhé



A



B

Obr. 7. A – uspořádání grafitových nádob při druhém výpalu v milíři; B – upravený západní vchod milíře v průběhu druhého výpalu.

Abb. 7. A – Anordnung der Graphittongefäße beim zweiten Brand im Meiler; B – der zugerichtete westliche Eingang in den Meiler während des zweiten Brandes.

vzorek	zastoupení grafitu ve vzorku (%)	$m_s$ hmotnost vysušeného vzorku (g)	$m_v$ hmotnost vzorku po vaření (g)	NH hmotnostní nasákavost (%)
EP I	0	3,69	4,24	14,9
EP II	23	4,79	5,33	11,2
EP III	23	4,71	5,27	11,8
EP IV	37,5	3,94	4,21	6,9
EP V	50	4,19	4,71	12,5
EP VI	28	3,73	4,46	19,6
MP I	0	3,62	4,12	13,8
MP II	23	5,00	5,50	10,2
MP III	23	5,42	5,95	9,9
MP IV	37,5	4,39	4,85	10,4
MP V	50	4,40	4,85	10,1
MP VI	28	4,02	4,45	10,7
K I	30	1,81	2,04	12,3
K II	30	1,87	2,13	13,5
K III	30	1,78	2,05	15,5
K IV	30	1,91	2,18	13,8
K V	30	1,85	2,11	13,8
K VI	30	1,47	1,77	20,6
K VII	0	1,69	1,89	12,0

EP = cihličky pálené v elektrické peci  
MP = cihličky pálené v mlíří  
K = kolečka pálená v mlířovitě peci

Tab. 5. Hmotnostní nasákavost.

Tab. 5. Saugfähigkeit.

etapy výroby, které byly vypáleny při druhém výpalu v mlíří. Pokus proběhl v domácích podmínkách na plynovém sporáku. Nádobky byly postaveny na litinovou desku, která zamezila přímému kontaktu s plameny hořáku. Každá nádobka byla naplněna po okraj vodou a byl měřen čas, který uběhl, než voda začala probublávat. Množství vody, které se vešlo do nádobek, se pohybovalo v rozmezí 50–80 ml.

Experiment se bohužel nepodařilo úspěšně dokončit, neboť se v průběhu vaření potvrdily naše obavy, že nádobky ze šlapanické hlíny nebyly dostatečně vypáleny. U nádobek I a II se zhruba po 18 minutách vaření začaly objevovat praskliny, kterými voda začala prosakovat; u zbývajících nádobek se praskliny objevily v okamžiku, kdy byly z litinové desky přemístěny na místo vychladnutí, vyjma nádobky V, která zůstala bez prasklin. Možným vysvětlením může být buď kvalitnější výpal,<sup>8</sup> nebo tvar dna, které nebylo ploché jako v ostatních případech, ale zakulacené, podobně jako u kotlovitých nádob kultury s lineární keramikou, u nichž se funkce vaření předpokládá (Hložek 2012, 59). U nádobek III, VI a VII se v průběhu vaření navíc začala odlupovat vnitřní stěna a dno, nejhůře dopadla nádobka III ostřená hrubozrnným grafitem, která se při chladnutí jako jediná rozpadla na dvě části. Po půlhodině vaření se vodu nepodařilo ani v jednom případě dovést do bodu varu. Ze všech nádobek se voda začala silně odpařovat a k probublávání došlo pouze v případě nádobky VII, jejíž dno však

bylo ztenčeno kvůli odlupování stěny. Je možné, že pro rychlý ohřev vody nejsou silnostěnné nádoby příliš vhodné.

#### Zjištění a náměty k dalším experimentům

Během našich nemnoha pokusů, které jsme doposud provedli, jsme získali některé poznatky, z nichž můžeme v budoucnu vycházet. Jednoznačně je lepší na výrobu grafitových hlín použít místo průmyslové hlíny hlínu přírodní s obsahem přirozeného ostřiva. Co se týče množství grafitu, bude vhodné zaměřit se i na různé podíly grafitu (10–40 %), neboť laténská grafitová keramika nevykazuje jednotné množství grafitu v keramickém těstě. Experimentálně se nám prozatím nepotvrdila výrazně nižší propustnost grafitové keramiky v porovnání s negrafitovou keramikou, která se tak obecně předpokládá. V této oblasti máme podobné výsledky jako ostatní badatelé (Wirska-Parachonika 1980, 78; Rzeźnik–Stoksik 2004, 341). Lepší vodivost tepla byla prozatím pozorována pouze v případě keramiky s potuhovaným povrchem, která byla pálena společně s grafitovou keramikou a po vytažení z mlíře zůstala na dotek teple mnohem déle než grafitová keramika. Pokus s vařením vody se vzhledem k nedostatečnému výpalu nádobek nepovedl, tudíž je potřeba výpal zbývajících nádob I–VI opakovat a rovněž opakovat experiment s vařením vody. Ten by bylo vhodné provést i přímo na ohni, a ověřit tak způsobnost grafitové keramiky pro přímý styk s plamenem. Kromě užitkových vlastností je potřeba ověřit ještě vlastnost grafitu coby maziva

a lehčiva v keramickém těstě při výrobě a formování větších nádob, která se rovněž předpokládá (Ržežnik–Stoksik 2004, 342). Jako lehčivo se nám jednoznačně osvědčilo dřevěné uhlí. Nádobka vytvořená z hlíny s přidávkem dřevěného uhlí byla pocitově lehčí než ostatní grafitové nádoby. Dřevěné uhlí jako forma organické příměsi při výpalu vyhoří, čímž dojde k vytvoření pórů v keramické hmotě. Tato pórovitá keramika je sice nevhodná pro vaření (Hložek 2012, 114), ale v případě masivní laténské zásobnice určené ke skladování potravin může znatelně snížit její celkovou hmotnost. V budoucnu by bylo také dobré prakticky ověřit teorii o vymazávání nádob lojem, kterou v případě laténských nádob zastával F. Makyta (1971).

### Závěr

Příspěvkem jsme se pokusili kriticky se zamyslet nad funkcí grafitové keramiky v době laténské, případně nad vlastnostmi, které může grafit keramice poskytnout. Prozatím se nám užitkové vlastnosti grafitové keramiky nepodařilo experimentálně prokázat, čímž ovšem nechceme tuto funkci jednoznačně vyloučit. Domníváme se, že k potvrzení její validity je zapotřebí provést větší množství průkaznějších experimentů, které nám tuto funkci buď potvrdí, nebo zcela vyvrátí.

*Pokud není uvedeno jinak, zdrojem fotografií je archiv ÚAM FF MU.*

### Poznámky

- Hojnější výskyt grafitové keramiky je zaznamenán v kultuře s lineární keramikou v neolitu, dále v pozdním halštatu a v raném a vrcholném středověku.
- Bod tání grafitu se pohybuje kolem 3850 °C (Kužvart 1984, 124).
- Žáruvzdornost grafitu je jednou z mála prokázaných vlastností, které bylo využito při metalurgii. Tyglíky ostřené grafitem bylo možné používat mnohem déle než tyglíky ostřené pouze křemenem, protože grafit je na rozdíl od křemene s narůstající teplotou objemově stálý, takže tyglíky nepopraskají (Bazovský–Čambal–Gregor 2008, 507). Těto vlastnosti bylo využíváno později i ve středověku (Nekuda–Reichertová 1968, 31).
- Experimentálně tak bylo ověřeno, že k získání jemného grafitového prášku, který se používal například na potuhování povrchu nádob, stačí pouhé drcení, není potřeba grafit proplavovat.
- Údaje o počasí jsme získali z webové stránky: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=jihlava&historie=07-15-2015>.
- Údaje o počasí jsme získali z webové stránky: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice-historie.php?stanice=jihlava&historie=10-11-2015>.
- Oproti běžnému postupu (Hanykýř–Kützendörfer 2002, 259) byla z časových důvodů metoda pozměněna a vzorky zváženy ihned po dovaření.
- Teplota je v tomto nestálém typu vypalovacího zařízení, kterým milíř je, značně nehomogenní, tudíž se dílčí teplota zachycená čidly nedá použít pro charakteristiku celého výpalu (Thér 2008, 129), a je proto možné, že některé nádoby mohly být vypaleny kvalitněji.

### Prameny a literatura

BAZOVSKÝ, I.–ČAMBAL, R.–GREGOR, M., 2008: Výrobné objekty z neskorej doby laténskej v Chorvátskom Grobe, časť Čierna

Voda. In: Barbarská sídliště, chronologické, ekonomické a historické aspekty jejich vývoje ve světle nových archeologických výzkumů, (Droberjar, E.–Komoróczy, B.–Vachútová, D., edd.), 495–516. Brno.

- BENADIK, B., 1961: Grafitová keramika v laténských hrobách na Slovensku – Die Graphitkeramik in latènezeitlichen Gräbern in der Slowakei, Slovenská archeológia 9, 175–208.
- BERÁNKOVÁ, V., 1996: Grafitová keramika z jihozápadní Moravy, rkp. diplomové práce uložená v ÚGV PFF MU, Brno.
- BÍBR, P., 1997: Petrografický výzkum mikulčické grafitové keramiky, rkp. diplomové práce uložená v ÚGV PFF MU, Brno.
- BOČKOVÁ, Z.–DOLEŽALOVÁ, K.–KOCHAN, Š.–MAZÁČKOVÁ, J.–SLAVÍČEK, K.–TĚSNOHLÍDEK, J., 2014: Experimentální výroba keramiky v Panské Lhotě, Archeologia historica 39, 119–137.
- BŘEŇ, J., 1987: K výrobě tuhé keramiky na keltském oppidu v Třisově, okres Český Krumlov, Časopis Národního muzea, řada historická 156, 1–9.
- BŘEZINOVÁ, G.–GREGOR, M., 2012: Grafitová keramika zo sídlisk doby laténskej z Nitry. Mineralogicko-petrografické štúdium, Študijné zvesti 52, 9–25.
- FUSEK, G.–SPIŠIAK, J., 2005: Vrcholnostredoveká grafitová keramika z Nitry-Šindolky. Archeológia a mineralógia, Slovenská archeológia 53, 265–336.
- GREGOR, M.–BŘEZINOVÁ, G., 2008: Technológia výroby laténskej keramiky z Nitry-Šindolky: mineralogicko-petrografické štúdium. In: Ve službách archeologie 1/08, 85–96. Brno.
- GREGOR, M.–ČAMBAL, R., 2009: Preliminary mineralogical and petrographic study of La Tène household ceramics from Bratislava's oppidum (Slovakia). In: Vessels: Inside and outside. Proceedings of the conference EMAC '07, 9th European Meeting on Ancient Ceramics (Bíró, K. T.–Szilágyiand, V.–Kreiter, A., edd.), 255–264. Budapest.
- GREGEROVÁ, M. et al., 2010: Petroarcheologie keramiky v historické minulosti Moravy a Slezska. Brno.
- HANÍK, D., 2010: Keltská grafitová keramika. In: 6. Študentská vedecká konferencia. Zborník príspevkov (Chovanec, M.–Sipko, J., edd.), 349–362. Prešov.
- HANYKÝŘ, V.–KÜTZENDÖRFER, J., 2002: Technologie keramiky. Praha.
- HAVANCSÁK, I. et al., 2009: Kelta grafitos kerámia: Elmélet és gyakorlat Dunaszentgyörgyi kerámiák ásványtani, petrográfiai és geokémiai vizsgálatainak tükrében, Archeometriai Műhely 2009/1, 39–52.
- HAVANCSÁK, I. et al., 2014: Archaeometric investigation of Celtic graphitic pottery from two archaeological sites in Hungary. In: Craft and Science. International perspectives on archaeological ceramics (Martinón-Torres, M., ed.), 191–199. Doha.
- HLAVA, M., 2008: Grafit v době laténské na Moravě, Památky archeologické XCIX, 189–258.
- HLOŽEK, M., 2003: Výrobní centra laténské keramiky na jižní Moravě a jejich technologická identifikace, rkp. diplomové práce uloženo v ÚAM FF MU, Brno.
- 2012: Multidisciplinární technologická analýza neolitické keramiky, rkp. disertační práce uloženo v ÚAM FF MU, Brno.
- HLOŽEK, M.–GREGEROVÁ, M., 2001: Předběžné výsledky mikro-petrografických rozborů laténské grafitové keramiky z jihovýchodní Moravy. In: Ve službách archeologie II. Přírodovědné metody v archeologii a antropologii, 117–128. Brno.

- HORÁKOVÁ-JANSOVÁ, L., 1955: Laténská tuhová keramika v Čechách a na Moravě, Památky archeologické XLVI, 134–182.
- KAPPEL, I., 1969: Die Graphittonkeramik von Manching. Die Ausgrabungen in Manching. Band 2. Wiesbaden.
- KÖHLER, A.–MORTON, F., 1954: Mineralogische Untersuchung prähistorischer Keramik aus Hallstatt, Germania 32, 66–72.
- KREITER, A. et al., 2013: Ceramic technology and the materiality of Celtic graphitic pottery. In: Exchange Networks and Local Transformations Interaction and local change in Europe and the Mediterranean from the Bronze Age to the Iron Age (Alberti, M. E.–Sabatini, S., edd.), 169–179. Exeter.
- KRISTOVÁ, L., 1994: Mikropetrografický výzkum moravské grafitové keramiky, rkp. diplomové práce uložená v ÚGV PFF MU, Brno.
- KUŽVART, M., 1984: Ložiska nerudných surovin. Praha.
- MACKERLE, J., 1955: Slovanské zásobnice, Archeologické rozhledy VII, 83–90.
- MAKYTA, F., 1971: Příspěvek k poznání technologie výroby laténské keramiky. In: Sborník československé společnosti archeologické 4, 97–98. Praha.
- NEKUDA, V.–REICHERTOVÁ, K., 1968: Středověká keramika v Čechách a na Moravě. Brno.
- PODBORSKÝ, V., 1970: Jihomoravská halštatská sídliště I, Sborník prací filozofické fakulty brněnské univerzity, řada E 15, 7–102.
- PROCHÁZKA, V. et al., 2011: Suroviny pro výrobu jihočeské keramiky bohaté grafitem v několika prehistorických a historických obdobích, Archeologické výzkumy v jižních Čechách 24, 299–315.
- RZEŽNIK, P.–STOKSIK, H., 2004: Silesian graphittonkeramik of the 12th–13th centuries in the light specialist analyses of vessels from Racibórz – Grafitová keramika ze Slezska 12.–13. století ve světle analýz nádob z Ratiboře, Archeologické rozhledy LVI, 321–342.
- THĚR, R., 2004: Experimentální výpaly keramiky v uzavřených vypalovacích zařízeních z období neolit–halštát, Rekonstrukce a experiment v archeologii – Živá archeologie 5, 93–121.
- 2008: Příspěvek experimentu k identifikaci technologie výpalu keramiky: teplotní profil výpalu. In: Ve službách archeologie 2/08, 129–142. Brno.
- 2009: Technologie výpalu keramiky a její vztah k organizaci specializaci ve výrobě keramiky v kontextu kultur popelnicových polí, rkp. disertační práce uložená v Ústavu antropologie PFF MU, Brno.
- THĚR, R.–MANGEL, T., 2014: Inovace a specializace v hrnčířském řemesle v době laténské: model vývoje forem organizace výroby, Archeologické rozhledy LXVI, 3–39.
- TICHÝ, R., 1961: O používání tuhy v mladší době kamenné, Památky archeologické LII, 76–84.
- TICHÝ, R.–TINTĚRA, L., 2001: Výpal keramiky v jámě (zahlobeném ohništi), Rekonstrukce a experiment v archeologii 2, 114–120.
- TINTĚRA, L.–ČERVINKOVÁ, H.–ČERVINKA, J., 1986: Experimentální ověření výrobních možností mířovitých hrnčířských pecí, Archaeologica Pragensia 7, 273–292.
- TREBSCHKE, P., 2011: Eisenzeitliche Graphittonkeramik im mittleren Donaauraum. In: Vorträge des 29. Niederbayerischen Archäologentages (Schmotz, K., ed.), 449–481. Deggendorf.
- VOSS, R., 1991: Versuche zur Holzkohle- und teergewinnung, Experimentelle archeologie 6, 393–398.
- WIRSKA-PARACHONIAK, M., 1980: Produkcja ceramiczna Celtów na terenach Polski Południowej, Materiały Archeologiczne Nowej Huty 6, 29–159.
- WOERMANN, E., 1969: Mikroskopische Untersuchungen an Graffitonscherben und Rohgraphitproben von Manching und anderen mitteleuropäischen Fundstellen. In: Die Graphittonkeramik von Manching. Die Ausgrabungen in Manching, Band 2 (Kappel, I., ed.), 138–143. Wiesbaden.

### Webové zdroje

- IN-POČASÍ – Meteostanice Jihlava, <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=jihlava&historie>, cit. 15. 7. a 11. 10. 2015.

## ZUSAMMENFASSUNG

### Experimentelle Herstellung von latènezeitlicher Keramik in Panská Lhota

Graphittonkeramik bildet in der Latènezeit ein spezifisches Phänomen, das auf einem weiten Gebiet auch jenseits von Mitteleuropa vorkommt. Was verursachte eine solche Beliebtheit/breiten Bedarf an Graphittonkeramik? Hatte sie vielleicht eine spezielle symbolische Bedeutung, oder diente sie zu rein praktischen Zwecken? Wie ist eigentlich die Funktion von Graphit in keramischer Masse? Die meisten Forscher betrachten die Graphittonkeramik anhand der physikalisch-chemischen Eigenschaften von Graphit als Gebrauchskeramik. Zu den am öftesten erwähnten Eigenschaften der Graphittonkeramik gehört eine niedrigere Durchlässigkeit, Feuerfestigkeit, bessere Wärmeleitfähigkeit und Beständigkeit gegen thermische Schocks. Diese Eigenschaften wurden bisher jedoch nicht experimentell nachgewiesen.

Das Hauptthema des Beitrags bilden vor allem die Ergebnisse der Experimente, die in diesem Jahr auf der forschungswissenschaftlichen Basis in Panská Lhota bei Brtnice durchgeführt wurden. Diese Experimente sollten einige der allgemein vermuteten Nutzeigenschaften der Graphittonkeramik nachprüfen. Zur Herstellung von Graphitton mit verschiedenem Prozentanteil von Graphit verwendete man Graphit aus drei Quellen: Drhovle bei Pisek, Lubnice bei Znojmo und Jevíčko. Verwendet wurde sowohl industrieller Drehton als auch natürlicher Ton. In einem Fall wurde der Ton anstatt Graphit mit Holzkohle gemagert. Durch Zerschlagung und Durchsiebung von Graphit gewann man verschiedene Fraktionen (Tab. 1). Graphit wurde in die keramische Masse manuell eingemischt (Abb. 1; Tab. 2). Aus diesen graphithaltigen Tonen hat man kleine Gefäße, Ziegelchen und Räder hergestellt (Abb. 2 A–B). Zum Brennen der Graphittonkeramik baute man einen Meiler mit den Ausmaßen von ungefähr 70 × 70 cm. Die Graphittonkeramik wurde in dem Meiler insgesamt zweimal gebrannt. Der erste Brand der Graphittonkeramik verlief in der Reduktionsatmosphäre in einem Behälter, in dem die Temperatur von 520 °C erreicht wurde (Abb. 5). Die Keramik wurde am Ende noch mit Hilfe der Sägespäne geräuchert (Abb. 3 und 4). Der zweite Brand der Graphittonkeramik verlief in einer oxidativ-reduktiven Atmosphäre, ist aber gescheitert. Mit der steigenden Temperatur begann der Lehmanteil des Meilers zu zerbröckeln, er hat die Keramik zugeschüttet und die Heizkanäle zugestopft, so dass die Luft nicht richtig

zirkulieren konnte (Abb. 6 und 7). Wegen der Bestimmung der Temperatur für das Abbrennen von Graphit in der Oxidationsatmosphäre haben wir eine Serie von Ziegelchen in einem elektrischen Ofen bei 800 °C oxidativ gebrannt, was das absolute Abbrennen von Graphit zur Folge hatte. Bei ausgewählten Proben wurde auch die Saugfähigkeit gemessen (Tab. 5). Die Ergebnisse zeigen jedoch keine deutlich niedrigere Durchlässigkeit von Graphittonkeramik gegenüber der Keramik ohne Graphitbeimengung. Ein weiteres Experiment sollte eine bessere Wärmeleitfähigkeit der Graphittonkeramik nachprüfen. Es bestand in dem Versuch, das Wasser in Graphittongefäßen zum Kochen zu bringen. Das Volumen einzelner Gefäße schwankte um 50–80 ml und nicht mal nach einer halben Stunde von Aufwärmung auf einem Gasherd wurde der Siedepunkt erreicht – das Wasser ist nur verdampft. Die Gefäße waren obendrein nicht gut gebrannt, weswegen sie entweder schon während des Aufwärmens oder danach beim Auskühlen rissig wurden.

Die durchgeführten Experimente haben vorerst keine Nutzeigenschaften nachgewiesen. Diese Funktion wollen wir trotzdem nicht komplett ausschließen, ihre Nachprüfung wird jedoch weitere beweiskräftigere Experimente erfordern, die diese Funktion entweder bestätigen, oder widerlegen werden.

Bc. Andrea **Koucká**, Ústav archeologie a muzeologie Filozofické fakulty Masarykovy univerzity, Arna Nováka 1, 602 00 Brno,  
*262862@mail.muni.cz*

Mgr. Marek **Novák**, Ústav archeologie a muzeologie Filozofické fakulty Masarykovy univerzity, Arna Nováka 1, 602 00 Brno,  
*361167@mail.muni.cz*