



ARCHEOLOGIA TECHNICA 33/2022

ISSN 1805-7241

<http://archeologiatechnica.cz>

POKUSNÝ VÝPAL KOMBINOVANÉ VSÁZKY VE VÁPENICKÉ PECI NA STARÉ HUTI U ADAMOVA NA PŘÍKLADU ČTYŘ DRUHŮ STAVEBNÍCH SUROVIN

Petr Kos, Petr Holub, Peter Majoroš

Dostupné online:

<http://archeologiatechnica.cz/node/386>

Citace článku:

Kos, P. – Holub, P. – Majoroš, P. 2022: Pokusný výpal kombinované vsázky ve vápenické peci na Staré huti u Adamova na příkladu čtyř druhů stavebních surovin. *Archeologia technica* 33, 49-56.

© Autoři, 2022

Technické muzeum v Brně / Purkyňova 105, 612 00 Brno, Czech Republic
Tel.: 541 421 426 / www.tnbrno.cz

 TECHNICKÉ
MUZEUM
V BRNĚ

Archeologia technica

Archeologia technica je odborným recenzovaným periodikem předkládajícím příspěvky spojené se „zkoumáním výrobních objektů a technologií archeologickými metodami“, průmyslovou archeologií i praktickými experimenty. Poskytuje prostor pro publikování a diskusi problematiky spjaté s archeologickými výzkumy technických a technologických zařízení, dokumentací a záchranou průmyslového dědictví a seznamování s výsledky praktických experimentů prováděných v rekonstrukcích starých výrobních zařízení. Publikujeme též kratší zprávy o vybraných výrobních objektech, výrobních technologiích z nejrůznějších časových období, ale i dalších tematicky souvisejících aktivitách.

Úvod třicátého třetího čísla AT nabízí několik nově nalezených a identifikovaných naseknutých železářských lup, resp. jejich polovin, pocházejících z Mikulčic, Starých Zámků u Líšně a Moravského krasu. Druhý text popisuje experimentální ověření použití různých historických tavidel při kovářském svařování z pera a kovadliny Patricka Bárty a Michala Hlavici. Dalším příspěvkem se vztahem ke zpracování železa je článek věnovaný souboru raně středověkých železářských artefaktů nalezených před takřka čtyřiceti lety nedaleko Lažánek u Veverské Bítýšky a zařazených do sbírkového fondu vydavatele tohoto časopisu.

Železářství se nevyhne ani při čtení dalších příspěvků: Hany Grison a Romana Křivánka týkajícího se využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků hutnických činností v oblasti Moravského krasu a Jaroslavy Neubauerové z Banického muzea v Rožňavě, přibližujícího jeden z významných exponátů muzea – podstatnou část železářské pece vyzvednuté při archeologickém výzkumu nedaleko Gemerského Sadu. Neželezářskou část letošního čísla reprezentují dvěma texty pravidelní příspěvatelé Petr Kos a Petr Holub posílení v případě popisu průběhu a výsledků pokusného kombinovaného výpalu vápna a cihel v areálu Staré huti u Adamova o Petera Majoroše. Relaci o výpalu vápna v Čechtíně na Třebíčsku pak zvládli sami, stejně jako činnost, již popisují.

Obsah čísla završuje zpráva Dominika Tally o železářském snažení ve Staré huti u Adamova v roce 2022. I tento rok zde byl svým průběhem neobvyklý. Tentokrát však byla důvodem potřebná rekonstrukce objektu muzea – Kameňáku.

Archeologia technica je odborným recenzovaným periodikem předkládajícím příspěvky spojené se „zkoumáním výrobních objektů a technologií archeologickými metodami“, průmyslovou archeologií i praktickými experimenty. Rádi bychom poskytovali prostor pro publikování a diskusi problematiky spjaté s archeologickými výzkumy technických a technologických zařízení, dokumentací a záchranou průmyslového dědictví a seznamování s výsledky praktických experimentů prováděných v rekonstrukcích starých výrobních zařízení. Kromě obsáhlejších příspěvků jsou přijímány též kratší zprávy o vybraných výrobních objektech, výrobních technologiích z nejrůznějších časových období, ale i dalších tematicky souvisejících aktivitách. Další informace pro autory jsou uvedeny na webu Technického muzea v Brně www.tmbрно.cz. Doporučili bychom Vaší pozornosti i stránky www.starahut.com, kde je možné nalézt jak starší publikace Archeologia technica ve formátu pdf, tak informace o akcích pořádaných Technickým muzeem v Brně na poli starého železářství. A v neposlední řadě web tohoto periodika i tradiční stejnojmenné odborné konference, jehož adresa zní archeologiatechnica.cz.

Za redakční radu Ondřej Merta

Obsah

Znamé nalezy raně středověkých železářských naseknutých lup z území Moravy 2 <i>Ondřej Merta – Michal Hlavica – Michael Lebsak – Michal Přichystal – Roman Mikulec</i>	3
Experimentální ověření možných historických tavidel v kovářském svařování <i>Patrick Bárta – Michal Hlavica</i>	9
Doklady středověkého železářství z Lažánek u Veverské Bítýšky <i>Ondřej Merta – Michal Hlavica</i>	21
Využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků raně středověké hutní činnosti ve střední části Moravského krasu <i>Hana Grison – Roman Křivánek – Ondřej Merta</i>	33
Polná šachtová pec z Gemerského Sadu <i>Jaroslava Neubauerová</i>	43
Pokusný výpal kombinované vsázky ve vápenické peci na Staré huti u Adamova na příkladu čtyř druhů stavebních surovin <i>Petr Kos – Petr Holub – Peter Majoroš</i>	49
Výpal vápna v areálu bývalého panského pivovaru v Čechtíně na Třebíčsku <i>Petr Kos – Petr Holub</i>	57
Stará huť u Adamova 2022 <i>Dominik Talla</i>	60

POKUSNÝ VÝPAL KOMBINOVANÉ VSÁZKY VE VÁPENICKÉ PECI NA STARÉ HUTI U ADAMOVA NA PŘÍKLADU ČTYŘ DRUHŮ STAVEBNÍCH SUROVIN

Petr Kos – Petr Holub – Peter Majoroš

Historicky je doloženo, že středověké pece na pálení vápna byly po drobných technických úpravách schopny produkovat také cihly. Současně však ve stejném zařízení bylo možné pálit obě dvě stavební suroviny současně. V roce 2020 bylo k ověření této teorie využito experimentální vápenické pece stojící v areálu experimentální vesničky Technického muzea v Brně na Staré huti u Adamova, okr. Blansko. Předmětem pokusu byly vilémovické vápence ze Západního lomu Mokrá, krystalické vápence z Obecního lomu v Bystřici pod Perštejnem, slivenecké vápence z lomu Cikánka v Radotíně a sušené půdní cihly z Mikulova na Břeclavsku. Objem celkové vsázky činil asi 1,5 m³ a doba výpalu trvala 38 hodin. V rámci areálu Staré huti se jednalo o první pokus svého druhu.

Klíčová slova: vápenická pec – výpal vápna a cihel – experiment – Moravský kras

EXPERIMENTAL FIRING OF COMBINED FURNACE CHARGE IN THE LIME KILN AT STARÁ HUŤ NEAR ADAMOV ON THE EXAMPLE OF FOUR TYPES OF BUILDING MATERIALS

It is historically documented that following minor technical modifications, medieval lime kilns were also able to produce bricks. At the same time, however, it was possible to burn both building materials at the same time in the same plant. In 2020, an experimental kiln was used to test this theory, located in the experimental village of the Technical Museum in Brno at Stará huť near Adamov, district Blansko. For the experiment, Vilémovice limestone type from the Mokrá Quarry, crystalline limestone from the Municipal Quarry in Bystřice pod Perštejnem, and Slivenec limestone type from the Cikánka Quarry in Radotín and dried soil bricks from Mikulov in the Břeclav region were used. The volume of the total furnace charge was about 1.5 m³ and the firing time was 38 hours. It was the first experiment of its kind within the Stará huť near Adamov complex.

Keywords: lime kiln – lime burning and brick firing – experiment – Moravian Karst

Roku 2020 proběhl v areálu experimentální vesničky v Josefově na Staré huti u Adamova (okr. Blansko) experimentální pokus o kombinovaný výpal vápna a cihel v jednonábové periodické peci s provozním označením Josefov VII. Iniciátory experimentu, který byl v areálu huti prováděn s tímto záměrem vůbec poprvé, byli autoři, s příznivcem vápenického řemesla Š. Strakou z Mokré-Horákov, kteří se odborně zaměřují v rámci etnologie, profesní archeologie, památkové péče a Společnosti přátel Technického muzea v Brně, na tradiční moravské vápenictví, cihlářství a odborné restaurátorství-štukatérství. Do pece o minimálním objemu vsázky 1,5 m³ byl umístěn cca 1 m³ vápenného kamene, který tvořily vespod vilémovické vápence z Mokré u Brna (obec Mokrá-Horákov), výše pak krystalické vápence/mramory z Nedvědice pod Pernštejnem (Obecní lom) z Českomoravské vysočiny a slivenecké vápence z Radotína (lom Cikánka) ve středních Čechách. Větší část vápenného kamene poskytl podnik Českomoravský cement, a. s., který zajistil i částečnou analýzu suroviny a výpalku (vedoucí lomu Mokrá D. Čejka). Část klenebního a středního vsázkového kamene byla nasbírána podle potřebné frakce v Západním lomu Mokrá a část upravena až v místě experimentální vápenky ruční palicí. Největší frakci vsázky tvořily klenební

kusy vilémovického vápence (max. 150–200 mm), smíšená vsázka vápenného kamene umístěná výše, pak byla poněkud menší (cca 80–100 mm), aby ji bylo možné žíhat minimálně 12–18 hodin při teplotách mezi 1000–1100 °C (srov. Helan – Klement 1960; Válek 2015, 75). Do horní vsázky bylo nakonec vyštosováno cca 130 ks sušených půdových dlaždic (cca 0,5 m³), které pro účely experimentu poskytl V. Pazderka ze svého rekonstruovaného domu na ulici Brněnské v Mikulově na Moravě, okr. Břeclav. Jednalo se prakticky o dlouhodobě sušené nízké cihly formátu 29,5–30 × 14–14,5 × 4,5 cm, které svým složením umožňovaly výpal dřevem. K výpalu bylo nachystáno pracovníky Technického muzea v Brně 6 m³ měkkého a tvrdého dřeva v tenkých metrových štípech, kterými bylo topeno v poměru 4 : 2, aby bylo současně dosaženo žhavého základu i dlouhého plamene, celkem v pěti chronologicky navazujících režimech:

- I. předsoušení – 8 h – cca 0,03 m³/h (0,24 m³) – 1-2 štípy po 30 min.
- II. sušení – 2 h – cca 0,05 m³/h (0,1 m³) – cca 2 štípy po 20 min.
- III. výhřev – 13 h – cca 0,3 m³/h (3,9 m³) – cca 13 štíp po 20 min.
- IV. výpal – 12 h – cca 0,15 m³/h (1,8 m³) – cca 5 štíp po 20 min.
- V. dopal – 3 h – cca 0,05 m³/h (0,15 m³) – cca 2 štípy po 20 min.

I. Předsoušení

Úkon potřebný k vysušení reparaované zděné konstrukce pece a také cihelné vsázky. Po osmi hodinách předsoušení následovala v topení šestihodinová přestávka.

II. Sušení

Tento režim byl díky předchozímu zkrácen na pouhé 2 hodiny, topeniště bylo jen opětovně rozdmýcháno a plynule zahájen přechod k výhřevu.

III. Výhřev

Intenzivním přikládáním bylo dosaženo v topeništi za cca 12–13 dalších hodin provozní teploty (cca 1000–1200 °C).

IV. Výpal

Fáze globální kalcinace vsázky probíhala 12 hodin při teplotách cca 1060–1140 °C. Při prohoření celé vsázky vápence došlo nečekaně k lokálnímu (středovému) slinutí vsázky cihelné a k jejímu poklesu do šachty pece o cca 10–15 cm.

V. Dopál

Jeho fáze trvala 3 hodiny. Za tu dobu došlo vlivem omezeného přikládání k poklesu teploty v klenebním žárovém pásmu na 800 °C. Během jednotlivých příkladacích režimů probíhalo v hodinových odstupech orientační kontrolní měření termopistolí Thermometer

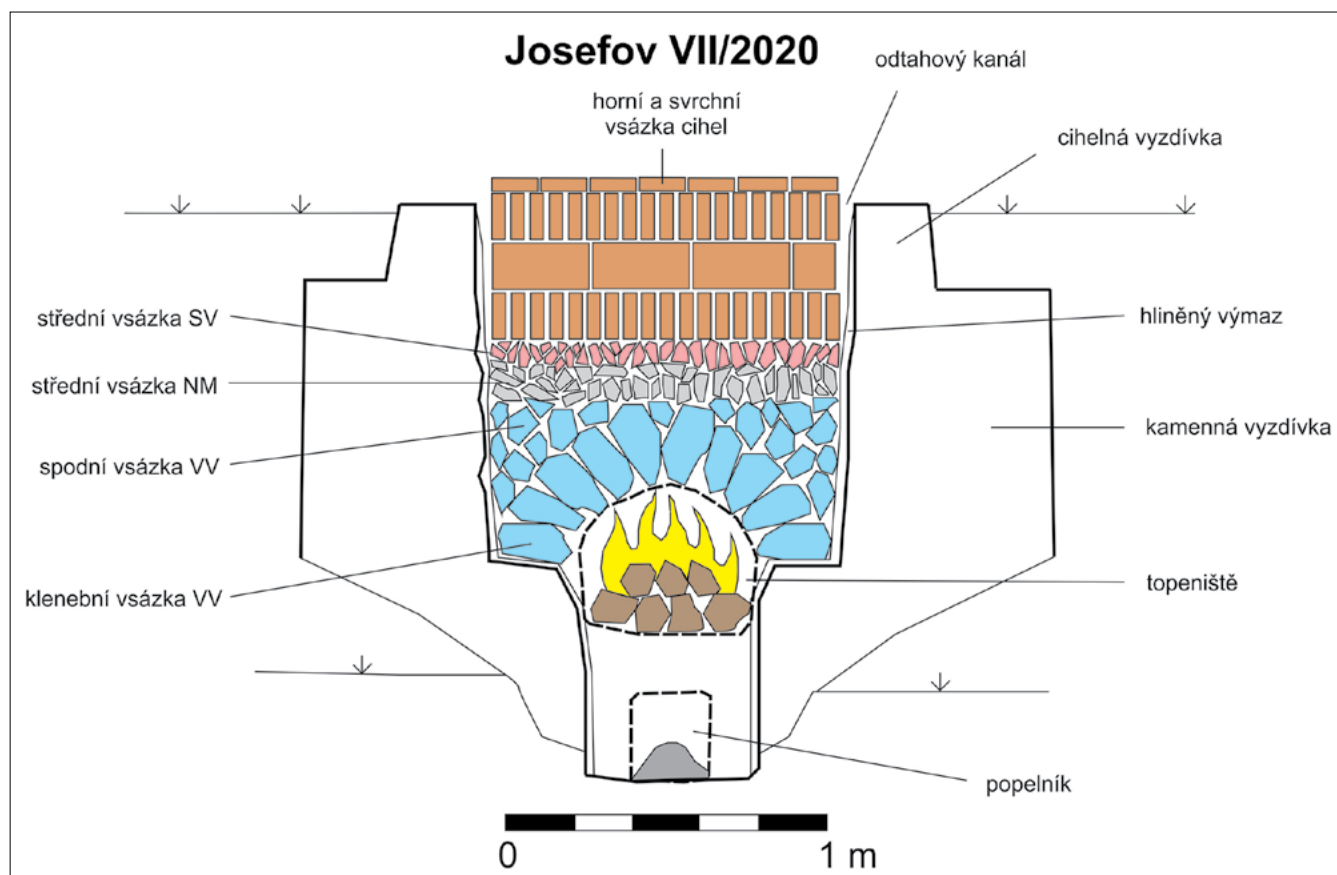
Voltcraft IR – 1600A, umožňující teplotní monitoring v rozsahu –50 až 1 600 °C. Většinu změn zaznamenaných přístrojem během výpalu bylo však možné poměrně „snadno“ odvozovat také podle barvy kouře a plamene v topeništi a chování odtahů ponechaných cíleně ve svrchní cihelné vsázce.

Surovina (cca 1,5 m³) aplikovaná do pece ve sledu směrem odspodu nahoru:

1. vilémovický vápenec (98,91 % CaCO₃; 55,41 % CaO) – klenební a spodní vsázka (cca 0,75 m³)
2. nedvědícký mramor (93,7 % CaCO₃; 54,82 % CaO) – střední vsázka (cca 0,15 m³)
3. slivenecký vápenec (85,46 % CaCO₃; 49,49 % CaO) – střední vsázka (cca 0,15 m³)
4. půdové cihelné dlaždice dlouhodobě sušené – 29,5–30 x 14–14,5 x 4,5 m – horní a svrchní vsázka (cca 0,5 m³)

Produkty

1. vilémovický vápenec: bílé vápno CL 90 (Klasifikace podle EN 459-1 jako bílé vysoce reaktivní nehašené kusové vápno s obsahem CaO min. 90 %.)
2. nedvědícký mramor: bílé vápno CL 90
3. slivenecký vápenec: bílé vápno CL 80 (Klasifikace podle EN 459-1 jako bílé nehašené kusové vápno s obsahem CaO min. 80 %.)
4. cihelné dlaždice: vespod přepálené, střed vypálen, svršek lokálně nedopálen



Obr. 1: Schéma experimentální pece Josefov VII zprovozněné pro kombinovaný výpal na Staré huti u Adamova v roce 2020 (SV – slivenecké vápence, NM – nedvědícké mramory, VV – vilémovické vápence). Sestavil: P. Kos



Graf 1: Orientační teplotní graf výpalu kombinované vsázky vápence a cihel na Staré huti u Adamova v roce 2020 (měřeno termopistolí Thermometer Voltcraft IR – 1600A). Výsledné opticky měřené hodnoty jsou orientačního charakteru; vůdčí je teplota měřená ve vápencové klenbě. Sestavil: P. Kos

Hodina	Klenba	Odtah 1	Odtah 2	Poznámka	Fáze (h)	Celkem (h)	Výpal (dny)	Dřevo (m ³)	Dřevo celkem (m ³)
6:00	0	0	0	sušení	sušení		pátek	0,1 (0,05 m ³ /h)	
7:00	111	90	87	sušení	2				
8:00	390	150	132	sušení	výhřev			3,6 (0,3 m ³ /h)	
9:00	444	171	146	výhřev					
10:00	472	240	261	výhřev					
11:00	620	610	401	výhřev					
12:00	720	670	509	výhřev		12			
13:00	780	648	626	výhřev					
14:00	715	669	666	výhřev					
15:00	732	686	651	výhřev					
16:00	760	685	706	výhřev					
17:00	757	740	723	výhřev					
18:00	770	719	723	výhřev					
19:00	745	718	670	výhřev					
20:00	750	958	520	výhřev					
21:00	1070	1024	970	výpal	výpal		sobota	1,1 (0,1 m ³ /h)	
22:00	1107	1049	940	výpal					
23:00	860	825	843	výpal					
0:00	1057	901	869	výpal					
1:00	875	715	941	výpal		11			
2:00	1115	665	770	výpal					
3:00	1260	670	720	výpal					
4:00	1440	680	710	výpal					
5:00	1450	700	720	výpal					
6:00	1250	724	760	výpal					
7:00	945	769	799	výpal	výpal				
8:00	802	730	746	dopal	dopal			0,15 (0,05 m ³ /h)	
9:00	774	694	749	dopal					
10:00	706	642	695	dopal	3	28	1,2		4,95

Frakce kamene: 150 mm

Teplota: 1000–1450 °C

Tab. 1.: Základní charakteristika použitých karbonátových surovin a procesu výpalu. Sestavil: P. Majoroš; upravil: P. Kos

Zdrojová hornina	Geologická klasifikace	Podmínky výpalu		Objem vsázky
		teplota výpalu [°C]	doba výpalu [h]	
Vilémovický vápenec. Západní lom Mokrá et. 395	vápenec, šedá masivní hornina s jemnozrnnou strukturou tvořenou malými rekrystalizovaného kalcitu	850–1150	12	0,75 m ³
Nedvědicový mramor. Obecní lom	krystalický vápenec, světle šedá masivní hornina s jemnozrnnou až střednězrnnou strukturou	850–1150	12	0,15 m ³
Slivenecký vápenec. Radotín. Lom Cikánka	organodetrilitický sedimentární vápenec, narůžovělá, šedá až nazelenalá masivní jemnozrnná hornina struktura s obsahem schránek mořských živočichů	850–1150	12	0,15 m ³



Obr. 2: Pec po rekonstrukci připravená k výpalu. Foto: P. Kos



Obr. 3: Ruční stavba klenební vsázky bez podpory. Foto: P. Holub



Obr. 4: Střední vsázka krystalického vápence. Foto: P. Kos



Obr. 5: Štosoání sušených cihel do pece. Foto: P. Kos



Obr. 6: Pokrývání cihelné vsázky svrchní vrstvou zlomkových cihel. Foto: P. Kos



Obr. 7: Pec ve výtopném režimu. Foto: P. Kos



Obr. 8: Roztopená pec v předkalcinačním režimu vápencové vsázky. Foto: P. Kos



Obr. 9: Pec ve vypalovacím režimu. Foto: P. Kos



Obr. 10: Pec před koncem výpalu. Foto: P. Kos



Obr. 11: Vybírání cihelné vsázky po částečném vychladnutí pece. Foto: P. Kos



Obr. 12: Výsledná produkce vypálených a částečně nedopálených cihel. Foto: P. Kos



Obr. 13: Vybírání střední vápenné vsázky. Foto: P. Kos



Obr. 14: Část výsledné produkce kombinovaného výpalu: nádoby s kusovým páleným vápnem, defektní a kvalitní cihly. Foto: P. Kos

POZNATKY

Řada učiněných poznatků odpovídá zkušenostem z provozu podobných zařízení. Nicméně několik nových stojí za zmínku.

Z roztápění pece je zřejmé, že po prohoření vápencové vsázky (cca po 12 h) je nutné, v závislosti na materiálu, zvolna redukovat teplotu výpalu cihel na cca 800–900 °C, ve které by měly setrvat minimálně ještě další 2 hodiny, což je z hlediska délky dekarbonace vápence nemožné, protože vápenec nejnižší klenební frakce je nutno za této teploty žíhat delší dobu, cca 18 h, což je asi o 16 h déle než cihly. Nezbyvá než připustit, že spodní část cihelné vsázky bude vždy při kombinovaném výpalu na styku s vápencem poškozena kumulovaným žářem. V opačném případě by bylo vhodné záměrně ponechat ve svrchní vsázce vápence nedopal, který by bylo možné eventuálně redukovat jeho drobnější frakcí (dokonalejší výpal vápna na úkor cihel), nebo využít větších kusů vápence či nevápeného kamene na bázi „hroudí“¹, které by od sebe oddělily vertikálně rozloženou kombinovanou vsázku, a tak zabránily slnutí spodní vrstvy cihel (méně dokonalý výpal vápna ve prospěch kvality cihel). Novověká dokumentace podobných pecí z počátku 19. století naznačuje, že i tyto chyby lze kromě aplikace větší frakce vápeného kamene eliminovat tvorbou kominových pomocných odtahů v cihelných slohách i vápencové vsázce (Ebel 2015, 76, obr. 13). Doba výpalu, kterým prošla referovaná kombinovaná vsázka při teplotách 900–1400 °C (12 h), byla výhodná jen pro střední cihelnou vsázku (80–100 mm), nikoliv však již pro cihly vyskládané vespod a v oblasti klenební frakce (150–200 mm). Vápencová klenba zasluhovala ke své kompletní dekarbonaci poněkud delší kalcinační dobu za nižších teplot (vilémovické vápence: cca 20 h: srov. Helan – Klement 1960). Neblahou odezvou nadměrného žáru byl tvrdší výpal vilémovických vápenců, vyšší zůstatkové množství CO₂ ve vápně a menší reaktivita (t₆₀: 9:37 min. střední vsázka a více než 10 min. klenba), než by tomu bylo v ideálním případě (viz pokus na Staré huti z roku 2019: t₆₀: 3:54 min. horní vsázka, 3:39 min. střední vsázka a 9:50 min. klenba: obojí laboratoř cementárny Mokrá). Jelikož byla reaktivita páleného vápna měřena současně u všech surovin také specializovanou laboratoří, lze výsledky výpalu vyhodnotit poněkud komplexněji, neboť rozdíl v reaktivitě páleného vápna byl nepochybně ovlivněn také vertikálním rozložením odebíraných vzorků v peci (vzorky analyzované v Mokrém: klenební až spodní vsázka; vzorky analyzované v Praze: spodní a střední vsázka). Výsledná kompletní analýza reaktivity je o to důležitější, že splňuje současné mezinárodní normy. Měření reaktivity páleného vápna (CaO) bylo provedeno dle postupu stanoveného evropskou normou (ČSN EN 459-2: 2002: Stavební vápno – Část 2: Zkušební metody, kap. 5.10); měření provedl restaurátor Peter Majoroš v laboratořích oddělení vápenných technologií Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., v Praze.

Reaktivitou páleného vápna se rozumí exotermická reakce páleného vápna hašeného ve vodě, při které dochází k náhlému vzrůstu teploty. Odečítá se maximální dosažená teplota směsi T_{max} a vypočítává se hodnota T₆₀, která odpovídá teplotě potřebné pro přeměnu

60 % hasitelného vápna. Kromě toho se stanovuje čas t₆₀ (s), což je čas, ve kterém se dosáhne hodnota T₆₀.

Samotné měření se provádí v izotermických podmínkách v laboratoři na vzorcích kusového vápna, které bylo před zkouškou rozdrčeno a přesáto přes síto o velikosti oka d = 2,0 f. Pro měření bylo připraveno 150 ± 0,2 g vzorku, které bylo přidáno do Dewardovy nádoby s demineralizovanou vodou. Objem demineralizované vody v Dewardově nádobě byl vždy 600 ml, teplota vody byla měřena před samotným experimentem a měla přibližně 20 ± 0,2 °C. Teplota uvnitř Dewardovy nádoby byla konstantně měřena termočlánkem napojeným na digitální dataloger snímající teplotu uvnitř nádoby v časových intervalech, 30 sekund. Do Dewardovy nádoby s vodou bylo za stálého míchání (300 otáček za minutu) přidáno pálené vápno a vzápětí nádoba uzavřena. Při měření se zaznamenává teplota a její změna v čase, ze kterých se vyhodnocují T_{max} i čas t₆₀.

Z výsledků měření u vápen spodní a střední vsázky vyplývá, že nejvyšší reaktivitou se vyznačuje pálené vápno z nedvědkického mramoru, které dosahovalo nejvyšší dosažené teploty T_{max} při hašení. Nižší reaktivitou se naopak vyznačovala vápna pálená z vápence z Mokré a Radotína.

Kromě teplot je důležitou informací čas, za který hašená vápenná suspenze dosáhne teploty 60 °C. Srovnání této hodnoty ukazuje, že nejrychleji se hasí vápno z vilémovického vápence Mokrá, pomaleji Radotína a Nedvědice, které dosáhly podobného času t_{60°C} okolo 6 minut (360 s). Teploty pálení okolo 900 °C, někdy až 1000 °C mohou pozitivně ovlivňovat zvýšení reaktivity, která dalším zvyšováním teplot následně naopak klesá. Reaktivitu však kromě teploty ovlivňují i další faktory, jako rychlost pálení, velikost částic, zrnitost a mikrostruktura vápence, vápence s menší nehomogenní velikostí částic a větším měrným povrchem. Dalšími faktory ovlivňujícími reaktivitu jsou porozita a čistota vápence. Čistota vápence mohla ovlivnit výsledky měření reaktivity u sliveneckého vápence, který, ačkoliv obsahuje nejvyšší obsah příměsí, dosahuje nejnižší reaktivity.

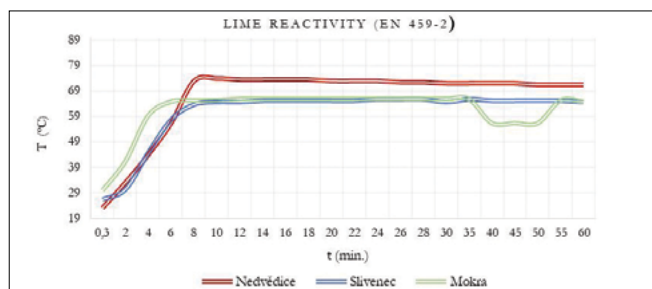
ZPRACOVÁNÍ PÁLENÝCH VÁPEN

Kusové pálené vápno (CaO) bylo postupně hašeno v množství cca 8–10 kg v nadbytku vody a neustále mícháno v hasnici. Pro účel hašení byla použita čistá studená voda z vodovodního řádu. Hašení probíhalo tak, aby nedošlo k spálení či utopení vápna čili voda byla přidávána dle rychlosti probíhající reakce a změny konzistence vzniklé vápenné kaše. Vápenná kaše se ještě za tepla přemístila do plastových sudů, kde se nechala stárnout.

Tab. 2: Hodnoty T_{max}, t_{max} a čas t₆₀ °C pálených vápen. Reaktivita páleného vápna (Majoroš 2022)

Vápnó	T _{max} (°C)	t _{max} (s)	t _{60°C} (s)
Mokrá	66,2	463	250
Radotín	65,3	1093	363
Nedvědice	72,2	480	360

¹ „Hroudí“ je forma nestabilního příkrovu vsázky, ve vápenické peci obvykle tvořená volně loženými plochými kameny. V tomto případě by svou větší frakcí mohli napomoci tepelně oddělit dvě rozdílné surovinové vsázky od sebe.



Graf 2: Reaktivita pálených vápen. Reaktivita páleného vápna; Sliveneč = Radotín (Majoroš 2022)

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA VÁPENNÝCH KAŠÍ

Vytvořené vápenné kaše byly systematicky testovány v laboratorních podmínkách po dobu 12 měsíců.² Vápenné kaše se vyznačují velmi dobrými vlastnostmi zejména plasticitou a rozměrovou stabilitou, tedy vlastnostmi důležitými pro tvorbu kvalitních maltovin určených pro tradiční stavební a řemeslné techniky či speciální štukové směsi.

CIHELNÁ VSÁZKA

Výpal vápence spolu se vsázkou cihel je historicky doložen jak písemnými prameny již od období středověku, hospodářskými příručkami novověku, tak potvrzen vyhodnocenými archeologickými výzkumy. Jak je již výše naznačeno, na výpal vápna společně se vsázkou cihel můžeme soudit i na základě písemných pramenů středověku. V edicích brněnských městských knih (*Mendl 1935, 206*) se již ve 14. století objevují zprávy o případech, kdy byl cihlář zároveň dodavatelem vápna, a můžeme tedy soudit, že ho snad i vyráběl. Například k roku 1353 dostal cihlář Jan na „cement“ (vápno) na opravu městské zdi 40 grošů. Stejně tak poukazují na existenci kombinovaných vsázek i archeologické prameny (srov. např. *Holub – Anton 2020, Holub – Kolařík 2020*). Novověké zdroje, které se pak věnují hospodárnosti provozu zejména panských podniků, popisují kombinované výpaly poměrně podrobně (např. *Mehler 1798*). Mehlerova vzorová pec má následující parametry: délku 3 sáhy a 3 stopy (6,63 m), šířku pak 2 sáhy a dvě stopy (4,42 m), přičemž mocnost vsázky ode dna pece dosahovala taktéž 2 sáhů a dvou stop (4,42 m). Poměr vložených surovin je dle plánu následující (počítáno ode dna pece): tahové kanály po vrchol 0,9 m, které jsou vystavěny z vápence a následně i překryty vrstvou vápence, na kterou navazuje v úrovni 1,7 metru ode dna pece vsázka cihel. Uprostřed vsázky cihel, chráněna ze stran i z boku, je umístěna vsázka jemného zboží – střešní krytiny, jejíž dolní hrana je v úrovni 2,5 metru nade dnem pece, na ni jsou ještě založeny dvě řady cihlové vsázky a následují čtyři řady cihel kladených naplocho, sloužící jako klobouk v úrovni cca 4 m, nade dnem pece.

K vlastnímu experimentu v Josefovské peci č. VII je nutno podotknout pár poznámek k použitému materiálu. Hmota cihel, druhotně použitých nepálených půdovek, byla výrazně písčitá a obsahovala velké množství organických příměsí (řezanky), což je u některých

kategorií nepálených cihel typické a zároveň je to velice často odlišuje od těsta cihel určených pro výpal v cihlářské peci. Z těsta nebyly odstraněny větší valouny a kameny, což ve výsledku výrazně snižuje pevnost hotového výrobku a již v průběhu výpalu působí vlivem rozdílné roztažnosti materiálů defekty, které vedou bezprostředně nebo následně k fatálnímu narušení hmoty hotového výrobku a snížení jeho pevnosti. Jak je již výše řečeno, výpal vsázky cihel byl v rámci experimentu úspěšný pouze částečně. Za tím lze hledat několik příčin. Prvním faktorem je bezesporu hmota vsázky, kdy pouhé tři vrstvy cihel neumožnily vytvořit kvalitní objem natolik, aby převážilo kvalitně vypálené zboží nad okrajovými zmetky. Co se týče hmoty je také nutné zmínit minimální odstup vsázky cihel od vrcholu klenby pece, tedy přímý dosah plamene a nejvyššího bodu žáru do vsázky keramiky. To se potvrdilo i po stranách pece, kde izolační vrstva vápenců byla mocnější a nedošlo zde k destrukci (natavení a slnutí hmoty) cihel. A do třetice se nedostatek hmoty dotkl příkrovu (klobouku) pece, tvořeného z cihel položených naplocho. Pouhá jedna řada příkrovu nedovolila dostatečně akumulovat teplo pro dokonalé vypálení horní řady vsázky. Druhým faktorem, který hrál roli v úspěšnosti výpalu vsázky, byla mimo původní určení výrobku (nepálená hlína) jednoznačně neznámá a nevyzkoušená surovina půdovek, kdy nebylo dopředu jasné, jak se bude při různých teplotách keramický materiál chovat.

I přes uvedené problémy se však ukázalo několik praktických zkušeností, které souvisí s kombinovaným výpalem. Velice důležitým faktorem je srovnání povrchu vsázky vápence před založením první řady cihel. Případné nedokonalosti se posléze projevují negativně v horních řadách. Je třeba zajistit dostatečný odstup od přímého zdroje tepla (vrcholu topného kanálu), aby na hlínu působilo teplo spíše sálavé než intenzivní průchod plamene. Je třeba mít cihelnou vsázku o dostatečném objemu, čímž se procentuálně zmenšují ztráty v podobě zmetků a odpadů a zároveň dbát na dostatečnou izolaci v podobě příkrovu z naplocho kladených cihel. Z tohoto hlediska se vybraná pec Josefov VII ukázala pro experiment jako nedostatečně objemově dimenzovaná, jelikož veškerá vsázka tvořila již z podstaty svého uložení odpad. Na druhou stranu je nutné také zmínit, že větší objem vložených cihlářských výrobků by akumuloval výrazně větší množství tepla a zvyšovaly by se časové nároky na chladnutí pece, jelikož vytažení produktu hned druhý den po výpalu (jak to bylo provedeno v peci Josefov VII) by v případě stavební keramiky znamenalo ohrožení kvality výsledku náhlou změnou teploty. Obecně tedy lze říci, že pro kvalitní ověření možností výpalu kombinované vsázky by bylo zapotřebí nejen většího zařízení (pece), ale adekvátně k tomu i surovin pro topení a času (dle příručky Mehlerovy 72 hodin různých fází topení a 4 dny chladnutí).

ZÁVĚR

Produkty kombinovaného výpalu v podobě kusového páleného vápna, zpracovaného hašením do podoby vápenné kaše, popřípadě hašením tzv. za sucha, jsou první kategorií stavebních pojiv, které se daly využít k zednickým či štukatérským pracím. Vzdušné vápno z vilémovických vápenců by mohlo najít uplatnění napří-

² Testováním vlastností vápenných kaší v průběhu stárnutí včetně jejich použití pro speciální štukatérské práce a konzervování-restaurování se věnuje Peter Majoroš.

klad při stavbě nosných a základových zdí. Vápno ze sliveneckých vápenců by mohlo být použito podobně, nebo společně s vápnem z nedvědicích mramorů využito jako pojivo do jádrových nebo speciálních omítek či sgrafit.

Druhou kategorií produktů jsou pálené cihly, jejichž kvalita se kus od kusu liší. Z pokusu, ovlivněného zejména malou hmotou objemu vsázky, vzešly jak dobře pálené kusy, tak kusy nedopálené či defektní (slinuté, zlomky). V tak malém počtu a různé kvalitě mohly být ve středověku lepší kusy využity jen k lokálním, většinou nesouvislým vyzdíváním, a doplněním zdiva či vyzdění detailů; současně mohly plnit i svůj původní účel jako půdní dlaždice.

Výsledky experimentálního výpalu s kombinovanou vsázkou tvořenou sedimentárním a krystalickým vápencem a cihlami, poukázaly na možnosti a limity kombinovaného výpalu dřevem. Pálení vápenců pro dosažení optimálních vlastností vápenných kaší si vyžaduje teploty kolem 900–1000 °C po dobu 10–20 hodin v závislosti na zvolené velikosti kusů vápenců, velikosti pece a mnoha dalších faktorech, které mohou ovlivnit výpal, jako např. parciální tlak, vlhkost vzduchu, teplota ad. Vyšší teploty výpalu v kratším čase výpalu, tedy nad 1050–1250 °C, nemusí negativně ovlivnit kvalitu výsledných vápen, ale jak se ukázalo, vyšší teploty nejsou optimální pro kombinovanou vsázkou menší frakce vápenného kamene, díky němuž pak dochází spontánně k přepalu až slinutí sekundární vsázky cihel.

Celková doba „výpalu“ (se všemi chronologickými režimy výpalu) kombinované vsázky vápence a cihel o objemu 1,5 m³ trvala v replikované historické vápenické peci typu Josefov VII 38 hodin při spotřebě 6 m³ smíšeného dřeva (habr, buk, smrk, modřín, jedle, borovice). Skutečná doba výpalu, odvíjející se ve fázi kalcinace vápencové vsázky, odpovídala však ve skutečnosti jen 12 hodinám, což se odrazilo v částečném cca 20–25% nedopalu. Výsledkem experimentu byl i přesto soubor stavebních produktů vhodných k okamžitému použití, získaný v době zhruba o 10 hodin kratší než při výpalu vápna v peci stejného objemu. Je velmi pravděpodobné, že podobným způsobem by bylo možné jednorázově vyrobit i vícenásobky objemu podobné smíšené vsázky, kterou produkovaly pece na dřevo v období pozdního středověku, přičemž u těchto starších typů objektů je předpokládán vzhledem k větší velikosti přibližně stejný podíl nedopalu ve svrchní a klenební vsázce. V rámci experimentálního areálu huti Františka se jednalo o první pokus svého druhu. Bylo prokázáno, že společná výroba páleného vápna a cihel v jednom pyrotechnologickém zařízení mohla být ve středověkých poměrech běžným procesem, který však mohl zároveň dosahovat různé kvality. Tento fakt však tehdejšími stavebními metodám neodporoval a odvisel od dlouhodobých tradic předávaných na základě letitých zkušeností generacemi cihlářů a vápeníků (Krajíc 2008; Válek 2015).

Experiment umožnil pochopit klady i zápory této zapomenuté historické technologické metody, která je v současnosti doložena z Moravského krasu a okolí prozatím jen archeologickými výzkumy středověkých výrobních areálů lucemburského období, disponujících nejčastěji vícekanalovými plamennými pecemi typu Müller 3 (např. Brno – Královo Pole, Pozořice-Vildenberk, Olomučany-Vypálená, Orlovice: srov. Holub et al. 2006; Kos 2015; 2019; Müller 1976). Experimentální výpal bychom rádi někdy v budoucnu zopakovali.

Příště bychom se zaměřili na zkvalitnění obou výstupních produktů a pokusili se současně o rozhojnění cihlářských stavebních a dekoračních výrobků rozložených v sekundární vsázce pece. Tento způsob výpalu není velkou motivací pro experimentující archeology, ale také pro řemeslníky-specialisty, zabývající se citlivější obnovou historických staveb. Dotýká se hlavně obnovy objektů ze 14.–17. století, kdy byly ještě v běžném provozu komorové shora otevřené pece obdélného schématu vytápěné dřevem (srov. např. Krajíc 2008, 33–45).

LITERATURA

Ebel, M. 2015: Výroba vápna v 18. a 19. století podle dobových a plánových pramenů, In: Válek, J. a kol. (ed.), Vápenné technologie historických staveb, Katalog k výstavě Calcarius čili vápeník, 69–84. Praha: NTM.

Helan, B. - Klement, K. 1960: Vápno: Výroba a použití. Praha.

Holub, P. – Merta, D. – Zübek, A. 2006: Cihlářská a vápenická pec na ulici Božetěchova v Brně-Králově Poli, Archeologia technica 17, 45–51.

Kos, P. 2015: Neznámý výrobní areál na přilehlém předpolí hradu Vildenberk u Pozořic (okr. Brno-venkov), Archeologia technica 26, 79–84.

Kos, P. 2019: Nové vápenické a cihlářské areály v Moravském krasu a jeho okolí, Archeologia technica 30, 20–38.

Krajíc, R. 2008: Středověké cihlářství: Sezimovo Ústí – archeologie středověkého poddanského města 4, České Budějovice – Tábor: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích a Husitské muzeum v Táboře.

Majoroš, P. 2022: Restaurování štukové výzdoby lunety s plastikou Marta v císařském pokoji na zámku v Bučovicích. Technika renesančního štuky *stucco romano* na vybraných štukových dílech v Čechách a na Moravě. Diplomová práce. Litomyšl: Fakulta Restaurování, Univerzita Pardubice. Vedoucí práce: doc. Jakub Ďoubal, Ph.D.

Mehler, J. 1798: Die Landwirtschaft des Königreichs Böhmen. Vierten Band, fünfte Abtheilung von dem Ziegel – und Kalkbrennen. Prag und Dresden.

Mendl, B. 1935: Knihy počtů města Brna z let 1343–1365. Brno.

Müller, R. 1976: Die Ungarischen Kalkbrennöfen, Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters 4, 69–82.

Válek, J. 2015: Vápenné technologie historických staveb. Praha: ÚTAM AV ČR, v. v. i.

PETR KOS, Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i., Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno, kos@uapp.cz

PETR HOLUB, Národní památkový ústav, Územní odborné pracoviště v Brně, náměstí Svobody 8, 601 54 Brno, holub.petr@npu.cz

PETER MAJOROŠ, Fakulta restaurování v Litomyšli, Univerzita Pardubice, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl, peter.majoroskrafcik@gmail.com

Adresář autorů

Mgr. Patrick Bárta

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
barta@arub.cz

Ing. Hana Grison, Ph.D.

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
Environmentální a aplikovaná geofyzika
Boční II/1401, 141 00 Praha 4 – Spořilov
grison@ig.cas.cz

Mgr. Michal Hlavica, Ph.D.

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
hlavica@arub.cz

Mgr. Petr Holub

Národní památkový ústav
Územní odborné pracoviště v Brně
náměstí Svobody 8, 601 54 Brno
holub.petr@npu.cz

Mgr. Petr Kos

Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i.
Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno
kos@uapp.cz

RNDr. Roman Křivánek

Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.
Oddělení informačních zdrojů a archeologie krajiny
Letenská 123/4, 118 00 Praha – Malá Strana
krivanek@arup.cas.cz

Michael Lebsak, MA

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
lebsak@arub.cz

MgA. Peter Majoroš

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování v Litomyšli
Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl
peter.majoroskrafcik@gmail.com

Mgr. Ondřej Merta

Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno
merta@technicalmuseum.cz

Mgr. Roman Mikulec

Masarykova univerzita
Filozofická fakulta
Ústav archeologie a muzeologie
Arna Nováka 1/1, 602 00 Brno
472045@mail.muni.cz

PhDr. Ing. Jaroslava Neubauerová, Ph.D.

Banické muzeum v Rožňave
Šafárikova 31, 048 01 Rožňava, Slovensko
banictvo@banmuz.sk

Mgr. Michal Přichystal

Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i.
Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno
prichystal@uapp.cz

Mgr. Dominik Talla, Ph.D.

Institut für Mineralogie und Kristallographie
Fakultät für Geowissenschaften und Astronomie
Universität Wien
Althanstraße 14 (UZA 2), A-1090 Wien, Rakousko
sutrar@volny.cz