

EXPERIMENTÁLNÍ VÝPAL VÁPNA V ŠESTIKANÁLOVÉ VÁPENNÉ PECI Z OBDOBÍ VRCHOLNÉHO STŘEDOVĚKU V MOKRÉ

Petr Kos, Jan Válek

Příspěvek informuje o archeologickém experimentu, díky kterému došlo v roce 2014 k opětovnému zprovoznění originálu vrcholně středověké velkokapacitní vápenické pece. Objektem výzkumu byla šestikanálová polostabilní pec prozkoumaná v předstihu archeology Ústavu archeologické památkové péče Brno v areálu velkolomu Mokrá v jižní části Moravského krasu. Smyslem velkorysého pokusu bylo přiblížit a ověřit již dávno zapomenutý technologický proces, který se mohl uplatnit při provozu těchto pyrotechnologických zařízení, běžně budovaných u středověkých měst a hradů v širším středoevropském prostoru.

Klíčová slova: Jižní Morava – Mokrá-Horákov – vrcholný středověk – vápená pec – experimentální archeologie

EXPERIMENTAL LIME BURNING IN A SIX-CHANNEL LIME KILN FROM THE HIGH MEDIEVAL PERIOD IN MOKRÁ

The paper gives information about an archaeological experiment which helped to repair and operate an original large-scale lime kiln from the High Medieval Period in 2014. The object of the research was a six-channel semi-stable kiln that was examined in advance by archaeologists of the Ústav archeologické památkové péče Brno (Brno Institute of Archaeology) in the area of Mokrá quarry in the southern part of the Moravian Karst. The purpose of this large-scale experiment was to show and verify the long-forgotten technology which could be applied to operate these pyro-technological devices commonly built near medieval towns and castles in the wider Central European region.

Key Words: South Moravia – Mokrá-Horákov – High Medieval Period – lime kiln – experimental archaeology

Některé krajiny oplývají od přírody bohatstvím drahých kovů, jiné zase jinými výsadami, které je staví v lidské společnosti do rolí výjimečných. Moravský kras patří nepochybně mezi výjimečné krajiny, ne však k územím, která by člověka lákala z důvodu snadného nabytí bohatství nebo jeho hlavní obživy. Díky existenci krasových jeskyní tu člověk většinou nacházel útočiště před nepohodou nebo v dobách válečných. Byl protkán cestami křesťanských poutníků a dálkových obchodníků, při nichž feudálové zakládali hrady a kláštery. Právě jejich přičiněním se začalo v Moravském krasu od středověku postupně prosazovat nové řemeslo, které bylo závislé na bohatých zdrojích místních devonských vápenců – vápenictví. Než však došlo k jeho rozvoji, bylo třeba, aby člověk poznal, jak za pomoci tepelné reakce přeměnit vápenec a ostatní karbonátové horniny v pálené vápno. Tyto poznatky získal člověk daleko dříve a ve středověku je pak jen prakticky rozvinul.

Devonské, jurské a krystalické vápence představují základní surovinové zdroje pro výrobu vápna na Moravě. Většina dnes známých významných ložisek byla využívána snad „od nepaměti“, což v přírodě zanechalo mnoho stop, které rozvoj dobývání surovin dokumentují. Rozsáhlé lomy, které výrazně nabyly na objemu během

19. a 20. století, se rozprostírají od Štramberka, Jeseníku, Vitošova, Hanušovic, Hranic, Javoříčka, Mokré, Čebína, Lažánek aj. až po hranici s Rakouskem u Mikulova. Tyto lomy jsou v krajinném reliéfu již zcela viditelné. Početnější jsou ovšem pozůstatky méně patrné těžby, která byla dříve nepoměrně běžnější a vázala se na mělčí dobývání vápenců či jejich povrchový sběr z přirozených zvětralých výchozů. Nejinak tomu bylo i v Moravském krasu, který je budován několika litofaciemi vápenců macošského souvrství usazených během středního a svrchního devonu. Vyskytují se zde chemicky velmi čisté vápence, které byly využívány pro jejich univerzálnost vápeníky asi nejčastěji. Neznačená to však, že nebyly používány i ostatní, méně čisté druhy. Vápence obsahující jílovité a křemičité příměsi mohly být podle míry znečištění využívány pro výrobu vápna i v minulosti a od 19. století byly již záměrně vyhledávány pro výrobu přirozeně hydraulického vápna a následně i cementu. Využití méně kvalitních surovin bylo většinou osudem vápeníků z obcí ležících mimo kras nebo v jeho okrajových oblastech, kde si většinou nebylo možné surovinu vybírat. Vesnice Mokrá (dnes část spojené obce Mokrá-Horákov) leží vklíněna do předhůří Dražanské vrchoviny v jižní části Moravského krasu a svou dispo-

zící kontroluje bohaté zdroje takřka všech litofacií paleozoických vápenců. Na základě archeologických nálezů lze předpokládat, že vápenictví zde rozšířilo své uplatnění od 13. století v souvislosti s budováním královského města Brna (Kos 2001; Procházka 2011). V této době jsou na krasových plošinách zřizovány tzv. panské vápenice, jejichž hlavní součástí byly vícekanalové pece opatřené větším počtem topných kanálů. Tento typ vápenné pece se stal roku 2014 středem pozornosti experimentálních archeologů a je hlavním předmětem příspěvku.

HISTORIE EXPERIMENTÁLNÍCH POKUSŮ V OBORU VÁPENICTVÍ V MORAVSKÉM KRASU

První řízený potvrzovací archeologický experiment (Malina 1980, 21), provedený za účelem výroby vápna historickou metodou výpalu vápence dlouhým plamenem, byl uskutečněn v areálu lomu Mokrá archeology Ústavu archeologické památkové péče v Brně roku 2000 (Kos 2002a). Jednalo se o experiment „rekonstrukční“, založený na praktikách zmiňovaných J. M. Colesem (Coles 1973), který vycházel ze známých novověkých technologických a funkčních postupů. Pro dodržení místopisných zvyklostí bylo čerpáno z etnografických pramenů Drahanské vrchoviny (Vaňáček 1970; Kurfürst 1978). První experiment byl realizován prostřednictvím archeologicky nalezeného originálu pece z 16. století z naleziště Mokrá-lom VII (Kos 1998). Jednalo se o shora otevřenou jednokanalovou pec horizontálního schématu, ve které byl vápenec oddělen od topeniště, tedy místa spalování paliva. Celý objem vypalovaného kamene činil cca 1 m³ a v peci byl uložen tak, že se nejprve vápencovými kameny zaklenul prostor topeniště a na vzniklou konstrukci se následně naskládal zbytek vsázky. Na horní vrstvu kamenů se podle místní tradice dělal hliněný příkrov.

Třífázový experiment (vysoušení – předeřev – výpal), při kterém byl získán ve výsledku vápenný produkt přiměřené jakosti, trval 30 hodin (Kos 2002a, 14). Během něj bylo při přerušovaném způsobu přidávání paliva spotřebováno cca 3–3,5 m³ dříví různé tvrdosti a kvality, převážně však dobře vysušeného (Kos 2002a, 12). Tehdy se doba výpalu jevila autorovi jako nedostatečná, neboť pec vyprodukovala kromě kvalitního vápna také značné množství nedopalů (cca 30 %). Příčinou neúplné přeměny vápence na vápno byl patrně nevyrovnaný topný režim a nedostatečná zkušenost s určováním stavu výpalu, který byl posuzován na základě vlastní intuice a přenesených zkušeností předků.

Další doposud nepublikovaný experiment (spíše však osvětového než vědeckého rázu) se uskutečnil roku 2010 v obci Rudice, okr. Blansko, v areálu experimentálního parku „Tumperek“ při Dnech slavností železa. Podnětem byla společenská událost konaná při příležitosti svátku obce, během níž byla lidem přiblížena tradiční venkovská řemesla rozšířená kdysi v oblasti střední části Moravského krasu. Tehdy se experimentu ujali zaměstnanci ÚAPP Brno, v.v.i., společnosti Archaia Brno, o.p.s. a České speleologické společnosti, o.s. Výpal vápence se uskutečnil v replice stabilní kamenné pece, napodobující raně novověkou vápenku z Wiehlova údolí u Habrůvky (Merta 1980, 53, obr. 11), a trval 23 hodin. O zbu-

dování repliky se zasloužili A. Chaloupka z Rudic a L. Slezák z Brna (oba členové České speleologické společnosti) a o plné zprovoznění P. Kos (ÚAPP Brno, v.v.i.), P. Holub (Archaia Brno, o.p.s.), M. Skoupý, Z. Dvořák, P. Svoboda a B. Jarošová (dobrovolníci a členové ČSS).

Oba experimenty (Mokrá, Rudice) využily stejný typ pece horizontálního schématu pracující po tzv. římském způsobu, který je založen na metodě jednorázového výpalu, kdy se z vápencové vsázky vytváří zaklenutý prostor topeniště, v literatuře též označováno jako samosvorný kamenný rošt, a topí se palivem, které hoří dlouhým plamenem (více k problematice Merta 1980; Válek 2015 a další literatura), jehož produktem bylo převážně měkce pálené vápno.

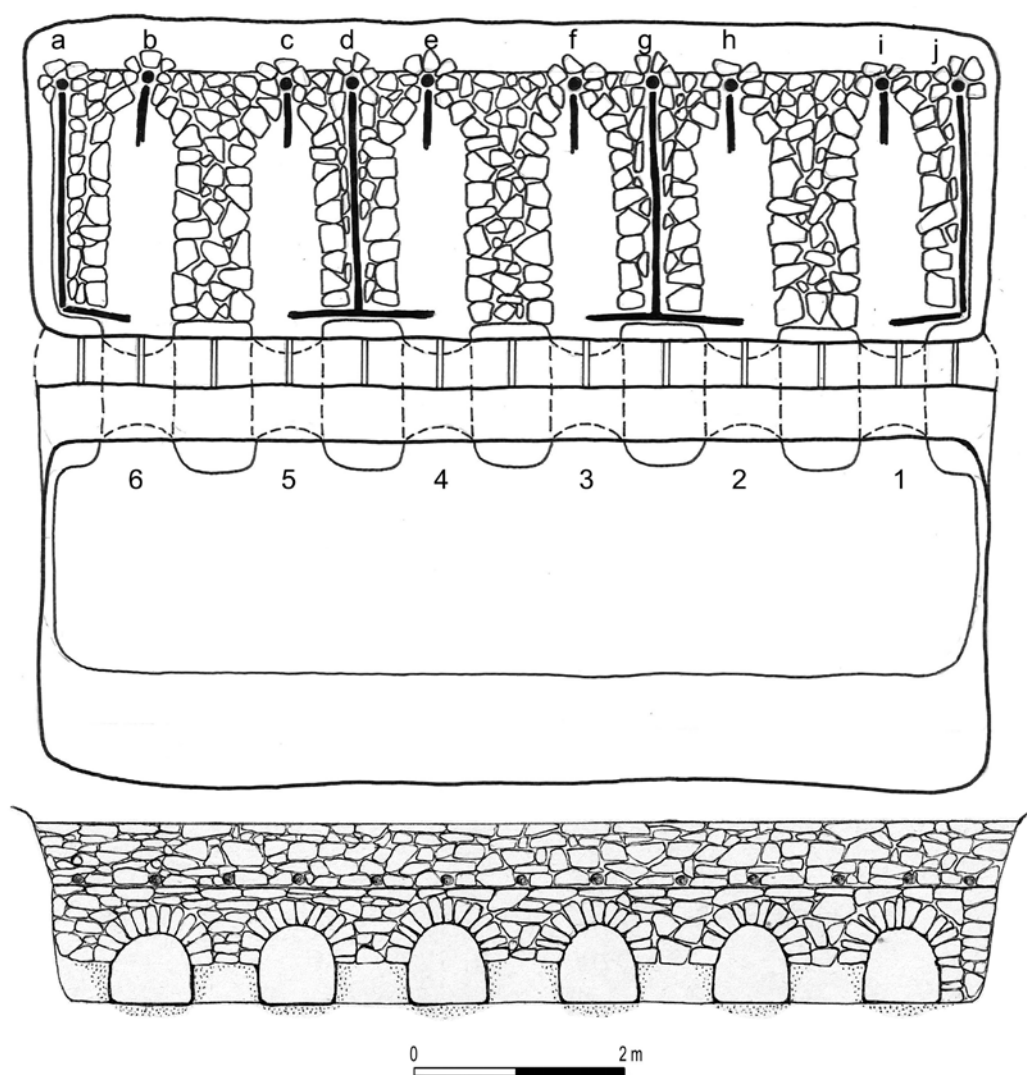
Dosavadní experimenty ukazují, že přibližně 70–80% úspěšnost ve výpalu vápna je naprosto běžnou produkcí jednoduchých jednorázových jámových pecí a že dobu výpalu lze díky kvalitnímu velikostnímu rozložení suroviny v peci a vhodnému topnému režimu z původních 30 hodin zkrátit. Velkou roli pro dosažení úspěšného výpalu přitom hrají hlavně zkušenosti s různými druhy výrobních zařízení (různé variety objemových kapacit), která mají svá poněkud odlišná specifika provozu, hlavně co se týče spotřeby paliva. Hlavním faktorem úspěšnosti výpalu jsou pak zcela evidentně praktické zkušenosti, které se dříve dědily po celé generaci rodin vápeníků; tyto nám zcela zákonitě dnes již scházejí a pro ověřování průběhu výpalu jsme proto nuceni do experimentu zapojovat také teplotní monitoring, který byl dříve praktikován na úrovni vizuální (srv. Vaňáček 1970; Kurfürst 1978; Vermouzek 1980). Výzkumem a experimentálním provozem malých vápenných pecí určených pro jednorázový výpal se v posledních letech zabývá v Evropě několik pracovišť zejména z důvodů hledání vhodných materiálů pro opravy historických staveb. Předmětem zájmu jsou zejména využití historicky známých, ale dnes již nevyužívaných surovin a upřesnění technologických postupů, které vedly k specifickým kvalitám vápenných pojiv a malt. Poznatky z provozu experimentální vápenné pece umístěné v Solvayových lomech v Českém krasu jsou publikovány a umožňují dále prohlubovat znalosti o technologických postupech tradiční výroby a zpracování vápna (Válek, 2015; Válek a kol. 2015).

VÍCEKANALOVÁ PEC TYPU 3 DLE MERTY A MÜLLERA

Naprostým neznámem byl donedávna pro experimentální archeologii na Moravě druh horizontální jámové pece vybavené větším množstvím topných kanálů zabudovaných v plentové zdi dělící od sebe výrobní a obslužný prostor (Merta 1980, 33). Předpokládá se, že vzorem pro tento druh zařízení byly baterie římsko-provinciálních vápenek o rozměrech objektu cca 30 × 6 m, pracující s vestavěnými sadami samostatně obsluhovaných jednokanalových pecí. V současnosti nejznámější je vápenka z 2.–3. století n. l. se čtyřmi (později šesti pecemi) z Iversheimu u města Bad Münstereifelu v jihozápadním Porýní (Sölter 1970; 1977; Merta 1980, 32). V roce 1970 se jedna z nalezených pecních jednotek stala předmětem vědeckého experimentu, při němž byla sledována doba výpalu suroviny, kterou zde představoval dolomitický vápenec (srv. Malina 1980;

Malinová – Malina 1982, 103–106). Výpal trval v této peci podle skutečného experimentu 14 dní od naložení po vyložení pece při produkci cca 18 tun vápna a vsázce 15 m³ vápence (cca 22–25 tun); dřeva (topol/vrba) bylo spotřebováno 60 m³ při provozní teplotě cca 900–1000 °C. Autor experimentu zjistil, že vhodnou kombinací pecí bylo v celém komplexu možné dosáhnout výrobního kontinua. Je však otázkou, do jaké míry to bylo s tak velkou výrobní kapacitou jedné pece nutné vůbec praktikovat a zda nemohl, jak si ukážeme na novém experimentu z Mokré, trvat výpal s podobným výsledným efektem podstatně kratší dobu. Práci v porýnské vápenici vykonávali patrně římsí vojáci 30. legie Ulpia Victrix a 1. Minervia, kteří byli k tomuto úkonu v rámci římských týlových jednotek předurčení. Specifikem těchto pecí bylo zvláštní umístění topných otvorů poměrně vysoko nad topeništěm, což je jev, který je v této době charakteristický také pro pyrotechnologické objekty produkované Germány na výrobu vápna v oblastech severně Dunaje (např. Thér a kol. 2010, 343–344, obr. 21; Thér – Maršálek 2011).

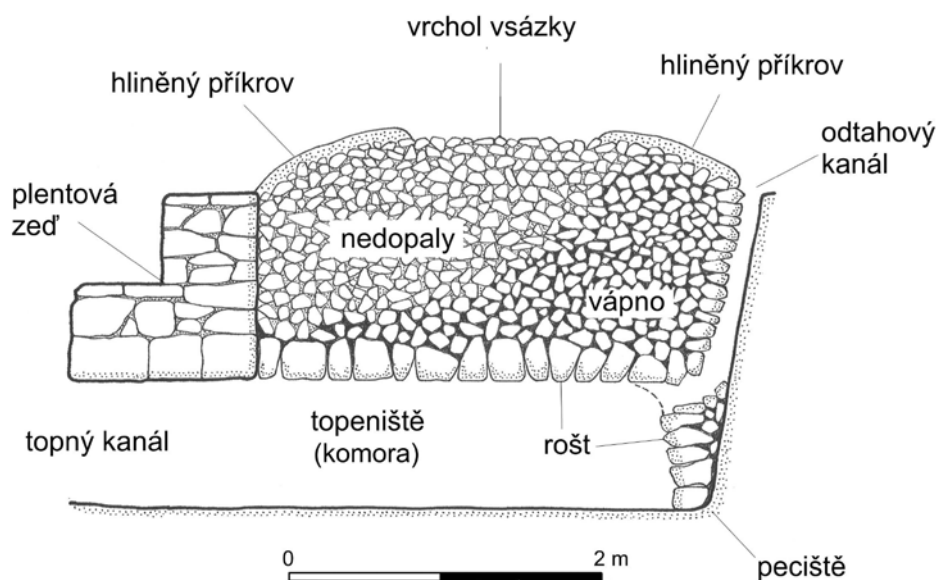
Cílem historicky již druhého experimentu v Mokré se stala také originální pec. Její pozůstatky byly objeveny a prozkoumány archeology ÚAPP Brno v předpolí těžebního prostoru lomu zajišťujícího surovinu pro cementárnu Mokrá (Kos 2014; 2015a). Tentokrát se jednalo o velkokapacitní shora otevřenou šestikanálovou pec obdélného schématu datovanou do období 13.–14. století (typ 3: Müller 1976; Merta 1980; typ C3: Kos 2001; podtyp 3e: Kos 2015b, 40, obr. 10). Svou zvláštní konstrukcí se jednalo o objekt, který se počty kanálů a komor i výrobními kapacitami (jedna pecní jednotka – cca 12 m³) podobal do jisté míry vápenickému okrsku z Iversheimu, odlišnosti však bylo možné spatřovat v absenci členění vnitřního výrobního prostoru na šest vzájemně od sebe oddělených komor, které využívaly (vyhřívaly) jedno společné obdélné peciště, a dále v umístění topných otvorů situovaných až u samotného dna topeniště. Podle svých morfologických charakteristik a dalšího uplatnění, např. v cihelnách, se v tomto případě hovoří rovněž o pecích komorových (Tonezzer 2002, 105, 107), z nichž pece



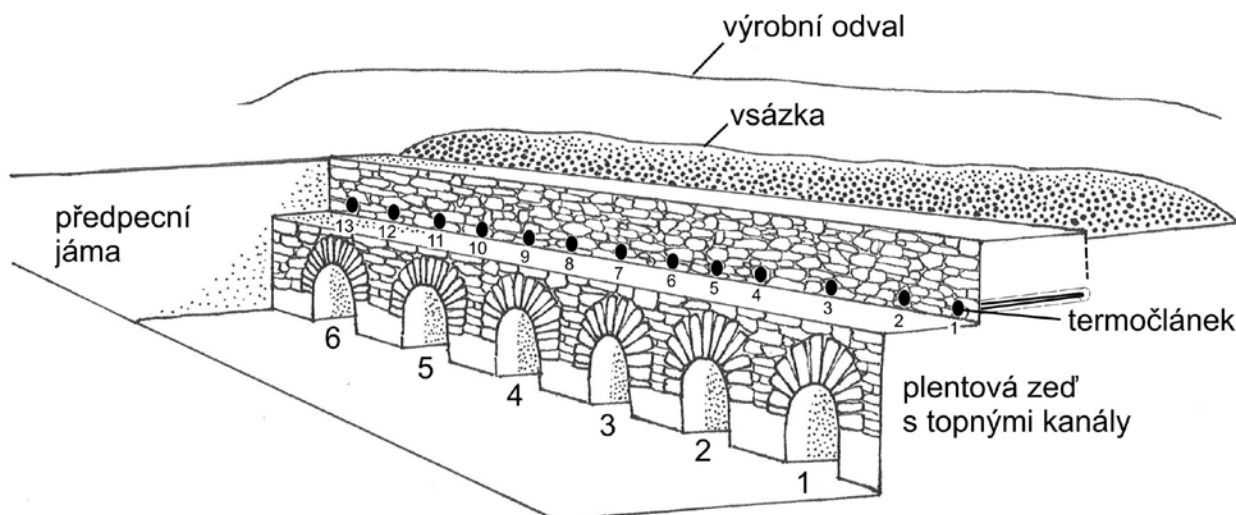
Obr. 1: Svislý pohled na rekonstruovanou experimentální vápennou pec s vyznačením systému odtahových kanálů (a–j) mezi rošty ve výrobním prostoru za topnými kanály č. 1–6. Kresba P. Kos

se dvěma topnými kanály/komorami jsou brány jako vývojové kontinuum z římsko-galské tradice a udržují se po celý vrcholný středověk i s pecemi opatřenými třemi komorami (Holub 2006, 31). Tříkomorové pece zaznamenáváme v této době v souvislosti s cihlářstvím a vápenictvím také na území Čech (např. Milevsko: Drda 1983). Mokerská vápenka tvoří společně s další šestikanálovou pecí z Vyškova a pětikanálovou z Mokré (Kos 2002b; 2003) skutečný vrchol v budování polních vápenických pecí tohoto typu na Moravě. Jejich schéma vychází z Müllerova/Mertova členění podunajských vápenek (dvoukanálový typ 3a: Merta 1980, 55, obr. 13:g), jenž měly být ve vrcholném středověku rozšířeny hlavně v oblasti střední Evropy (srov. Merta 1980, 33). Zvažována je přitom domněnka o možnosti šíření těchto zařízení ze západního Podunají (Ruttkay 1984). Otázkou však je, do jaké míry tomu tak bylo skutečně, neboť první případ rané dvoukanálové vápenické pece známe

ze severozápadního Maďarska již z přelomu raného a vrcholného středověku (např. Lukácsháza u Szombathely, kraj Vas: Horváth 2010) a nejedná se vůbec o typ, který by napodoboval svou kapacitou pece římských typů Iversheim či Rusovce (Merta 1980, 32). Zjišťujeme u ní, že obě topeniště jsou již umístěna do velké společné obdélné jámy, avšak komory jsou ještě od sebe odděleny hliněnou přepážkou. Topné kanály jsou navíc umístěny při dně, podobně jako u pece v Mokré a dalších, které byly nalezeny dříve i v posledních letech na území Moravy (Brno, Kanice, Vyškov, Holštejn, Šaumburk, Rychtářov: srov. Merta 1980; Kohoutek 1987; Kos 2002b; 2003; Kolařík – Peška 2005; Procházka 2011; Merta – Merta 2011, vesměs však nepublikováno). Lze tak do jisté míry naznačit další směr vlivů, které se v raném středověku podílely na formování konstrukčního vzhledu moravských kanálových vápenek typu 3 dle Merty a Müllera.



Obr. 2: Schéma založení experimentální pece za topným kanálem č. 1; stav po výpalu. Kresba P. Kos



Obr. 3: Podoba experimentální vápenky z naleziště Mokrá–lom X. Kresba P. Kos



Obr. 4: Příprava originálních pozůstatků středověké vápenky k rekonstrukci. Foto P. Kos



Obr. 5: Práce na rekonstrukci plentové zdi. Foto P. Kos

CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTÁLNÍ PECE

Experimentální pec z Mokré představovala částečnou repliku (zachováno přibližně 70 % původního objektu) archeologicky nalezeného objektu (Obr. 4), tím se její parametry naprosto slučovaly s původním morfometrickým středověkým rozvržením. Rekonstrukcí prošly pouze plentová zeď a topné kanály, které byly v poškozených místech dostavěny na hlínu z vápencového kamene (Obr. 5). Provedené rekonstrukční úpravy byly minimální a pouze za účelem umožnění experimentu, tedy aby pec byla funkční a mohla lépe odolávat novému žáru. Terénní práce při rekonstrukci se odehrály ve dnech 10. 9. – 16. 10. 2014 za účasti 3–5 osob. Rekonstrukce historického objektu se zúčastnili brigádníci, archeologové, studenti a dobrovolníci. Doplnky tvořící zázemí experimentu zajistili pracovníci Technického muzea v Brně a lomu Mokrá, požární stráž zajistili členové DHS z Mokré-Horákova. Experiment byl součástí workshopu nazvaného Druhý experimentální výpal vápna na základě archeologického nálezu středověké vápenické pece v Mokré.

Vzorem se experimentátorům stala podobná středověká čtyřkanálová pec č. IV od hradu Obřany (Merta 1980), která byla archeologicky zdokumentována a replikovanou podobu v této oblasti jednoznačně potvrzuje.

Vlastní interiér pece tvořila asi 1 m široká a 11 m dlouhá kamenná plentová zeď, perforovaná šesti topnými kanály o výšce a šířce

cca 80 × 80 cm obloukově zaklenutými v horní části. V pecišti byla v osách topných kanálů vymezena šestice topenišť dlouhých kolem 2 m (Obr. 1). Topeniště prostorově ohraničovaly z vápence klenuté konstrukce, které zároveň tvořily základy pro celou vsázku vápencového kamene uloženou později nad nimi (Obr. 3). Pomůckou se stalo dřevěné bednění s deskami, na které se stavěly pravé klenby, avšak již bez použití hlíněné malty (Obr. 6). Do této míry se až na větší rozměry všechny technologické prvky shodují s jednoduchými jednokanálovými pecemi, které byly v Mokré a sousedních Hostěnicích a Ochozu v provozu ještě na počátku 20. století (Ličman 1921; Vaňáček 1970, 107; Kurfürst 1978, 153).

Do spodních částí zaklenutí topenišť byly z důvodu zajištění stability použity větší kameny, tak aby později nedošlo k posunu do stran a následnému porušení kleneb. Současně byly také do dna a stěn pecišť zakládány pomocné dřevěné armatury, které vytvářejí po svém postupném vyhoření soustavu pomocných odtahových kanálů (Obr. 1, 2, 8). Tato opatření jsou doložena rovněž archeologicky nálezy souvisle propálených linií v podloží, které byly objeveny při výzkumu pecišť. Podobně se také projeví výraznější propálené hranice topenišť vymezujících komory s rošty, které se při nálezu pecí obvykle nedochovávají, díky tomu však máme o jejich existenci a rozměrech alespoň přibližnou představu.



Obr. 6: Současně probíhající rekonstrukce plentové zdi a budování roštů na dřevěné šablony. Foto P. Kos

CÍL EXPERIMENTU

Nelze vyloučit, že systém odtahů budovaných dřevěnými armaturami mohl být podstatně komplikovanější, v experimentální peci se však omezily jejich směry pouze na hlavní odtahy ze zadních částí topenišť a pomocné mezi nimi, které byly v zadní části peciště vyvedeny komínovitě ven z pece. Jejich účelem bylo patrně eliminovat nečistotu vsázky, kterou pak obtížněji procházejí plameny, ale hlavně rovnoměrně prohřívat vlastní masu suroviny, aby se zkrátila doba výpalu. Do jisté míry se tak mírně vyvýšená náplň pece vzhledově podobala milíři, neboť vsázka mohla být na povrchu ještě shora obmazána jílem spojeným s listím či travou, což je z Mokré rovněž doloženo archeologickým výzkumem. Pro lepší provoz pece byl kolem obvodu peciště ještě navršen asi 1,5 m vysoký hliněný závětrný val, který byl doložen archeologicky rovněž. V tomto případě však nevíme, jakou přesně val plnil funkci, mohl to být například také pozůstatek nestabilního příkrovu (tzv. kabátu: srov. *Vermouzek 1980, 60*), který původně kryl shora surovinovou vsázku a při vybírání pece mohl přijít na okraj pece až jako druhotný výrobní odval, což by nakonec potvrzovalo i jeho neobvyklé zvrstvení s příměsemi zbytků vápna a zlomky až bloky amorfni vypálené a slinuté mazaniny.

Cílem experimentu bylo provést výrobní zkoušku v autentickém pyrotechnologickém objektu, odkrytém běžnou archeologickou metodou při záchranném předstihovém výzkumu. Smyslem předcházející rekonstrukce bylo použití stejné materiální skladby, jaká odpovídala středověkým podmínkám v autentickém místě nálezů. Bylo přitom využito částečně replikovaného originálu zařízení odsouzeného k jistému zániku. Experiment měl zjistit přibližnou dobu výpalu v těchto typech pecí a stanovit fyzickou náročnost přípravných a výrobních prací, které proces doprovázely. Velkou neznámou je podoba technologických částí pece, které se nedochovaly (zaklenutí topenišť a systém uložení celé vsázky). Experiment se proto pokusil prakticky využít poznatků z archeologie, která dokládá díky alteraci podloží použití zaklenutí topenišť za každým topným kanálem a existenci pomocných odtahových kanálů, situovaných v rozích peciště. Z archeologických výzkumů také víme, že vápenec byl do pece zavážen pomocí visuté dřevěné lávky/rampy a že kámen nebyl lámán v lomech, ale jen povrchově sbírán. Pokud bylo v místě možné nalézt vhodnou velikost, tak již kámen nemusel být vůbec upravován tlčením na potřebnou frakci, což je právě případ této lokality.



Obr. 7: Mechanizovaný dovoz vápence k experimentální peci. Foto P. Kos

ZAVÁŽENÍ PECE A POUŽITÁ SUROVINA

K peci bylo z oblasti Západního a Prostředního lomu Mokrá dovezeno pomocí osmikolového nákladního vozu IVECO o nosnosti 16 tun a kolového šestikubíkového nakladače KOMATSU WA 600 (Obr. 7) zhruba 85 tun deskovitého křtinského a hádsko-říčského vápence (Tab. 1, vzorek 5: CaCO_3 : 66,33 %; SiO_2 : 30,54 %), který byl kolem pece plošně rozložen, roztríděn a připraven k vyzdívce klenb topných kanálů a plentové zdi. Část vápence byla upotřebena také při budování zaklenutí topenišť, kde bylo na dřevěné šablony ručně vyskládáno a kolem nich založeno přibližně 49 tun vápence. Druhá část vsázky byl vysokoprocentní vilémovický vápenec s obsahem 97 % CaCO_3 a 0,5 % SiO_2 o velikostní frakci 150–300 mm. Tato část činila přibližně 79 tun a do pece byla naložena kubickým

pásovým nakladačem KOMATSU PC 210 LC (Obr. 15). Celkový obnos vsázky v experimentální peci tak činil maximálně 130 tun hutného vápence. Materiál byl dovezen ze surovinového síla kuželového drtiče mokerského lomu. Obdobný vysokoprocentní vápenec byl předmětem výpalu i v minulosti, což dokládá chemická analýza archeologického vzorku v tabulce 1 (vzorek 1 – CaCO_3 : 97,16 %; SiO_2 : 1,08 %). Současně s mechanizovaným plněním peciště surovinou probíhalo také ruční budování hlavních a pomocných odtahů kolem založených dřevěných armatur. Použity byly habrové kmínky o průměru přibližně 10–15 cm, které byly vzájemně propojovány a zakládány vápencovou surovinou (Obr. 1, 8), tak aby z nich vznikly po vyhoření duté odtahové kanály komunikující s topeništi a povrchem.

Vzorek		Chemické složení v hm. %						
č.	popis	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	CaCO_3	MgCO_3
1	původní vápencová vsázka	1,1	0,2	0,1	54,4	0,2	97,2	0,5
2	klenba 1 a 2 – vsázka	5,4	1,1	1,0	49,7	0,6	88,7	1,3
3	klenba 3 a 4 – vsázka	18,0	0,5	0,2	43,7	0,4	78,0	0,8
4	klenba 5 a 6 – vsázka	28,6	1,2	0,8	37,6	0,4	67,2	0,9
5	stavební kámen – rekonstrukce	30,5	0,8	0,7	37,2	0,4	66,3	0,7
6	kontrolní vzorek – vsázka	0,7	0,4	0,1	54,5	0,3	97,3	0,6
7	kontrolní vzorek – vsázka	2,6	0,8	0,3	52,2	0,4	93,2	0,8

Tab. 1: Rozbor suroviny: č. 1 – vzorek suroviny z historické vápenky, č. 2 – vzorky vápence experimentální pece z roštů č. 1–2, č. 3 – vzorky vápence z roštů č. 3–4, č. 4 – vzorky vápence z roštů č. 5–6, č. 5 – vzorky stavebního vápence z kanálové plenty, č. 6 – vzorky svrchní suroviny ze SZ strany peciště, č. 7 – vzorky svrchní suroviny z JV strany peciště (autor: K. Palucha, Carmeuse Česká republika)



Obr. 8: Uskladnění zásob palivového dříví po straně předpecní jámy. Foto P. Kos

PALIVO

Základní palivovou hmotou bylo tvrdé polosuché dřevo (štípy habr/buk) o objemu 30 m³ dovezené z pily v Adamově. To bylo doplněno měkkou kulatinou (smrk) o objemu asi 20 m³ ze zásob lomu Mokrá a alternativními zdroji ze stolařství Divácký v Horákově (cca 15–20 m³). Spotřebováno bylo kolem 65–70 m³ dřeva.

Jednotlivé kusy dřeva byly složeny do rázů po obvodu jihozápadního předpecí, odkud byly transportovány na jižní hranu předpecní jámy, kde je bylo možné topičem kontinuálně odebírat (Obr. 8).

PRŮBĚH VÝPALU

Výpal vápna v experimentální peci trval 63 hodin. Skládal se ze dvou cyklů: I – sušení, II – výpal. Doplněval jej navíc cyklus III – chladnutí, který je nutno podstoupit podle zkušeností z běžných i zkušebních provozů v objektech jednokanálového typu, aby bylo možné výsledný produkt z pece vyjmout.

K založení ohně ve všech šesti topeništích vápenky došlo v 7 h v pátek ráno 17. 10. (I. cyklus) a již v 11 h se plynule přešlo na provozní režim (II. cyklus), který byl kolem 16 h zintenzívněn přikládáním paliva v celých profilech topných kanálů (Obr. 12). Již v této fázi výpalu byly nad zaklenutím topenišť č. 1 a 2 naměřeny hodnoty kolem 130 °C. Po 14 hodinách výpalu od zatopení v peci se teplota suroviny nad zaklenutím topenišť a mezi nimi pohybovala v hodnotách 54–496 °C. Chladnější byla pochopitelně místa, kam pronikaly plameny skrze zaklenutí jen velmi omezeně. Ve 21.30 již šlehaly plameny z hlavních odtahů umístěných na konci topenišť. Z důvodů lepšího rozptýlení tepla po celém objemu vsázky byly hlavní odtahy zablokovány většími kameny. Surovina navršená nad komorami č. 1–4 byla pokusně na povrchu přikryta ještě hliněným příkrovem, který byl smíchán dle nálezových situací s trávou. Smyslem bylo omezení ochlazování a ztráty energie v této části.

Další den (sobota 18. 10.) v 5 h ráno měly již vsázky nad zaklenutím u krajních kanálů teplotu 600 °C a mezi nimi kolem 800 °C. Teplota dále od kraje se tedy uvnitř vsázky pohybovala již ve standardním vypalovacím režimu, který bylo třeba udržovat tak dlouho, až kalcinací projde většina materiálu. Plamen v topeništích se v této chvíli pohyboval v hodnotách mezi 712 a 831 °C.

Ve 12.30 h byla nasazena alternativní paliva (lepené desky), které vedly ke snížení výhřevu zejména v komorách č. 1–5.

Výpal byl ukončen dalšího dne v neděli 19. 10. kolem 22. hodiny, tedy po 63 hodinách nepřetržitého provozu. Důvodem ukončení výpalu bylo vyčerpání zásob palivového dřeva.¹

OBSLUHA PECE

K budování pece (rekonstrukce zděné plenty s kanály) bylo využito manuálních sil 4–5 pracovníků, kteří na její obnově strávili 37 pracovních dní. Zhruba stejný počet lidských sil (někdy méně, někdy více) pak zajišťoval obsluhu pece při provozu (Obr. 9 a 11). Nedostatky v systému vytápění bylo možné u pece sledovat hlavně v počátečních fázích výpalu (I/II. cyklus), kdy docházelo vlivem přehřátí ústí topných kanálů k nesnesitelnému výhřevu směrem do předpecí. Obsluha musela přikládat palivo tak rychle, aby neutrpěla pobyt před kanály pece popáleninami, nebo aby se na ní nevzhnal samovolně oděv (Obr. 13). V této chvíli se projevil nedostatek zdravotních jedinců, kteří by se věnovali zvlášť každému topeništi. U jedno až dvou příkládajících pracovníků se začal projevovat při delším pobytu v předpecí (1–2 minuty) navíc ještě deficit kyslíku, což vedlo k bolestem v hrudníku a nucenému odpočinku mimo pec. Pobyt byl možný pouze na okraji předpecí a topeniště odtud obsluhovat pomocí 4 m dlouhého dřevěného bidla. Současně vyvstal problém rizika výskytu zhoubného plynu z nedokonalého spalování, ale při preventivním měření koncentrace CO se jeho zvýšená přítomnost nepotvrdila (měřeno přístrojem Greisinger Electronic GmbH, typ: GCO 100).

Nadměrný výhřev tepla do předpecí byl postupně eliminován množstvím paliva, které bylo svým objemem zvýšeno do takové míry, aby jím bylo zaplněno ústí celého topného kanálu. Spotřeba paliva tím vzrostla až na cca 900 kg dříví za hodinu, nedocházelo však již ke zbytečnému podchlazování topeniště nadměrným prouděním chladného vzduchu ani k výhřevu směrem do předpecí. Z nového topného režimu bylo zřejmé, že při obsluze každého topného kanálu se museli v minulosti z hlediska zvýšeného energetického výdeje prostřídat 1–2 lidé. Nelze také vyloučit přítomnost další skupiny dělníků, jejichž starostí byla pouze příprava paliva a jeho neustálý přísun do předpecní jámy, aby ho bylo stále dostatek, čímž by mohl celkový počet osob obsluhujících pec za provozu činit až 18 jedinců. Reálnější se však jeví přítomnost minimálně 12 fyzicky zdravotních osob, které se na obou postech po dobu výpalu cyklicky střídaly.²

¹ Atmosférický tlak během výpalu mírně vzrůstal. Lze usuzovat, že jeho minimální a střední hodnoty na začátku však evidentně přispěly ke kratší době nástupu globálního výpalu. Tlak byl střední až vysoký – 1017 až max. 1025 hPa (zdroj <http://www.wunderground.com/weatherstation/WXDailyHistory.asp?ID=IPRAGSEN2>). K zážehu kanálové pece se zdají být vhodnější ranní hodiny, kdy je tlak oproti zbývajícím částem dne obvykle poněkud nižší. Vliv na tahové podmínky během výpalu může mít rovněž roční období – optimálnější se jeví jarní a podzimní měsíce.

² Podobně rozměrné vápenky byly v raném a vrcholném středověku běžnou součástí např. benediktýnských klášterů a později i cisterciáckých grangií v západní Evropě. V moravském prostředí se často nacházejí v hospodářských a stavebních dvorech církevních areálů (např. kartuziánský klášter v Králově Poli, Brno – německý kostel sv. Jakuba, Brno – klášter minoritů: Holub a kol. 2005; Kolařík – Peška 2005). Z urbáře německého benediktinského kláštera v Friemersheimu z roku 1050 se dochoval záznam, že u zdejší vápenné pece pracovalo až 34 mužů každý druhý týden. Bylo jim nutné na tuto dobu dodat 18 ovcí a 40 vozů dřeva (Wisplinghoff 1983, 11). Délka jednoho výpalu cca 1 týden naznačuje, že se mohlo jednat o podobně rozměrnou pec jako v Mokré.



Obr. 9: Realizační a obslužný tým při slavnostním zažehnutí pece. Foto J. Válek



Obr. 10: Instalace termočlánků do ocelových chrániček zabudovaných v plentové zdi. Foto P. Kos



Obr. 11: Obsluha pece během nočního provozu; první noc. Foto P. Kos



Obr. 12: Ukázkový způsob naplnění topného kanálu palivem. Foto P. Kos



Obr. 13: Pec za nočního provozu; druhá noc. Foto P. Kos



Obr. 14: Provizorní zastřešení pece po skončení výpalu. Foto P. Kos

CHLADNUTÍ PECE A VSÁZKY

Aby mohlo být přistoupeno k vyhodnocení experimentálního pokusu, bylo nutné pec ponechat v klidu, aby pozvolna vychladla a mohly být úspěšně provedeny odběry vzorků. Pec byla vzorkována až po třech dnech chladnutí. Pro ochranu vsázky před přívalem deštěm byl nad pecí zbudován provizorní přístřešek krytý igelitovou fólií (Obr. 14). Teplota na povrchu vsázky měla ještě hodnoty kolem 150–300 °C.

Pec ještě žhnula, když očekávaný noční přívál spojený s vichřicí strhl střechu. Liják však vsázce neublížil a vedl pouze k okamžitému odparu vody. K částečnému vyhašení vápna však došlo v partiích topných kanálů přívalem vody směrem z předpecí, voda natekla až do topeniště pod vypálený vápenec, kde se během hydratace páleného vápna odpařila. Nelze proto vyloučit, že ve středověku mohly být po skončení výpalu topné kanály neprodyšně zazdívány rovněž jako obrana proti dešti, který by vedl k předčasnému vyhašení produktu.

Ve středu kolem 12 h byla vsázka již natolik vychladlá, že se na ní dala udržet ruka. Další den proto bylo přistoupeno k odběru vzorků výpalku. Pomocí bagru byl sejmout z koruny peciště horní val nevypáleného materiálu až po úroveň páleného vápna.

MONITORING VÝPALU

Během experimentálního výpalu byl sledován vývoj teplot na různých místech pomocí termočlánků zabudovaných přímo nad zaklenutím topenišť a ve stejné výšce do pozic na pomyslné hranici dvou sousedících komor (Obr. 18). Termočlánky procházely plentovou zdí a měřily teplotu prostředí uvnitř pece ve vzdálenosti přibližně 50 mm od plentové zdi. Jeden termočlánek byl navíc umístěn i do tahového kanálu na druhé straně pece do hloubky přibližně 20 cm od horní hrany vsázky. Měření se bohužel z provozních důvodů nepodařilo realizovat po celou dobu a teploty tak byly zaznamenány pouze během první poloviny trvání celého experimentu. Monitorování bylo zahájeno přibližně po 6 hodinách od zapálení, tedy od 13 hodin, ve fázi, kdy již probíhal samotný výpal. Obrázek č. 19 ukazuje průběh naměřených teplot v čase. Z grafu je patrné, že všechny teploty pozvolna rostou. Vyšší teploty byly vždy v místech nad klenbou než v místech na hranici dvou komor. Nejnížší teploty ukazovaly termočlánky v krajních komorách sousedících s terénem. Z jiných měření je známo, že nejtep-

lejší místa jsou v peci přímo ve směru tahu a tudíž i směru hořícího plamene (Válek a kol. 2014). Tomu odpovídá i podstatně rychlejší nárůst teploty měřené termočlánkem umístěným do tahového kanálu, který ukazoval 900 °C v horní části pece již za 14 hodin od zapálení. Naopak místa monitorovaná těsně za plentovou zdí byla z hlediska tahu a tedy směru plamenů na opačném konci a tedy spíše okrajová. Naměřené hodnoty u plentové zdi tak lze obecně považovat za nižší vzhledem k celkovému průměru směrem do středu pece. Přímě v místech nad spalovaným palivem pak lze očekávat ještě vyšší teploty. Rozptýl naměřených hodnot vypovídá o velmi nehomogenním teplotním prostředí, které je silně ovlivněno šířením tepla prouděním vzduchu skrze mezery mezi kameny.

Z měřených hodnot vyplývá, že v krajích pece zůstávají „studené“ zóny, kde bylo dosažení kalcinační teploty obtížné a zde při tomto způsobu výpalu muselo docházet k nedostatečnému vypálení vápence a jeho přeměně na vápno. Tedy pokud zde nebyl v minulosti zaveden nějaký důmyslnější systém rozvodu tepla tahovými kanálky, pro který ale nebyly archeologicky nalezeny žádné důkazy. V experimentálně vytvořeném tahovém kanálu byla teplota prostředí výrazně vyšší oproti místům, kde se teplo šířilo spíše vedením a prouděním horkého vzduchu bylo nepoměrně nižší. Z naměřených teplot v tahovém kanálu lze odhadovat, že kalcinace vápence započala v nejteplejších místech již přibližně za 12 hodin od zapálení v peci. Z hlediska produkce je ale důležitá co možná nejkompletnější přeměna vápence na vápno celé vsázky. Za tím účelem je nutné nejen samotné dosažení kalcinační teploty, ale i její udržení po dobu, která je proporcčně vztažena k velikosti vypalovaného kamene. Lepší průchodnost zaklenutím topeniště a celé vápencové vsázky by pravděpodobně snížila dobu trvání výpalu. Znalost teplotního rozložení v peci by pak umožnila lepší velikostní rozmístění kamenů a tím i snížení množství nedopalu.

ÚSPĚŠNOST PŘEMĚNY VÁPENCE NA VÁPNO

Vzorky pro laboratorní zpracování byly odebrány z úrovně nad zaklenutím a přímo z kleneb. Analýza byla provedena v laboratoři moker-ské vápenky společnosti Carmeuse Czech Republic s.r.o. u vedoucího p. Karla Paluchy ve dnech 1. 11. – 7. 11. 2014 (Tab. 2). U vzorků byla měřena reaktivita (teplota max./čas max.), obsah CO₂ a aktivní CaO.

označení komory	CO ₂ %		aktivní (volné) CaO %		Max. teplota při zkoušce reaktivity °C	
	nad klenbou	klenba	nad klenbou	klenba	nad klenbou	klenba
1	18,4	8,8	46	50	48,3	35,9
2	12,1	5,0	63	79	56,6	61,0
3	12,5	7,9	64	35	60,9	32,1
4	2,6	4,5	85	43	70,4	33,6
5	17,8	6,8	44	71	31,4	48,9
6	3,2	2,6	87	46	68,8	34,4

Tab. 2: Rozbor výpalku odebraného z míst z roštů a vsázky nad nimi (autor: K. Palucha, Carmeuse Česká republika)

Zbytkový obsah CO_2 byl měřen na zařízení Eltra a aktivní CaO titračně. Čas, kdy byla dosažena maximální teplota u zkoušky reaktivity, byl u všech měřených vzorků kolem deseti minut, což bylo zároveň dáno omezením přístroje. Reaktivita se určuje laboratorně normalizovanou zkouškou, při které je měřen vzestup teploty během hašení vápna (smíchání s vodou) v závislosti na čase. Rychlost reakce je závislá na více faktorech, zejména ale na podmínkách výpalu a složení vypáleného vápna (suroviny). Měkce pálená vápna dosahují 60°C při zkoušce reaktivity do tří minut (Oates 1998). Pokud je vápenec kompletně vypálen a nedošlo k zpětné karbonataci při chladnutí, tak by množství CO_2 mělo být takřka nulové. To je ale pouze teoretický předpoklad. Současná norma (EN 459–1) připouští obsah CO_2 v bílém vápně CL90, tj. v nejvyšší kvalitativní kategorii, pod 4 %. Vyšší procentní podíl CO_2 v případě experimentu znamená i vyšší výskyt nedopalu, tedy neúplně rozloženého vápence na vápno. Aktivní (volné) CaO udává množství volného reaktivního vápna ve formě oxidu vápenatého. U vysokoprocenních vápenců by množství volného CaO mělo být 80 % a více (kategorie CL90).

Z určených hodnot v tabulce 2 je zřejmé, že odebrané vzorky jsou značně kvalitativně rozdílné. V některých místech došlo k nedopalu a to poměrně výraznému, což je indikováno množstvím ve vzorcích přítomného CO_2 . U vzorku nad klenbou kanálu č. 1 (CO_2 18,4 %) tvoří nedopal, tedy původní CaCO_3 , necelou čtvrtinu. Obecně nižší hodnoty CO_2 ze vzorků z klenby oproti vzorkům nad klenbou odpo-

vídají delšímu vystavení vyšším teplotám během výpalu a tedy i kompletnější přeměně na vápno. Nižší obsah volného vápna (CaO) u vzorků z klenby topných kanálů 1, 3, 4 a 6 lze vysvětlit použitím méně čistých vápenců. Tomu pak odpovídají i nižší teploty dosažené při zkoušce reaktivity. V pozicích ze spodu kleneb mohlo být vápno místy vypáleno středně až tvrdě, čemuž by napovídal i poměrně pomalý nárůst teplot při zkoušce reaktivity. Tato úvaha se týká zejména vzorku z klenby kanálu 2, který se podle ostatních parametrů jeví jako relativně dobře vypálen. U ostatních byl pomalejší nárůst teplot patrně ovlivněn zvýšeným množstvím nedopalu a u vzorků z klenby též přítomností hydraulických složek. Hydraulická vápna se obecně hasí pomaleji a při zkoušce reaktivity dosahují teplot nižších (přibližně do 50°C) než vápna vzdušná.

Pouze na základě odebraných vzorků nelze celkovou úspěšnost přeměny vápence na vápno hodnotit, jelikož dosažené teploty v peci byly značně rozdílné a vápno tak má různé vlastnosti ve vztahu k jeho pozici v peci a chemickému složení suroviny. Cílem experimentu též nebyla úplná přeměna vápence na vápno, ale poznání procesu výpalu v takovémto typu pece. Nerovnoměrnost výpalu celé vsázky kamene je poměrně charakteristická pro jednorázové výpaly vápna dřevem. Tradičně se s nerovnoměrností výpalu počítalo a existovaly další postupy třídění dle kvality, tak aby získaný materiál našel upotřebení. Stejně tak mohlo být vytríděno i kvalitní vápno. Jak ukazují analýzy z lokálních bodových vzorků, výpalem v tomto typu pece bylo zcela určitě možné získat kvalitní měkce pálené kusové vápno.



Obr. 15: Mechanizované rozebírání pece a vzorkování výpalku. Foto P. Kos



Obr. 16: Polní hasnice s hrazeným přepadem do vápenné jámy. Foto P. Kos



Obr. 17: Vzhled experimentální vápenné pece přibližně půl roku po výpalu; v šachtě pece patrný mohutný val samovolně vyhašeného vápna. Foto P. Kos

POKUSNÁ HYDRATACE VÁPNA

Po straně pece byla vyhloubena vápenná jáma, do které bylo pomocí hasnice se spádovým přepadem vyhašeno pokusně cca 1 m³ vápenné kaše (Obr. 16). Jáma byla pak ještě pokryta deskami a překryta hlínou k delšímu ležení a sledování (objekty, které sloužily k pokusnému/ukázkovému hašení páleného vápna, byly doloženy u experimentální pece také archeologicky).

Pokusně byl rozebrán ještě okrajový koridor vsázky za tahovým kanálem č. 1 (Obr. 2), který posloužil ke statistickému vyhodnocení úspěšnosti výpalu, neboť fungoval ze všech nejhůře. Byl jím proveden podélný řez, díky němuž se podařilo zjistit, že vlastní zaklenutí topeniště prošlo více či méně kompletně kalcinací. Méně již byly vyžihány větší kameny v čelní základně klenby na kontaktu s topným kanálem, kde v místech přívodu vzduchu docházelo k nadměrnému ochlazování. Nevypálen zůstal také vrchol navezeného valu suroviny o výšce cca 0,5 m, jenž přesahoval horní hranu peciště. Pod touto úrovní byl již materiál výrazněji vypálen. Nedopaly tvořily nad klenbou cca 90 cm široký klín, směřující svým postupně se zvedajícím a zužujícím ostřím k hlavnímu odtahu. Dutiny mezi vápencovými nedopaly vyplňovala hnědočervená vypálená jílovitá hlína a místy nesoudržný hlinitý prach. Na základě rozboru úspěšnosti výpalu u kanálu č. 1 bylo propočteno, že na hůře fungující koridor připadlo cca 0,48 m³ dobře vypáleného vápna. U lépe fungujícího a výkonnějšího musela být pak skutečná produkce podstatně vyšší, což se nakonec projevilo také po následném samovolném vyhašení pecní vsázky během dalších deštivých zimních měsíců, kdy se koruna pece vlivem zvětšení objemu hašeného vápna zvedla přibližně o 1 m nad okolní terén (Obr. 17). Pro bližší informaci je nutno zmínit, že vzdušná vápna, která touto technologickou cestou vznikají, nabývají při celkovém hašení na objemu až 3,5× (Válek a kol. 2014, 70). Analýzou vzorků vápna nad komorami č. 2 a 3 v laboratoři vápenky Mokrá bylo potvrzeno, že došlo k částečnému vyhašení vápna, jeho karbonatoci, a tím i částečné degradaci pro použití jako pojivo. Zajímavostí bylo, že v hlubších vrstvách této provlhlé, ale stále relativně sytké vápenné hmoty bylo vápno i po čtyřech měsících karbonatováno pouze minimálně (CO₂: 1,43 %).

ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ

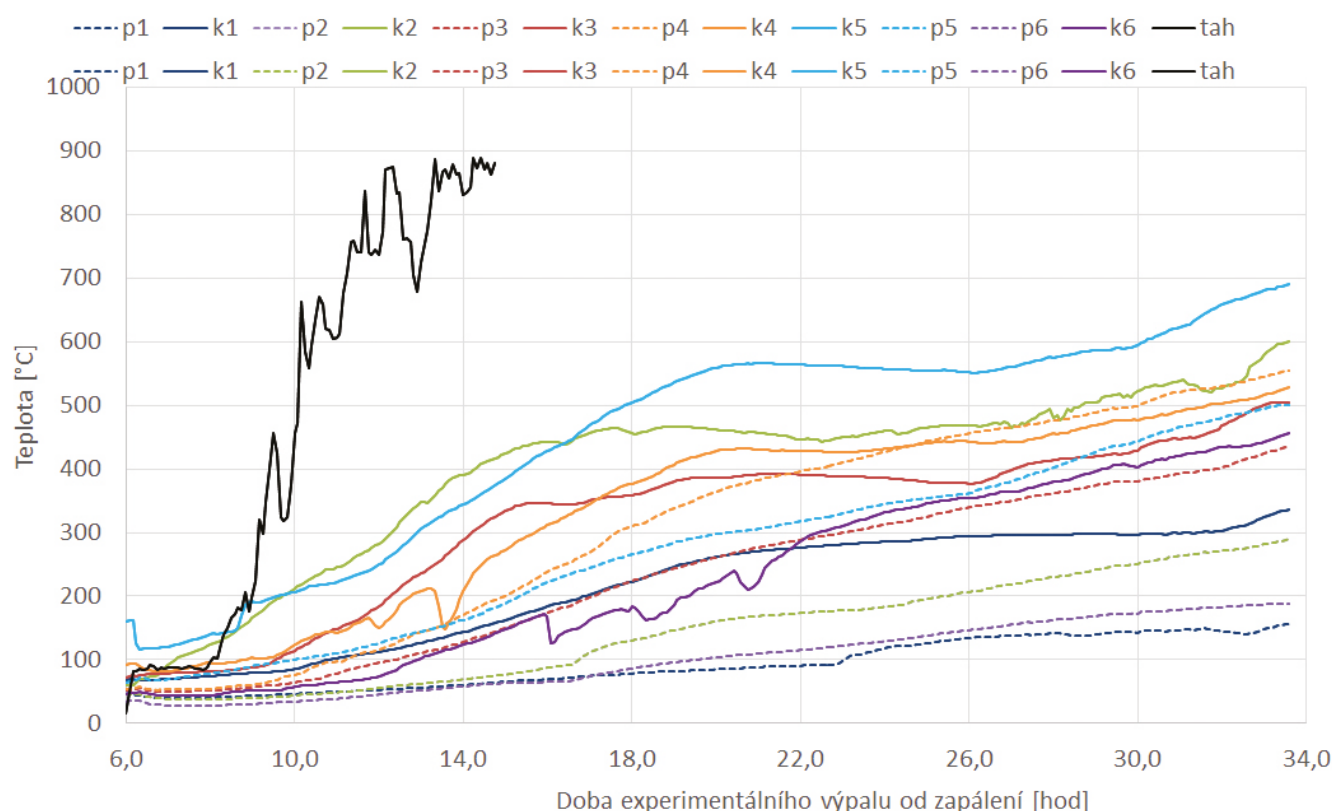
Velkokapacitní kanálové vápenné pece představují na jižní Moravě ve středověkém stavitelství skutečný fenomén. O jejich vztahu k výstavbě měst, klášterů, kostelů a hradů se ví z archeologických pramenů již poměrně hodně, chybí nám však povědomí o technologických procesech, které se v nich skutečně odehrávaly. Archeologické výzkumy vápenných pecí většinou neumožňují rekonstrukci procesů, dovídáme se jen o produktech a výrobních odpadech, které nám po opuštění pece naši předci v zánikovém horizontu objektu zanechali. Experimentální pokus z Mokré se tak stal předmětem prvních praktických poznatků o jednom hypoteticky a nyní i prakticky možném způsobu výroby páleného vápna v těchto monumentálních technických zařízeních.

Experiment, který využil originálu částečně rekonstruovaného archeologického objektu, přinesl i přes svou mimořádnou náročnost celou řadu nových cenných poznatků.

Značné rezervy lze spatřovat v technologiích budování topenišť, která mohla být původně ještě více kopulovitě vyklenuta směrem k plentové zdi a tím jejich objemy zvětšeny (například metodou zaklenutí po nadměrném zaplnění komor palivem nahrazujícím stavební šablony). Nové možnosti v experimentu lze hledat rovněž ve způsobech proložení hlavní surovinové vsázky dřevem a jejím povrchovým uzavřením hliněným příkrovem na způsob milíře, čímž by bylo možné eliminovat nestejnomyerné prohřátí nevytříděného vápence naloženého do pece ve vyšších mocnostech, než tomu bylo v pozdějších dobách dokumentovaných etnograficky. Poučení plyne také ze způsobu režimu topení, kdy je nutné po vyhoření odtahových armatur začít v topných kanálech ihned hromadit palivo v celých jejich profilech. Vyloučit přitom nelze ani přikládání celými nedělenými kmeny stromů s průměry maximálního rozměru topných kanálů (cca 60–70 cm), které mohly být do topenišť po jejich odhoření postupně zasouvány. Ukázalo se také, že v opačném případě, kdy by topeniště nebyla zcela zaplněována palivem, docházelo by k mohutnému vysoce nepříjemnému výhřevu směrem do předpecní jámy, kde by se pak nemohla pohybovat nezbytná obsluha.



Obr. 18: Rozmístění termočláneků pro monitorování teploty. Foto J. Válek



Obr. 19: Grafické znázornění průběhu a postupného nárůstu teplot v peci během první poloviny výpalu (k – měřeno nad zaklenutím topeniště 50 mm za plentovou zdí uvnitř pece, p – měřeno na hranici dvou komor, tah – měřeno v tahovém kanálu)

Pro industriální archeologii je rovněž přínosné, že velkokapacitní kanálové pece pracovaly s velkou pravděpodobností zčásti ještě na způsob tradičního jámového milíře a zčásti již jako dokonalejší kanálové pece vyvinuté ve středním Podunají Římany pro velké zděné stavby.

Nedopaly, které vznikly v experimentální peci díky zalepení čel roštů odprašky z drtiče a nedostatečným ručním vytríděním materiálu či jeho příliš drobnou frakcí, svědčí o nedokonalém prohřátí vrcholové části vsázky, která by za příznivějších okolností byla vyžháná rovněž. Opět se potvrdila důležitost prostorového rozmístění vápence s ohledem na jeho velikost a z toho plynoucí závislost doby výpalu. Určitou velikostní frakci (typickou pro současné provozy) lze využít, ale s omezením jejího umístění v peci. Nevhodným umístěním či zvětšením velikostí kamene se výrazně prodlužuje doba výpalu. Experimentálně aplikovaným způsobem výpalu vápna, který byl vlastní pro tuto oblast v pozdně středověkém a raně novověkém období, bylo zjištěno, že velkokapacitní produkce mohla probíhat v těchto zařízeních poněkud jiným způsobem, nežli jsme byli z etnografie seznámeni. Jedná se přitom o kombinaci již dříve běžně užívaných metody kanálové pece s prvky jámového milíře. Jisté rezervy lze spatřovat také v podobě hliněného příkrovu a v systémech umístění horních odtahů, kde můžeme v jejich případě i nadále o účelových pozicích pouze polemizovat a zcela volně s nimi experimentovat při dalších pokusech, neboť jejich pozůstatky nebývají běžně archeologizovány.

Vícekanálová obdélná či kvadratická pec vrcholně středověkého období se tak jeví po tomto experimentu jako vysoce efektivní výrobní objekt pro získání velkého jednorázového objemového množství páleného kusového vápna. V Čechách a na Moravě se jednalo o zařízení, jež měla svá uplatnění při budování rané zděné architektury. Je evidentní, že vícekanálové pece se tu zcela organicky vyvinuly z podunajských tradic, které byly v novém prostředí poněkud modifikovány a na Moravě zvláště uzpůsobeny běžně dostupným zásobám palivového dříví v dosud souvisle zalesněných oblastech v okolí velkých opevněných měst a hradů. Další možnosti archeologicky aplikovaného experimentu je proto možné spatřovat ještě v objektech, které pracovaly při výrobě vápna metodou jámového pravoúhlého milíře.

V současnosti se řada nepřímě řízených experimentů spjatých s výrobou vápna historickými způsoby stává převážně praktickými záměry spojenými s ochranou památek. Jejich hlavním účelem je výroba měkce páleného vápna žádaného u rekonstrukcí památkově chráněných staveb (např. Čermotová 2008; Losos – Gavenda 2010; Válek 2015). Cílem početných, avšak převážně nepublikovaných výpalů v různých konstrukcích pyrotechnologických zařízení je hlavně výroba a aplikace kvalitních vápen do malt a omítek. Záměrem experimentu v Mokré však nebylo vyprodukovat vápno na stavbu, nýbrž experimentálně oživit již zapomenutou tradici výroby vápna ve velkokapacitních kanálových pecích, které tvořily v období vrcholného středověku v českých zemích výrobní

základnu k produkci velkého objemu levných staviv pro rozsáhlé podniky feudální a církevní vrchnosti. Doposud publikované nálezo-ové situace z archeologických výzkumů nám přinášejí vesměs jen velmi omezené informace o skutečné podobě a způsobech provozů v těchto objektech. Předpokládáme proto, že prezentovaný experiment přispěje alespoň částečně k nastínění praktických představ o procesech, které mohly tato monumentální a technologicky náročná zařízení ve středověku provázet.

Velký dík autorů i celého realizačního kolektivu patří hlavně vedení lomu a cementárny Mokrá (J. Urbánek, D. Čejka a R. Donocík), které projektovaný záměr podpořilo a bez jehož přispění by se vlastní experiment v tak nákladném zařízení nepodařilo nikdy experimentátorům úspěšně uskutečnit. Vzpomenout *In memoriam* je nutné také mentora moravské industriální archeologie Jiřího Mertu z Technického muzea v Brně, který se kvůli těžké nemoci již nemohl experimentu osobně zúčastnit a na jehož počest byla také vypracována jedním z autorů iniciační studie připravovaného experimentu (Kos 2013).

POZNÁMKY K NĚKTERÝM TECHNICKÝM TERMÍNŮM U STŘEDOVĚKÉ KANÁLOVÉ VÁPENNÉ PECE

dlouhý plamen – způsob hoření paliva (dřeva) ve fázi uvolňování hořlavých plynů v komorové peci

hroudí – jistý druh náhražky hliněného příkrovu většími nebo plochými kameny

nestabilní hliněný příkrov – obal tvořený hliněným těstem (mazaninou) smíchaným s trávou, stromovým listím nebo chvojem;

bývala jím shora omazána vsádka vápence pro lepší izolaci tepla

kanálová pec – ve středověku pec shora otevřená se zaklenutými topeništi (komorami); v novověku pec odlišné konstrukce – komorové

nedopal – nedokonale vypálený vápenec (obvykle ze svrchní části vsázky nebo jádra větších kusů suroviny)

odtahový kanál – pomocný vyhřívací kanál vytvořený v surovině pro usnadnění výpalu vápence; vzniká pomocí dřevěných armatur, které během výpalu vyhoří; prochází vsázkou a vyústuje na povrch otvory (sopouchy) v hliněném příkrovu, které lze dle potřeby regulovat střídavým zakrýváním a otvíráním jejich ústí

peciště – vypalovací (výrobní) prostor pece (šachta) s vyhřívacími komorami vespod

pecní výmety – přebytečný popel a dřevěné uhlíky odstraněné buď za provozu, nebo po provozu z pece na její obvod

plentová zed' – obvykle zděná (kamenná, cihelná) nebo hliněná přepážka, perforovaná jedním nebo více topnými kanály

předpecní jáma – zahluubený obslužný prostor vápenné pece s ústím topných kanálů

rošt – relativně ploché kusy vápence vystavěné netěsně do samosvorné pravé obloukové či nepravé vrstvené klenby nad komorou topeniště

topný kanál – tahový a zároveň i příkládací kanál v plentové zdi
vápence – celý provoz (výrobní okresek) s doplňkovým příslušenstvím, včetně vápenné pece, spravovaný ve středověku a raném novověku církevní nebo feudální vrchností

vápenná pec – výrobní zařízení určené k pálení vápna; podle své konstrukce může jít o polní, polostabilní nebo stabilní objekt specifického typu

vsázka – surovina (vápenec) systematicky a účelově vyskládaná v peci, kde je vypalována

výpalek – finální produkt vápenné pece

výpal vápence – zahřívání suroviny do fáze přeměny (rozložení) vápence a vzniku páleného vápna (kalcinace)

výrobní odval – hliněný val kolem peciště obsahující pecní výmety, se zbytky suroviny, vápna a hliněného příkrovu (mazaniny)

LITERATURA A PRAMENY

Coles, J. M. 1973: *Archaeology by Experiment*, London.

Černotová, L. 2008: Stanovení vlastností vápenných malt a omítek na bázi vápenných kaší připravených hašením různých pálených vápen, Rukopis nepublikované bakalářské práce uložené na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice, Pardubice.

Drda 1983: Cihelna 13. století v Milevsku, *Archaeologia historica* 8/83, 167–173.

Holub, P. 2006: Stavební keramika v Brně na základě nálezů z archeologických výzkumů, Rukopis nepublikované diplomové práce uložené v Ústavu archeologie a muzeologie FF MU v Brně, Brno.

Holub a kol. 2005: Holub, P. – Merta, D. – Zůbek, A.: Cihlářská a vápenická pec na ulici Božetěchova v Brně-Králově Poli, *Archeologia technica* 17, 45–51.

Horváth, C. 2010: Árpád–korikemencék, In: Gábor, I. – Eszter, K. (ed.): *Vízelőtti régészeti – A Lukács-házi árvízcsúcs–csökkentő tározó területén végzett régészeti feltárások bemutatása*, Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat, Budapest, 28–31.

Kohoutek, J. 1987: Nález středověké vápenické pece u hradu Šaumburku, *Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami* 4, 143–145.

Kolařík, V. – Peška, M. 2005: Středověké vápenické pece z Moravského náměstí v Brně, *Archeologia technica* 17, 30–42.

Kos, P. 1998: Archiv nálezových zpráv ÚAPP Brno, v. v. i, čj. 77/98, Mokrá 1997 – Mokrá–lom VII, okr. Brno-venkov.

Kos, P. 2001: Středověké vápenické pece v Brně a jeho okolí, Nepublikovaný rukopis seminární práce uložené v Ústavu archeologie a muzeologie FFMU v Brně, Brno.

Kos, P. 2002a: Experimentální výpal vápna v peci ze 16. století u Mokré, *Archeologia technica* 13, 9–17.

Kos, P. 2002b: Výzkum středověké vápenky v Mokré u Brna, *Archeologia technica* 13, 3–8.

Kos, P. 2003: Středověké vápenky ve Vyškově, *Pravěk* NŘ 12, 2002, 345–358.

Kos, P. 2013: Projekt experimentálního záměru na archeologické bázi v oboru historického vápenictví na lokalitě Mokrá (okr. Brno-venkov), Pec „hradního typu“ s šesti samostatně vytápěnými korydory na nálezšti Mokrá-lom X, Nepublikovaný rukopis uložený na ÚAPP Brno, v.v.i., Brno.

Kos, P. 2014: Předběžná zpráva z experimentálního výpalu vápna v originálu středověké vápenické pece v Mokré, *Archeologia technica* 25, 74.

Kos, P. 2015a: Mokrá-Horákov (k. ú. Mokrá, okr. Brno-venkov), Přehled výzkumů 56–2, Brno, 289–290.

Kos, P. 2015b: Výzkum vrcholně středověkých vápenických pecí v jižní části Moravského krasu se zřetelem na oblast u Mokré, *Archeologia technica* 26, 27–68.

Kurfürst, P. 1978: Lidové vápenictví na Drahanské vrchovině, *Český lid* 65, 153–163.

Ličman, A. 1921: Vlastivěda Moravská II, Místopis, Slavkovský okres, Brno: Musejní spolek.

Losos, L. – Gavenda, M. 2010: Štukatéřství, Praha: Grada Publishing.

Malina, J. 1980: Metody experimentu v archeologii, Studie Archeologického ústavu ČSAV v Brně VIII/1, Praha: Academia Praha.

Malinová, R. – Malina, J. 1982: Vzpomínky na minulost aneb Experimenty odhalující tajemství pravěku, 1. vydání, Ostrava: Nakladatelství Profil.

Merta, J. 1980: Výzkumy vápenických pecí, Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami 1, 30–55.

Merta, D. – Merta, J. 2011: Vápenická pec u hradu Holštejna, *Archeologia technica* 22, 131–133.

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

Procházka, R. 2011: Archeologické doklady výroby z 12. – 13./14. století v jihovýchodní části Brna ve vztahu k vývoji zástavby, In: Měřinský, Z. (ed.): *Forum urbes medii aevi VI, Archaia Brno*, 212–247.

Ruttkay, A. 1984: O počiatkoch pálenia vápna v Považskom Inovci, In: *Zborník prác Ľudmily Kraskovskej (k životnému jubileu)*, Bratislava, 236–254.

Sölter, W. 1970: Römische Kalkbrenner im Rheinland, Düsseldorf.

Sölter, W. 1977: Antike und moderne Technologie, Der neueste Kalkofen und der Iversheimer Ofentyp, *Das Rheinische Landmuseum Bonn, Berichte aus der Arbeit des Museums* 2, 17–19.

Oates, J. A. H. 1998: Lime and Limestone, Wiley-VCH, Weinheim.

Thér, R. – Maršálek, D. 2011: Experimentální pálení vápna na základě archeologických dokladů z doby římské, *Živá archeologie – REA* 12, 72–75.

Thér a kol. 2010: Thér, R. – Droberjar, E. – Gregor, M. – Lisá, L. – Kočár, P. – Kočárová, R.: Vápenické pece z doby římské v lokalitě Tuněchody (okr. Chrudim), *Archeologické rozhledy* LXII, 326–347.

Tonezzer, L. 2002: Mittelalterliche Öfen und Feuerungsanlagen, In: Röber, R. (ed.): *Beiträge des 3. Kolloquiums des Arbeitskreises zur archäologischen Erforschung des mittelalterlichen Handwerks*, Stuttgart, 101–114.

Válek a kol. 2014: Válek, J. – Jiroušek, J. – Matas, T. – van Halem, E. – Frankl, J.: Základní aspekty tradiční výroby vápna – výběr surovin a výpal, *Sborník* 12/2014, 67–76.

Válek, J. 2015: Vápenné technologie historických staveb, Příprava specializovaných vápenných pojiv pro obnovu historických staveb, ÚTAM AV ČR, v. v. i., Praha.

Válek a kol. 2015: Válek, J. – Ebel, M. – Maříková-Kubková, J. – Herichová, I. – Suchý, M. – Koderá, P. – Kozlovce, P. – Řihošek, J. – Panáček, M. – Bryscejn, J.: Vápenné technologie historických staveb. Katalog k výstavě *Calcarius, čili vápeník*. Národní technické muzeum, Praha.

Vaňáček, M. 1970: Mokrá u Brna, *Vlastivědná knihovna moravská* č. 12, Brno: Musejní spolek v Brně – Místní národní výbor v Mokré.

Vermouzek, R. 1980: Z dějin vápenictví, Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami 1, 56–64.

Wisplinghoff, E. 1983: Bäuerliches Leben am Niederrhein im Rahmen der benediktinischen Grundherrschaft, In: Janssen, W. – Lohrmann, D. (Hrsg.): *Villa – Curtis – Grangia, Landwirtschaft zwischen Loire und Rhein von der Römerzeit zum Hochmittelalter. Economie rurale entre Loire et Rhin de l'époque gallo-romaine au XIIe–XIIIe siècle*. Beihefte der Francia 11, München: Artemis Verlag München und Zürich, 149–163.