

Experimentální pálení vápna na základě archeologických dokladů z doby římské

V roce 2006 byly na lokalitě Tuněchody u Chrudimi zkoumány pozůstatky dvou vápenických pecí z doby římské. Nález se stal předmětem podrobného multioborového studia, jehož výsledkem byly hypotézy specifikující podobu a způsob užívání pecí.

■ Richard THÉR

David MARŠÁLEK

Katedra archeologie FF
Univerzity Hradec Králové

Na těchto hypotézách byl založen experimentální výzkum zaměřený na testování stanovených hypotéz. Podrobné výsledky tohoto výzkumu budou publikovány na jiném místě. Cílem tohoto článku je představit zkušenosti s aplikací základních technik pálení vápna, které v kontextu doby římské můžeme předpokládat, a které lze teoreticky aplikovat v pyrotechnologických zařízeních známých z doby římské z našeho území.

Nálezová situace a hypotéza

Objekt, který se stal předlohou experimentálních pecí byl oválného půdorysu, o délce 1,3 m a šířce 1 m, s plochým dnem mírně se svažujícím k severu. Maximální hloubka objektu byla 0,7 m, objem 0,7 m³. Většinu výplně objektu tvořila mazanice dvou typů. Ve vyšších partiích převládala mazanice ve formě větších bloků. Dochované povrchy mazanice nesly známky po vyhlazení rukou a byly převážně ploché. Ve spodní části destrukce převládala značně fragmentovaná mazanice s hojnými otisky prutů, jejíž líc tvořily výhradně otisky pěstí. Na dně pece byla odkryta kompaktní vrstva šedobílého popela smíšeného s menším množstvím mazanice. Dno objektu bylo slabě propáleno do hloubky max. 2 cm, silněji na jižní straně. Propálení stěn směrem nahoru sílilo a dosahovalo mocnosti 10–14 cm, a to rovnoměrně po celém obvodu objektu.

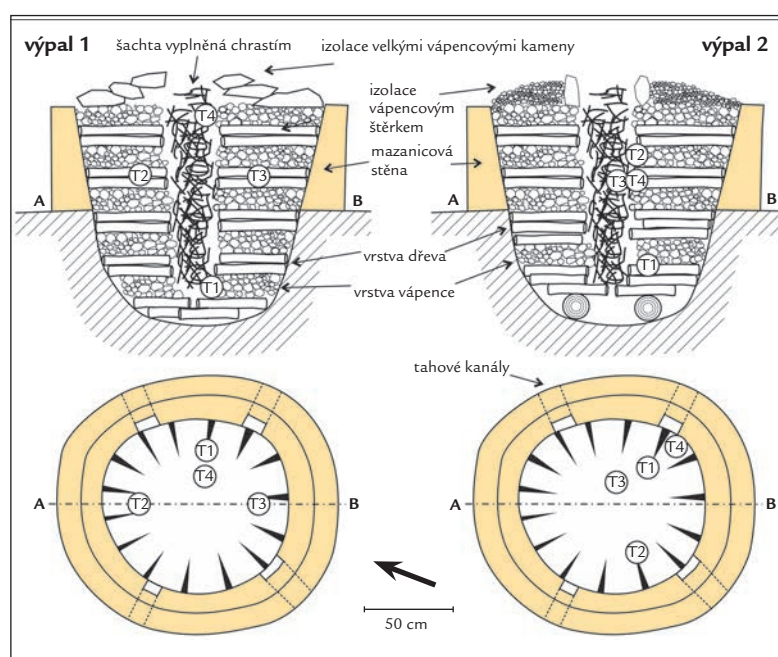
Po prokázání funkce pece pomocí petrografické analýzy popelovité vrstvy bylo nutné rozhodnout, jaký typ pálení vápna v ní byl aplikován. Z hlediska procesu výpalu vápna můžeme rozlišit dvě základní metody: jednoprostorový a dvoupřestorový výpal. Jednodušším způsobem je výpal jednoprostorový, v jehož případě je vsádka vápenité suroviny promísená s palivem a částečně izolována od vnějšího prostředí. V případě dvoupřestorového pálení vápna je palivo odděleno od vsádky nejčastěji prostřednictvím klenby sklenuté ze samotné pálené suroviny nad topeništěm. V případě rekonstruovaného objektu z Tuněchod, situace odpovídala spíše dvoupřestorovému pálení, především z důvodu hloubky a rovnoměrnosti propálení okolního terénu a přítomnosti velkého množství rovnoměrně vypálené mazanice. O podobě pece bylo vysloveno několik konstrukčních hypotéz. Předlohou pro experiment se stala hypotéza, která přinesla nejméně rozporů se zjištěnými fakty. Dle této hypotézy stálou stěnu pece tvořil mazaniceový plášť podkovovitého půdorysu odsazený od

zahlobené části tak, aby vznikla lavice pro vztyčení vápencové klenby. Čelní strana zůstávala volná, což usnadňovalo nakládání pece. Teprve po naložení byla tato strana uzavřena hustým proutěným výpletem omazaným mazanicí. Po výpalu byla stěna rozebrána.

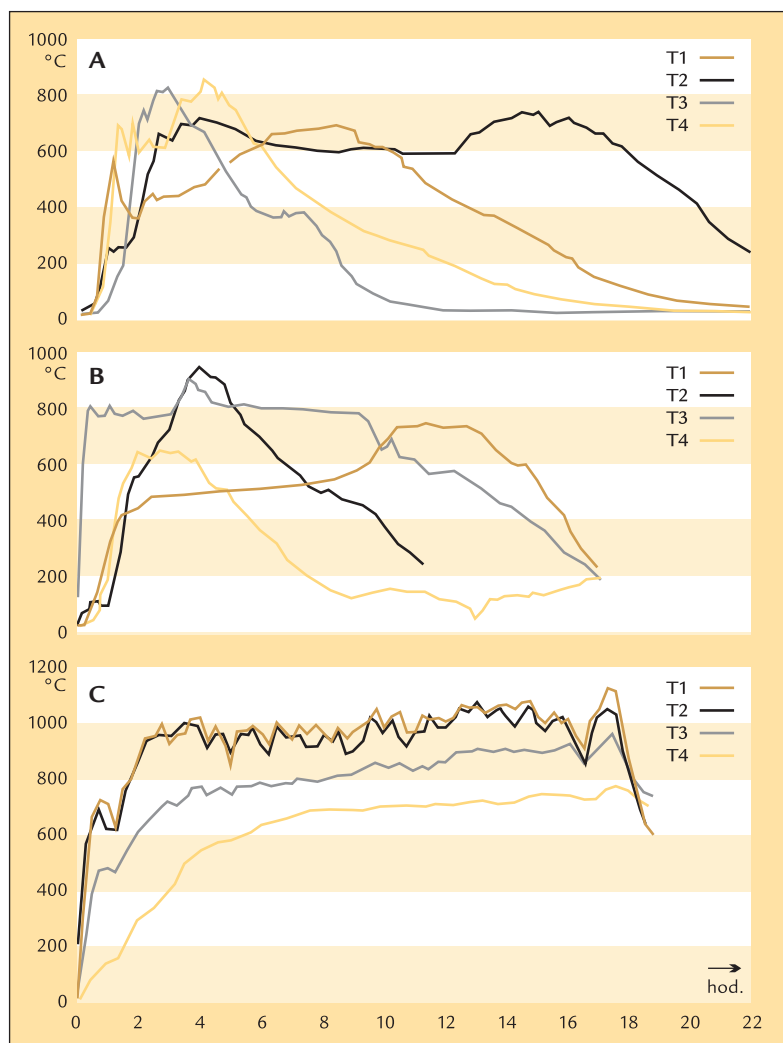
Přestože analýza nálezové situace naznačuje spíše dvoupřestorový způsob pálení, experimentálně byl ověřován také způsob jednopřestorový, aby bylo možné efekty obou typů pálení srovnat s nálezovou situací a vyvodit z experimentálního výzkumu jednoznačnější závěry.

Jednopřestorový výpal

Podoba pece pro jednopřestorový výpal vyplývala z požadavků tohoto typu pálení. Zahlobená část byla vytvořena dle archeologické předlohy. Na zahlobenou část pece navazoval přímo nadzemní válcovitý plášť dosahující výšky 70 cm. Plášť se na vnitřní straně mírně kónicky rozšiřoval. Na obvodu pláště při jeho bázi byly ponechány čtyři tahové kanály pro možnost regulace v průběhu pálení (**Obr. 1**).



■ Obr. 1 Schéma pece pro jednopřestorový výpal.



■ Obr. 5 Srovnání teplot jednotlivých výpalů.

V případě všech výpalů byl jako surovina využit šedý až světle šedý bioklastický vápenec s podílem CaCO_3 více než 96 % z lomu Holštejn v Moravském krasu. Pro potřeby jednoprostorového výpalu byl vápenec nardčen na kusy o velikosti pěsti. Jako palivo sloužila směs smrku a olše ve formě větví do průměru 8 cm. Při nakládání pece byly střídavě kladeny

vrstvy radiálně naskládaného dřeva (Obr. 2) a vápence (Obr. 3) o přibližně stejné mocnosti, dokud nebyla pec zcela zaplněna. Spotřebováno bylo cca 600 kg vápence a 150 kg dřeva. Poslední vrstvu s izolační funkcí tvořily větší kusy vápence (délka do 40 cm). Ve středu vsádky byla ponechána svislá šachta o průměru cca 30 cm. Šachta byla vyplněna smrkovým chrastím.

Po zažehnutí chrastí na vrcholu vsádky bylo po nějakou dobu do šachty přikládáno, dokud se palivo dostatečně nerozhořelo (Obr. 4). Poté pálení probíhalo bez dalších zásahů. Ve vrchní části vsádky teplota po cca 3 hodinách po počátku pálení překročila 800 °C (Obr. 5A: T3 a T4). Doba žíhání nad touto teplotou však byla v těchto partiích poměrně krátká. Ve spodních partiích teplota nepřekročila 800 °C. Teplotního maxima zde bylo dosaženo po cca 15 hodinách pálení



■ Obr. 6 Naložení druhého jednoprostorového výpalu



■ Obr. 2 Vrstva dřeva v jednoprostorovém výpalu.



■ Obr. 3 Vrstva vápence v jednoprostorovém výpalu.

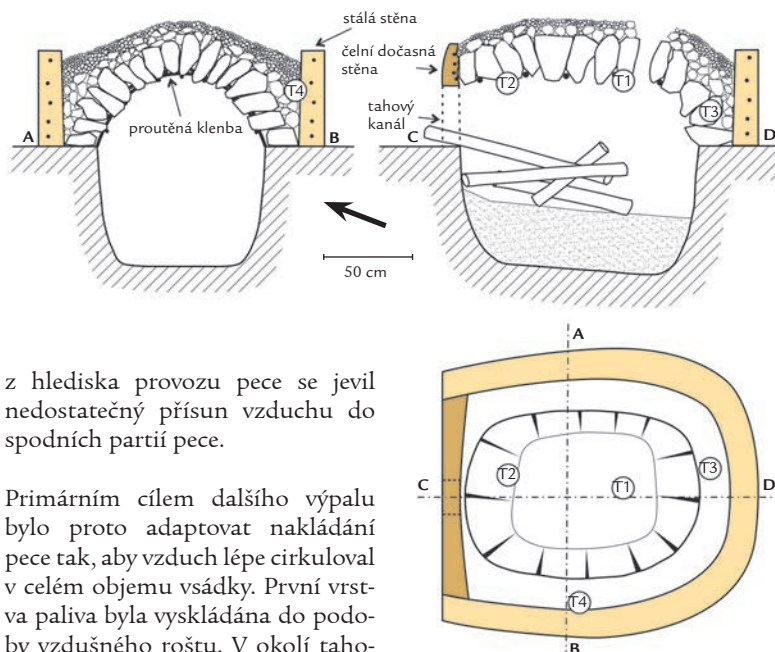


■ Obr. 4 Jednoprostorový výpal po zažehnutí.

a necelých 8 hodin se teplota udržovala nad hranicí 600 °C.

Výpal byl neúspěšný. Jednotlivé kusy vápence byly pokryty pouze cca 1 mm slabou vrstvou páleného vápna. Nejsilnější vrstvy byly pozorovány ve střední části vsádky, kde byla v rámci tohoto výpalu ideální kombinace maximálních teplot a doby žíhání. Hlavním problémem

■ **Obr. 7**
Schéma pece pro
dvouprostorový
výpal.



z hlediska provozu pece se jevil nedostatečný přísun vzduchu do spodních partií pece.

Primárním cílem dalšího výpalu bylo proto adaptovat nakládání pece tak, aby vzduch lépe cirkuloval v celém objemu vsádky. První vrstva paliva byla vyskládána do podoby vzdušného roštu. V okolí tahových kanálů byly umístěny tyče ve svislé poloze (**Obr. 6**). Po naložení pece byly tyče vytaženy zanechávající vertikální kanály vedoucí od spodního roštu paliva přes tahové kanály na povrch vsádky. Celkově bylo spotřebováno cca 500 kg vápence + 130 kg šterku na izolaci a 200 kg dřeva. Teploty ve středu vsádky dosáhly maximálních teplot cca 950 °C po 4 hodinách (**Obr. 5B**: T2 a T3). Ve spodní části vsádky byly naměřeny nižší teploty s maximem kolem 750 °C dosaženým po cca 11 hodinách pálení (**Obr. 5B**: T2 a T3). Výsledkem byla opět pouze částečná přeměna povrchové vrstvy kamenů na pálené vápno, i když výraznější než při prvním výpalu. Ze středu vsádky bylo možné ručním tříděním vybrat menší množství páleného vápna (2 kg).

Dvouprostorový výpal

Pec pro dvouprostorový výpal byla postavena dle výše zmíněné konstrukční hypotézy (**Obr. 7**). Nad zahluobenou částí pece byla postavena proutěná klenba překlenující kratší stranu zahlubení (**Obr. 8**). Lískové pruty tvořící základ klenby byly vzepřeny do oblouku o vrstvu vápencových kamenů vyskládanou na lavici, která vznikla odsazením pláště pece od vlastního zahlubení. Takto vzniklé proutěné žebroví bylo posléze propleteno slabšími pruty. Z lomového kamene byly vybrány ploché kusy a kusy s klínovitým průřezem v délce do 50 cm. Z nich byla na proutěné armatuře vystavěna kamenná klenba překlenující celé zahlubení pece.

V čele pece zůstala klenba otevřená (**Obr. 9**). V této části byla následně vystavěna zeď z kombinace drnů a průpletu vymazaného mazanicí. Ponechán byl tahový kanál (20 × 35 cm) ve středu čelní stěny. Na klenbu z vápencového kamene byla následně umístěna vrstva vápencové sutě s úlomky o velikosti do 10 cm a celou vsádku zakončila vrstva drobných úlomků (do cca 4 cm). Celkem bylo do pece umístěno cca 1000 kg vápence.

Palivo tvořil převážně smrk v různé formě počínaje chrástím a konče kmeny o průměru cca 20 cm. Kvalita dřeva nebyla zdaleka ideální. Převážná část dřeva byla a v průběhu výpalu přímo těžena z okolního lesa a zpracovávána těsně před využitím. Nejednalo se sice o dřevo čerstvé, ale přeci jen v řadě případů bylo dřevo nedostatečně vysušené nebo částečně ztrouchnivělé. Spotřebováno bylo cca 300 kg paliva. Díky značné nehomogenitě paliva však může jeho spotřeba sloužit pouze jako orientační údaj.

Před zažehnutím bylo topeniště naplněno palivem. Operační teploty na povrchu vápencové klenby bylo dosaženo po dvou hodinách pálení (**Obr. 5C**: čidla T1 a T2). Zbytek výpalu byla klenba žháná a operační teplota postupně pronikala do okrajových částí vsádky (**Obr. 5C**: čidla T3 a T4) (**Obr. 10**). Palivo bylo přikládáno 17,5 hodiny. Hoření paliva bylo značně efektivní díky zahlužení topeniště. Jednotlivé kusy dřeva se po přiložení jednou stranou opíraly o vrstvu uhlíků na dně



■ **Obr. 8** Proutěná klenba překlenující kratší stranu zahlubení pece.



■ **Obr. 9** Vyskládaná klenba vápencových kamenů.

topeniště a druhou stranou o hranu tahového kanálu. Většina plochy dřeva tak mohla být při hoření okysličována. Díky tomu bylo možné použít i palivo velmi špatné kvality, aniž by jeho použití způsobilo zásadní pokles teploty na klenbě.

Při rozebírání klenby bylo zjištěno, že svrchní vrstva vápence nebyla dostatečně vypálena (**Obr. 11**). Celková hmotnost nevypáleného nebo pouze částečně vypáleného vápence byla 500 kg. Zbytek výplně představovalo pálené vápno (**Obr. 12**). Na dně topeniště zůstala 21–23 cm mocná vrstva popela a uhlíků.

Propálení stěn zahloubení pece se směrem ode dna topeniště k lavičce prohlubovalo až na 20 cm. Nejmnocnější vrstvu propálení představovala tmavě šedá až černá vrstva se zuhelnatělou organickou složkou, která se nacházela za oranžově vypálenou vrstvou s maximální hloubkou 4 cm.

Diskuze

Experimenty s pálením vápna naznačují, že vápenická pec nalezená na lokalitě Tuněchody je lépe uzpůsobena pro dvouprostorový typ pálení. Při tomto pálení nebyly shledány žádné zásadní komplikace. Pálení se navíc ukázalo jako velmi nenáročné na kvalitu paliva, což je vzhledem k jeho vysoké spotřebě nezanedbatelný faktor. Na první pohled ne zcela uspokojivá výtěžnost procesu je z našeho pohledu dána množstvím vsádky vápence. Otevřená vnější plocha vsádky způsobuje značné úniky tepla a zabraňuje tak dostatečnému prožehání svrchních partií vsádky. Lze důvodně předpokládat, že při zvýšení vsádky vápence by množství nedopáleného vápence zůstávalo přibližně stejné, zatímco množství vypáleného vápna by se zvyšovalo. Jak vyplývá z návrhu konstrukce pece, odhadnutou výšku pláště pece lze vnímat jako minimální, neboť vychází z množství mazanice zřízené přímo do zahloubené části pece. Kapacita pece tedy mohla být výrazně větší.

Jednoduchý výpal představuje daleko větší nároky na kvalitu paliva a také na přípravu suroviny, pokud ovšem neměli vápeníci možnost sbírat surovinu požadované frakce přímo ze sutí či štěrků, nebo

nevyužívali jemnozrnné karbonátové sedimenty jako je např. jezerní křída. Komplikaci při výpalu představuje zajištění přístupu kyslíku ke spodním partiím vsádky, z čehož právě vyplývají nároky na kvalitu paliva. Daleko vhodnější pro tento typ pálení jsou širší mělké jámy nebo šachty na povrchu terénu.

Skutečnost, že dvouprostorový výpal se v daném zařízení jeví jako výrazně efektivnější, nelze ovšem brát jako důkaz o aplikaci této techniky. Daleko zajímavější z tohoto pohledu jsou trendy termální alterace stěn zahloubení pece a způsob tvorby její výplně. Tyto znaky, které lze přímo srovnat s archeologickou situací odpovídají opět spíše dvouprostorové metodě. Jedná se především o potenciál způsobit hloubkou a rovnoměrnou alterací stěn zahloubení žárem a vytvořit při standardním provozu mocnou popelovitou vrstvu na dně topeniště.

Literatura

- Dix, B. 1982: The manufacture of lime and its uses in the western Roman provinces, *Oxford Journal of Archaeology* 1(3), 331–346.
 Goren, Y. – Goring – Morris, A. N. 2008: Early pyrotechnology in the Near East : experimental lime – plaster production at the Pre – Pottery Neolithic B site of Kfar HaHoresh, Israel, *Geoarchaeology* 23(6), 779–798.
 Polívka, V. 1909: Vápenici ze Zdic, *Český lid* 18, 241–243.
 Thér, R. – Droberjar, E. – Gregor, M. – Lisá, L. – Kočár, P. – Kočárová, R. 2010: Vápenické pece z doby římské v lokalitě Tuněchody (okr. Chrudim), *Archeologické rozhledy* 62(2), 326–347.

Summary

Experimental lime burning based on archaeological finds dated to the Roman Empire period

Remains of pyrotechnical structures are frequent features in peripheries of excavated settlements dated to the Roman Period in Central Europe. Typical characteristics of these features are an absence of macroscopically observed diagnostic residue of applied technology and a low overall number of artifacts in feature deposits. Therefore the interpretation of these features is not straightforward. The aim of this article is an interpretation of construction techniques, form and function of the devices based on field experiments. The analysis showed that a lime production using sophisticated two-spaced technique could have been a common component of settlement economy in the Roman Period.

Článek vznikl díky finanční podpoře specifického výzkumu Filozofické fakulty Univerzity Hradec Králové (č. 2107/10).



■ Obr. 10 Pec v průběhu výpalu.



■ Obr. 11 Řez horní částí vsádky po dvouprostorovém výpalu.



■ Obr. 12 Vápno vyjmuté z dvouprostorového výpalu.