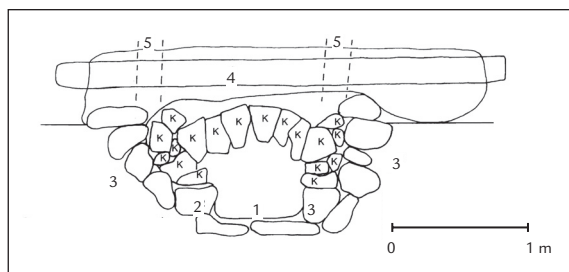


Technologie výroby vápna a její nejstarší přímé doklady na našem území

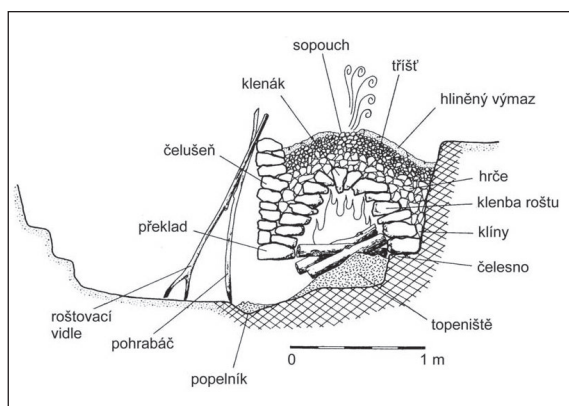
Technologie výroby vápna je specifickou pyrotechnologií, jejíž přímé doklady z našeho území známe od doby římské. Ve střední Evropě se technologie výroby vápna objevila pravděpodobně v souvislosti s kulturním vlivem římského prostředí, kde bylo vápno využíváno především ve stavebnictví, ale i k dalším účelům.

■ Richard THÉR
Eduard DROBERJAR
Univerzita Hradec Králové

V posledních letech se ukazuje, že rozsah produkce vápna v barbar-
ských oblastech v době římské byl
daleko větší, než se původně před-
pokládalo. Nesnadná rozpoznatel-



■ Obr. 3 Experimentálně testovaná rekonstrukce vápenické pece z doby římské z Berlína (Uschmann 2006, Abb. 10 © Verlag Marie Leidorf GmbH): 1 topeniště, 2 lavice, 3 písek, 4 dřevěná konstrukce omazaná hlínou, 5 odtah, K vápenec



■ Obr. 4 Experimentální rekonstrukce vápenické pece z 16. století u Mokré v Moravském krasu s terminologií jednotlivých prvků (Kos 2002, Obr. 3 © Technické muzeum v Brně)

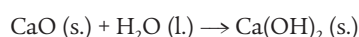
nost přímých dokladů vápenictví ztěžuje interpretaci významu této technologie. Co výroba vápna obnáší a jaké archeologické doklady výroby vápna známe?

Technologické postupy

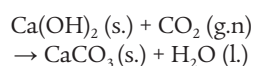
Samotný proces výroby vápna můžeme popsat následujícími chemickými reakcemi:



Pálením vápence vzniká oxid vápenatý (CaO) – pálené vápno a oxid uhličitý (CO₂), který uniká do prostředí. Tato reakce probíhá při teplotách nad 700 °C. Pálené vápno je vysoce reaktivní a při styku s vodou se mění na hydroxid vápenatý (Ca(OH)₂) – hašené vápno.



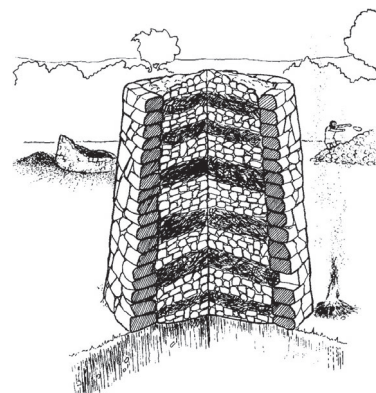
Hašené vápno tuhne účinkem vzdušného CO₂ a vlivem ztráty volné vody (proces označovaný jako karbonizace) a opět se tvoří kalcit (CaCO₃).



Z hlediska procesu výpalu vápna můžeme rozlišit dvě základní metody: jednoprostorový a dvoup-
storový výpal.

Jednoprostorový výpal

Jednodušším způsobem je výpal jednoprostorový označovaný jako *milířování*. V tomto případě je vsádka vápenité horniny nebo sedimentu naložena spolu s palivem a částečně izolována od vnějšího prostředí. Po podpálení milíře lze proces regulovat zvyšováním či snižováním míry izolace. Touto technologií bylo s největší pravděpodobností vyráběno první vápno na Blízkém východě. Zde jsou počátky technologie výroby vápna spjatý s komplexní změnou společnosti v 9. tisíciletí př. n. l. Vápenné omítky tehdy začaly být intenzivně využívány v architektuře, ale



■ Obr. 2 Rekonstrukce římského vápenického milíře (Dix 1982, Fig. 4 © Oxford Journal of Archaeology).

také pro výrobu rituálních objektů, což naznačuje symbolickou hodnotu technologie. Paradoxní ovšem je, že při tak rozsáhlé výrobě není známa ani jedna vápenická pec, proto se uvažuje o aplikaci jednoduchých milířů, které nezanechají mnoho archeologických stop. Experimentální replikaci milířového výpalu v jámě provedli Y. Goren a A. N. Goring-Morris. Jámu o průměru 2,5 m a maximální hloubce 75 cm rekonstruovali na základě dokladů z lokality Kfar HaHoresh (Dolní Galilea). Vsádku suroviny tvořily valouny vápence do velikosti pěsti. Jako palivo posloužilo dřevo borovice, dubu, eukalyptu a cypřišů, doplněné kravským a koňským trusem. Dřevo bylo kladeno do jámy radiálně. Nad vrstvou paliva následovala vrstva vápencových valounů. Celkem milíř obsahoval 5 vrstev suroviny (obr. 1). Ve středu jámy byl ponechán volný prostor. Milíř byl následně obložen velkými kameny. Spotřebováno bylo cca 500 kg vápence a 1000 kg paliva. Teplota při experimentálním výpalu dosáhla maxima kolem 850 °C po 2-4 hodinách výpalu. Teplota ve vrchní části pece klesla pod 200 °C po 5 hodinách, ve spodní části pece po více než 10 hodinách. Výsledkem bylo 250 kg páleného vápna.

Jednoprostorový způsob výpalu je doložen také v římské technologické tradici, kde se využíval k výrobě méně kvalitního vápna využívaného

např. v zemědělství (**obr. 2**). Podobná technologie se v našem prostředí udržela paralelně se sofistikovanějšími zařízeními až do počátku 20. století. Dokladem jsou např. etnografická pozorování V. Polívky ze Zdic u Berouna. Popisované vápenické pece měly podobu dutého válce vystavěného z pískovcových kvádrů. Do spodní části pece se nejdříve naložila sláma, pak suché roští, polínka a vrstva uhlí. Na tento základ se vyrovnaly střídavě vrstvy vápence a uhlí až byla pec zarovnána. Vsádka byla zakončena drobným vápencovým šterkem, struskou a vápenným popelem. Vypálení takto naložené pece trvalo tři dny.

Milířování bylo v kontextu doby římské v barbarských oblastech identifikováno na základě zvrstvení výplně v případě některých nálezů z Polska. Většina vápenických pecí z doby římské je však považována za doklad dvouprostorové technologie pálení, což odpovídá římské technologické tradici, kterou máme hojně doloženo též z provinciálního prostředí.

Dvouprostorový výpal

Dvouprostorový způsob pálení vápna se vyvinul v antickém Středomoří a do průmyslové revoluce se prakticky nezměnil. V tomto případě je palivo odděleno od vsádky nejčastěji prostřednictvím klenby sklenuté nad topeništěm ze samotné pálené suroviny. Na základě etnografických údajů a experimentální replikace si lze vytvořit představu o délce procesu a spotřebě paliva v případě menších pecí, jejichž doklady známe z barbarských oblastí doby římské.

V experimentální konstrukci pece z doby římské z Berlína prováděl experimentální výpaly K.-U. Uschmann. Vrchní partie zahloubení pece vyložené kameny měly vnitřní rozměr zhruba $1 \times 0,7$ m (**obr. 3**). Po 18 hodinách výpalu prvního pokusu s maximálními teplotami mezi 700 a 1000 °C byly některé větší kusy vápence vypáleny pouze částečně. Při druhém pokusu výpal trval 22 hodin, z čehož cca 12 hodin byla vsádka žíhána na teplotu vyšší než 800 °C. Všechny kusy vápence byly úspěšně vypáleny. Jiný pokus byl proveden P. Kosem v rekonstrukci malé vápenic-

ké pece z 16. století v Mokré (okr. Brno-venkov) (**obr. 4**). Při 30 hodinách výpalu bylo spáleno 3,5 m³ dřeva, což se ve výsledku ukázalo jako ne plně dostačující. Podobná spotřeba dřeva byla zaznamenána etnograficky při pálení pecí s kapacitou 1,5 m³ vápence (zhruba 20 q) na Dražanské vrchovině. Vypálení pece trvalo za dobrých podmínek pouhých 8 hodin, většinou však 10–12 a někdy také až 24 hodin. Se zvyšující se kapacitou pecí se doba pálení výrazně prodlužuje.

Problém archeologické viditelnosti technologie

Technologie pálení vápna často nezanechává makroskopicky pozorovatelné přímé doklady. Vápno se po vypálení lehce vstřebává do okolí a zanechává velmi málo vizuálních stop, které je možné bezprostředně využít pro interpretaci. Experimentálně byla tato skutečnost potvrzena v případě výše zmiňované replikace milířového pálení vápna podle dokladů z lokality Kfar HaHoresh. Po 9 letech po realizaci experimentu se zbytky páleného vápna rozptýlily působením formativních procesů, takže nebylo možné makroskopickým pozorováním identifikovat objekt jako pec na pálení vápna.

Interpretace většiny vápenických pecí z doby římské ve střední Evropě se opírá o identifikaci „vápnitých“ vrstev v rámci výplně objektu. Přítomnost CaO ve vrstvě výplně objektu však sama o sobě není průkazná. Vápník je jednou ze základních komponent dřevního popela. Např. popel z dubového dřeva páleného na teplotách kolem 900 °C je tvořen cca 2/3 CaO. Přítomnost vysokého podílu karbonátové složky v popelovité výplni objektu tedy není průkazná pro technologii pálení vápna.

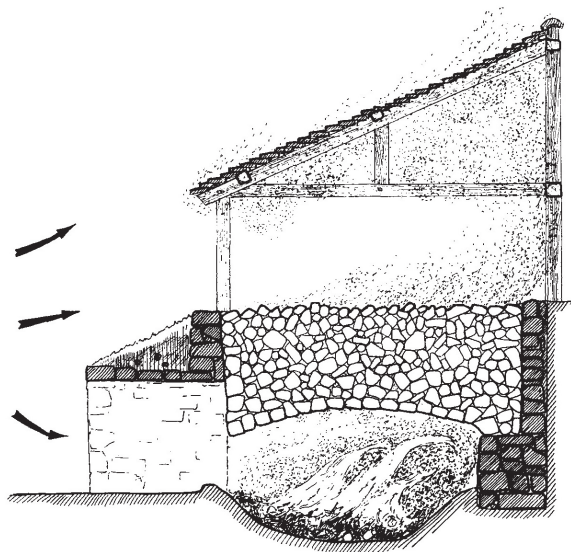
Aplikaci technologie pálení vápna lze prokázat petrografickou analýzou výbrusu popelovitých či vápnitých vrstev. Na základě této analýzy můžeme zjistit charakter přítomného kalcitu. Pokud se jedná o tzv. mikritický kalcit, který je tvořen zrnky kalcitu o velikosti do 0,004 mm, pak se pravděpodobně jedná pouze o reziduum popela. Pokud se však podaří identifikovat zrnitou formu kalcitu – sparit, pak lze uvažovat o využití pece pro účely pálení vápna.



■ **Obr. 1** Experimentální výroba vápna milířováním (Goren - Goring-Morris 2008, Fig. 4 © Wiley Periodicals, Inc.).

Nálezy vápenických pecí z doby římské na našem území

Z území Čech je známo několik pecí z doby římské, které byly označeny jako vápenické. První dvě byly prozkoumány na Mělnicku v 60. letech minulého století. Ani jednu z nich se však nepodařilo odhalit v celém rozsahu. Pec v Obrátcích měla původní tvar patrně kruhový nebo oválný a hloubku 110 cm. Uvnitř byly bloky mazanice na jedné straně ploché nebo mírně prohnuté a na druhé s otisky kulatiny, někdy i trámku a prken. Ve spodní části se našly šedobílé až bílé vrstvičky vápnité hmoty a na dně vrstva

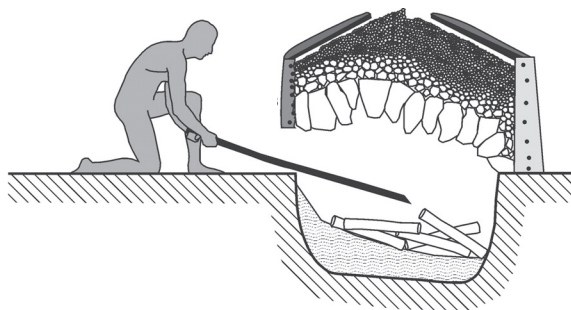


■ Obr. 9 Rekonstrukce římské vápenické pece (Dix 1982, Fig. 3 © Oxford Journal of Archaeology)

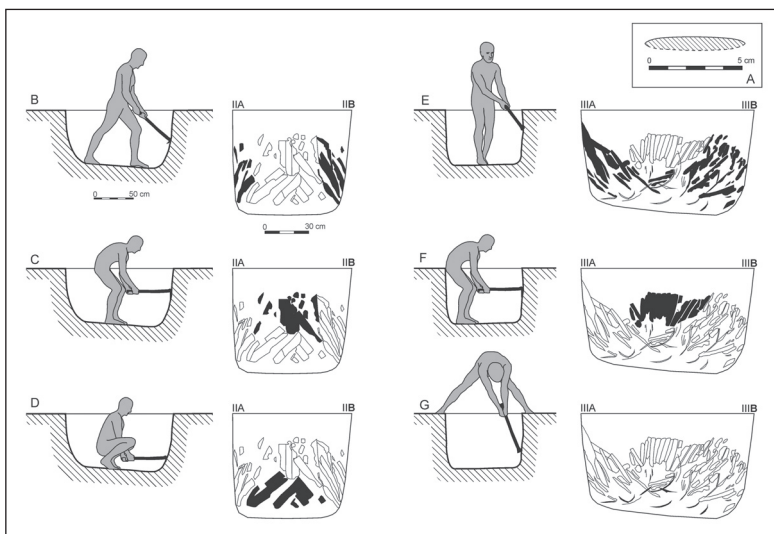
uhlíků. Podle několika nevýrazných střeptů a zejména podle materiálu ze sousedství pece byl tento objekt datován do starší doby římské.

Sedm kilometrů vzdušnou čarou od Obříství na katastru obce Brozánky bylo nalezeno další zařízení interpretované jako vápenická pec, původně oválného tvaru (230 × 100 cm, hl. 100–110 cm). Jáma měla silně vypálené stěny a výrazně zúženou horní část rovněž ze silně vypálené spraše. Na dně spočíval písek s uhlíky a nad nimi šedobílá vápnitá vrstvička (10–15 cm mocná), na které byly kameny. Také zde se našlo jen několik fragmentů keramiky, z nichž jeden fasetovaný okraj umožňuje datování pece do stupně A doby římské.

Pravděpodobně také další pece ze tří sídlištních lokalit, lze klást do počátku doby římské, tedy do stupně Eggers A (plaňanská skupina GRK). V Praze-Bubenči prozkoumal M. Bureš oválnou pec s rozměry



■ Obr. 5 Hypotetická rekonstrukce vápenické pece z doby římské z lokality Tuněchody.



■ Obr. 6 Rekonstrukce závěrečné fáze výkopu zahloubené části pece z doby římské z lokality Tuněchody.

220 × 90 cm, o hloubce 110 cm. Podle morfologických znaků by bylo možno za vápenickou pec považovat obj. 128 z Mlékojed. Analogickými objekty na téže lokalitě jsou jámy č. 129 a 163. Všechny měly stěny obložené kameny. Uvnitř jámové pece (obj. 1/08) z jihočeského sídliště Přeštovice se podařilo prokázat tzv. lavici jako oporu pro klenbu. Rovněž tento objekt je datován do počátku doby římské (plaňanská skupina).

Ze starší doby pochází vápenická pec ze železářské osady Ořech. Měla vanovitý profil s vápnitou vrstvou a rozměry 125 × 55 cm, hloubku jen 25–35 cm.

Jedním z novějších nálezů vápenických pecí jsou dva objekty z lokality Tuněchody u Chrudimi. Objekt 86/06 byl oválného půdorysu o délce 1,3 m a šířce 1 m s plochým dnem mírně se svažujícím k severu. Maximální hloubka byla 0,7 m, objem zahloubení 0,7 m³. Objekt byl datován radiokarbonovou metodou v intervalu 78–134 n. l., ovšem relativní datování sídlištního kontextu pecí by svědčilo spíše pro mladší, respektive pozdní dobu římskou. Funkce pece byla určena na základě identifikace sparitu v popelovité vrstvě na dně objektu. Dochovanost objektu umožnila jeho hypotetickou rekonstrukci (obr. 5). Na stěnách objektu se dochovaly stopy po kopání, které umožnily rekonstruovat závěrečnou fázi hloubení a do jisté míry i kopací nástroj (obr. 6). Druhý objekt (81/06) představovala jáma oválného

půdorysu: délka 1,2 m, šířka 0,8 m s plochým rovným dnem v hloubce pouhých 20 cm od úrovně skvrky.

Také na Moravě se podařilo na některých sídlištních z doby římské rozpoznat vápenické pece. První byla prokázána ve Vlčnově-Dolním Němčí. Jáma (obj. P2) obdélníkovitého půdorysu s rozměry 96 × 56 cm měla vanovitý průřez, který dosahoval hloubky 43 cm. V horní části se nahromadily kusy mazanice (též s otisky silných kulatin) do hloubky 30 cm. Výplň jámy tvořila světle šedá silně popelovitá vrstva s tmavými sazovitými skvrnami a bílými vrstvičkami. Dno bylo nevypálené se silnou vrstvou popela. Objekt je datován do mladší doby římské (stupeň C1). Ložiska vápence se nacházejí přímo u Hluku, tedy sousední obce Vlčnova.

Další objekty tohoto typu jsou hlášeny z výzkumu v Olomouci-Slavoníně. Jde o „dvě jámové pece – nejspíše vápenky“, které autoři výzkumu datují do 2. pol. 2. století.

Mezi výčtem pecí z našeho území se vymyká porušený objekt (č. 1) prozkoumaný ve Vyškově (Berkovec - Kos 2002). Pec ze starší doby římské se skládala z předpecní jámy, kanálku a vlastní pece. Jedna z vrstev v pecní i v předpecní jámě obsahovala fragmenty vápence a vápnitý prach. Na základě toho autoři výzkumu usuzují, že odkryli pec na pálení vápna.

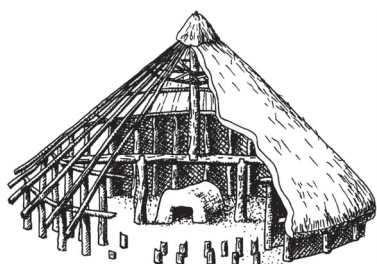
Je zřejmé, že na řadě dalších lokalit byly prozkoumány vápenické pece,

jen jejich identifikace nebyla dosud exaktně potvrzena. Řada z nich patří k novým, doposud nepublikovaným nálezům.

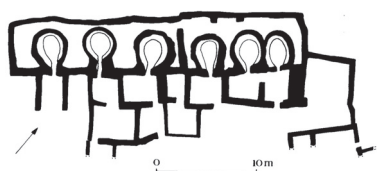
Římské vápenictví

Doklady vápenických pecí z našeho prostředí svědčí alespoň v některých případech o aplikaci dvouprostorového způsobu pálení vápna v jednoduchých zařízeních s malou kapacitou odpovídající produkci pro místní potřeby. Tuto skutečnost lze považovat za rudimentární znak odkazující k římské technologické tradici, která byla pravděpodobným zdrojem této technologie.

Vápenické pece (*formax calcaria*) v římském provinciálním prostředí bývají kruhového, oválného, hruškovitého nebo obdélného půdorysu o velikosti kolem 3 m na půdorysu. Pece mohou být umístěné ve vyhloubených jamách, zahloubené do svahu nebo postavené z kamenů někdy vymazaných hlínou. Podlaha bývá rovná nebo zahloubená. Pece stojí buď samostatně, nebo se shlukují do baterií (**obr. 8 a 9**). Vápenec se do pecí nakládal shora. První vrstva byla vyskládána do klenby na dřevěný rám. Po shoření rámu si klenba sedla a byla samonosná. Podle experimentální replikace se odhaduje délka celého procesu od naložení po vyložení pece při kapacitě římských pecí na 14 dní



■ **Obr. 7** Rekonstrukce kruhové stavby s vápenickou pecí z lokality Herzprung (Schuster 2000, Abb. 26 © Walter de Gruyter GmbH & Co. KG)



■ **Obr. 8** Baterie římských vápenických pecí z Iversheimu v Německu. Odhadovaná produkční kapacita 5 pecí je 200 tun vápna každý měsíc. (Sölter 1970, © Rheinland-Verlag)

až tři neděle.

Při rekonstrukci podoby a funkce římských vápenických pecí nejsme odkázáni pouze na archeologické doklady. O výrobě vápna se zmiňují římsští autoři, např. Marcus Vitruvius Pollio nebo Gaius Plinius Secundus. Nejucelenější informaci o vápenických pecích však podává Marcus Porcius Cato ve svém díle *De agri cultura* (viz rámeček).

Využití vápna

Římané používali vápno zejména pro výrobu malty a omítek. Kromě malty se vápno ve stavebnictví používalo také k bílení stěn. Čisté nehydraulické vápno našlo své využití i v medicíně. Nehašené vápno se ve směsi s dalšími ingrediencemi používalo na léčení vředů, pro podporu vytváření strupů, na popraskané rty, na vykloubení, zlomeniny a podvrtnutí, na psí kousnutí, svrab atd. Vápno bylo používáno též jako činidlo v kožedělnictví a v neposlední řadě v zemědělství, neboť vápno přidávané do půdy snižuje její kyselost a podporuje rozklad rostlinných zbytků. Takové využití vápna Plinius zmiňuje i u galských Aeduů a Piktů. Pro zemědělské účely není třeba produkovat kvalitní čisté vápno a plně dostává produkce milirů. K okrajovým aplikacím vápna patřilo jeho využití ke značení závodních drah, jako jedovatá návnada pro rybáře v Kampánii či příměs do lepidel. Otázkou zůstává, k jakým účelům využívali vápno Germáni. Výroba malty u Germánů není zatím doložena. Další zmiňované aplikace jsou teoreticky možné.

Vybraná 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.
- Kos, P. 2002: Experimentální výpal vápna v peci ze 16. století u Mokré, *Archeologia technica* 13, 9-17.
- Kurfürst, P. 1978: Lidové vápenictví na Dražanské vrchovině, *Český lid* 65, 153-163.
- Merta, J. 1980: Výzkumy vápenických pecí, *Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami* 1, 30-55.
- Schuster, J. 2000: Rundbauten und Kalkofenhäuser. Sonderformen des Hausbaus bei den Germanen in der römischen Kaiserzeit *Praehistorische Zeitschrift* 76(1), 93-123.

XXXVIII. O peci na pálení vápna

„Pec na vápno udelej 10 stop širokou, 20 stop vysokou a na vrcholu ji zužuj až do šíře 3 stop. Pálíš-li [vápno] jen v jednom ohništi^[1], udelej ve vnitř velkou prohlubeň^[2], aby vznikl velký prostor pro popel a aby se [popel] nemusel vynášet ven. Pec dobře postav. Celá dolejší pec, ať je obklopena zdí.^[3] Pálíš-li ve dvou ohništích,^[4] není zapotřebí dělat prohlubeň. Bude-li třeba vyhrabat popel, vyhrabávej jej z jednoho ohniště, v druhém bude oheň. Dbej, aby oheň nevyhasl a aby stále hořel, stráž se, aby nevyhasl ani v noci ani v žádném jiném čase. Do pece dávej dobrý kámen, co nejbělejší a bez jakýchkoli příměsí. Když budeš stavět pec, udelej dole kolmé otvory. Když jsi vykopal dostatečně [hluboké] jámy, postav pec tak, aby byla co nejnižší položena a co nejméně vystavena větrům. Bude-li mít místo, kde postavíš pec, málo hluboké, udelej [jí] vrch z cihel nebo ze stavebního kamene a z venčí jej vymaž jílem. Když založíš oheň a plamen bude vycházet i jinudy než hořejším otvorem, zamaž tento východ jílem. Stráž se, aby do ohniště nepřišel vítr; nejvíce se stráž jižního větru. Znamením, že vápno je vypálené, bude to, že hořejší kameny budou vypáleny; rovněž nejdolejší kameny se vypálením rozpadávají a vychází méně kouřový plamen.“

Marcus Porcius Cato: *O zemědělství*
(překlad V. Zamarovský)

- 1 praefurnium v textu použito ve významu nakládací otvor pro palivo (česno) či topeniště
- 2 lacuna představuje de facto popelník ovšem neoddělený od topeniště
- 3 termín fortax pravděpodobně označuje římsu, která je základem podpůrné dřevěné konstrukce pro klenbu vystavenou z pálených kamenů (čelesno, pícke).
- 4 ve významu: „Pálíš-li v peci se dvěma topeništi ...“

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

Uchmann, K.-U. 2006: Kalkbrennöfen der Eisen- und römischen Kaiserzeit zwischen Weser und Weichsel: Befunde - Analysen - Experimente. Berliner Archäologische Forschungen, 3. Rahden: Verlag Marie Leidorf GmbH.

Summary

The manufacture of lime and its earliest direct evidence from the Czech Republic

The earliest direct archaeological evidence of the manufacture of lime from the area of the Czech Republic is dated to the Roman Age. Raw materials for lime production were burned in semi-sunken oval kilns located on peripheries of settlements. Macroscopically evident diagnostic residues are usually absent in archaeological situations, therefore the identification of lime-burning is not straightforward. That is why the extension of the technology is probably underestimated. Lime production could have been a common component of settlement economy in the Roman period. The Roman technological tradition is the most probable source of this technological innovation in 'barbaric' areas of Europe.