

Bartoš, Martin; Brzák, Přemysl; Ševců, Jaromír

## Prubírství a prubířská keramika

*Archaeologia historica*. 2001, vol. 26, iss. [1], pp. 43-53

ISBN 80-7275-015-01

ISSN 0231-5823

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/140407>

Access Date: 20. 02. 2024

Version: 20220831

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

# Prubířství a prubířská keramika

MARTIN BARTOŠ – PŘEMYSL BRZÁK – JAROMÍR ŠEVČŮ

Prubířství (pruběřství, proběřství, analýza suchou cestou, dokimastická analýza) je patrně nejstarším oborem chemické kvantitativní analýzy. Prubířské postupy byly používány už 3000 let před naším letopočtem (Greenwood–Earnshaw, 1993, 1455) ke zjišťování obsahu zlata a stříbra ve slitinách a až ve druhé polovině 20. století byly postupně nahrazeny metodami instrumentální analýzy. Dlouhé období výhradního používání prubířských postupů analýzy v hornických a hutnických lokalitách zanechalo řadu materiálních dokladů. K nejčastějším patří nálezy malých silnostěnných keramických misek s mělkou prohlubní a kónickými vnějšími stěnami, obvykle (i když často patrně nesprávně) označovaných jako kapelky.

Prubířské postupy byly od středověku až do nedávné doby používány v hornických oblastech, hutích a mincovnách k analýzám rud, meziproduktů a produktů jejich zpracování, k analýzám mincovního kovu a pagamentu – tj. při řízení těžby rud a výroby kovů a ke kontrole domácích i cizích mincí. Výsledky těchto analýz rozhodovaly o osudech čelob jednotlivých dolů i celých hornických revírů, hutí a mincoven.

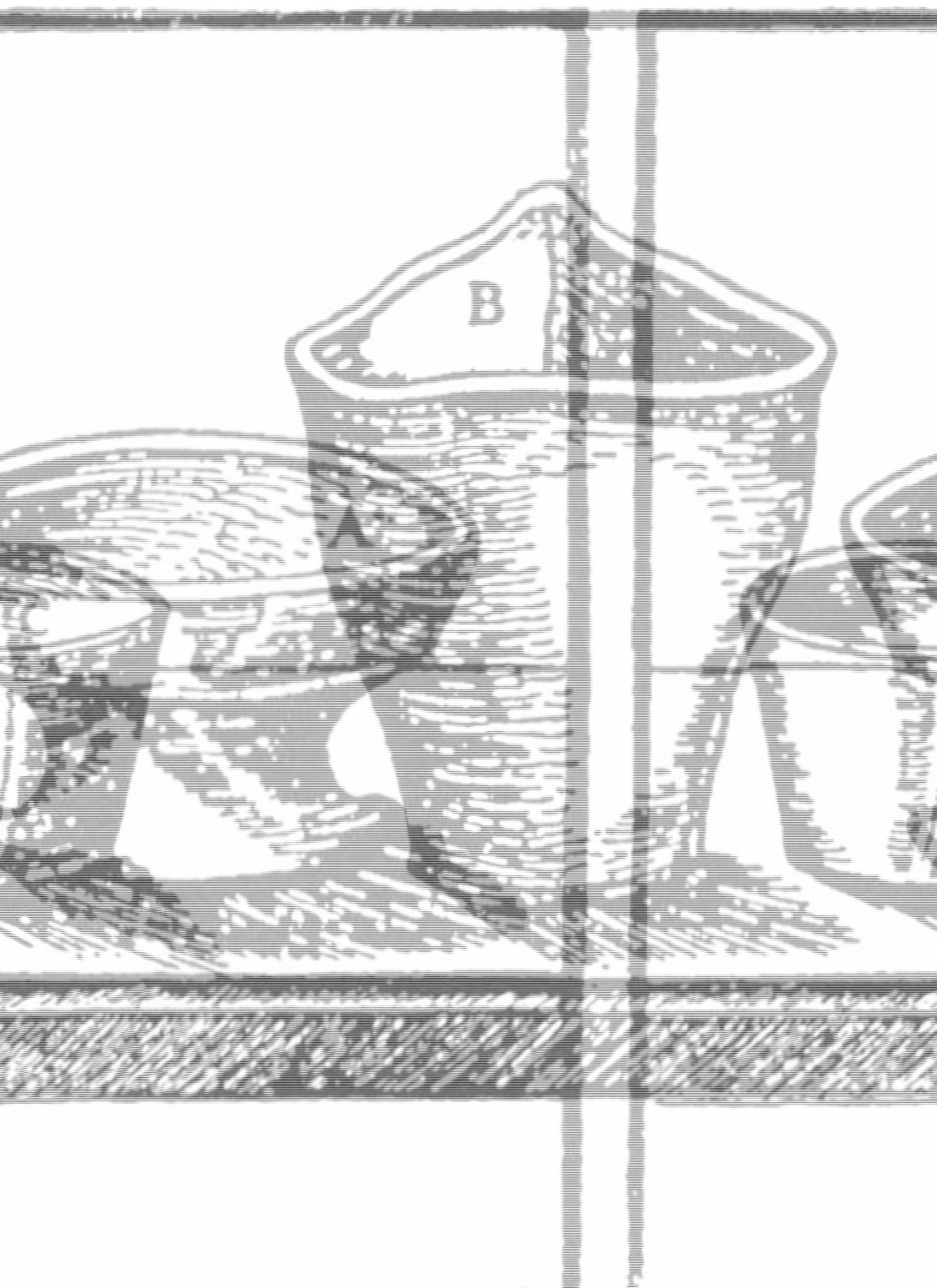
Základní přehled o pozdně středověkém prubířství poskytuje kniha Lazara Erekera *Beschreibung...* z roku 1574, jejíž text doplněný řadou obrázků pojednává o analýze i hutnictví stříbra, zlata a řady dalších kovů a jejich rud a o vybavení prubířské laboratoře, výrobě potřebných přístrojů, nástrojů a pomocných látek. Přehled prubířství je také v sedmé knize díla J. Agricoly *Dvanáct knih o hornictví a hutnictví* z roku 1556.<sup>1</sup>

Obvyklý postup prubířské analýzy byl zhruba následující: Podle charakteru vzorku bylo jeho určité přesně odvážené množství nejprve sušeno, žiháno a praženo, čímž došlo k odstranění těkavých složek (vody, oxidu uhličitého, rtuti, síry, arsenu a antimonu) a přírodně se vhodně změnily mechanické vlastnosti vzorku. Tyto operace byly prováděny na pražicích střepech takovým způsobem, aby nedošlo k tavení vzorku.

Dalším krokem bylo struskovací tavení, při kterém byly pomocí přidaného struskovadla (soda, potaš, klejt, borax, alkalické fosforečnany, křemen atd.) převáděny nežádoucí látky do strusky. Struskovací tavení bylo obvykle spojeno s tavením redukčním a koncentračním, které za přídavku redukovačla (nejčastěji dřevěného uhlí) a koncentrační přísady (např. olovo resp. klejt – tj. oxid olovnatý) převádělo stanovovaný kov do vhodné formy a tu srhávalo do některé fáze taveniny (stříbro a zlato bylo koncentrováno v olovu – vzniklá slitina byla nazývána regulus neboli králík). Tato operace byla prováděna u chudých rud v kelímcích, u bohatých rud na struskovacích střepech a mohla být několikrát opakována, dokud nebyl získán regulus vhodného složení.

Následujícím krokem bylo oxidační tavení králíku neboli odhánění resp. kupelace. Při této operaci se využívalo rozdílné afinity kovů ke kyslíku a rozdílné smáčivosti stěn kapelky roztaveným kovem a oxidem. Slitina se stanovovaným kovem byla tavena za přístupu vzduchu, přičemž olovo postupně oxidovalo na klejt, který vsakoval do jemných pórů speciálního tavícího kelímku, zvaného kapelka. Kov narozdíl od klejtu nesmácel povrch kapelky, proto nevsakoval do její hmoty. Po ukončení analýzy zůstalo v misce zrunko ušlechtilého kovu, které bylo po očištění zváženo.

Obdobným postupem bylo možné zlato oddělit od stříbra – tavením s kuchyňskou solí



a dalšími přísadami vznikala chlorid stříbrný, na misce zůstalo zrno ryzího zlata. Častěji byla ale používána kvartace, tj. rozpouštění stříbra z roztepaných plátků jeho slitiny se zlatem v roztoku kyseliny dusičné.

Další prubířské metody: Cementace je založena na tom, že méně ušlechtilý kov může vysrážet ušlechtilejší kov z jeho roztoku (příkladem je vylučování mědi z roztoku modré skalice na železném hřebíku). Při amalgamací, využívané k oddělování zlata a stříbra od matečné horniny, byl vzorek rozetřen se rtutí, promyt vodou a amalgám byl oddělen od nadbytku rtuti nejprve filtrací přes jemnou kůži resp. destilací. Zbytek rtuti z amalgámu byl odstraněn destilací na střepu. Při zkoušce zlata, stříbra a jejich slitin prubířským kamenem byl porovnáván vzhled šktu na kamenu (hlavně jeho barva) s referenčními škrty prubířských jehel o známém složení.

Různé varianty prubířských postupů umožňovaly stanovit kromě obsahů stříbra a zlata (tyto s vynikající přesností) i obsahy platinových kovů, olova, mědi, kobaltu, niklu, arsenu, antimonu, cínu, zinku, vizmutu, rtuti, železa atd. v jejich nejrůznějších rudách a slitinách. Důležitou součástí prubířství bylo vzorkování, tj. jak odebrat vzorky k analýze.

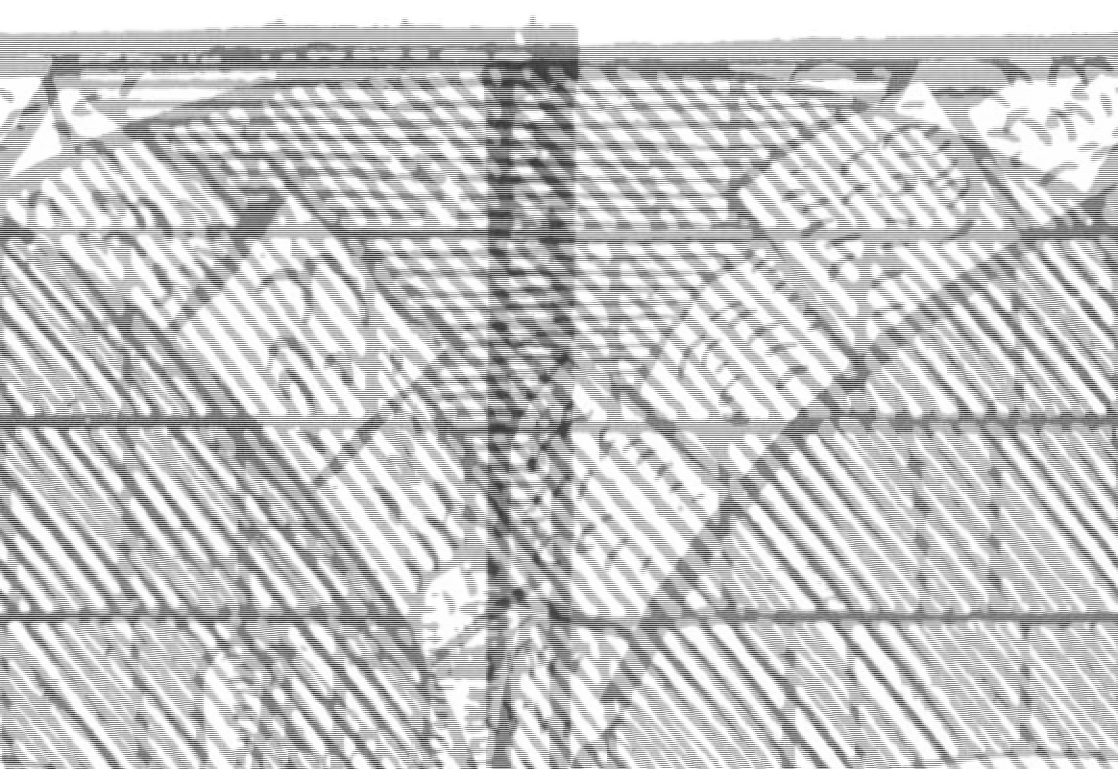
Základem prubířské laboratoře byla pec. Nejčastější byly pece dvou typů: větrná a kelímková. Větrná pec (označovaná také jako prubířská či muflová) stála na zděném podstavci, měla obvykle téměř čtvercový půdorys o vnitřním rozměru přibližně 30×30 cm až 50×50 cm a její výška byla asi o polovinu větší než šířka. Přibližně uprostřed čelní stěny byl půlkruhový otvor, který vedl do mufle ležící na hlíněné desce podpírané železnou konstrukcí. Tímto otvorem byly vkládány nádobky s analyzovanými vzorky. Mufle, obvykle keramická, měla tvar prežuu uzavřeného na zadní straně a opatřeného otvory v bočních stěnách. Uhlí bylo umístěno po stranách mufle. Konstrukce pece mohla být železná, hliněná (tyto pece mohly být přenosné) nebo zděná, nouzově ji bylo možné sestavit z cihel. Všechny železné části pece byly opatřeny žáruvzdornou izolací. Pec byla určena pro práci s menšími kelímkami, struskovacími střepy a kapelkami. Kelímková pec byla určena pro práci s větším množstvím vzorku v jednom větším kelímku – tj. hlavně pro počáteční operace při analýze vzorků chudších rud, kterých bylo navažováno větší množství (50 až 100 gramů). Jejím základem byl železný prstenec postavený na vhodném podstavci. Prstenec byl z vnitřní strany chráněn žáruvzdornou izolací (hlínou) a v jeho dolní části byl otvor pro vhánění vzduchu dmyhadlem. Uhlí bylo vkládáno mezi prstenec a kelímek. Vytápění pecí bylo původně výhradně dřevěným uhlím, v novější době i jinými druhy uhlí, ropnými produkty, plynem a elektřinou. Dosahovaná teplota byla až 1 200 °C.

Další důležitou součástí prubířské laboratoře byly váhy. Těch bylo několik druhů, ve směs vahadlové konstrukce se dvěma miskami. Méně přesné, zato s větší váživostí sloužily k navažování přísad, přesnější na navažování vzorků a jemné váhy umístěné v prosklené skříni byly určeny ke zjišťování hmotnosti zrněk drahých kovů po kupelaci (citlivost těchto vah byla srovnatelná s dnešními analytickými vahami). Navážky vzorků u bohatších rud a slitin byly 1 prubířský centnýř, tj. cca 3,5 až 5 gramů. Nejmenší používané závaží pro zjišťování hmotnosti zrnka ušlechtilého kovu bylo přibližně 0,5 mg.

Kromě pece a vah potřeboval prubíř celou řadu dalších nástrojů na odběr a mechanickou úpravu vzorku, manipulaci se žhavými nádobkami a materiály, mechanické čištění slitin atd. – kladiva, sekáče, pilníky, moždíře, kovadlinky, třecí, plavící a sušící misky, síta, pinzety, kleště, jehly, prubířské plechy a vylévací formy, kádě na plavení popela pro výrobu kapelek atd.

Operace se vzorkem byly prováděny v prubířských nádobkách. Ercker i Agricola popisují podrobně výrobu tří typů nádobek – kelímků, struskovacích střepů a kapelek. Kelímků byly kruhové i trojboké, měly výšku větší než průměr a jejich objem byl od cca 50 ml až přes 500 ml. Kromě přípravy a struskování chudých rud se používaly k výrobě různých pomocných látek (přísad). Struskovací střepy byly tlustostěnné mělké keramické misky

ždva ky i sis kdóji tals j ovís ť hohit ý potu  
epřě lby ky a nly fby o sycmédjledeh kně jšíř  
sta pěr idk ováta křečny mds t b ť í psá d n ě  
d ě mekké u k p y i t ě v á t o ě s i k o s t a y s e o v ě i b d  
a č r ě s k í a d b h u h y t ě h o p ě a v ě i o t ě b e r d r y l ě z v  
ž n ě d o v a c o j d b y d r k ť h o l s k ś e v ý a z y l p p b  
ž n o v ě j š í s t ť o p ě š ě p k š a y m o k ě p p o u ž í v á ( N  
) a výpal při vysoké teplotě.)



tou vodou“. Ražení kapelek probíhalo podobně jako u střepů a kelímků. Hotové kapelky byly sušeny za normální teploty. Vypalovány byly až bezprostředně před použitím. (V novější době se k výrobě kapelek používal kostní popel s portlandským cementem.) Správně udělaná kapelka měla velké množství jemných pórů, které mohly v průběhu analýzy vsáknout přibližně tolik olova (ve formě klejtu), kolik sama vážila. Nepoužitou kapelku bylo možné rozmáchnout v ruce, použitá kapelka byla poněkud odolnější v důsledku impregnace klejtem.

Další prubířské nádoby: Pražící střepy byly ploché tenkostěnné keramické misky s vysokou odolností proti prudkým změnám teploty. Kelímky z tuhy a dřevěného uhlí byly vhodné pro redukční tavení, železné kelímky pro srážecí tavení, kelímky z mastku byly odolné proti alkáliím. Tuty byly kelímky kalichovitého tvaru s patkou, boubelky byly baňaté tuty atd. Další typy nádob sloužily k uchovávání kapalin (kyselin a rtuti) a k destilaci.

Prubíř musel být schopen si v případě potřeby vyrobit veškeré zařízení sám (tj. od pece, přes prubířské nádoby až po váhy a závaží). V místě, kde byla jejich spotřeba větší – např. v kutnohorské mincovně – dodávali jak testy pro přepalování stříbra při výrobě mincovního kovu, tak prubířské nádoby místní i cizí hrnčiči (Leminger, 1912, 3, 338; Pleva 1997, 30).

Požadavky na přesnost analýz byly velmi přísné. Rudy byly analyzovány dvěma pruběři, mezi jejichž výsledky nesměl být větší rozdíl než 1,5 %. Při větším rozdílu se dělaly další analýzy. Základní pravidla organizace prubířských analýz včetně odebrání vzorků, jejich úpravy, ukládání kontrolních vzorků a povinností jednotlivých úředníků upravovaly instrukce vydávané nejvyšším mincmistrem nebo i králem (Leminger, 1912, 335–336; Kofan, 1950, 40).

\*

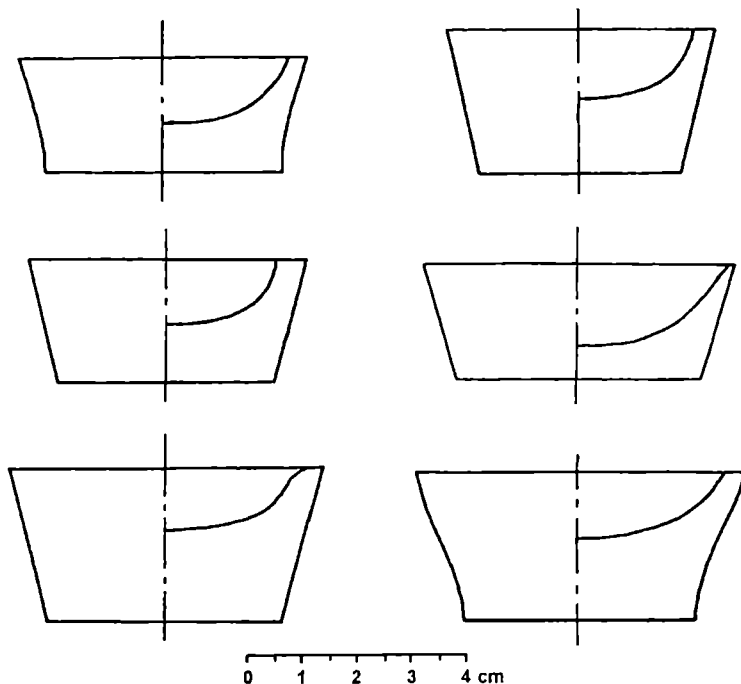
V Kutné Hoře lze nalézt prubířské nádoby ve vrstvách městských navážek, v zásypech šachet, odpadních jam a studní apod. Nejčastěji jsou nalézány struskovací střepy – kuželovité mělké silnostěnné nádoby, jejichž účel naznačuje tenká vrstva sklovité taveniny v misce. V jednom případě se podařilo nalézt soubor těchto nádobek bez taveniny, tj. nepoužitých.<sup>2</sup> Vzácnější jsou nálezy kulatých a trojbokých kelímků o výšce od 5 do 25 cm. Kapelky byly zatím zjištěny pouze ve sbírkách Okresního muzea v Kutné Hoře. Je zde uloženo několik set malých kuželových až půlkulových misek, ve kterých je nálet červeno-oranžové barvy. Nejsou k nim žádné upřesňující informace (kdy a jakým způsobem se dostaly do muzea).<sup>1</sup> Dle velikosti lze soudit, že sloužily k určování čistoty stříbra resp. složení mincovního kovu.

Četnost výskytu jednotlivých typů snad naznačuje, že struskovací střepy byly používány jednorázově a poté byly vyhazovány. Prubířské kelímky byly používány méně často a snad i opakovaně, resp. jejich vzácnost souvisí s tím, že v mincovně nebyly analyzovány chudé rudy. Nejvzácnější jsou kapelky, u kterých, vzhledem k jejich charakteru, nelze očekávat nález v nepoužitém stavu. Použité kapelky snad mohly být v mincovně přidávány k popelu z testů po přepalování stříbra (Leminger, 1912, 10; Kruliš, 1966).

Pro spolehlivější identifikaci těchto nádobek, tj. hlavně rozlišení struskovacích střepů a kapelek, bylo použito porovnání jejich vzhledu, fyzikálních parametrů a mineralogického resp. chemického složení materiálu misek a taveniny s literárními údaji.

**Struskovací střepy** jsou vyrobeny z jemného keramického materiálu obsahujícího slídku a mají bělavou až okrovou barvu. V prohlubni je červenohnědá až černá sklovitá tavenina. Poměrně často je možné podle zbytků taveniny na okraji a vnější stěně určit směr jejího vylití. Nepoužité střepy jsou tvarově stejné, mají okrovou barvu, prohlubeň je bez taveniny. Průměr nádoby je nahoře 5 až 6 cm, dole 3,7 až 4,5 cm, výška 2 až 3 cm, hloubka prohlubně 1 až 1,5 cm, hustota cca 1,7 až 2 g/cm<sup>3</sup>, nasákavost kolem 15 %.<sup>4</sup>

Rentgenová difrakční **analýza struskovacích střepů** byla použita k charakterizaci mineralogických fází i k odhadu teploty sušení resp. výpalu střepu. Při sušení a vypalování minerálů přítomných ve vzorcích dochází k fázovým přeměnám. Kaolinit případně přida-



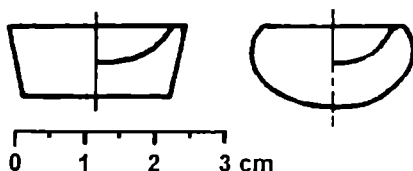
Obr. 4. Několik variant struskovacích střepů nalezených v Kutné Hoře.

ný do hmoty při sušení dehydratuje a přechází přechází v širokém rozmezí teplot kolem 300 °C na tzv. metakaolinit, který je rentgenamorfní (tj. neprojevuje se na difraktogramu). Metakaolinit při teplotách kolem 1 000 °C přechází na mullit, který je krystalický. Slída při teplotách nad 1 000 °C přechází na spinelové fáze. Na difraktogramu nepoužitého střepu není žádný jílový minerál – přítomný kaolinit přešel na metakaolinit, jehož přítomnost ve vzorku dokazuje mullit, který se objevil po dodatečném výpalu (1 100 °C/1 hod). Střep byl tedy vysušen při teplotě od 300 do 1 000 °C. Použitý střep obsahuje málo mullitu (což ukazuje na nízkou teplotu a krátkou dobu výpalu), slída ještě nepřešla na spinelové fáze. Z toho plyne, že tavení na střepu probíhalo při teplotě téměř 1 000 °C. Kalcit se do hmoty střepů mohl dostat dodatečně až v místě uložení.<sup>5</sup>

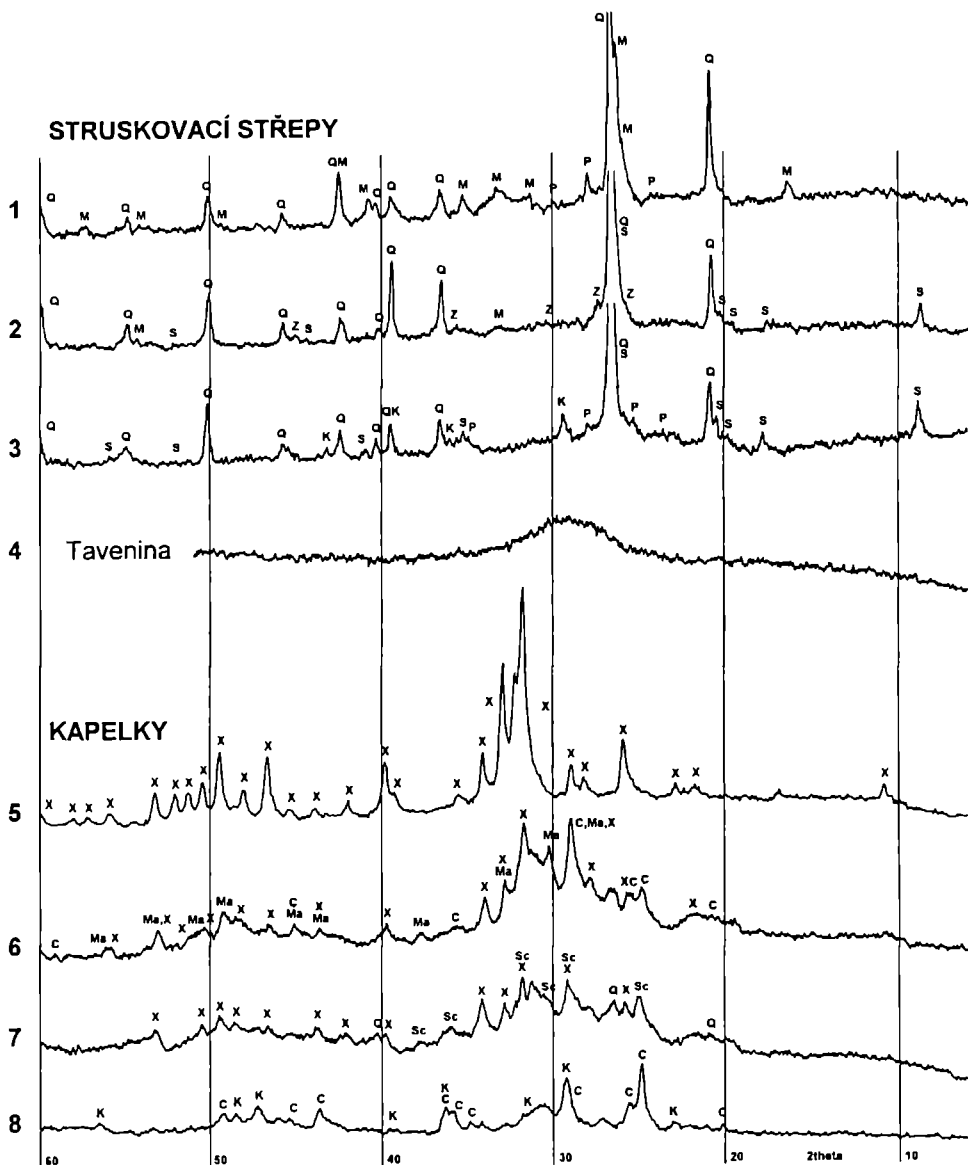
Mineralogické složení použitého střepu: křemen, kaolinit, slída, živec, kalcit.

Rentgenová difrakční **analýza taveniny** na dně střepu prokázala její amorfni charakter, ze kterého se dá usuzovat snad jen na kyselou povahu tavení. Výsledky analýzy taveniny elektronovou mikrosondou: PbO: 59–62 %; SiO<sub>2</sub>: 15–27 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,0–12 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1–6 %; FeO: 0–8 %; CaO: 0–2 %.<sup>6</sup>

**Kapalky** jsou tvořeny velmi jemným homogenním materiálem, barva povrchu je světle šedá až nahnědlá, v misce je oranžový nálet klejtu (barva závisí na složení analyzovaného



Obr. 5. Dvě varianty kapelek uložených v Okresním muzeu v Kutné Hoře.



Obr. 6. Rentgenová difrakční analýza střepu a kapelky. Struskovací střep: 1 nepoužitý, dodatečně vypálený; 2 použitý; 3 nepoužitý; 4 tavenina na dně střepu. Kapelka: 5 dolní strana (dno); 6 dno prohlubně (misky); 7 horní okraj; 8 povrch. Krystalické fáze: C – cerussit –  $\text{PbCO}_3$ ; K – kalcit –  $\text{CaCO}_3$ ; M – mullit –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ; Ma – massicot –  $\text{PbO}$ ; P – plagioklas; Q – křemen –  $\text{SiO}_2$ ; S – slída; Sc – silicocarnotit –  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$ ; X – hydroxyapatit –  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ; Z – draselný živec.

vzorku a podmínkách uložení), hmota kapelky je impregnovaná klejtem. Průměr kapelky je obvykle nahoře 27 až 30 mm, dole kolem 22 mm, výška 12 až 17 mm, hloubka misky kolem 6 mm, hustota cca  $3,5 \text{ g/cm}^3$ . Místa méně impregnovaná klejtem (horní i dolní okraje) jsou velmi často poškozena odlomením či oddělením části hmoty, takže některé kapelky mají spíše polokulovitý tvar. Výjimkou nejsou ani praskliny. Téměř pravidlem je jednostranné poškození dna (podobně jeho seřfznutí), které by snad šlo vysvětlit nesymetrickým prosycením hmoty kapelky klejtem v důsledku nerovnoměrného prohřátí.



Rentgenová difrakční **analýza použité kapelky** zjistila přítomnost apatitů (tvořících základ hmoty kapelky) a sloučenin olova: oxidu (massikotu - klejtu) a uhličitanu (cerussitu) vzniklého pravděpodobně sekundárně. Původ kalcitu je snad rovněž sekundární. Výsledky elektronové mikrosondy kapelky (složení silně závisí na stupni „prosycení“ základní hmoty kapelky klejtem): PbO 32–80 %; CaO 15–55 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1–6 %; SiO<sub>2</sub> 0–8 % (pozn.: mikrosonda „nevidí“ mj. uhlík a kyslík).

**Kelímek** byl k dispozici pouze jeden. Měl trojboký tvar a byl tvořen jemným keramickým materiálem se slídy, barvy tmavé až černé. Uvnitř na dně byly stopy červené hmoty ve které elektronová mikrosonda prokázala železo, křemík a lokálně i olovo – kelímek byl snad použit pro přípravu přísady.

Z dalších keramických materiálů souvisejících s prubříváním by měly být poměrně snadno rozlišitelné zbytky muflů, které by měly mít tvar preju s otvory v bočních stěnách a se stopami poměrně značného a nerovnoměrného tepelného namáhání, a retort pro destilaci. V Kutné Hoře, narozdíl např. od slovenských rudních revírů (Labuda, 1997, 103–105), nebyly dosud identifikovány.

\*

Ačkoli se základy prubřívání nezměnily pravděpodobně po několik tisíciletí, odlišnosti v postupech při analýzách určitých matric jsou uváděny i Agricolou a Erckerem.<sup>7</sup> Na základě těchto a mladších pramenů je sice možné rekonstruovat stav prubřívání od 16. století, ale není možné se vyjádřit k tomu, jak vypadala laboratoř prubřívání v předchozích staletích. Z předpisů pro výrobu mincí a z jejich analýz je zřejmé, že metody umožňující přesné stanovení obsahu stříbra v jeho slitinách, pagamentu a mincovním kovu musely být známé a běžně používané minimálně od doby Václava II. (Smolík, 1971). Z tohoto období ale dosud nejsou z území Čech známy žádné nálezy, které by bylo možno jednoznačně dát do souvislosti s prubříváním. Ercker i Agricola popisují stav prubřívání v 16. století v oblasti české resp. saské, který, jak se zdá, se příliš nelišil od stavu na Slovensku (Labuda, 1997). Ve vzdálenějších zemích mohly (ale nemusely) být rozdíly větší. Např. keramické nádoby pravděpodobně používané ke kupelaci v 10. až 11. století v Anglii se tvarem i materiálem výrazně liší od nálezů ze 16. století, které jsou naopak prakticky totožné se soudobými kutnohorskými kapečkami. Tvary prubříváckých kelímků používaných v Anglii v 10. až 16. století nebyly dosud v kutnohorském revíru zaznamenány (Bayley, 1992a; Bayley, 1992b; Bayley, 1996) atd. Vzhledem ke stavu výzkumu hmotných dokladů středověkého hutnictví a prubřívání v Čechách jsou ale tyto otázky ještě předčasné.

## Poděkování

Autoři děkují vedení a pracovníkům Okresního muzea v Kutné Hoře za zapůjčení kapelek, členům České speleologické společnosti ZO 5-05 Trias Pardubice za poskytnutí dosud nepublikovaných údajů, Ing. P. Paulišovi a Ing. M. Vlčkoví, CSc. za pomoc s analýzami a Grantové agentuře České republiky za finanční podporu (projekt č. 203/99/0044).

## Poznámky

1 Lazar Ercker ze Schreckenfelsu pocházel ze saského horního města Annabergu. Od roku 1565 působil ve službách české komory při různých horních úřadech. V letech 1574 až 1583 byl nejvyšším perkmistrem, od r. 1583 do své smrti r. 1594 byl pražským minemistrem. Za zásluhy o hornictví v Čechách byl povýšen do šlechtického stavu. V roce 1574 vyšla v Praze jeho nejznámější kniha *Beschreibung Allerfürnemisten Mineralischen Ertz, vnnnd Berckwercksarten... Durch Lazarus Erckern*, jejíž česká verze se nedochovala. Český překlad od P. Vitouše vyšel v Praze roku 1982 pod názvem *Kniha o prubřívání*. Jiří Agricola (1494–1555) působil od roku 1527 jako městský lékař v Jáchymově a později v Saské Kamenici (Chemnitz). Psal práce o mineralogii, hornictví, hutnictví atd. Jeho hlavním dílem je *Georgii Agricolae De Re Metallica Libri XII, Basileae MDLVI*. Český překlad B. Ježka a J. Hummela vyšel pod názvem *Jiřího Agricoly Dvanáct knih o hornictví a hutnictví* v Praze roku 1933; reprint tohoto vydání vyšel v Praze roku 1976.

Existuje řada dalších příruček z 16. století, které obsahují informace o prubřívání (Purš, 2000). Většinou jsou obtížně dostupné a poměrně nesrozumitelné i pro chemiky, protože jsou psány většinou německy

- nebo latinsky, nepoužívají pochopitelně dnešní názvosloví a kromě technických popisů obsahují i filozoficko-alchymistické úvahy.
- Ke zběžnému seznámení s prubřívstvím je vhodná V. kapitola 3. podkapitola práce E. Lemingera (1912, 335–364), pro počáteční studium této problematiky je vhodná příručka J. Jirkovského (1956).
- 2 Nepoužité struskovací střepty byly nalezeny na povrchu záasyu šachty na konci tzv. Blátivé štolý na Bylance, která sleduje severním směrem pravděpodobně východní maurskou žílu oselského pásma (ČSS, 1996; ČSS, 1997). Podle kontextu lze střepty datovat do období kolem či spíše po roku 1600.
  - 3 Snad byly nalezeny při úpravách Vlašského dvora na přelomu 19. a 20. století, odkud se pak darem dostaly do sbírek Archeologického sboru „Vocel“. Např. v letech 1897–99 věnoval „p. Jan Macháček, starosta města Kutné Hory, rozman. hliněné nádoby, pohárky, testy a kelímky nalezené v zemi při přestavbě Vlašského dvora“ (Zpráva, 1999, 57). Ve zpravách Archeologického sboru „Vocel“ lze nalézt další zmínky o darech prubřívské a hutnické keramiky.
  - 4 Hustota byla vypočtena ze vztahu  $r = (m_s \cdot r_w) / (m_w - m_s)$ . Kde  $r$  je zjišťovaná hustota misky,  $m_s$  je hmotnost misky za sucha,  $m_w$  je hmotnost misky zcela nasáklé vodou (po 24 hodinách máčení),  $m_w$  je hmotnost nasáklé misky zavěšené pod hladinou vody v kádince a  $r_w$  je hustota použité vody. Nasákavost byla stanovena z poměru hmotností suché a 12 hodin máčené kapelky. Za suchou byla považována kapelka dlouhodobě uložená při teplotě cca 20 °C, máčení probíhalo rovněž za normálního tlaku a teploty.
  - 5 Rentgenová difrakční analýza umožňuje identifikovat krystalické fáze ve vzorku (mineralogické složení) pomocí difrakce (ohybu) svazku monochromatického rentgenového záření dopadajícího na vzorek. Amorfní látky nedávají buď žádný signál nebo signál tvaru širokého píku. Pracovní podmínky: rtg. přístroj Mikrometa 2, difraktograf GON 03, záření  $Cu_{K\alpha}$ , filtr Ni, napětí 30 kV, intenzita 18 mA, rychlost posuvu Geiger-Müllerova čítače  $1^\circ \text{ min}^{-1}$ , clona výstupní/vstupní  $5'/5'$ , rozsah záznamu  $10^4 \text{ imp/sec}$ , časová konstanta 3, útlum 10 dB.
  - 6 Elektronová mikrosonda stanovuje prvkové složení ve velmi malém objemu vzorku do hloubky menší než 10  $\mu\text{m}$ . Mez detekce je kolem 1 %. Stanovovány byly prvky s atomovým číslem 11 a větším (od sodíku výše). Pracovní podmínky: elektronový mikroskop Tesla BS 300, energiově disperzní mikro-analyzátor Link Systems 860/2, urychlovací napětí svazku 20 kV, doba měření 90 s, hodový svazek, vyhodnocení kvantitativně se standardem, korekce ZAF4. Výsledky byly přepočteny na hmotnostní procenta oxidů.
  - 7 Porovnáním těchto dvou základních pramenů můžeme zjistit další rozdíly mj. i ve vybavení laboratoří, které jsou jen částečně vysvětlitelné tím, že Agricola byl lékař, který sice byl v denním styku s hornickou a hutnickou technologií krušnohorské oblasti, kterou podrobně popsal, ale jejíhož vývoje a využívání se přímo neúčastnil, zatímco Ercker byl praktikem v oboru prubřívství, i když se přece jen zdá, že více času strávil analýzami spojenými s provozem mincovny (vzorky s vysokými obsahy ušlechtilých kovů), než s provozem dolů (chudé rudy).

## Literatura

- AGRICOLA, J.–JEŽEK, B.–HUMMEL, J., 1933: Dvanáct knih o hornictví a hutnictví. Praha.
- BAYLEY, J., 1992a: Metalworking Ceramics, Medieval Ceramics 16, 3–10.
- BAYLEY, J., 1992b: Lead metallurgy in late Saxon and Viking England. In: Willies, L.–Cranstone, D. (editors): Boles and Smelting. Report of a seminar on The History and Archaeology of Lead Smelting held at Reeth, Yorkshire 15–17 May 1992, 6–8.
- BAYLEY, J., 1996: Innovation in later medieval urban metalworking, Historical Metallurgy 30, 67–71.
- ČSS, 1996: Montanistický výzkum historických důlních děl v regionu Kutná Hora. Etapová zpráva za období 1995/96. Nepublikovaná zpráva, Česká speleologická společnost, ZO 5-05 Trias Pardubice.
- ČSS, 1997: Montanistický výzkum historických důlních děl v regionu Kutná Hora. Etapová zpráva za období 1996/97. Nepublikovaná zpráva, Česká speleologická společnost, ZO 5-05 Trias Pardubice.
- ERCKER, L.–VITOUŠ, P., 1982: Kniha o prubřívství. Praha.
- GREENWOOD, N. N.–EARNSHAW, A., 1993: Chemie prvků. Praha.
- JIRKOVSKÝ, R., 1956: Prubřívství a zásady vzorkování. Praha.
- KRULIŠ, I., 1966: Přínos Chr. A. Schlütera a Gabriela Jarse k dějinám tavení rud v Jáchymově. In: Doloování v Jáchymově. Praha.
- LABUDA, J., 1997: Montánna archeológia na Slovensku, Slovenská archeológia 45, 83–156.
- LEMIGER, E., 1912: Královská mincovna v Kutné Hoře. Praha.
- PURŠ, I., 2000: Prubřívství a alchymie. In: Jasná hodina III. Kutná Hora.
- SMOLÍK, J., 1971: Pražské groše a jejich díly (1300–1547). Praha. (Reprint vydání z roku 1894.)
- PLEVA, F., 1997: Ledec nad Sázavou, dějiny města. Ledec nad Sázavou.
- ZPRAVA, 1899: Zpráva archeologického sboru „Vocel“ v Hoře Kutné a okolí za rok 1897–1899. Kutná Hora.

**Tabulka 1. Porovnání vlastností struskovacího střepu a kapelky.**

STRUSKOVACÍ STŘEP	KAPELKA
<b>Materiál:</b> dobrá hrnčářská hlína + jemně drcený křemen (+ slída, mastek, křída, rozlučené střepy) (20. stol.: žáruvzdorný jíl + šamot)	<b>Materiál:</b> plavený popel ze dřeva + jemný kostní popel (+ hrnčářská hlína) (20. stol.: kostní popel + cement)
<b>Postup výroby:</b> vlhčit vodou lisování do formy sušení za zvýšené teploty výpal	<b>Postup výroby:</b> vlhčit pivem, vodou s bílkem, jílovitou vodou lisování do formy sušení za normální teploty výpal bezprostředně před použitím
<b>Použití:</b> ruda + zrněné olovo + přísady žíhat do rozpuštění rudy a sestruskování vylít na prubířský plech, očistit regulus	<b>Použití:</b> regulus vložit do kapelky žíhat (odhánět) do úplného spálení olova vyjmout a zvážít zrnko kovu
<b>Vlastnosti:</b> hustota cca 2 g/cm <sup>3</sup> průměr 5 až 6 cm barva nádobky světlá až okrová v misce zbytky tmavé sklovité taveniny lom: ostré rozhraní misky a taveniny	<b>Vlastnosti:</b> hustota cca 3,5 g/cm <sup>3</sup> (použitá) průměr 2,5 až 3 cm (i větší) barva nádobky šedá až hnědošedá v misce oranžový nálet klejtu lom: hmota je impregnovaná klejtem
<b>Složení:</b> křemen, kaolinit, slída, živce tavenina: Pb, Si, Al, (Fe), (P)	<b>Složení:</b> apatity, massikot, cerusit Pb, Ca, P
<b>Pravděpodobnost nálezů:</b> nepoužitý: malá použitý: velká	<b>Pravděpodobnost nálezů:</b> nepoužitá: žádná použitá: malá

## Zusammenfassung

### Das Probieren und die Probierkeramik

Jahrhundertlang probierte man den Inhalt von Metallen in Erzen, metallurgischen Mittelprodukten und Legierungen. Nach dieser Tätigkeit bleiben viele materielle Belege erhalten, u. a. auch Probiergefäße, die man in Bergbau- und Hüttenzentren findet. Es gibt zwei Gefäßarten – Schlackenscherben und Kupellen, die sehr ähnlich sind und man kann sie leicht verwechseln. Beide haben die Form einer flachen rundlichen Schale mit dicken konischen Wänden. Diese zwei Arten kann man nur auf Grund der Vergleichung der Auskünfte aus schriftlichen Quellen mit Aussehen, physikalischen Parametern und mineralogischer resp. chemischer Zusammensetzung der Grundmasse und Spuren nach ihrer Verwendung voneinander unterscheiden.

Die Schlackenscherben und Probiertiegel wurden aus gutem Töpferthon, zerkleinertem Quarz und bzw. auch anderen Zusätzen hergestellt und nach dem Ausdrücken in einer Form ausgebrannt. Sie wurden zur Separierung des festgestellten Metalls von der Matrice der Probe verwendet. Die Probe mit den Schlackenzusätzen und mit Blei wurde geschmolzen, die Edelmetalle gingen ins Blei über und bildeten damit der sog. Regulus und die Matrice mit den Zusätzen bildeten die Schlacke. In der Vertiefung der verwendeten Scherbe findet man deshalb eine dunkle Schicht (glasiger Schmelz), die im Bruch vom hellen Scherbenmaterial scharf abgeteilt ist. Die Scherben hatten üblicherweise den Durchmesser 5 bis 6 cm, Höhe 2 bis 3 cm, Dichte ca. 2 g/cm<sup>3</sup>. Zusammensetzung: Kaolinit, Glimmer, Spate; elementare Schmelzzusammensetzung: Pb, Si, Al. Im Vergleich mit anderen Probiergefäßarten findet man die verwendeten Probierscherben am öftesten.

Die Kupellen wurden aus Knochenasche und geschlämmer Holzasche hergestellt, mit Bier, Wasser mit Eiweiß u. ä. befeuchtet und nach dem Ausdrücken bei normaler Temperatur getrocknet. Man verwendete sie zur sog. Kuppelation, d. h. zur selektiven Oxidation des Bleies aus dem geschmolzenen Regulus; der entstehende Schmelz sickerte ins Kupelmaterial ein, bis am Ende nur ein reines Edelmetallkörnchen blieb. In der Vertiefung der Kupelle befindet sich also die orangefarbige Schmelzschicht, die im Bruch das Kupelmaterial imprägniert. Der Durchmesser beträgt gewöhnlich 2 bis 3 cm (bei kleinem Edelmetallgehalt im Regulus bis 5 cm), die Dichte 3,5 g/cm<sup>3</sup>. Zusammensetzung: Apatite, Massicot, Zerusit;

elementare Zusammensetzung Pb, Ca, P. Im Vergleich mit anderen Probiiergefäßtypen ist der Fund einer verwendeten Kupelle sehr wenig wahrscheinlich.

Die angeführten Erkenntnisse wurden auf Grund einer Analyse der Probiierkeramik aus Kutná Hora (dt.: Kuttenberg) gewonnen.

#### Abbildungen:

1. Grundtypen von Probiiergefäßen (nach Agricola): Kupelle (C), dreiseitiger Probiertiegel (B), Probiier- oder Schlackenscherbe (A).
2. Grundarten der Probiierkeramik (nach Ercker): Muffel (A bis C) und Formen zur Herstellung von Muffeln (G), Schlackenscherbe (K), Probiertiegel (N) und die Formen für die Herstellung von Scherben (H – Gießform oder Pfanne, I – Keule oder „Mönch“- und Tiegel (L, M).
3. Herstellung der Kupellen (nach Ercker): Die Gestalt rechts schlämmt in Bottichen die Holzäsche, die Gestalt links drückt eine Kupelle aus. Auf dem unteren Brett trocknet man aufeinandergelegte Kupellen (E), zwei unterschiedlich groben Kupellen – vergrößerte Abbildung (B – die Kupelle für den niedrigeren Silberinhalt, D – Kupelle für der höheren Silberinhalt). Am rechten Abbildungsrande befinden sich Kugeln aus geschlämmter Asche (F). Auf dem oberen Brett liegen die Formen für die Herstellung von unterschiedlich groben Kupellen.
4. Einige in Kutná Hora gefundene Schlackenscherbenvarianten.
5. Zwei im Bezirksmuseum in Kutná Hora aufbewahrten Kupellenvarianten.
6. Röntgendiffraktionsanalyse einer Scherbe und einer Kupelle. Schlackenscherbe: 1 – nicht verwendete, zusätzlich gebrannte; 2 – verwendete; 3 – nicht verwendete; 4 – Schmelz auf dem Boden der Scherbe. Kupelle: 5 – Unterseite (Boden); 6 – Boden der Vertiefung (der Schale); 7 – Oberrand; 8 – Oberfläche; Kristallinische Phasen: C – Zerussit –  $\text{PbCO}_3$ ; K – Kalzit –  $\text{CaCO}_3$ ; M – Mullit –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ; Ma – Massicot  $\text{PbO}$ ; P – Kalknatronfeldspat; Q – Quarz –  $\text{SiO}_2$ ; S – Glimmer; Sc – Silikokarnotit –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$ ; X – Hydroxyapatit –  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ; Z – Kalifeldspat.

