

# Chemická analýza archeologického materiálu z prubířské pece v Jezuitské koleji v Kutné Hoře

Chemical analysis of archaeological material from the assay furnace at the Jesuit College in Kutna Hora

JAN FROLÍK<sup>1</sup>, KAREL MALÝ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i., Letenská 4, CZ-118 01 Praha 1 – Malá Strana; e-mail: frolik@arup.cas.cz; <sup>2</sup>Muzeum Vysočiny Jihlava, Masarykovo nám. 55, CZ-586 01 Jihlava; e-mail: maly@muzeum.ji.cz

Publikováno on-line 00. 00. 0000

**Abstract:** Coatings on archaeological material (ceramics) from the assay furnace at the Jesuit College in Kutna Hora were analysed (XRF, AAS and EDX analyses). Important contents of Pb, Cu, Zn, As, Sb and exceptionally Ag and Au were observed. The examined pottery was used in the assaying process of metals, ores and ore concentrates from the Kutna Hora region and possibly ores and metal imported into the region, too.

**Key words:** Kutná Hora, assay furnace, XRF analysis, AAS analysis, EDX analysis

## ÚVOD

V letech 1998 až 2012 probíhal v několika etapách rozsáhlý záchranný archeologický výzkum v areálu bývalé Jezuitské koleje v Kutné Hoře (Frolík 2013a, Frolík 2013b, Frolík 2014a). Objeveny byly rozsáhlé doklady hornických aktivit, datované do konce 13. století až do 15. století (obr. 1). Následně je nahradilo předměstí „Na cechu“, zaniklé v roce 1666, kdy bylo nahrazeno Jezuitskou kolejí. Mezi nálezy z období existence předměstí byla také větší odpadní jáma (objekt 556 – obr. 2), jejíž zaplňování probíhalo před rokem 1626 (Frolík 2014b). Z výplně jámy bylo vyzdviženo větší množství keramických částí prubířských pecí a také zlomků keramiky, používané při této činnosti (obr. 3). Identifikovány byly tyglíky a kapelky a keramické mísy. Ty se svým provedením neodlišují od běžné kuchyňské keramiky, datované do 15. až 16. století. Zastoupeny jsou také fragmenty masivních mís s ven vyhnutým okrajem a zaobleným dnem. Doloženy jsou obdobně masivní válcovité lahve a také válcovité lahve z kameniny. Většina dílů pece i fragmentů keramiky byla silně přepálená s různými příškvarky – povlaky v podobě strusky nebo natavenin.

Proto bylo rozhodnuto provést jejich chemickou analýzu s cílem zjistit, jaké suroviny byly zpracovávány v nalezených pecích a nádobách. Očekáváno bylo převažující zpracování stříbra.

## METODY

Vzorky nebyly nijak konzervovány s pomocí chemických procesů. Veškeré dále prováděné analytické práce byly prováděny buď zcela nedestrukčně (XRF analýzy) nebo jen s minimálním destruktivním zásahem (XRF analýzy mechanicky očištěného povrchu; odběr vzorků o velikosti v 0,X – cca 2 mm pro AAS analýzy a pro EDX analýzy).

Všechny vzorky (obr. 4) byly prohlédnuty makroskopicky a s pomocí binokulárního mikroskopu. XRF analýzy byly provedeny na rtg-fluorescenčním analyzátoru Innov-X série DELTA (Katedra geologie UP Olomouc). Pro výzkum s po-

mocí elektronového mikroskopu byly z vybraných kusů keramiky odebrány vzorky, které byly zpracovány do nábrusů (epoxidových tablet). Výzkum byl proveden na elektronovém mikroskopu s připojeným EDX analyzátořem (přístroj JEOL JSM-6490LV, EDX analyzátoř Oxford Instruments, snímkování ve zpětně odražených elektronech, urychlovací napětí 15 kV, délka načítání ED spektra 60 s, analytik J. Štelcl, Ústav geologických věd PŘF MU Brno). Analýzu metodou AAS provedl P. Kadlec v Ústavu geologických věd PŘF MU Brno.

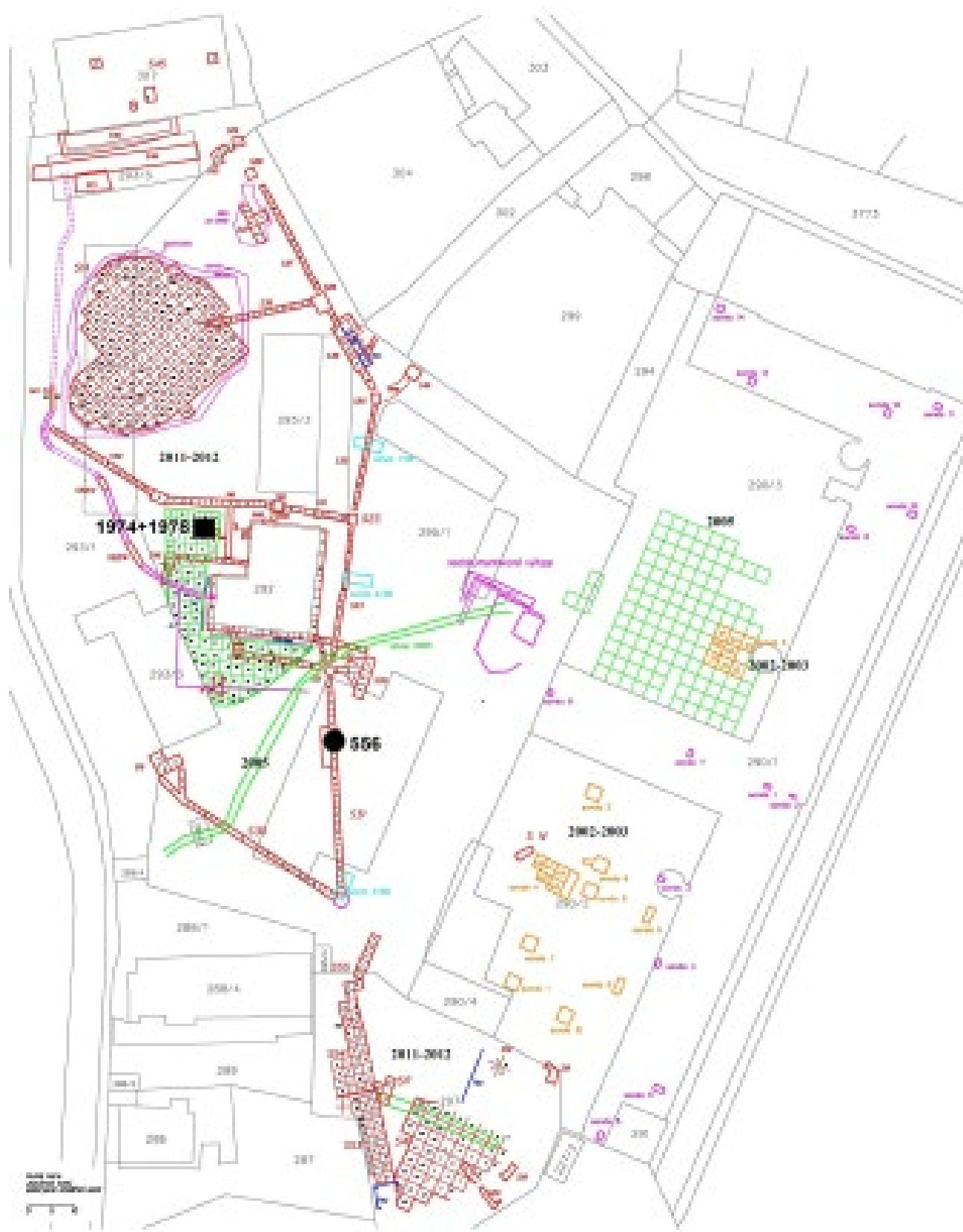
## VÝSLEDKY

### POPIS VZORKŮ

Pro analýzu bylo vybráno celkem 10 keramických fragmentů z různých keramických tvarů se snahou o zastoupení základních skupin a se zastoupením makroskopicky rozmanitých příškvarků a strusek.

Dva vzorky reprezentují zmíněné kameninové lahve, na jejichž vnitřní straně byl usazen světle šedý povlak, při větší vrstvě na lomu působící dojmem skla či pryskyřice (vzorky 1 a 7). Vybrány byly také dvě válcovité podložky, obě s přitavenými torzy misek (vzorky 3 a 4) a také dvě samostatně dochované mísky – tzv. prubířské (struskovací) střepy (vzorky 6 a 9). K této skupině řadíme také torzo ploché mísky nebo pokličky (vzorek 2). Torza výše zmíněných masivních mís nebo lahví zastupují dva vzorky ode dna těchto nádob (vzorky 5 a 8). Poslední vzorek byl odebrán z torza keramického roštu, který byl původně přířímou součástí pece (vzorek 10).

1. Světle hnědý, hnědý a šedý okrajový zlomek, jednoduše profilovaný, kamenina, vytáčení (?), na vnitřní straně bělavě šedá usazenina. Průměr okraje 50 mm, max. v. 33 mm. Sonda 31/I, obj. 556, vrstva 31184. Č. sáčku 2597. Komentář: podle analogických rekonstruovaných tvarů se jedná o část velké lahvovité nádoby.
2. Přibližně polovina mísky nebo podložky, světle cihlově hnědé až světle šedé, na vnitřní straně hnědý slinutý povrch (glazura?), oxidační výpal, přepálené. Průměr



Obr. 1. Kutná Hora, Jezuitská kolej. Archeologicky zkoumaná plocha v letech 2011 a 2012. Vyznačena poloha jámového objektu 556 a stavby 1974+1978. Sestavila firma Geo.cz

Fig. 1. Kutná Hora, former Jesuit College. Archaeologically excavated area during 2011 and 2012. The positions of feature 556 and building 1974+1978 are marked. Prepared by Geo.cz company.



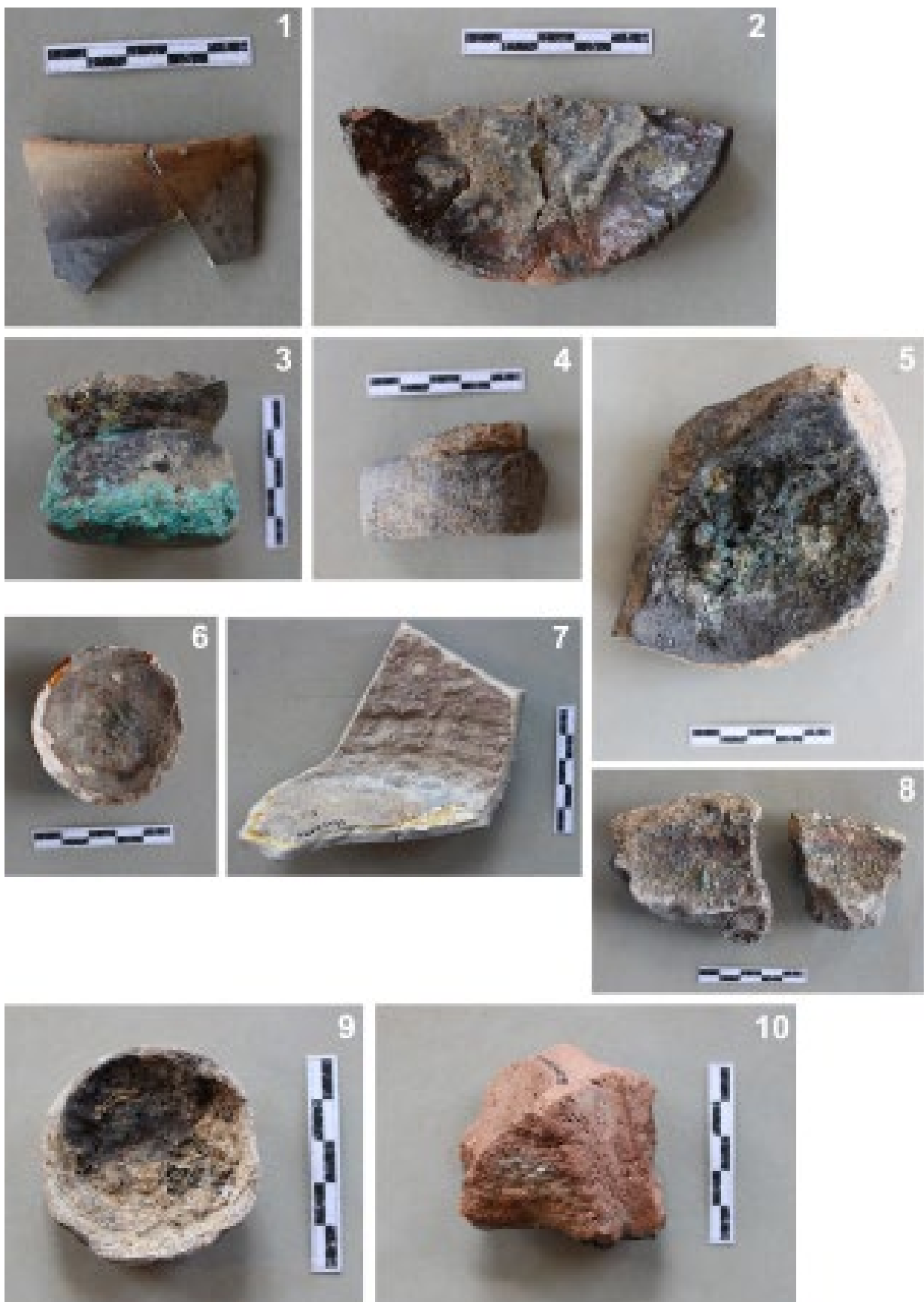
Obr. 2. Kutná Hora, Jezuitská kolej. Objekt 556. Půdorys v úrovni vrstev s keramickými díly prubířských pecí. Kresba Osina Archeo, digitalizace M. Frolík.  
 Fig. 2. Kutná Hora, former Jesuit College. Feature 556. The floorplan at the level of layers with pieces of assay furnaces. Drawn by the Osina Archeo company, adjusted by M. Frolík.



Obr. 3. Kutná Hora, Jezuitská kolej. Objekt 556. Vrstva s nálezem keramických dílů prubířské pece a fragmentů keramických nádob. (Foto J. Frolík).  
 Fig. 3. Kutná Hora, former Jesuit College. Feature 556. Layer with findings of pieces of the assay furnace and pottery fragments. (Photo: J. Frolík).

100 mm, v. 19 mm. Sonda 31/I, obj. 556, vrstva 31184. Č. sáčku 2597 a 2598. Komentář: Slinutí na vnitřní straně ukazuje, že mohlo jít o mělkou misku, v níž byly zkoušeny/taveny vzorky.

3. Světle šedá válcovitá podložka s částečně přepáleným až slinutým povrchem (slinutý povrch hnědý, na části povrchu zelený struskovitý příškvarek). Průměr: 55 mm, v. 25 mm. Na podložce je přiškvařen spodek misky/kapelky šedé barvy, silně přepálený, pórovitý. Průměr dna 42 mm, max. v. 14 mm. Sonda 31/H, obj. 556, vrstva 31184. Č. sáčku 2606.
4. Přibližně polovina šedé válcovité podložky, přepálená, na lomu patrně hrubší písčité ostřívo. Průměr 60 mm, v. 26 mm. K podložce přiškvařen zlomek dna (?) neurčitelné nádoby světle šedé barvy, silně přepálené. Neměřitelná. Sonda 31/H, vrstvy 31302 a 31303. Př. č. 3170.
5. Světle šedohnědý zlomek ode dna masivní nádoby, hrubší písčité ostřívo, oxidační výpal. Na vnitřní straně přepálený a slinutý se struskovitým příškvarkem. Průměr dna 130 mm, max. v. 73 mm, síla stěny až 22 mm. Sonda 31/H, vrstvy 31302 a 31303. Př. č. 3170. Komentář: Podle analogických tvarů zřejmě zlomek masivní lahvovité nádoby.
6. Miska (prubířský stěp) bělavě hnědé barvy, vně světle hnědá poleva, na vnitřní straně šedohnědá poleva. Okraj olámaný. Na dně stopa po hrnčířské podložce/kredli (?). Průměr okraje 55 mm, průměr dna 45 mm, výška 18 mm. Sonda 38/C, vrstva 38117. Číslo sáčku 6679.
7. Dva zlomky ode dna větší nádoby, světle šedohnědá kamenina, dno odříznuto strunou. Na vnitřní straně



Obr. 4. Zkoumané keramické zlomky.  
Fig. 4. Studied pottery fragments.

světle šedá usazenina na řezu (hnědožlutá) připomínající sklo nebo pryskyřici. Průměr dna 75 mm, max. v. 67 mm. Sonda 31/P, obj. 556, vrstva 31367. Č. sáčku 9177. Komentář: podle analogických rekonstruovaných tvarů se jedná o část velké lahvovité nádoby.

8. Dva zlomky silně přepálených až struskovitých zlomků, pravděpodobně ode dna masivní misky (?) s jednoduchým okrajem, bělavě šedá až světle šedá barva. Na vnitřní straně struskovitá vrstva zčásti zelené či šedozeleň barvy. Průměr okraje asi 160 mm, max. v. 35 mm, síla stěny až 15 mm (rozměry nejsou zcela přesné, oba zlomky jsou deformované). Sonda 31/P, obj. 556, vrstva 31367. Č. sáčku 10117. Komentář: Struskovitý povlak pokrývá i uvažovaný okraj misky (?). Variantně by se mohlo jednat od odlomené dno větší masivní nádoby.
9. Miska (prubířský střep) světlé žlutošedé barvy, na vnější straně se slídnatým přetahem. Okraj olámaný. Na vnitřní straně struskovitý příškvarek. Dno s okrajovou lištou, podsýpka. Průměr dna 45 mm, max. v. 15 mm. Sonda 36/F, rovnání řezů. Č. sáčku 13212.
10. Zlomek keramického roštu s pozůstatky tří nálevkovitě rozevřených kruhovitých otvorů, světlá cihlově hnědá barvy, na spodní (?) straně šedý přepálený povrch s šedým struskovitým příškvarkem. V jednom z otvorů zeleně zbarvený příškvarek. V. 42 mm, 56 × 50 mm, průměr otvoru v roštu 30 mm (větší). Sonda 31/H, vrstva 31367. Č. sáčku 14299.

Další objekt, který souvisel s prubířstvím, byl asi 60 m vzdálený kamenný dům (objekt 1974+1978 – obr. 3), v jehož interiéru se dochovaly pozůstatky čtyř (možná až šesti) soklů, na nichž stály prubířské pece (Frolík 2014b). Pokus odebrat zde vzorky strusek či natavenin však nebyl úspěšný. Stavba byla před zbořením pečlivě vyklizena a nálezy z interiéru zastupuje jenom několik fragmentů keramiky (16.–17. století) a stavebního materiálu (prejzy) beze stop po užití v prubířské činnosti.

Tab. 1. Obsahy vybraných prvků v povlacích (analýza XRF, obsahy v hmot. %).

Tab. 1. Contents of selected elements in coatings (XRF analysis, contents in %).

Číslo vzorku – analyzovaná část	S	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sn	Sb	Pb	Au
1, šedobílý povlak	0,158	0,027	1,584	0,005	0,013	0,003	<LOD	<LOD	<LOD	0,246	0,009	<LOD
1, šedobílý povlak, detektor daleko	0,561	0,012	0,465	0,010	0,006	0,315	<LOD	<LOD	<LOD	5,915	0,184	<LOD
2, hrana s lomem	9,970	0,018	1,694	0,079	<LOD	0,987	<LOD	0,094	0,086	<LOD	12,690	<LOD
3, miska	0,625	0,046	3,205	0,460	0,160	0,946	<LOD	<LOD	0,005	0,110	0,496	0,030
3, podložka, černý, sklovitý povlak	0,423	0,169	3,934	0,343	0,048	0,957	<LOD	<LOD	0,003	0,039	0,094	<LOD
3, podložka, zelený povlak	0,459	0,027	0,656	17,600	0,070	11,530	0,061	<LOD	0,025	1,545	0,252	<LOD
4, podložka, bok	0,187	0,062	3,841	0,011	0,017	0,026	<LOD	<LOD	0,002	<LOD	0,015	<LOD
5, černý, porézni materiál	0,083	0,181	41,100	27,810	3,745	0,189	<LOD	<LOD	<LOD	0,011	0,055	<LOD
6, dno z vnějšku, hnědý sklovitý povlak	17,030	<LOD	2,016	0,049	0,185	4,280	<LOD	0,405	0,359	0,071	39,310	<LOD
7, žlutý povlak, detektor daleko	0,746	<LOD	0,722	0,014	0,035	1,974	<LOD	<LOD	<LOD	30,900	0,054	0,099
7, žlutý povlak, odlomené kousky	1,311	0,041	0,564	0,036	0,058	4,141	<LOD	<LOD	<LOD	22,690	0,172	0,093
7, z vnějšku, část s černými připečeninami	0,146	0,057	2,226	0,007	0,033	0,080	<LOD	<LOD	<LOD	0,069	0,007	<LOD
8, horní hrana, černý porézni povlak, menší vz.	8,193	0,087	1,780	6,946	0,392	3,832	<LOD	0,175	0,515	2,073	23,990	<LOD
8, vnitřní část, sklovitý povlak, větší vz.	6,417	0,161	1,141	0,779	0,117	3,830	<LOD	0,207	0,231	1,461	23,470	<LOD
9, černá část, detektor daleko	7,380	0,399	1,441	0,045	0,098	1,434	<LOD	0,213	0,217	0,092	24,700	<LOD
10, černý povlak, ne sklovitý	0,082	0,039	4,663	0,021	0,027	0,071	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,010	<LOD

## XRF ANALÝZY

Vzhledem k požadavku, aby analýzy byly provedeny v maximální míře šetrně k analyzovaným předmětům, byly všechny vzorky nejprve zkoumány zcela nedestrukční metodou – rentgen-fluorescenční analýzou (XRF). Výsledky stanovení obsahů vybraných prvků shrnuje tabulka 1. S přihlédnutím k podmínkám měření lze některé výsledky považovat spíše za semikvantitativní – to platí zejména v případech, kdy nebylo možné detektor přístroje (vzhledem k tvaru analyzovaného předmětu) dostatečně přiblížit ke vzorku (takové případy jsou v tabulce 1 vyznačeny).

## AAS ANALÝZY

K ověření obsahu vybraných prvků bylo u těch vzorků, kde to bylo s ohledem na minimální požadované poškození reálné, odebráno kolem 0,5 až 1 g k analýze atomovou absorpční spektroskopií (AAS). Výsledky shrnuje tabulka 2.

Tab. 2. Obsahy vybraných prvků v povlacích na keramice (metoda AAS, popis místa odběru vzorku viz tab. 1, obsah v ppm).

Tab. 2. The contents of selected elements in coatings on ceramics (AAS method, ppm).

	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb
5	309 036	20 524	414	14	2 542	182
7	258	237	396	8	5 954	5 845
8	46 978	6 742	339 763	32	19 605	9 308
9	854	3 820	453 472	11	2 532	54

## ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE A EDX ANALÝZY

K ověření celkového chemismu povlaků a keramiky a dále k určení fází, které jsou nositeli „zájmových prvků“ (zejm. Ag, Pb, Cu, Zn, As, Sb) byl použit elektronový mikroskop s EDX analyzátozem. Materiál byl z keramiky odebrán opět pouze u těch vzorků, u kterých to bylo možné s ohledem na minimální poškození. Velikost odebraných vzorků byla od 0,5 mm do cca 2 mm.

<LOD – obsah prvku pod mezí detekce

1. Povlak je silně nehomogenní a porézni; EDX analýza z plochy cca  $0,8 \times 0,6$  mm vykazala ze „zájmových prvků“ nejvyšší obsahy Sb (34,82 hmot. %) a As (1,59 hmot. %). Antimon je (alespoň zčásti) vázán na oxidickou sloučeninu Sb (obsah Sb 68,56 hmot. %).
2. Ze vzorku 2 byla mechanicky separována oválná inkluze („globule“) ze středu misky (z povlaku) o velikosti cca  $1 \times 0,8$  mm; inkluze byla analyzována: její okraj je tvořen slitinou o složení 97,01 hmot. % Pb a 2,99 hmot. % Ag). Vnitřní část globule je tvořena nehomogenní směsí, která podle EDX analýzy z plochy cca  $100 \times 100$   $\mu\text{m}$  obsahuje cca 3,04 hmot. % Ag a 67,76 hmot. % Pb).
3. Analyzován byl černý, sklovitý povlak – má charakter sklovité hmoty o složení  $\text{Na}_2\text{O}$  1,29;  $\text{MgO}$  2,99;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  21,76; 59,52  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{K}_2\text{O}$  2,82;  $\text{CaO}$  4,28;  $\text{TiO}_2$  1,47;  $\text{FeO}$  6,48 (vše v hmot. %). V této sklovité hmotě jsou relativně hojně obsaženy drobné inkluze tvořené nejčastěji fází Pb-S (v nestechiometrických poměrech) a dále vzácněji i ostrohranné „inkluze“  $\text{BaSO}_4$  a inkluze fáze (o velikosti v  $X$   $\mu\text{m}$ ) o složení 86,09 hmot. % Cu; 9,22 hmot. % Sb; 1,02 hmot. % As a 3,06 hmot. % S.
5. „Škvárovitý“ povlak je v rámci  $X0$   $\mu\text{m}$  velmi nehomogenní: základní hmota je porézni, s proměnlivým složením (např.:  $\text{MgO}$  3,36;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,73;  $\text{FeO}$  66,37;  $\text{CuO}$  15,71;  $\text{ZnO}$  11,82 – vše v hmot. %). V této „základní hmotě“ jsou rozptýleny tvarově nepravidelné agregáty tvořené ryzí mědí (bez dalších příměsí), oxidy Cu a uhličitany Cu (o velikosti do cca 0,1 mm). Ojedinele byly zjištěny tvarově nepravidelné inkluze o velikosti v  $X0$   $\mu\text{m}$  tvořené převážně Pb (57,02 hmot. %), Fe (2,49 hmot. %), Cu (1,70 hmot. %), Ag (4,35 hmot. %).
6. Sklovitý povlak je v rámci EDX analýzy nehomogenní, tvořený dvěma typy skla o průměrném složení: typ 1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4,05;  $\text{SiO}_2$  15,84;  $\text{FeO}$  2,74;  $\text{PbO}$  77,37 (vše v hmot. %). Typ 2)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  8,02;  $\text{SiO}_2$  23,10;  $\text{CaO}$  0,65;  $\text{FeO}$  3,63;  $\text{As}_2\text{O}_3$  3,19;  $\text{PbO}$  61,40 (vše v hmot. %).
7. Sklovitý povlak má odlišné chemické složení ve vnitřní a okrajové části (okrajová část povlaku je rozpraskaná a její odlišné chemické složení je zřejmě dáno druhotnými oxidačními procesy). Vnitřní část sklovitého povlaku má složení (podle EDX analýzy z plochy cca  $0,3 \times 0,3$  mm):  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9,31;  $\text{SiO}_2$  12,89;  $\text{As}_2\text{O}_3$  19,06;  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  6,25;  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  52,49 (vše v hmot. %). V tomto skle jsou nehojně agregáty a žilkovité proniky tvořené fází Sb-As (o průměrném složení  $\text{As}_2\text{O}_3$  28,42;  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  71,58 – vše v hmot. %).
8. „Základní hmota“ povlaku má proměnlivé složení; příklad „bodové“ analýzy:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,43;  $\text{SiO}_2$  23,60;  $\text{K}_2\text{O}$  1,43;  $\text{CaO}$  2,70;  $\text{FeO}$  3,39;  $\text{ZnO}$  1,93;  $\text{As}_2\text{O}_3$  2,48;  $\text{PbO}$  58,03 (vše v hmot. %). V ní jsou relativně běžné ostře ohraničené agregáty (o velikosti v  $X0$   $\mu\text{m}$ ), které obsahují až 33,66 hmot. %  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  a 53,25 hmot. %  $\text{PbO}$ . Běžné jsou i protažené až jehlicovité agregáty (o velikosti do cca  $10$   $\mu\text{m}$ ) odpovídající svým složením pyromorfitu – mimetezitu (fosforečnan-arseničnan Pb s Cl).
9. Analyzovaný hnědý povlak je nehomogenní; průměrné složení (opakované analýzy z plochy cca  $0,3 \times 0,3$  mm) je  $\text{Na}_2\text{O}$  0,91;  $\text{MgO}$  1,53;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  11,29;  $\text{SiO}_2$  61,00;  $\text{P}_2\text{O}_5$  1,23;  $\text{K}_2\text{O}$  7,51;  $\text{CaO}$  9,79;  $\text{TiO}_2$  1,23;  $\text{FeO}$  5,50 (vše v hmot. %). Černý povlak má složení obdobné, místy jsou podle „bodových analýz“ ve sklovité základní hmotě povlaku zvýšené obsahy Ba (až 1,38 hmot. %  $\text{BaO}$ ). Jen na některých místech povlak obsahuje až 5,51 hmot. %  $\text{CuO}$ . Sklovitá hmota černého povlaku obsahuje vzácně ostře ohraničené, protáhlé agregáty blíže neurčené oxidické fáze o velikosti v  $X0$   $\mu\text{m}$ , která ze „zájmových prvků“ obsahuje zejména zvýšené množství Cu (52,45 hmot. % Cu). Zcela výjimečné jsou inkluze (o velikosti v  $X0$   $\mu\text{m}$ ) oxidu Pb (až 95,12 hmot. %  $\text{PbO}$ ), oxidu Cu (až 100 hmot. %  $\text{CuO}$ ) a ryzí Cu. V hnědém povlaku byl zjištěn nehomogenní agregát o velikosti cca  $1,5 \times 0,8$  mm, který je tvořen oxidy Pb (až 90,79 hmot. %  $\text{PbO}$ ) a obsahuje také As (maximálně 0,97 hmot. %  $\text{As}_2\text{O}_3$ ).
10. Černý sklovitý povlak je silně nehomogenní – kvalitativní prvkové složení zůstává na úrovni  $X0$  až  $X00$   $\mu\text{m}$  stejné, kvantitativně se však liší na různých místech o desítky procent; příklad složení „základní hmoty“ podle bodové analýzy:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,48;  $\text{SiO}_2$  14,63;  $\text{P}_2\text{O}_5$  1,55;  $\text{CaO}$  3,76;  $\text{FeO}$  3,26;  $\text{As}_2\text{O}_3$  2,61;  $\text{PbO}$  67,72 (vše v hmot. %). V této „základní hmotě“ jsou hojně ostře ohraničené, tvarově nepravidelné nebo i kruhové (inkluze) agregáty (o velikosti do  $10$   $\mu\text{m}$ ) tvořené čistým Pb a oxidy Pb (až 100 %  $\text{PbO}$ ).

## DISKUZE A ZÁVĚR

Byly zkoumány zlomky keramiky – ve všech případech byly analyzovány povlaky různého typu (práškovitě, sklovitě, škvárovitě) na keramice. V případě použití metody XRF byly vzorky analyzovány buď bez jakékoli úpravy povrchu střepu nebo po mechanickém očištění – analýzy tedy mohou být v některých případech zatíženy relativně větší chybou, která je dána: 1) skutečností, že byl analyzován pouze povrch povlaku, jehož složení bylo částečně změněno postdepozíčními procesy, 2) nerovností povrchu střepu, 3) skutečností, že v důsledku tvaru střepu nebylo možné přiblížit zdroj/detektor RTG záření dostatečně blízko k analyzovanému povrchu. Vzhledem k velikosti analyzované plochy je také možné předpokládat, že výsledky jsou zčásti ovlivněny i tím, že analyzován byl nejen samotný povlak ale i střep.

K ověření výsledků zjištěných metodou XRF byla použita metoda AAS – lze ji považovat za vhodnější – ale destruktivní; má i o několik řádů nižší detekční limity. Ani u této metody však nelze zcela vyloučit, že při odběru vzorku povlaku nebyl zčásti odebrán k analýze i materiál střepu.

Metoda elektronové mikroskopie spolu s EDX analýzami umožňuje provádět na odebraném materiálu i „bodové analýzy“ (tj. také identifikovat jednotlivé fáze v povlacích zastoupené); detekční limity u EDX analýz jsou ze všech tří použitých metod nejvyšší. Byl potvrzen předpoklad, že povlaky na keramice jsou ve většině případů velmi nehomogenní. Opakované „plošné“ EDX analýzy (tzn. analýzy

z plochy asi 0,3x0,3 mm) se v rámci jednoho vzorku (tzn. vzorku o velikosti do asi 2 mm) liší i o desítky hmotnostních procent. V řadě případů se nepodařilo ztotožnit fáze zjištěné v povlacích na keramice s některým nerostem nebo jednoznačně chemicky definovanou sloučeninou: i v rámci možností rozlišení EDX analýzy jde často o směsi, příp. sklo; prvky jsou ve fázích také často zastoupeny v nestechiometrických poměrech.

Z výše uvedených důvodů jsou obsahy „zájmových prvků“ zjištěné různými metodami na tomtéž vzorku často rozdílné. Výrazné rozdíly lze zjistit u jednoho vzorku i u analýzy stejného typu prováděné na různých místech téhož vzorku (metody XRF a EDX).

Všechny použité (a na sobě vzájemně zcela nezávislé) metody však jednoznačně dokládají zvýšené množství alespoň některého ze „zájmových prvků“ (Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, As) v povlacích na keramice nebo alespoň výskyt některé fáze s podstatným obsahem některého z těchto prvků.

Lze proto předpokládat, že veškerá zkoumaná keramika byla používána v souvislosti s metalurgií barevných a/nebo drahých kovů (a to včetně zlomku keramického roštu – vzorek 10). Pouze nepřímo (z charakteru keramiky a neobvyklého spektra zjištěných kovů – viz dále) lze usuzovat spíše na použití keramiky v procesech prubířských, než hutnických.

Z nálezového kontextu je možné očekávat, že v povlacích bude hojně zastoupeno Pb a Cu – tento předpoklad se plně potvrdil, v některých vzorcích dosahují obsahy těchto prvků X0 hmot. % a byly zjištěny i fáze s podstatným obsahem Pb a Cu (včetně ryzí Cu a slitiny s převažujícím Pb). Metalurgii jak olova, tak i mědi lze v prostředí Kutné Hory jistě očekávat. Oba kovy byly běžnou součástí polymetalických rud těžených pro obsah stříbra a byly i přímo předmětem ekonomického zájmu těžařů (hutníků).

Neobvyklé je kvantitativně významné zastoupení As a Sb (a v jednom případě i Bi) – u řady vzorků v X až X0 hmot. %. Tyto prvky jsou běžnou součástí kutnohorských rud (např. arezenopyrit, tetraedrit, galenit a řada sulfosolů) – lze tedy předpokládat, že keramika byla používána pro prubířské zkoušky nejen už vyhutněných kovů, ale i rud (rudních koncentrátů).

Velmi překvapující je absence jakýchkoli významnějších obsahů Ag v povlacích na keramice. V podstatném množství bylo stříbro zjištěno pouze EDX analýzou: u vzorku KH2 ve slitině s převládajícím olovem, kde tvoří globuli vyseparovanou z povlaku a ve vzorku KH5 v inkluzi (spolu s dalšími „zájmovými prvky“). Obsahy Ag v povlacích na středověké technické („metalurgické“) keramice z jiných lokalit přitom běžně dosahují vysokých hodnot. V jihlavské technické keramice bylo v relativně malém souboru střepů (18 vzorků) zjištěno maximálně 5,22 hmot. % Ag v povlaku. Ve středověké technické keramice z Brna (41 vzorků) bylo zjištěno maximálně 17,23 hmot. % Ag (s mediánem 0,78 hmot. % Ag) v povlacích (všechny údaje – analýzy AAS; nepublikovaná data autora KM). Absence Ag může být mj. důsledkem velmi pečlivé práce prubířů – dokonalé recyklace všech „zbytků“ s ekonomicky významným obsahem stříbra.

Překvapující je XRF analýzou zjištěný zvýšený obsah Au u dvou vzorků (0,03 hmot. % u vzorku KH3 a 0,10 hmot. % u vzorku KH7). Obsahy Au jsou sice v kutnohorských rudách známy; jsou však natolik nízké, že jen velmi těžko můžeme předpokládat, že zlato zjištěné na zkoumané keramice pochází z kutnohorských žil.

Přijmeme-li hypotézu o prubířském používání zkoumané keramiky, můžeme tedy předpokládat, že zkoumaným materiálem byly jak rudy, rudní koncentráty a kovy kutnohorské provenience, tak i materiál jiného původu než z Kutné Hory.

Archeologický komentář nemůže k výsledkům chemických analýz a jejich interpretaci mnoho doplnit. Překvapující je především absence dokladů o práci se stříbrem, která by se na předměstí v těsném sousedství horních děl nabízela. Jak již konstatoval závěr chemických analýz, významné bylo i získávání mědi a olova. Oba kovy se také uplatnily v ražbě mincí a v dalších řemeslech. Absence stříbra mohla vzniknout i náhodně výběrem vzorků, což mohou vyvrátit či potvrdit pouze další analýzy. Doložená práce se zlatem naznačuje, že příslušný prubíř mohl zpracovávat i rudu (kov) odjinud, např. jako zakázku od místního šperkaře.

Z hlediska předmětů používaných při prubířské činnosti byly analýzám podrobeny všechny základní keramické tvary (kapelky, ploché misky), dále keramické podložky (jako takové byly identifikovány poprvé) a torza větších nádob (zejména mís a velkých lahvovitých tvarů. U těch je pravděpodobné, že prubíři používali již jenom jinak nepoužitelná torza nádob (především jejich dna). Nasvědčuje tomu výskyt strusek a příškvarků na lomných plochách.

Výsledky analýz omezeného počtu vzorků jsou však natolik zajímavé, že je žádoucí v analýzách nadále pokračovat.

## LITERATURA

- FROLÍK J. (2013a): Archeologický výzkum v areálu bývalé Jezuitské koleje v Kutné Hoře. – The archeological Excavation in the Grounds of the former Jesuit College in Kutná Hora. – *Archeologie ve středních Čechách*, 17: 779–791.
- FROLÍK J. (2013b): Doklady hornické činnosti v areálu jezuitské koleje v Kutné Hoře (Předběžná zpráva) – *Belege der Bergbautätigkeit auf dem Gelände des Jesuitenkollegs in Kutteneberg (Zwischenbericht)*. – *ArchaeoMontan* 2013: 169–177.
- FROLÍK J. (2014a): Archeologický výzkum v areálu bývalé Jezuitské koleje v Kutné Hoře v letech 1998 až 2012. – *Die Archäologische Grabung im Areal des ehemaligen Jesuitenkollegs in Kutná Hora in den Jahren 1998 bis 2012*. – *Archaeologia Historica*, 39: 250–279.
- FROLÍK J. (2014b): Nález prubířské pece z Kutné Hory. – The find of an assay furnace from Kutná Hora. – *Acta Rerum Naturalium*, 16:145–154.