

## Stříbrná Praha Výsledky analýz raně středověkých archeometalurgických nálezů z Malé Strany

Silver Prague

The results of analyses of early medieval  
archaeometallurgical finds from the Lesser Quarter

Jan Zavřel – Jarmila Čiháková

*V práci jsou prezentovány archeologické nálezy dokládající metalurgii neželezných kovů raně středověkého stáří získané při výzkumech na Malé Straně v Praze. Patří k nim zejména tavicí kelímky (tyglíky) a miskovité střepy běžné keramiky využívané druhotně v metalurgii. Méně běžné jsou další druhy nálezů a situace svědčící o práci s neželeznými kovy (prubířské kameny, kadlub ad.). Část souboru byla podrobena EDS–SEM analýzám. Vyhodnocení jejich výsledků přispělo k poznání druhů získávaných a zpracovávaných neželezných kovů, resp. jejich slitin, i k částečnému objasnění postupů využívaných při jejich výrobě či testování kvality rudních surovin a hutnických meziproductů.*

neželezné kovy – stříbro – metalurgie – raný středověk – kuchyňská keramika – střepy

*The work presents archaeological finds documenting the metallurgy of non-ferrous metals of early medieval age acquired during excavations in Prague's Lesser Quarter. These in particular include melting crucibles and bowl-shaped potsherds of common ceramics used secondarily in metallurgy. Other types of finds and situations documenting work with non-ferrous metals are less frequent (touchstones, a mould, etc.). Part of the assemblage was subjected to EDS–SEM analyses. An evaluation of their results contributed to an understanding of the types of non-ferrous metals (and their alloys) acquired and processed, to a partial clarification of the methods used in their production or the testing of the quality of their ores and their intermediate metallurgical products.*

non-ferrous metals – silver – metallurgy – early medieval – domestic pottery – potsherds

### Úvod

Archeologické výzkumy prokázaly zásadní roli železářství ve vývoji pražské raně středověké aglomerace. Hutnická výroba a kovářské zpracování železa začaly na levém pražském břehu v 8. či 9. století: torza pyrotechnologických železářských objektů a výrobní odpad bývají v mnoha lokalitách stratigraficky nejstaršími archeologicky doložitelnými antropogenními aktivitami (Zavřel 1997, 668; Havrda – Podliska – Zavřel 2001). Neveliké pozornosti se zatím dostalo výrobě a zpracování neželezných kovů v raně středověké Praze. Pozůstatky po této činnosti dosahují mnohem menších objemů a nejsou tak nápadné a frekventované, jako je tomu v případě metalurgie železa. Některé typy odpadů po výrobě neželezných kovů i primární rudy či hutnické polotovary také poměrně snadno podléhají zvětrávacím procesům. Přesto lze uvést doklady z areálu vyšehradské akropole datované do 3. třetiny 10. až 2. třetiny 11. století (Varadzin – Zavřel 2015, 417) a vyšehradského

podhradí (Ettler *et al.* 2014). Přibližně z poslední třetiny 11. a z 1. poloviny 12. století pocházejí nálezy stop po metalurgii bronzu, současně s metalurgií železa, ze staroměstské říční terasy VIIc v místě dnešního Klementina, datované zlomky nádob s archaicky združenými okraji (Havrdá – Zavřel 2008; 2019). Indicie existence dílen pracujících s neželeznými kovy byly získány také na třech místech v oblasti bývalé středověké osady Nebovidy (dnes jižní část Malé Strany) v širším okolí kostela sv. Vavřince pod Petřínem (Havrdá – Tryml 2013, 122 n.; Zavřel 2013).

Dalším územím, kde se vyráběly a zpracovávaly neželezné kovy, a to nejspíše od 1. poloviny 10. století, byla centrální část dnešní Malé Strany. Kromě dominujícího stříbra zde metalurgové pracovali s olovem, mědí a jejími slitinami i se zlatem. Cílem předkládané práce je prezentace a vyhodnocení postupně získávaných analytických dat. Naše pozornost se soustředila hlavně na struskovité, sklovité či metalické povlaky, kovové shluky, kapky a minerální fáze zachycené na stěnách tavicích kelímků a střepů běžných nádob. Podařilo se též analyzovat několik doprovodných archeometalurgických nálezů souvisejících s problematikou ušlechtilých a drahých kovů – např. prubířské kameny, kadlub, olovené předměty ad. Vyhodnocení výsledků analýz přispívá k poznání charakteru zpracovávaných surovin a částečně i technologií (výrobních postupů) využitých při získávání neželezných kovů (hlavně stříbra), případně testování kvality rudních surovin a hutnických meziproduktů. Nevyřešené zůstávají otázky tvaru a funkce jednotlivých pyrotechnologických objektů dokumentovaných při terénních pracích a jejich případná souvislost s neželeznou metalurgií. Doposud byla existence zbytků pecí či ohnišť většinou spojována s železářským řemeslem.

## Předmět výzkumu

K archeometalurgickým nálezům dokládajícím výrobu a zpracování neželezných kovů v oblasti Malé Strany v raném středověku náleží především tavicí kelímky (tyglíky) a střepy běžné kuchyňské keramiky sekundárně využitě při hutnických a prubířských operacích (tzv. miskovité metalurgické střepy či hutnické střepové misky). Dosud vytvořily soubor 150 jedinců. Další typy nálezů svědčící o práci s neželeznými kovy jsou zde registrovány spíše výjimečně. Patří mezi ně prubířské kameny, hrudky (úkapy) kovů či hutnických poloproduktů, strusky, kadluby a kovový šrot určený k dalšímu zpracování.

Keramické tavicí kelímky bývají kvůli četnosti jejich nálezů v archeologických terénech i vypovídací hodnotě považovány za jedny z nejlepších indikátorů metalurgie neželezných kovů (např. Bayley 2008, 12). S žáruvzdornými tavicími nádobkami se v České republice setkáváme již od staršího eneolitu (např. Pleslová-Štiková 1976; Šmíd *et al.* 2017). Problematikou typologie a rozšíření tyglíků v raně středověké slovanské střední, severní a východní Evropě se zabýval Klanica (1974). Obecně lze konstatovat, že od časného středověku až do průběhu 13. století se v této části Evropy používaly hlavně drobné tyglíky vakovitého tvaru či válcovité se zaobleným dnem, později s trojbokým ústím (Nováček 2004, 215). Z mnoha českých a moravských raně středověkých lokalit s výskytem tyglíků vakovitého nebo kornoutovitého tvaru můžeme zmínit např. Staré Město u Uherského Hradiště, Mikulčice, Pohansko (Hrubý 1965; Galuška 1989), Brno (Procházka – Peška 2007), Libicí n. Cidlinou (Turek 1956), či pražský Vyšehrad (Varadzin – Zavřel 2015) a Klementinum (Havrdá – Zavřel 2008). Určitou anomálií představují tyglíky vyrobené

z okrajů keramických grafitových zásobnic z přelomu 12. a 13. století doložené v Brně, Josefské ulici (*Procházka – Hložek – Holubová Závodná 2011*). Metalurgické tavicí kelímky obecně sloužily k hutnění rud, rudních koncentrátů či hutnických polotovarů, k tavení a dalšímu použití již vyrobených kovů, k produkci slitin dvou i více kovů, a také k testování různých surovin, především v redukční atmosféře.

Jinou významnou skupinu nálezů související s raně středověkou výrobou a zpracováním neželezných kovů představují střepy miskovitého tvaru z běžné kuchyňské či stolní keramiky, sekundárně využité jako tyglíky. Obvykle jsou na vnitřních stěnách původních nádob pokryty struskovitými, sklovitými či metalickými povlaky, kapičkami kovů či krystalky a kůrami sekundárních minerálů. V minulosti byly zaznamenány v mnoha mocenských sídlech od 9. století (velkomoravské lokality) až nejméně do 13. století (pro území České republiky např. *Turek 1956*, 165; *Stehlíková 1983*, 272; *Galuška 1989*, 427–437; *1993*, 72; *Frolík – Šrein – Tomášek 2001*, 57; *Zavřel 2005*; *Boháčová 2006*, 715; *Havrda – Zavřel 2008*, 352; *Zavřel – Mařík 2012*). Ojedinele se vyskytly též v prostředí venkovském, obvykle spolu s výrobními objekty (*Richter 1982*, 212; *Charvátová – Valentová – Charvát 1985*; *Varadzin – Zavřel v tisku*) i v místě těžby rud a zpracování stříbra (*Hrubý et al. 2012*, 44 n). Starší názory na nálezy tohoto typu shrnul *Nováček (2004, 215)*. Přesnější úlohu a polyfunkčnost těchto metalurgických střepů při výrobě a rafinaci neželezných kovů, případně v prubířství, se podařilo doložit až v rámci zpracování souboru nálezů z Vyšehradu (*Varadzin – Zavřel 2015*, 391–400).

## Původ nálezů a analyzovaných vzorků z Malé Strany

Zkoumané předměty pocházejí z centrální části dnešní městské čtvrti Malá Strana v Praze 1 (*obr. 1*). Zde v 9. století existoval u řeky Vltavy opevněný areál (*Čiháková 2018*, 283, fig. 1), který se přibližně o sto let později stal součástí jižního opevněného předhradí přemyslovského Pražského hradu (*Čiháková 2009*, *obr. 6*). Pozůstatky výroby a zpracování neželezných kovů byly na Malé Straně zastíženy na několika místech, jejichž výčet je v následujícím textu uspořádán chronologicky dle doby realizace výzkumu. Datace nálezů vychází ze stratifikace keramických souborů z jednotlivých vrstev. Pro potřeby této práce je datace uváděna generalizovaně, v základních obrysech na úrovni keramického řádu (*Čiháková 2012a*, 92). Pro 10. a 1. polovinu 11. století je typická keramika s kalichovitým okrajem, přičemž v 1. polovině 10. století bývají nádoby opatřeny výzdobou provedenou hřebenem. Dobu okolo poloviny 11. století charakterizují deriváty kalichovitěho okraje, druhou polovinu či závěr 11. století a 1. polovinu 12. století okraje archaicky zduřelé, druhou polovinu 12. a 1. polovinu 13. století keramika s okraji klasicky zduřelými. Dataci situací určují nejmladší prvky souboru.

### Lichtenštejnský palác, Malostranské nám. čp. 258/III, výzkumy NPÚ v Praze č. 8/90–93 a č. 1/02

Lichtenštejnský palác tvoří západní frontu Malostranského náměstí (*obr. 1: 258*). Areál objektu s prostorným nádvořím, severním dvorem a západní zahradou vznikl v 17. století a ukončil 300 let trvající proces postupného skupování původních gotických městských vytyčených v roce 1257. Při rozsáhlé rekonstrukci paláce zde od roku 1990 probíhal několikaletý archeologický výzkum vedený autory příspěvku. Ve 27 sondách rozličného rozsahu (*obr. 2: a*) bylo zdokumentováno 458 m<sup>2</sup> řezů terénem a archeologicky rozebráno 130 m<sup>3</sup> zeminy. Další větší akce proběhly v areálu v letech 2002 (plošný výzkum č. 1/02 ve sklepě v jižní části areálu) a 2014 (výzkum č. 2014/27 ve sklepě v severovýchodním nároží areálu).

Sondy provedené v jižní třetině areálu, tedy v prostoru vně tehdejšího opevnění, prokázaly, že od 8. či od počátku 9. století zde probíhala hutnická výroba a zpracování železa. Výzkum 1/02 mj. také objevil dřevěné základy stavení z 10. století o délce větší než 13 m a šířce přesahující 4,5 m, s kamenným kubusem – patrně kovářskou výhň v interiéru. Kromě železářského odpadu zde byly nalezeny i fragmenty sklářských tyglíků (Zavřel 2003). Předpokládané kovárně předcházely podobný objekt datovaný na základě keramiky zdobené hřebenovou výzdobou do 9. a první třetiny 10. století se zlomkem tavicího kelímku 1/02–160. Další střepy se struskovitými povlaky a tavicí kelímky se vyskytovaly i v okolí železářského pracoviště. Např. v konstrukci podlahy sruhu z 10. století (tři zlomky jednoho? miskovitého střepu 8/90–695), dva tavicí kelímky (8/90–694 a 695) a bronzový prstýnek. Ze stejného místa, ale ze stratigraficky starší situace, pochází další zlomek tavicího kelímku 8/90–697. V širším okolí byly nalezeny další metalurgické střepy a kelímky doprovázené keramikou 10. století (8/90–550, 921, 1233–27), závěru 10. či první poloviny 11. století (8/90–42, 74, 192), 2. poloviny 11. století (8/90–1104, 1152, 1153, 1113, 1215, 1219, 1232) a 12. století (8/90–335, 595–2, 1117, 1154, 1202–14). Značná část metalurgických artefaktů v západní zahradě (sonda XXVII) se nacházela v sekundárním uložení ve vrstvách svahových sedimentů, které se usadily ve 2. polovině 11. století. Naopak střep 8/90–1117, doprovázený keramikou s archaicky zduřelým okrajem, ležel na propáleném povrchu a jeho polohu lze pokládat za primární.

Z dalších nálezů, které mohou hypoteticky souviset s nezeleznou metalurgií, je možné uvést prubířský kámen (8/90–1154) sekundárně použitý v konstrukci keramické pece, v níž byla kolem roku 1300 pálena červeně malovaná keramika (sonda V), dále zdeformovanou záušnici (8/90–1159, druhotná surovina?, sonda XXVII) a olověný kotouček se středovým otvorem (8/90–732, sonda XXII).

#### **Hartigovský palác, Tržiště čp. 259/III, výzkum NPÚ v Praze č. 12/93**

Dům čp. 259/III je dnes sídlem rektorátu AMU. Jeho parcela leží mezi Malostranským náměstím a ulicí Tržiště (*obr. 1: 259*) a přímo sousedí s Lichtenštejnským palácem. Záchraný archeologický výzkum zde probíhal pod vedením autorky roku 1993 při zřizování nové kanalizace. V místnosti u náměstí byla zastížena dřevěná roubená konstrukce, dle souvislostí nejspíše pozůstatek paty mostu, snad s věžovou stavbou (Čiháková – Müller 2008), která byla v 10. století součástí vstupu do opevněného areálu (Čiháková 2001, 67–73; 2009, 10–11). V jižních sklepech u ulice Tržiště a ražených stolách ke kanalizaci pod ulicí výzkum zastihl příkopy opevnění z raného i vrcholného středověku (Čiháková 2001, 75, 88–92).

Dva zde nalezené metalurgické střepy (12/93–6 a 12/93–23) tvořily součást splachových výplní příkopů opevnění v sondě I (*obr. 2: b*), a lze je patrně považovat za materiál přemístěný po svahu z nedalekého výrobního centra v jižní části areálu sousedního Lichtenštejnského paláce čp. 258/III.

#### **Josefská ul. čp. 42/III, výzkum NPÚ v Praze č. 1/94**

Archeologický výzkum při zřizování nových sklepních prostor v roce 1994 (pod vedením autorky; *obr. 1: 42*) dokumentoval na ploše 110 m<sup>2</sup> terénní nárůst vysoký 4 m, o který se zvedla úroveň terénu od počátku 9. století. Část zkoumané kubatury náležela raně středověkému opevnění (Čiháková 2001, 94–109). Hradba s příkopem hlubším než 5 m zde vedla přibližně kolem roku 800. Jiná hradba, též opatřená příkopem a náležející jižnímu předhradí přemyslovského hradu, tudy procházela kolem roku 900. Jižně od fortifikace, podél příkopu, se od konce 9. století rozkládalo prostranství směřující k řece (Čiháková 2017, 96–98; 2018, *obr. 6, 9*),<sup>1</sup> k předpokládanému dřevěnému mostu.

Brzy po zániku mladší hradby a zaplnění příkopu byla v 10. století do zásypu zahlobena část stavení, v němž, či v jeho blízkosti, se pracovalo s nezeleznými kovy. Ve výplni byl nalezen vakovitý tavicí kelímek 1/94–1340, v okolí pak v poněkud mladší situaci další kelímek 1/94–572. Z vrstvy (planýrky?) s keramikou 2. poloviny 11. století pocházejí metalurgické střepy 1/94–198–2, 1/94–378 a tavicí kelímek 1/94–2118. Z jiného místa původních sklepů (pod schodištěm podél východní obvodové zdi domu) byl vyzdvižen olověný předmět – nepravidelně obdélný plát s otvorem pro zavěšení (1/94–157). Do země se mohl dostat v širokém intervalu 11.–12. století.

<sup>1</sup> Trasa nejspíše plnila svou funkci do doby urbanistické změny v západním předpolí nově budovaného kamenného Juditina mostu (1158–1172).



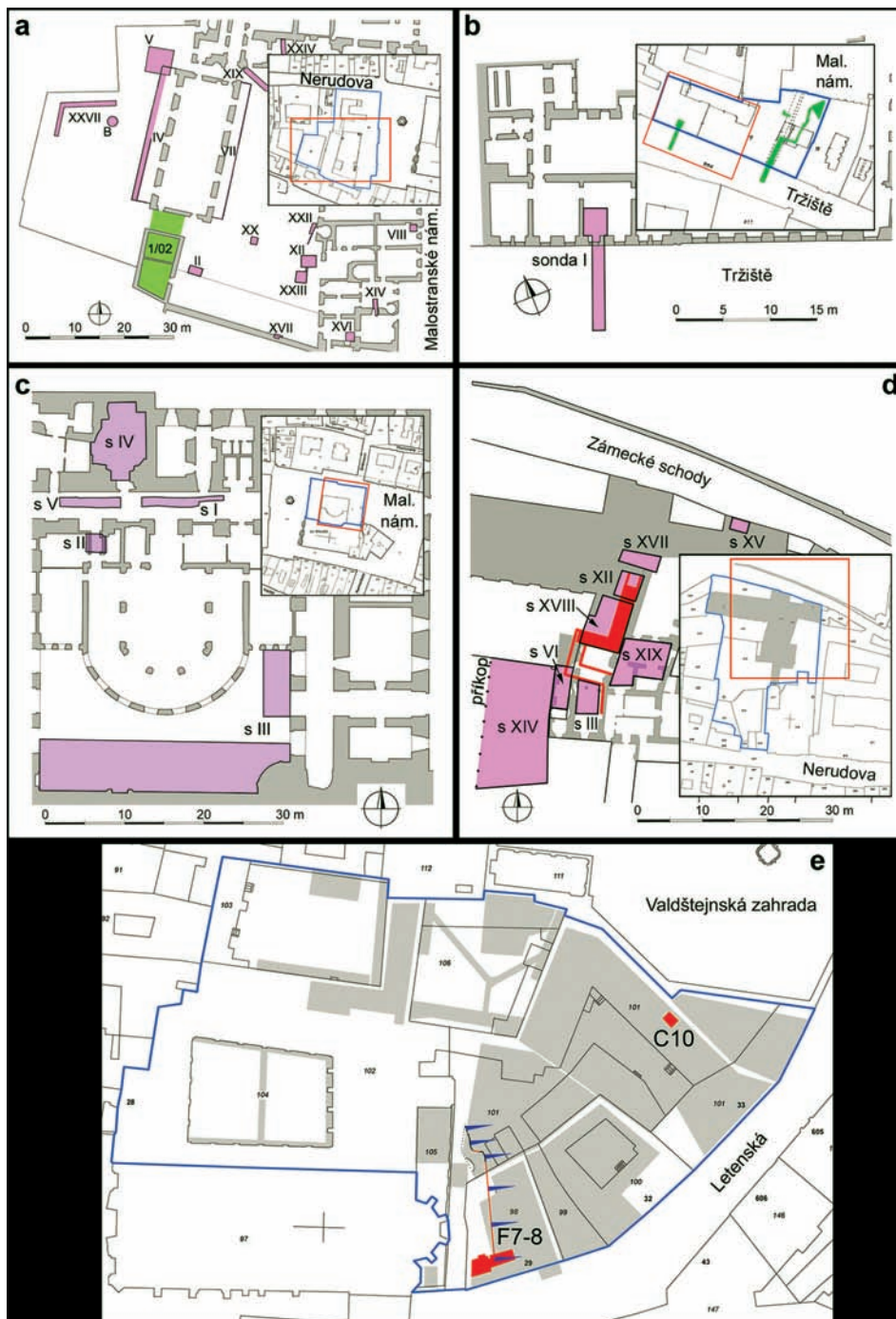
Obr. 1. Centrální část Malé Strany s vyznačením výzkumů a parcel s nálezy metalurgie neželezných kovů. Uvedena čísla popisná (čp.) příslušných domů. Podklad: Mapa evidence nemovitostí (M. Ďurica).  
 Fig. 1. Central part of the Lesser Quarter showing excavations and land parcels with finds of non-ferrous metallurgy. The numbers indicate the numbers of the relevant houses.

#### Mostecká ul. čp. 279/III, výzkum NPÚ v Praze č. 18/00

Pro konstrukci podlahy nově zřizované vinárny v domě v jižní frontě Mostecké ulice (*obr. 1: 279*) byl proveden plošný výzkum na ploše 17 m<sup>2</sup> do hloubky 0,3 m a dvě rýhy pro vzduchotechniku (sonda I). V dynamické stratigrafii dokumentované na 19 řezech bylo rozlišeno 21 vývojových fází od starší doby železné do pokročilého 10. století, z nichž osm lze jednoznačně interpretovat jako stavení – zapuštěná i roubená. Mezi stratigraficky starobylými objekty vynikal zásah hluboký více než 0,8 m, jehož severní strana tvořila v půdorysu linii napříč dnešní místností. Nejspíše se jednalo o pozůstatky zemnice. Vytěžen z ní mohl být jen nepatrný vzorek, který obsahoval keramické zlomky blížící se svou výzdobou i materiálem keramiky starohradištní. Překrývalo ji souvrství s keramikou starší než 2. polovina 9. století. Z povrchu výplně předpokládané zemnice byla vyzdvížena hrudka obsahující výrazný podíl olova (18/00–287).

#### Malostranské náměstí čp. 2/III, výzkum NPÚ v Praze č. 2/04, 05

Budova dnes náleží Matematicko-fyzikální fakultě UK (*obr. 1: 2*) a pro její potřeby probíhala mezi lety 2000–2005 rozsáhlá obnova. V roce 2004 byla v sondě IV (*obr. 2: c*) objevena rotunda sv. Václava (*Čiháková – Müller 2006; Čiháková 2018b*). Stavbě rotundy (kostel 3) předcházela menší objekt kruhového půdorysu, interpretovaný jako sakrální (kostel 1 – provizorium?). Pro následný kostel 2 byl nejspíše okolo roku 1000 zřízen násyp původně vysoký minimálně 0,9 m, na jehož povrchu se dochovala stavební vrstva a jáma na vápno, poškozená následně výkopem pro základové zdivo rotundy. Pod povrchem násypu byly nalezeny dva pozůstatky metalurgie neželezných kovů – zlomky tavicích kelímků 2/04–139 a 2/04–500. Násyp je starší než kostel 2 předcházející budovu z konce 11. století a mladší než kamenný kruh z poloviny 10. století. Doba výstavby kostela 2 je pro dobu původního používání obou přemístěných zlomků, dokládajících práci s neželeznými kovy v blízkém okolí stavby, datem *ante quem*. Na nádvoří domu čp. 2/III při snižování povrchu bylo zastiženo souvrství přírodních svahovin z 1. poloviny 13. sto-



Obr. 2. Situace vybraných výzkumů s doklady metalurgie neželezných kovů. a – Malostranské náměstí čp. 258/III; b – Tržiště čp. 259/III; c – Malostranské náměstí čp. 2/III; d – Thunovská čp. 192/III, červeně průběh hradební zdi ca 1260; e – Letenská čp. 28–33/III, sonda F7–8 v čp. 29/III, sonda C10 na ppč. 101/1 (bez čp.), šedě zkoumaná plocha. (Zaměření výzkumů J. Mourek a, b, M. Müller c, d, e; digitální úprava M. Ďurica, S. Babušková.)

Fig. 2. Selected excavation with findings of non-ferrous metallurgy. a – Malostranské náměstí no. 258/III; b – Tržiště no. 259/III; c – Malostranské náměstí no. 2/III; d – Thunovská no. 192/III, castle walls c. 1260 highlighted in red; e – Letenská no. 28–33/III, trench F7–8 at no. 29/III, trench C10 on parcel no. 101/1 (without house no.), grey indicates the investigated area.

letí obsahující prubříský kámen 2/05–1528. Jiný kamenný výrobek 2/05–1434, podle tvaru a provrtání nejspíše také prubříský kámen, pochází ze souvrství staršího než tyto splachy (závěr 11. – 1. polovina 12. století).

### **Hospodářské zázemí kláštera u sv. Tomáše, Letenská ul. čp. 29–33/III, výzkum NPÚ v Praze č. 2006/12**

Záchranný archeologický výzkum probíhal v letech 2006 a 2007 na staveništi hotelu The Augustine pod vedením autorky (*obr. 1: 29–33*). Výkopy zasažená plocha činila přibližně 2700 m<sup>2</sup>, formou plošného výzkumu bylo prozkoumáno 5655 m<sup>3</sup> historických terénů. Areálem procházel od S k J pás raně gotické fortifikace z 13. století, sestávající z hrady, bermy a obezděného příkopu (*obr. 2: e; Čiháková 2012b*). Situace z raného středověku byly zastíženy jen na několika čtverečných metrech. Z velké části se nacházely pode dnem stavební jámy, jinde byly zničeny mladšími zásahy.

Nálezy dokládající metalurgii neželezných kovů byly získány v místě domu čp. 29/III v jihozápadní části komplexu (S7–8) a doprovázely je keramické zlomky z 10. stol., často zdobené rytou výzdobou provedenou hřebenem. Jednalo se o sedm zlomků střepů se struskovitými povlaky (2006/12–539A; 540–3; 541–1; 547–1; 549; 549–6; 549–9) a dva fragmenty tavicích kelímků (2006/12–539B, 540). Všechny byly vyzdvíženy z uhlíkaté výplně tří mělkých mísovitých prohlubní v těsné blízkosti příkopu. Vzhledem ke snížení původní úrovně terénu lze rekonstruovat původní hloubku těchto jam jako výrazně větší – 0,6 a 0,7 m. K dokladům raně středověké metalurgie náleží i další dva fragmenty metalurgických střepů (2006/12–517–9+18) vyzdvížené z vrstvy, která vznikla při planýrce související se stavbou blízké zdi. Charakterizuje ji keramický soubor s hojným zastoupením raně středověké keramiky, jehož dataci určuje nejmladší zlomek do doby krátce po polovině 13. století. Poslední z tavicích kelímků (2006/12–303) byl nalezen v sekundárním umístění jako součást konstrukce barokní studny (C10). Zdejší raně středověký výrobní areál se v 10. století nacházel blízko opevnění podél hrany svahu sestupujícího do říční nivy.

### **Kolej theatinů, Thunovská ul. čp. 192/III, výzkum NPÚ v Praze č. 2011/3–2018/3**

Areál barokní koleje theatinů se nachází v severozápadní části Malé Strany na hradčanském svahu prude se svažujícím k J a V, bezprostředně pod Pražským hradem, mezi Thunovskou a Nerudovou ulicí (*obr. 1: 192*). Výzkum pod vedením autorky a M. Müllera probíhá v severní části parcely přerušovaně od roku 2011 (*obr. 2: d*). Raně středověké stratifikace se dochovaly jen lokálně, na většině plochy byly zničeny. Kromě výstavby renesančního paláce významného českého šlechtice k tomu přispělo i budování gotického opevnění města po roce 1257, dále zpevňování příkopu s parkánem v roce 1278, snahy o lepší schůdnost prudkých svahů a zabezpečení proti sesuvům půdy. V 9. století zde vznikla dřevěná stavení nejspíše obytné funkce. V 10. století se na svahu rozšířila železářská výroba doložená množstvím torz pyrotechnologických objektů a výrobního odpadu. Výroba a zpracování železa zde přetrvaly i do století následujícího. Uprostřed souvrství železářských objektů (sonda III) se vyskytlo 15 druhotně použitých keramických střepů (z nich analyzovány vzorky 2011/3–1576, 1720; 2011/3–1606, 1888) a tři tavicí kelímky (2011/3–1700, 1811, 1867). Další metalurgické střepy 2011/3–1872, 1879 pocházejí ze souvrství, na jehož bázi se nacházel denár knížete Jaromíra (1004–1012, 1033–1034; Müller 2015, 147).

Dokumentované stratifikace dokládají značné přesuny zemin po celý středověk i novověk. Na zkoumané ploše v sondách VI a XIV nahradila intenzivní metalurgickou výrobu v 2. polovině 11. či na počátku 12. století bytelná dřevohliněná konstrukce. Mezi množstvím (přemístěné) starší keramiky a částí výmazu pecí byl i její výplň i vysoký počet pozůstatků práce s neželeznými kovy. Jednalo se o 34 střepů se struskovitými povlaky (analyzované vzorky č. 2011/3–1970, 2136, 2250, 2291), 11 zlomků tavicích kelímků (analyzované vzorky č. 2011/3–2763, 3525) a kadlub (2011/3–3188). V době keramiky s klasicky zduřelými okraji zde vzniklo několik vrstev kamenného dláždění komunikace spojující podhradní aglomeraci s prostorem dnešního Hradčanského náměstí. V souvrství přirozených splachů na bázi cest ležel prubříský kámen 2011/3–1125. Ve 2. polovině 13. století cesta zanikla zřízením městského opevnění s příkopem a parkánem. Z násypu pro parkán byl vyzdvížen metalurgický střep 2011/3–600. Jeho morfoloické a technologické parametry včetně ryté výzdoby datují původní nádobu do 10. – 1. poloviny 11. století. Mimo něj nalezeny tři neanalyzované tavicí kelímky a pět neanalyzovaných metalurgických střepů. Dosavadním výzkumem byly v lokalitě získány fragmenty 24 tavicích kelímků a 69 metalurgických střepů z raného středověku, k nimž lze přiřadit dalších 17 zlomků raně středověkého charakteru vyzdvížených z renesančního zásypu příkopu.

**Thunovská ul. čp. 194/III, výzkum č. 2017/48**

Při rekonstrukci domu čp. 194/III (*obr. 1: 194*) byly kvůli havarijnímu stavu v závěru roku 2017 spěšně podezdívány obvodové zdi severovýchodní přízemní nepodsklepené místnosti za účasti velmi redukováného archeologického výzkumu. Výkop podél východní zdi místností, mechanicky prováděný kopáči stavby, zasáhl výplň základového vkopu obvodové zdi sousedního domu a rozměrný objekt s keramikou s kalichovitou profilací okraje. Zlomek metalurgického střepu 2017/48–26 pochází nejspíše z onoho rozměrného objektu.

**Další levobřežní lokality s nálezy neželezné metalurgie**

Množství nálezů souvisejících s prací s neželeznými kovy bylo získáno při výzkumu na **Klárově** v letech 1969–1971, na severní části parcely 710, v místě bývalého ostrova u ústí potoka Brusnice (ARÚ AV ČR, vedoucí L. Hrdlička). Z náleзовého fondu výzkumu jeho autor vyčlenil 30 keramických zlomků s taveninami, z nichž 28 náleží sklářským tyglíkům a 2 metalurgickým miskovitým zlomkům běžné keramiky.<sup>2</sup> Metalurgické objekty (dle popisu železářské?) byly explicitně uvedeny pro fázi 1 (13. stol.), s tím, že strusky různého typu a bronzové slitky se vyskytovaly ve vrstvách takřka všech fází (*Hrdlička 1972*, 652 n.). Jako pozůstatky metalurgie neželezných kovů, opět rozptýlené ve všech fázích, jsou zmíněny hojně amorfní slitky bronzu, bronzový plech se stopami stříhání, fragmenty bronzoviny se stopami odsekávání pomocí sekáčku i torza bronzových drátů. Z bronzových předmětů převažují poškozené a zlomkovité, u nichž lze připustit domněnku, že byly určeny k přetavení. Při třídění pozůstatosti Ladislava Hrdličky nalezla Ivana Boháčová v sáčku 274/71 prubířský kámen.

Jako další lokalitu lze uvést budovu Okresního soudu Praha-západ **čp. 377/III v Karmelitské ulici** (*obr. 1: 377*). Z potočních sedimentů vyplňujících umělou strouhu na odvod vody byl vyzdvižen početný keramický soubor, jehož součástí tvořily tři zlomky minimálně dvou metalurgických miskovitých střepů. Nejmladší prvky této kolekce je možné zařadit do 13. století. Stáří střepů se struskovitými povlaky, které sem byly přemístěny ze svahu Petřina, nelze blíže stanovit (*Zavřel 2000*).

**Použité metody**

Vybrané exempláře keramických tavicích kelímků, miskovitých metalurgických střepů a dalších nálezů byly podrobně prohlédnuty makroskopicky i pod binokulárním mikroskopem, poté z nich mechanicky odebrány drobné preparáty (kousky struskovitých a metalických povlaků, v případě možnosti i kovových kapiček – globulek – a krystalků sekundárních minerálů) a nalepeny pomoci elektricky vodivého štítku na kovový terčík. Ten byl po napaření uhlíkem vložen do komory elektronové mikrosondy spojené s elektronovým mikroskopem a na jednotlivých preparátech provedeny mikroanalýzy a mikrosnímky (metoda EDS – SEM).<sup>3</sup> Všechny níže prezentované černobílé snímky elektronového mikroskopu byly pořízeny detekcí zpět odražených elektronů (BSE). Stejnými metodami byly analyzovány i potenciální prubířské kameny a kovové výrobky, které z pochopitelných důvodů neumožňovaly odběr preparátů z jejich povrchu, ale vkládaly se do analytické komory vcelku.

Při průzkumu kamenné formy (kadlubu) k výrobě kovových odlitků došlo k odběru mikrovzorku pomocí lepící vodivé karbonové pásky (výrobek f. Agar Scientific, šířka 8 mm).

<sup>2</sup> Ve značení nálezů z výzkumů L. Hrdličky kód nenese číslo výzkumu. Struktura identifikačního kódu nálezů (např. 95/70–144): 95 před lomítkem je číslo sáčku, za lomítkem zkráceně rok výzkumu (70=1970), 144 je inventurní číslo v rámci sáčku.

<sup>3</sup> Většina stanovení proběhla v laboratořích Geologického ústavu AV ČR na elektronovém mikroskopu Tescan Vega 3 s detektorem Bruker Xflash 5010 za účasti analytiček Vlasty Böhmové, Zuzany Korbellové a Šárky Křížové.



Po vtačení a přilepení pásky na dno kadlubu následovalo její stržení pomocí pinzety a analýza částíček zachycených na lepidelném povrchu. Tento nový postup byl poprvé úspěšně testován na vzorku kadlubu z pražského Vyšehradu (*Bartůněk – Varadzin – Zavřel 2018*).

Orientačně byly na několika vzorcích zjištěny poměry stabilních izotopů olova  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  a  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ .<sup>4</sup> Vzorky byly mineralizovány pomocí směsi anorganických kyselin (37% HCl a 65% HNO<sub>3</sub>) v PTFE (Savillex) nádobkách. K izotopovému stanovení Pb došlo po naředění 2% v HNO<sub>3</sub> pomocí ICP-QMS X-SeriesII (Thermo). Korekce na hmotovou frakcionaci byly provedeny pomocí SRM NIST 981. Standardní chyby měření se pohybovaly v rozmezí 0,07–0,25 % (RSD). Správnost celé procedury byla sledována pomocí opakované analýzy referenčního materiálu AGV-2 (USGS;  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1,2085 \pm 0,0006$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2,0415 \pm 0,0013$ ). Detailní analytické podmínky a postup korekce uvádějí např. *Škácha et al. (2009)*.

## Popis vzorků a výsledky analýz

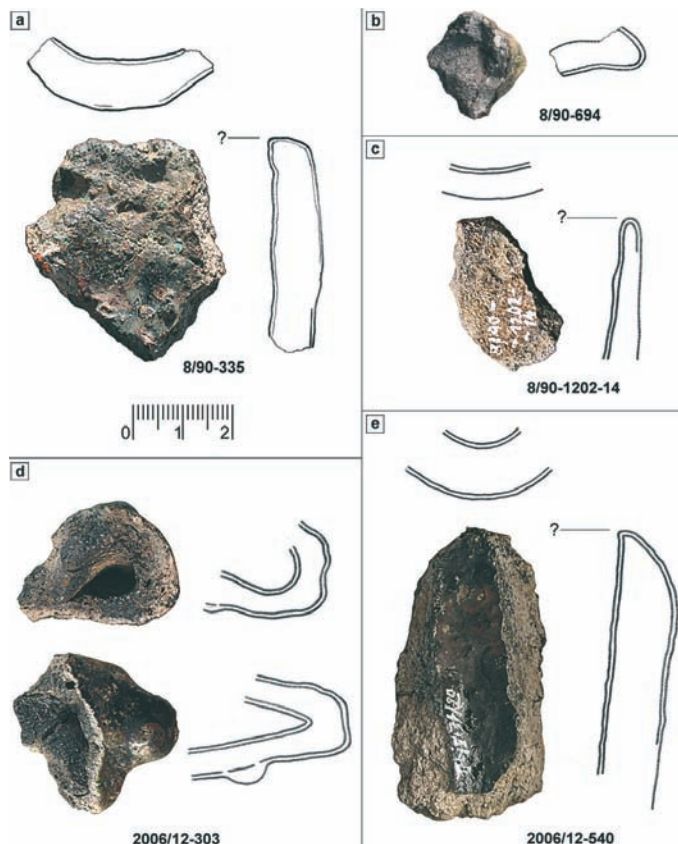
V rámci výzkumu archeologických pozůstatků výroby a zpracování kovů raně středověkého stáří z území centrální části Malé Strany byla část nálezů potenciálně spojovaných s metalurgií neželezných kovů vybrána k detailnímu zkoumání. V následujícím textu jsou při hodnocení naměřených analytických hodnot použity nepříliš frekventované metalurgické termíny, jejichž význam považujeme za vhodné upřesnit. Jako *kamínek* je označován běžný metalurgický meziprodukt složený ze slitin sulfidů příslušných kovů, který vzniká při hutnění sulfidických rud. Při historických tavbách se vytvářel hlavně měděný kamínek s podílem Cu<sub>2</sub>S, FeS, PbS, často s příměsí stříbra, ale i dalších neželezných kovů, včetně zlata. *Klejt* – PbO – vzniká oxidací povrchu roztaveného olova vzdušným kyslíkem při procesu kupelace (viz níže) za účelem oddělení drahého kovu od olovnaté taveniny. Podrobnosti k staré metalurgické terminologii a výrobním postupům uvádějí např. *Ercker (1574)*, *Forbes (1971)*, *Vaněk – Velebil (2007)*, *Hrubý (2019)*.

Analýzy archeometalurgických nálezů z Malé Strany jsou prezentovány v *tabulkách 1–5* (analytická metoda EDS-SEM, koncentrace zjištěných prvků, případně oxidů v hmotnostních % normalizované na 100 %) a v *tab. 6* (analytická metoda ICP-QMS, poměry stabilních izotopů olova). U jednoho vzorku analyzovaného v počátcích výzkumu máme k dispozici jen kvalitativní údaje o přítomných prvcích.

## Tavicí kelímky (tyglíky)

V prezentovaných malostranských nálezových souborech se dosud podařilo identifikovat 42 kusů raně středověkých tavicích kelímek, z nichž podrobněji bylo analyzováno 17 exemplářů z pěti lokalit: Malostranské nám. čp. 258/III (*tab. 1*, 5 vzorků, 18 měření, analýzy č. 1 až 18), Josefská čp. 42/III (*tab. 1*, 3 vzorky, 14 měření, analýzy č. 19–32), Malostranské nám. čp. 2/III (*tab. 1*, 2 vzorky, 10 měření, analýzy č. 33–42), Letenská čp. 29–33/III (*tab. 1*, 3 vzorky, 4 měření, analýzy č. 43–46) a Thunovská čp. 192/III (*tab. 1*, 4 vzorky, 15 měření, analýzy č. 47–61).

<sup>4</sup> Práce proběhly v Laboratořích geologických ústavů PFF UK na Albertově.



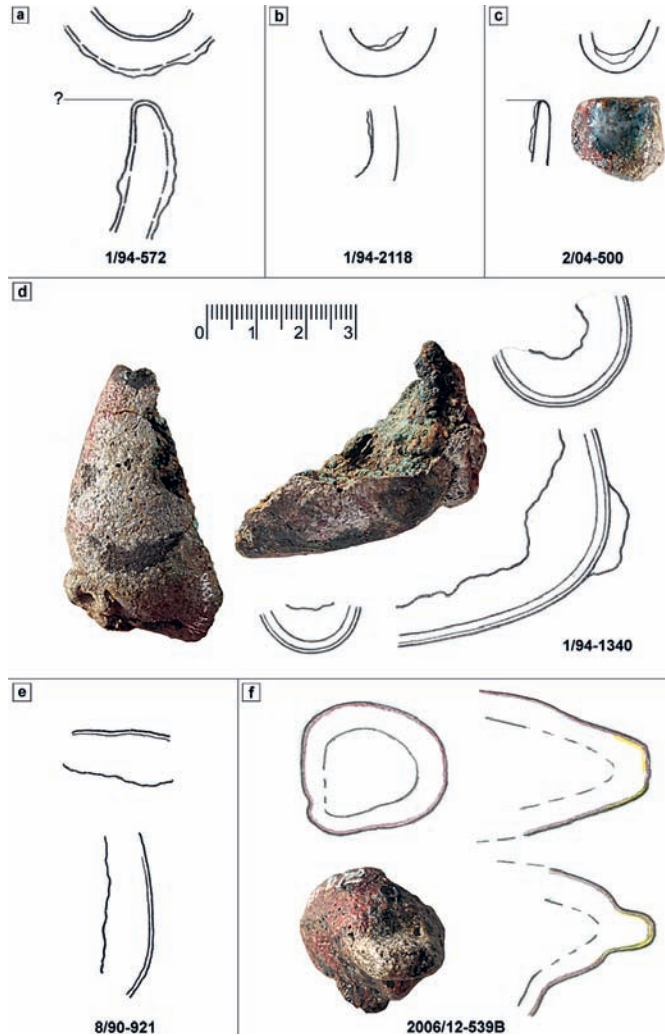
Obr. 3. Zlomky tavicích kelímků, při jejichž mikroanalýze nebyly pořízeny mikrofotografie (kresba V. Čermák, foto M. Müller).  
Fig. 3. Fragments of melting crucibles; microphotographs were not obtained during their microanalysis.

S výjimkou nálezů 1/94–1340 se zachovanou vsádkou se raně středověké tyglíky vyskytují ve formě drobných zlomků o velikostech nejčastěji kolem 2–5 cm<sup>2</sup>. Pro fragmentárnost nelze u většiny z nich přesněji určit jejich původní tvar (typ).<sup>5</sup> Nejčastěji byly tyglíky formovány z materiálu, který po výpalu získal světlou, světle šedoběžovou barvu, s četnými velmi jemnými zrnky ostřiva, které se málokdy barevně odlišuje od matrix. Nepatrný počet vzorků má sendvičový lom, kdy je šedé jádro lemováno tenkými béžovými proužky (2011/3–1811), častěji vnější světlá barva je na vnitřní polovině lomu změněna na tmavě šedou či šedočernou. Lom je jemně pórovitý, u zlomku 2006/12–303 byl registrován přechod vnějšího světlého pórovitého lomu do šedočerného střeptu až slinutého charakteru u vnitřní stěny. Držadla kelímků byla formována před výpalem. U zlomků 2006/12–539 a 8/90–695 zůstaly zářezy patrně po kleštích (8/90–695 – vzdálenost čelistí 7 mm, délka držadla 12 mm; 2006/12–539B – vzdálenost čelistí 7,5 mm, délka 16 mm). Zlomek 8/90–694 má úchytka klínovitého tvaru o šířce 7–3 mm a délce 13–9 mm. Robustnějšími úchytkami byly opatřeny zlomky 2011/3–336 a 2006/12–303. Tvar posledně

<sup>5</sup> Kresebné srovnání typů – vakovitý typ, kornoutovitý typ s okrouhlým ústím, kornoutovitý typ s trojúhelníkovým ústím – viz *Varadzin – Zavřel 2015*, 402, obr. 15.13.

Obr. 4. Zlomky tavicích kelímků, jejichž fotografie jsou připojeny k mikrosnímčkům: viz obr. 6–8 (kresba V. Čermák, foto M. Müller).

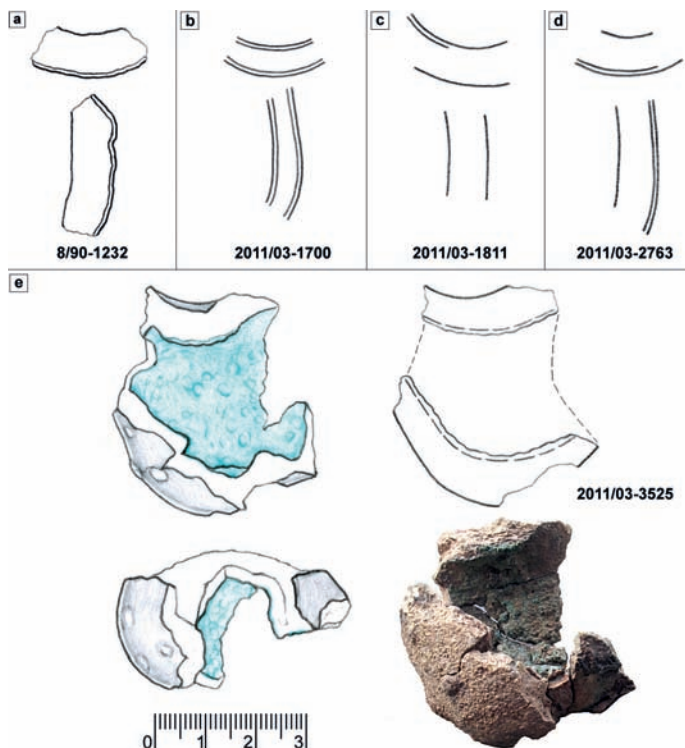
Fig. 4. Fragments of crucibles; their photographs are connected to microphotographs: see figs. 6–8.



jmenovaného je spíše kulovitý (ca 15 × 15 mm). Různorodé využití keramických tavicích kelímků demonstrujeme detailněji na následujících pěti příkladech:

#### Vzorek 8/90–1202–14

Drobný zlomek tavicího kelímků o síle střeby 4,6–7,7 mm je na vnitřní straně pokryt běžovým až světle růžovým taveninovým povlakem s jedním mírně vyvýšeným shlukem (náznakem sférušky) kovově šedé barvy (obr. 3: c). Struskovitý povlak má kyselý chemismus s vysokým obsahem hliníku a zinku (tab. 1, analýza č. 10). Sféruška kovového vzhledu obsahuje z rudních prvků zinek, olovo a měď (tab. 1, analýza č. 11). Tyto složky napovídají, že v tyglíku došlo k procesu kalcinace vedoucímu ke vzniku zlatavé slitiny mědi se zinkem – mosazi. Měď, případně měď s podílem olova, byla patrně tavena s rudou zinku (smithsonitem?, hydrozinkitem?) v redukční atmosféře.



Obr. 5. Zlomky tavicích kelímků, jejichž fotografie jsou připojeny k mikrosnímům: viz obr. 6–8 (kresba V. Čermák, foto M. Müller).

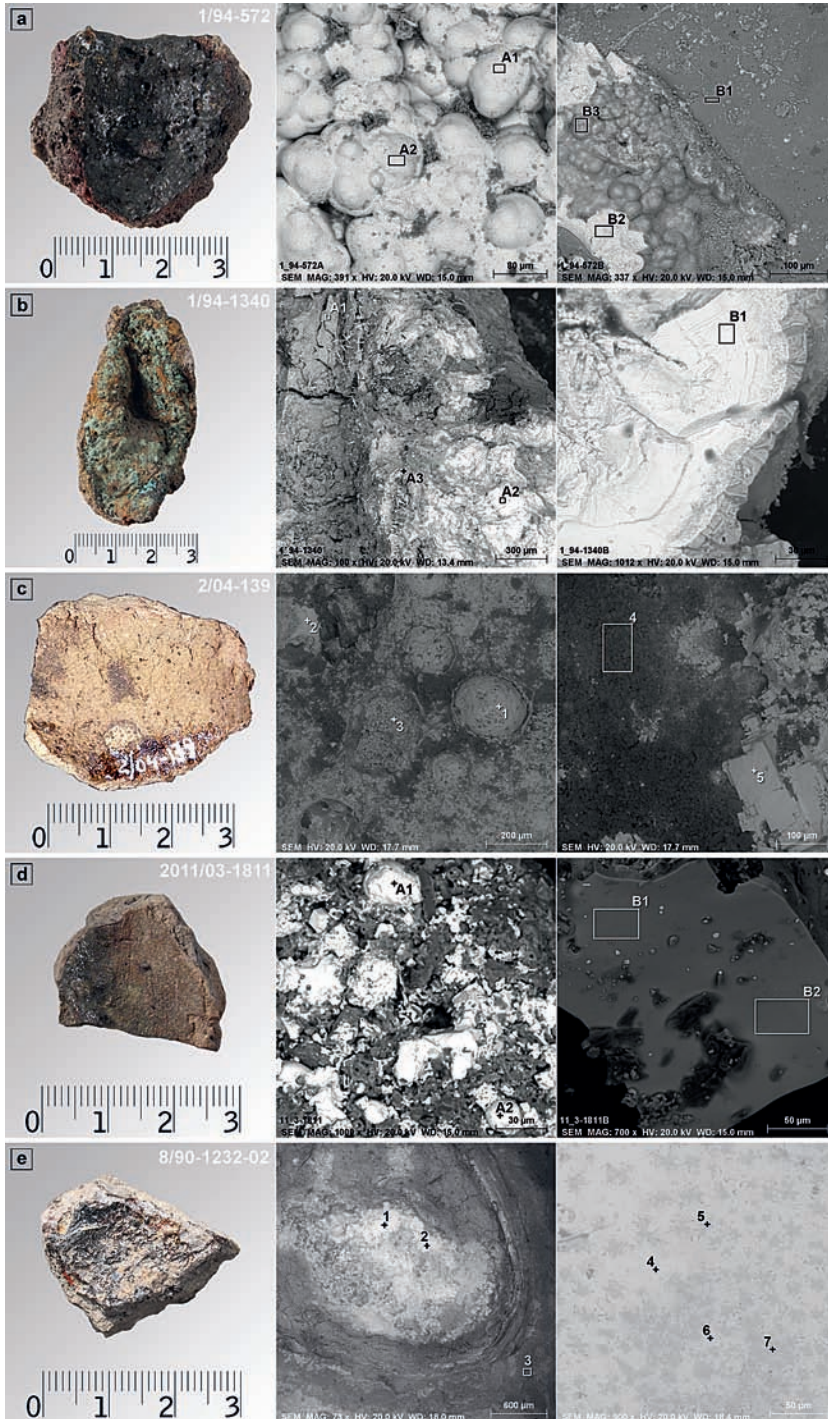
Fig. 5. Fragments of crucibles; their photographs are connected to microphotographs: see figs. 6–8.

#### Vzorek 1/94–572

Zlomek tavicího kelímku (tyglíku) o síle střepe 5,5–10,3 mm má na vnější straně povrch silně zesklivatělý a zdeformovaný žárem (obr. 4: a). Na vnitřní straně ulpěla šedočerná až hnědočerná sklovitá struska, ze které vystupují zlatavě zbarvené ostrůvky s drobně ledvinitým povrchem a ojedinělá zrnka nataveného křemene (obr. 6: a). Struska obsahuje hlavní podíly křemíku, hliníku a železa a vedlejší koncentrace mědi, alkálií, vápníku, síry a titanu (tab. 1, analýza č. 21). Zlatavý povlak je tvořen homogenní slitinou sulfidů mědi a železa ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{FeS}$ ) a představuje hutnický polotovár – měděný kamínek, který je produktem koncentračního tavení (tab. 1, analýzy č. 19, 20, 22). Na části povrchu jej pokrývá oxidický zvětralínový povlak (tab. 1, analýza č. 23). V kelímku s velkou pravděpodobností probíhalo redukční tavení (vytavování) kamínku s přidáním křemenem a dřevěným uhlím za vzniku silikátové strusky, do které bylo částečně převedeno železo z kamínku a zároveň postupně docházelo k zvyšování obsahu cílového produktu – mědi.

#### Vzorek 1/94–1340

Fragment vakovitého tavicího kelímku je vyplněný tmavě hnědou hmotou s drobně hroznovitým povrchem a modrozelenými výkvěty sekundárních minerálů mědi na částech povrchu. Tyto komponenty jsou promíšeny s dřevěným uhlím a patrně i drobnými zlomky kostí. Vlastní kelímeček je místy popraskán a má žárem zcela deformované držadlo (úchyt pro kleště). U držadla je stěna silná 4 mm, v nejužším místě u hrdla 5,5 mm. Vnější povrch je zesklivatělý a obsahuje různobarevné skvrny (obr. 4: d).



Obr. 6. Zlomky tavicích kelímků, makro- a mikrofoto­grafie s označením míst měření (foto M. Müller, mikro­snímky GLÚ AV ČR, úprava S. Babušková).

Fig. 6. Fragments of crucibles; macro- and microphotographs with indication of measurement location.



Anal. č.	Vzorek č.	Analýzovaná oblast	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	Cu	Pb	Zn	Sn	Sb	Ni	As	Ag	Au	S	Cl	Br	O
33	2/04-139/1	globulka kovového vzhledu na vnitřní straně 1	3,7			0,9	0,5	1,4	1,0	0,9	0,5									62,0	2,2	2,2	8,0	8,8	10
34	2/04-139/2	globulka kovového vzhledu 2	3,8			2,3		2,9	0,2	1,3	0,4									60,5	2,7	7,7	4,3	11,7	
35	2/04-139/3	globulka kovového vzhledu 3	3,5			0,8	0,2	1,3		0,8	0,3									65,8	2,0	11,1	5,6	8,6	
36	2/04-139/4	vnitřní světlý povlak s šedým okrajem	7,3	0,8	3,6	4,8	0,5	31,0	0,1	1,2	3,9				3,9					7,2	0,6	0,9		34,2	
37	2/04-139/5	šedý okraj světlého shluku	3,8			1,8	0,1	10,0			0,9									59,1	0,2	9,3	4,1	10,7	
38	2/04-500/1	vnitřní/homogenní sklovitý povlak	18,1	0,4	7,4	2	1,4	9,5		8,1	1,1	6,2	5,4	1,7											38,6
39	2/04-500/2	částečně navětrávaný sklovitý povlak	17,2	0,7	6,5	5,2	0,7	9,8	1,4	5,6	6,3	2,6									0,5				43,6
40	2/04-500/3	jehlicovitě krystalický ve struse, bílé v BSE	6,8	3,2	3,2	1,2		0,6	3,4		0,4	1,3			54,9										28,3
41	2/04-500/4	šedá globulka na vnitřní stěně																		98,2	0,7				1,1
42	2/04-500/5	šedá globulka na vnější stěně	1,2																	97,6	0,2				1
43	2006/12-303	tmaý povlak na vnitřní straně	21,5	4,9	9,2	4,2		2,0	2,4	1,6	6,9	2,0									0,5	0,4			44,6
44	2006/12-539B/1	struskovitý povlak na vnitřní straně	18,3	6,7	4,7				1,9	4,7	2	0,3	12,2	13,7											35,5
45	2006/12-539B/2	sloupcovitý krystalek ve struse													78,6										21,4
46	2006/12-540	tmaý povlak vnitřní stěny. Cu>Fe>S>K>Al>Ca	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									x			x
47	2011/3-1700/1	homogenní sklovitá vnitřní struska 1	19	0,9	6,5	2,6	1,7	7,1	8,1	0,6	0,6	9,8	1,4	0,3					0,5		0,2	0,9			39,8
48	2011/3-1700/2	homogenní sklovitá struska 2	19,1	0,8	6,6	2,6	1,6	7,4	7,9	0,6	0,6	9,9	1,4	0,2					0,4		0,1	0,9			39,9
49	2011/3-1700/1	globulka kovového vzhledu ve struse	0,6	2,9	0,4		0,4					0,5								76,3		15,1			3,8
50	2011/3-1700/2	drobná inkluze ve struse	0,4	1,5	0,5	0,2		0,2				0,8								87,4		6,9			2,3
51	2011/3-1811/1	globulka kovového vzhledu na vnitřní stěně		0,4																90,6		8,7			0,3
52	2011/3-1811/2	další globulka kovového vzhledu		0,4																88,8		10,5			0,3
53	2011/3-1811/1	homogenní sklovitý povlak na vnitřní stěně 1	29,1	0,4	4,9	9,9	0,1	0,8	2,6	6,3	0,4											0,7			44,8
54	2011/3-1811/2	homogenní sklovitý povlak 2	27,8	0,3	4,6	9,5	0,2	1,3	3	8,6	0,1	0,4										0,6			43,6
55	2011/3-2763/1	globulka kovového vzhledu na vnitřní stěně	0,6			0,7	0,5					0,4	29,0		44,8							0,3			23,7
56	2011/3-2763/2	homogenní sklovitý struskovitý povlak na vnitřní stěně	26,4	0,6	5,4	4,7	0,4	0,4	3,3	1,5	7,3	0,5	1,4	1,6											46,5
57	2011/3-2763/3	drobná inkluze v struskovitém povlaku	13,0	5,5	7,6	1,1	1,4	7,8	2,5	3,0	2,0			1,4	6,8							0,4	0,4		47,2
58	2011/3-2763/4	okrajový povlak vnitřní stěny	2,9	2,1	25,5			8,0		1,3	11,4	0,6													48,3
59	2011/3-3525/1	homogenní část vnitřního povlaku				0,3							92,4		4,7	2,7									
60	2011/3-3525/2	světlejší zrna (v BSE) ve vnitřním struskovitém povlaku											7	70,1											23
61	2011/3-3525/3	další světlejší zrna											5,7	59,6	7,4										27,4

Tab. 1. Výsledky analýz tavicích kelímků, údaje v hm.-% normalizované na 100%. Znaménkem x jsou u analýzy č. 46 označeny detekované prvky (analýza bez kvantitativních dat).

Tab. 1. Results of analyses of melting crucibles; data in weight% standardised to 100%. Detected elements from analysis 46 are marked with an x (analysis without quantitative data).

Vsádka, která tvoří ve velkém objemu výplň kelímku, má značně heterogenní složení (*tab. 1*, analýzy č. 24, 25). Její hlavní složkou je utuhlá tavenina na lomu kovově šedé barvy, místy se slabým rubínovým nádechem (kuprit?), pokrytá tmavě hnědým sekundárním popraškem. V místě plošky B1 (*tab. 1*, analýza č. 27) poměr mědi a síry stechiometricky odpovídá sulfidu měďnému ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). Na jiném analyzovaném místě se jedná spíše o slitinu sulfidů mědi a železa (*tab. 1*, analýza č. 25). V sekundárním povlaku zase dominují oxidické sloučeniny mědi (zde s příměsí dalších rudních prvků – stříbra a cínu v koncentracích okolo 1 %). Dále bylo změřeno složení drobných jehličkovitých krystalků (*tab. 1*, analýza č. 26), které odpovídá oxidu cíničitému (*obr. 6: b*). Jejich charakter naznačuje, že vznikly až po utužení vsádky při oxidačních procesech.

Povaha nálezu jednoznačně dokládá, že metalurgická operace nebyla dokončena, patrně v důsledku destrukce kelímku. Naměřené spektrum prvků vypovídá o práci se sulfidem mědi či měděným kamínkem – možná tavbě kamínku s měděnou rudou. Přítomnost síry a dalších rudních prvků (Ag, Sn) vylučuje, že by v kelímku docházelo k přetavování kovového šrotu. Zda měla být výsledkem slitina cínového bronzu, měď, případně měď s podílem stříbra, nelze z dosavadních měření doložit. Další výsledky by mohlo přinést provedení řezu a nábrusu kelímkem i jeho výplní.

#### Vzorek 2/04–139

Fragment tavicího kelímku blíže neurčeného typu se střepem silným okolo 7 mm má na vnější straně skelně natavený povrch hnědozelené barvy. Na rezné vnitřní straně je patrný nevýrazný otisk jemné textilní látky související patrně s technologií výroby tyglíku. Na dvou místech zde ulpěl šedý až stříbřitě šedý povlak (průměr okolo 5 mm) a jednotlivé tmavě šedé globulky kovového vzhledu složené z chloridu a bromidu stříbra (*obr. 6: c; tab. 1*, analýzy č. 33, 34, 35). Patrný je i přibližně kruhový shluk krémové amorfni hmoty se šedavým lemem (průměr ca 6 mm) na povrchu s mikroskopickými výkvěty zbarvenými stříbřitě. Jedná se o silně vápnitý potěr střepu koncentrující nečistoty (*tab. 1*, analýzy č. 36, 37).

#### Vzorek 2011/3–1811

Zlomek tavicího kelímku blíže neurčitelného typu o síle střepu 8,4 mm (*obr. 5: c*) má na lomech viditelné výrazné negativy po vyhořelé vegetaci původně zapracované do keramické suroviny. Střep je žárem popraskaný a na vnější straně částečně zesklivatělý. Vnitřní stěnu místy pokrývá tenký struskovitý povlak zelenošedé až hnědošedé barvy, ze kterého vystupují ojedinělé šedé globulky kovového vzhledu. Část taveniny ulpěla i na lomu tyglíku (*obr. 6: d*). Účelem redukční tavby prováděné v kelímku bylo získání stříbra. Dokládají to globulky stříbra se sekundárním povlakem chloridu stříbrného (*tab. 1*, analýza č. 51, 52). V homogenní partii sklovité strusky byly naměřeny hlavní koncentrace Si, Fe a K, z rudních prvků pak jen podružný podíl Cu. Jako tavidlo v tomto případě sloužil rostlinný popel, případně draselný ledek, možná částečně smíšený s halitem (kuchyňskou solí) – *tab. 1*, analýzy č. 53, 54. Fayalitová struska tvořící povlak na stěně kelímku mohla vzniknout při redukci opakovaně vypraženého a síry zbaveného kamínku, přičemž redukčním činidlem zde však nebylo olovo, ale uhlík z dřevěného uhlí.

Následně uvádíme snímky, stručné popisy (bod 1) a interpretace naměřených hodnot (bod 2) u dalších nálezů tohoto typu:



Vzorek 8/90–335: *obr. 3: a; tab. 1*, analýzy č. 1–3

1. Zlomek rozměrnějšího kelímku o síle střepe 7–9,2 mm je na vnitřní i vnější straně a částečně i na lomových hranách pokryt tmavě červenohnědým až tmavě šedým taveninovým povlakem (Pb>Si>Cu). Z taveniny vystupuje několik globulí (průměr až 4 mm) pokrytých zelenými sekundárními solemi mědi (Cu s vedlejší příměsí Pb) a ojedinělé drobnější globulky šedé barvy (Pb>Cu>Ag).
2. Metalurgie mědi.

Vzorek 8/90–694: *obr. 3: b; tab. 1*, analýzy č. 4–6

1. Fragment trojbokého tavicího kelímku na vnější straně s různobarevným sklovitým povlakem a ojedinělými šedými globulkami; vnitřní strana a část lomu pokryty šedým matným i lesklým až stříbrně šedým povlakem kovového vzhledu. Síla střepe 6,8 mm.
2. Povlaky a globulky systému Ag–Fe–S na lomu i na vnější straně kelímku dokládají technologický nezdar – prasknutí nádoby; metalurgie stříbra.

Vzorek 8/90–921: *obr. 4: e; tab. 1*, analýzy č. 7–9; *obr. 7: c*

1. Střep se šedočerným struskovitým povlakem (složení měděného kamínku Fe–Cu–S) s drobnými inkluzemi, sférukami a hroznovitými agregáty zlatavé barvy na vnitřní, ale částečně i vnější straně. Na povrchu i v hmotě strusky se místy vyskytuje drť kostí.
2. Pozůstatky nedokončeného procesu pražení kyzové měděné rudy nebo jiné práce s Cu–Fe kamínkem.

Vzorek 8/90–1232: *obr. 5: a; tab. 1*, analýzy č. 12–18; *obr. 6: e*

1. Fragment kelímku je na vnitřní straně pokryt silným hnědočerným až načervenalým struskovitým povlakem (Pb>Si, Fe>Ca, Al, Zn), ze kterého vystupují dvě kovové globulky barvy mědi o průměru přibližně 2 a 3 mm, částečně pokryté sekundárními minerály Cu. I vnější strana metalurgické nádoby je žárem zesklovatělá. Síla střepe 9,2 mm.
2. Metalurgie mědi – práce s vypraženým Cu-kamínkem nebo rafinace nečisté mědi – tavení s olovem a SiO<sub>2</sub> za účelem převedení Fe a dalších prvků Zn, Sn, Ni, As do strusky.

Vzorek 1/94–2118: *obr. 4: b; tab. 1*, analýzy č. 28–32; *obr. 7: a*

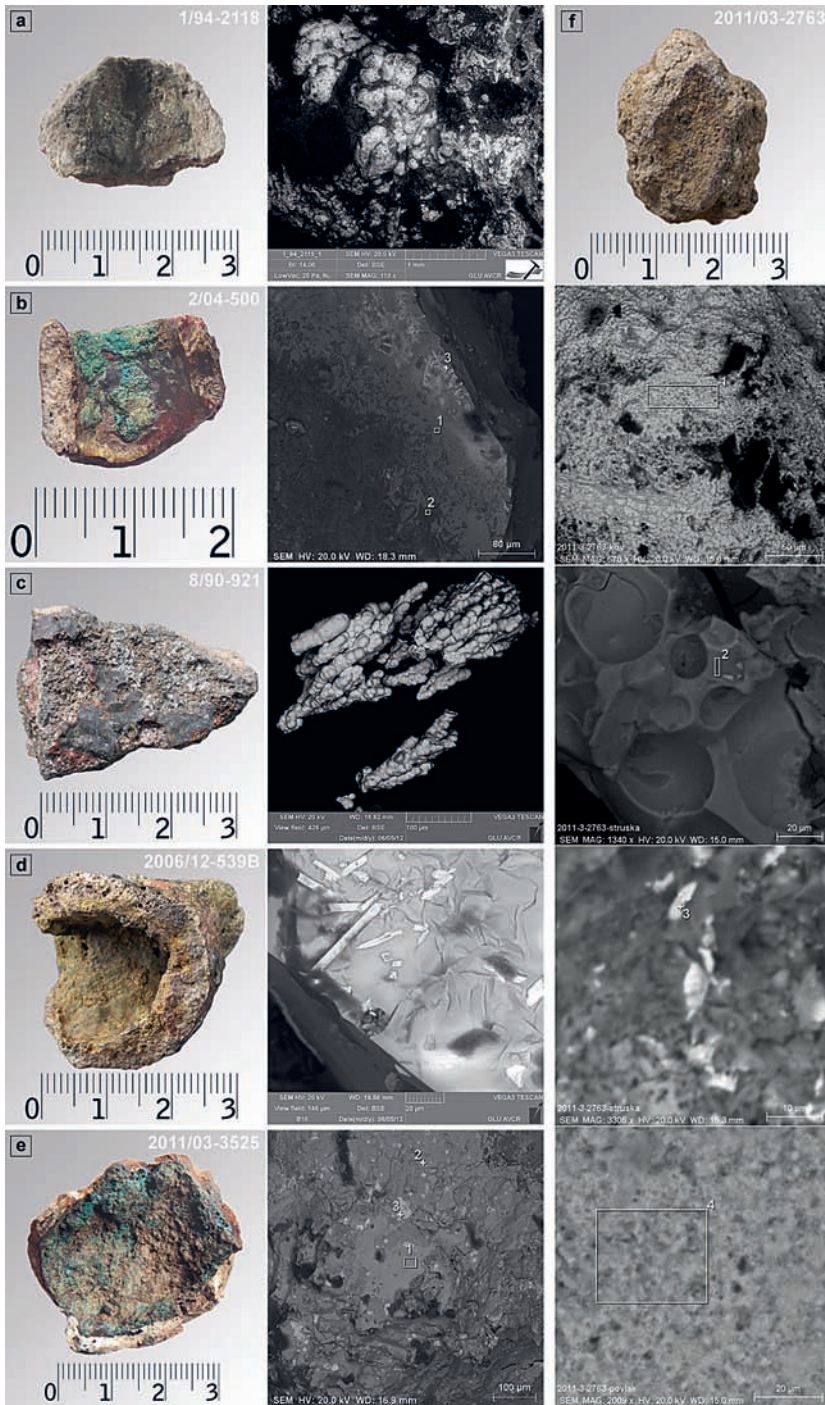
1. Zlomek tavicího kelímku (část dna) je na vnitřní straně pokryt hroznovitými tmavě hnědošedými povlaky (směs sulfidů Ag–Fe–S, Ag–S) a drobnými útržky sklovité strusky béžové barvy (Si>Pb>Al>Ag>Fe), vnější stěna je slabě zesklovatělá. Přítomny jsou i drobné zlomky kostí (rýhované šupinky), ojedinělá zrnka nataveného křemene a nehojně světle modrozelené lesklé krystalky (posedepoziční minerál vivianit Fe<sub>3</sub>/PO<sub>4</sub>/<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O). Síla střepe činí 6 mm.
2. Převedení železa do podoby fayalitové strusky (rekce s dodaným drceným křemenem), oddělení Ag z taveniny – metalurgie stříbra; patrně nedokončený proces.

Vzorek 2/04–500: *obr. 4: c; tab. 1*, analýzy č. 38–42; *obr. 7: b*

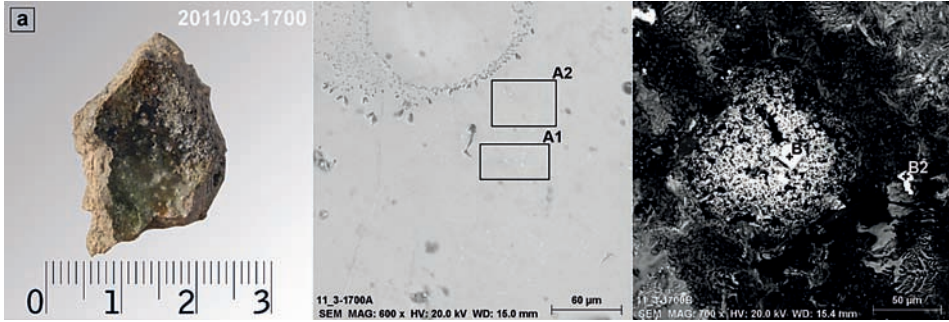
1. Zlomek (část okraje) drobného tavicího kelímku je na vnitřní i vnější straně pokryt sklovitým povlakem červenohnědých, tmavě okrových, bělošedých i nazelenalých barev. Z vnitřní strany ulpěly na povrchu výrazné modrozelené a tmavě červené povlaky sekundárních minerálů mědi a ojedinělé šedé globulky kovového vzhledu, na vnější straně lze též pozorovat ojedinělé drobné šedavé globulky a šedočerný povlak, který vznikl při vylévání roztaveného kovu z kelímku. Hrdlo nádoby má tloušťku střepe 3,5 mm, materiál je převážně celistvý, našedle bílý, s výrazným podílem SiO<sub>2</sub>.
2. Analýzy potvrdily vně i uvnitř přítomnost globulek stříbra a povlaků mědi na vnitřní straně; metalurgie stříbra.

Vzorek 2006/12–303: *obr. 3: d; tab. 1*, analýza č. 43

1. Zlomek žárem zdeformovaného tyglíku, vně pokryt zelenohnědým až hnědočerným sklovitým povlakem, na vnitřních stěnách šedočerný drobně bublinatý skleně lesklý povlak. Síla střepe 6,4–7,1 mm.
2. Blíže neurčitelný úspěšně dokončený metalurgický proces; analýza nezachytila přítomnost ušlechtilých či drahých neželezných kovů.



Obr. 7. Zlomky tavicích kelímků, makro- a mikrofotografie s označením míst měření. K fragmentu f (2011/3–2763) náleží svislý sloupec snímků vpravo (foto M. Müller, mikrosnímky GLÚ AV ČR, úprava S. Babušková).  
 Fig. 7. Fragments of crucibles; macro- and microphotographs with indication of measurement location. The vertical column of images to the right belongs to fragment f (2011/3–2763).



Obr. 8. Zlomek tavicího kelímku, makro- a mikrofotografie s označením míst měření (foto M. Müller, mikrosnímky GLÚ AV ČR, úprava S. Babušková).

Fig. 8. Fragment of crucible; macro- and microphotographs with indication of measurement location.

Vzorek 2006/12–539B: *obr. 4: f; tab. 1*, analýzy č. 44–45; *obr. 7: d*

1. Zlomek tyglíku z vnější strany sklovitě natavený. Na vnitřních stěnách ulpěl matně šedý až černohnědý sklovitý povlak. V poměrně homogenní struskovitě hmotě se vinyuly sloupcovité krystalky  $\text{SnO}_2$  s centrální dutinou (v BSE bílé barvy). Síla střepe 3,9–5,4 mm.
2. Vsádka reagující se stěnou kelímku zde zanechala struskovitý povlak s anomálními obsahy Cu, Pb a částečně Na a krystaly kasiteritu; výroba cínového nebo olovnatého bronzu.

Vzorek 2006/12–540: *obr. 3: e; tab. 1*, analýza č. 46

1. Vnitřní stěna útlého válcovitého kelímku má šedočerný matný povlak ( $\text{Cu} > \text{Fe} > \text{S}$ ), vnější povrch je skelně natavený. Síla střepe 12,2–13,3 mm.
2. Tavení  $\text{Cu-Fe-S}$  kamínku, metalurgie mědi.

Vzorek 2011/3–1700: *obr. 5: b; tab. 1*, analýzy č. 47–50; *obr. 8: a*

1. Zlomek tavicího kelímku je na vnitřní straně pokryt hnědozeleným až kovově šedým struskovitým povlakem (hlavní podíly  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{CaO}$ , výrazná příměs Cu i Na a Cl, jen vedlejší a stopové koncentrace Pb a Zn). Prasklinou protekl na část vnější strany stříbrně šedý kov (Ag s povlakem Cl). Síla střepe 6,4 mm.
2. Metalurgie stříbra (tavení měďnatých stříbrných rud?) s použitím halitu jako taviva; proces nedokončen kvůli prasknutí metalurgické nádoby.

Vzorek 2011/3–2763: *obr. 5: d; tab. 1*, analýzy č. 55–58; *obr. 7: f*

1. Drobný zlomek tavicího kelímku pokrývá na vnější straně převážně žlutozelený lesklý povlak. Vnitřní povrch je velmi drobně hrbojatý, složený z okrově až narezle zbarveného matného povlaku, ojedinělých drobných globulek ( $\text{Sn} > \text{Cu}$ ), tenkého povlaku červenohnědé bezolovnaté strusky (většinou uzavírá kovové kapičky a na rozdíl od globulek obsahuje i vedlejší koncentrace Zn) a ojedinělých uhlíků. Síla střepe 7,8–9,0 mm.
2. Metalurgie cínového bronzu; tavení neúplně vypraženého měděného kamínku (zůstatkový podíl síry) se surovinou Sn?, případně společná redukce směsi rud Sn a Cu? za použití rostlinného a kostního popela jako tavidla (anomální obsahy P, Ca a K).

Vzorek 2011/3–3525: *obr. 5: e; tab. 1*, analýzy č. 59–61; *obr. 7: e*

1. Čtyři zlomky tavicího kelímku patrně vakovitého typu o tloušťce stěny přibližně 5 až 6 mm jsou na vnitřní straně pokryty poměrně silným hrbojatým povlakem modrozelené barvy. Střep má na lomu bělavou až světle krémovou barvu. Na vnějším povrchu jsou zřetelné výraznější stopy natavení.
2. Výroba slitiny mědi – vícerozložkové mosazi (Cu, Zn, Sn, Pb).

## Střepey běžných nádob sekundárně využité v metalurgii

Střepey kuchyňské keramiky využité při některých metalurgických postupech představují významnou skupinu pražských raně středověkých archeometalurgických nálezů. V rámci malostranských archeologických výzkumů se doposud podařilo identifikovat 108 exemplářů, z nichž podrobným analýzám na mikrosondě bylo podrobeno 28 kusů ze šesti lokalit: Malostranské nám. čp. 258/III (*tab. 2*, 9 vzorků, 27 měření, analýzy č. 1–27), Tržiště čp. 253/III (*tab. 2*, 2 vzorky, 8 měření, analýzy č. 28–35), Josefská čp. 42/III (*tab. 2*, 1 vzorek, 3 měření, analýzy č. 36–38), Letenská čp. 29–33/III (*tab. 2*, 3 vzorky, 6 měření, analýzy č. 39–44), Thunovská čp. 192/III (*tab. 2*, 12 vzorků, 53 měření, analýzy č. 45–97) a Tržiště čp. 194/III (*tab. 2*, 1 vzorek, 5 měření, analýzy č. 98–102).

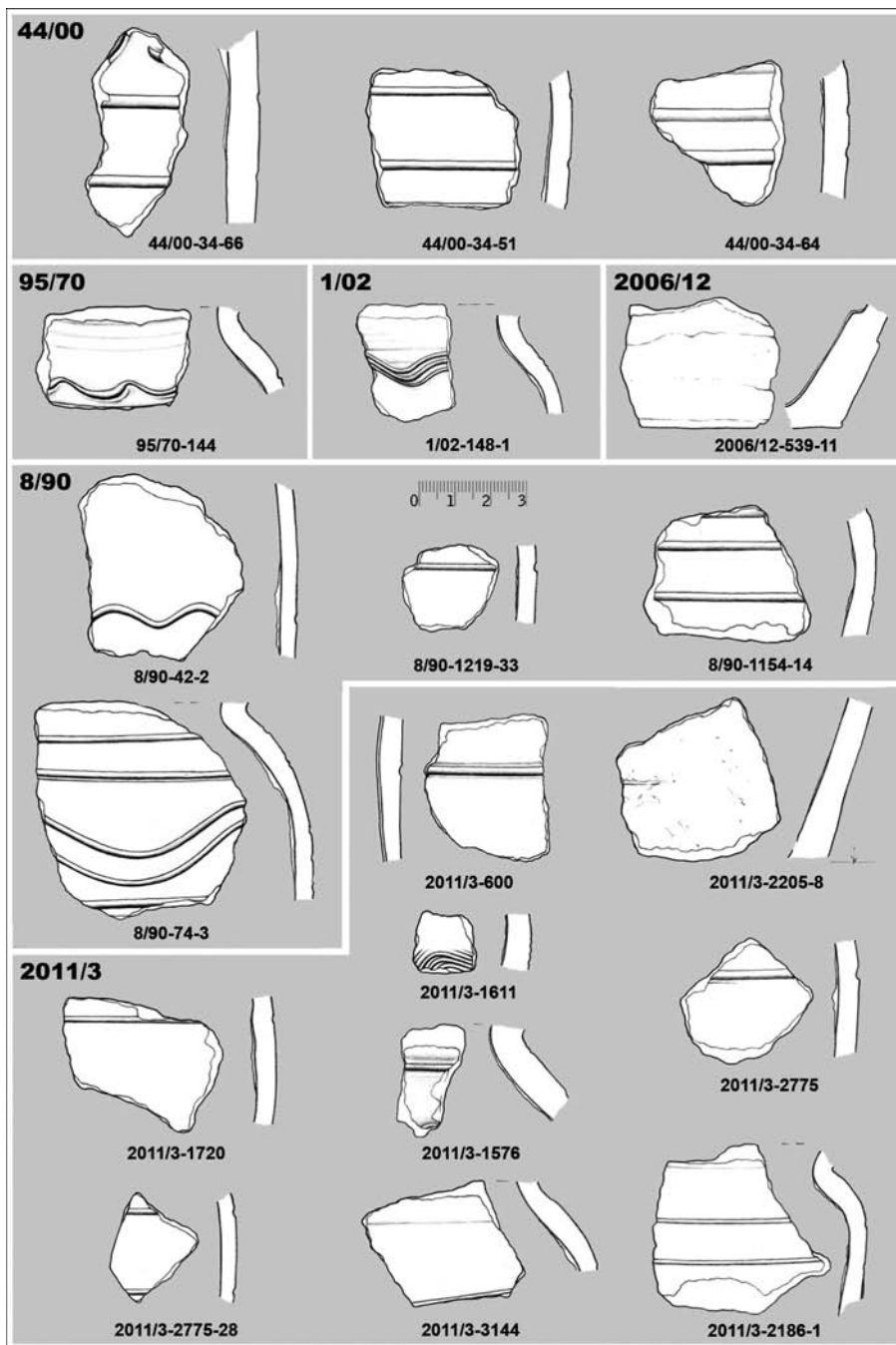
Druhotně upotřebené části kuchyňských nádob pocházejí z rezných hrnců šedé barvy. Tzv. keramika šedé řady tvoří odhadem přes 90 % veškeré keramické produkce používané v Praze v 10. a 1. polovině 11. století. Ze zlomků hrnců byly využity nejvíce výdutě, často s plecemi zdobenými běžnou rytou výzdobou (*obr. 9*). V několika málo případech (2006/12–539A) jako metalurgický střepe sloužila část dna se spodní částí stěny. K metalurgickým účelům byly vybírány střepey s poněkud hladšími povrchy, než měly ostatní běžné hrnce. Síla stěn misek je dána výrobním procesem při výrobě hrnce a ta byla v období 10.–11. století i v rámci jednoho výrobku značně variabilní. Využité fragmenty keramiky mají nejčastěji tloušťku 6–7 mm s tím, že neklesá pod 5 mm a místy dosahuje i 10 mm, v případě přechodu do dna až 14 mm.

Pozůstatky metalurgických procesů ve formě různorodých povlaků a kovových globulek se ve výrazné většině nacházejí na vnitřní stěně původní nádoby. Vyskytují se však i případy (a nejsou ojedinělé), kdy se došlo k prasknutí střepeu a roztavená vsádka či produkty nedokončené metalurgické operace ulpěly na lomu či přetekly na vnější stranu keramického zlomku (Zavřel – Čiháková – Ježek 2019, fig. 5b). Variabilitu metalurgických úkonů se sekundárně upotřebenými keramickými střepey dokládáme podrobněji na šesti vybraných příkladech:

### Vzorek 8/90–74–3

Vnitřní stranu střepeu pokrývá jednak sklovitý červenohnědý povlak, dále pak bělavý, krémový až světle oranžových povlak, který převažuje (*obr. 10*). Na povrchu světlé části utuhlé taveniny se někde utvořil šedý tenký film a zaznamenán zde byl úštěpek rýhovaného, pravděpodobně organického materiálu (zlomek kosti?). Na velké části střepeu je v povrchové vrstvě povlaku znatelná část rozměrné sníženiny – negativu (až  $4,5 \times 2,5$  cm) – místo koncentrace roztaveného kovu, který byl po utužení vylomen. Povlak je zbrzděn působením zvětrávacích procesů a dutinami po úniku plynů. Ojediněle zde vystupují drobné šedé sféručky a velmi jemné shluky jehlicovitých krystalků, a to v místech mimo výše popsanou sníženinu.

Struska tohoto vzorku je z převážné části složena z klejtu (60 % PbO), zbytek tvoří silikátová (křemíkem bohatá) fáze s obvyklými silikátovými bázemi (*tab. 2*, analýza č. 3). Kromě struskovitého povlaku byla analyzována drobná sféručka kovového vzhledu, která chemicky odpovídá klejtu s vedlejší příměsí Ca a P (*tab. 2*, analýza č. 4). Jehličkovité krystalky jsou nejspíš stabilní vysokoteplotní fází systému Ag–Pb–S, která vzniká v závěru shánění (kupelace), pokud není dosaženo teploty nad 1000 °C (*tab. 2*, analýza č. 5). Staří hutníci nazývali tyto vysokoteplotní fáze „olověný dým“. Přes nepatrné ztráty v podobě nečetných krystalků bohatých stříbrem zachycených na povrchu strusky došlo na střepeu k úspěšné rafinaci stříbra pomocí olova (klejtu) a kostního popela při procesu kupelace.



Obr. 9. Metalurgické miskovité střepy – profil a výzdoba na jejich vnější straně dokládají původ z rozbitých běžných kuchyňských nádob (kresba V. Čermák, úprava S. Babušková).

Fig. 9. Metallurgical bowl-shaped potsherds – profile and decoration on their outer side documenting their origin from broken common domestic vessels.

## Vzorek 8/90–695

Zlomek kuchyňské keramiky je na vnitřní straně částečně pokryt lesklým zlatavě bronzovým tenkým kovovým povlakem. Tento kovový film překrývá šedou až stříbrně šedou kompaktní taveninu kovového vzhledu. Místy lze pozorovat i náznak další sklovité vrstvy červenohnědé barvy, která už zasahuje do povrchu střepevé hmoty. Z utuhnuté taveniny šedé i zlatavé barvy místy vystupují drobné šedé globulky o průměru kolem 0,5 mm, max. kolem 1 mm (viz *Zavřel – Čiháková – Ježek 2019*, fig. 4a–c).

Nejvyšší (nejlehčí) část taveninového povlaku tvoří zlatavý film o složení sulfidu Cu–Fe – měděného kamínku (*tab. 2*, analýza č. 13). Při tavení směsi Cu–Fe–S za přístupu vzduchu dochází v počátečních chladnutí taveniny ke změnám složení vzniklých vysoko-temperaturních fází, což závisí hlavně na poměru Fe/Cu v tavenině. Analyzovaný povlak má charakter směsného sulfidu s mírnou převahou Fe nad Cu. Chemismus světlých skvrnek a zrn v okolní zlatavé (v BSE šedé) tavenině ukazuje na přítomnost odměšné fáze tvořené ze tří čtvrtin stříbrem s podstatnou přítomností síry a vedlejšími až podružnými obsahy Fe a Cu (*tab. 2*, analýzy č. 14, 15). Z plošného skenu i makroskopického pozorování je zřejmé, že utuhlá tavenina s převahou stříbra tvoří samostatnou vrstvu pod kamínkem a jen místy vystupuje zpod zlatavého povlaku směsi sulfidů.

Na střepe patrně proběhlo oxidační tavení měděného kamínku obsahujícího stříbro, a to bez použití olova nebo klejtu. Chemické složení obou fází povlaku neprokázalo ani upotřebení jiných tavidel, např. soli nebo rostlinného popela či kostního popela pro zachycení nečistot. Výsledkem měla zřejmě být tavenina rozdělná na základě gravitační diferenciace (rozdílné hustoty) na spodní vrstvu s převládajícím stříbrem a povrchový škraloup Cu–Fe–S, který mohl být mechanicky odstraněn z povrchu drahého kovu. Charakter nálezu nedovoluje jednoznačně posoudit, zda došlo k dokončení metalurgické operace. Vysoký obsah síry v povrchové části utuhnuté taveniny spíše svědčí o nedokonalém vypražení vsádky, a patrně i o tom, že proces nebyl dovršen.

## Vzorek 12/93–6

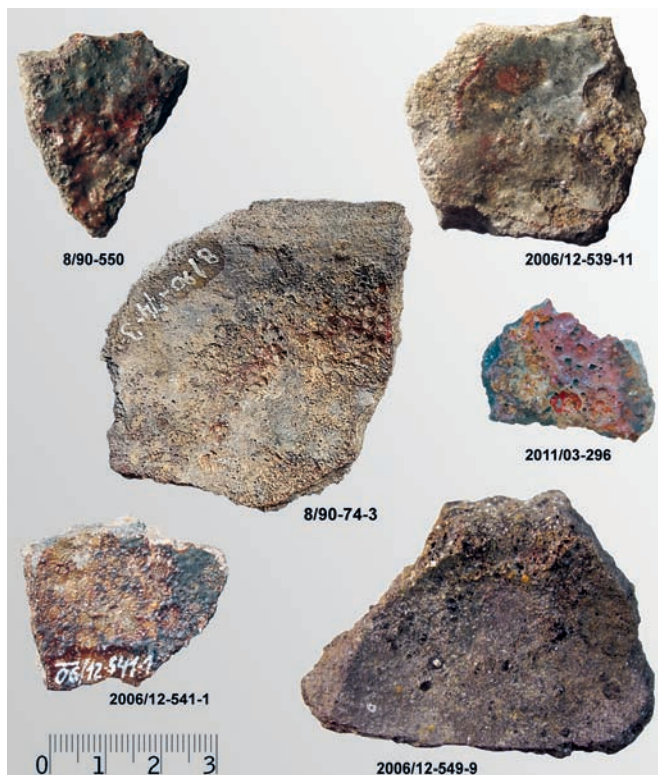
Zlomek běžné keramiky sekundárně využitý k metalurgickému účelu je na vnitřní straně pokryt světle hnědočerveným až okrovým struskovitým nesouvislým povlakem. Na převažující části vnitřní stěny je patrná část kruhového negativu (otisku) po vyjmuté placičce utuženého kovu. Okraje této sníženiny lemují silnější (do prostoru vystupující) proužky sklovité strusky o šířce kolem 3 mm a výšce ca 2 mm. Průměr tohoto negativu koláčkovitého tvaru lze odhadnout jen velmi hrubě do rozmezí 5 až 10 cm.

Analýzám byly podrobeny mikroskopické kopinaté a keříčkovité vyrostlice vystupující z povrchu struskovitého povlaku a homogenní sklovitá struska s dendritickými vyrostlicemi (*obr. 11: A*). Krystalky vyrůstající na více místech z povrchu strusky mají složení sulfidu stříbra s vedlejším podílem mědi, patrně ve formě minerálu akantitu  $Ag_2S$  (*tab. 2*, analýzy č. 28, 30). Vznik krystalového agregátu zřejmě souvisí se supergenními procesy, které proběhly v místech bohatých stříbrem až v rámci postdepozíčních procesů. V přírodě je tento minerál stabilní při teplotách pod 173 °C.

Struska na vnitřní straně střepe má křemičito-olovnatý charakter s příměsí mědi (*tab. 2*, analýza č. 29). Patrně při částečné devitrifikaci sklovité strusky došlo k vytvoření keříčkovitých vyrostlic (dendritů) projevujících se na snímku elektronového mikroskopu tmavou barvou. Pro nepatrnou velikost těchto dendritů nelze zjistit jejich stechiometricky přesnější chemické složení (v analýze se výrazně podílí i chemická povaha okolní strusky).

Obr. 10. Zlomky metalurgických miskovitých střepeň, při jejichž mikroanalýze nebyly pořízeny mikrofotografie (foto M. Müller, úprava M. Ďurica).

Fig. 10. Fragments of metallurgical bowl-shaped potsherds; microphotographs were not obtained during their microanalysis.



Je však zřejmé, že se zde projevuje nižší koncentrace olova i mědi a vyšší obsahy křemíku, hliníku a alkálií.

Analýzovaný střepeň s částí rozměrného negativu po vyjmutém kovovém koláčku je dokladem úspěšného dokončení hutnického postupu, jehož cílem bylo oddělení kovového stříbra od křemičito-olovnaté strusky při použití techniky kupelace. Přes zdařilé dokončení metalurgické operace část stříbra zůstala vázána na strusku a v místech jeho vyšší koncentrace se sekundárně vyvinuly krystalky  $\text{Ag}_2\text{S}$ .

#### Vzorek 2011/3–600

Keramický střepeň je žárem mírně zdeformován (zploštěn). Jeho vnitřní stranu pokrývá světle modrozelený povlak sklovitého vzhledu, z kterého vystupují ojedinělé zlatavé globuly o průměru až kolem 1 mm (*obr. 11: B*).

Analýzy obou globulek potvrdily, že jsou složeny z čistého zlata (*tab. 2*, analýza č. 48, 50). Střepeň sloužil k finální rafinaci zlata, tj. odstranění nežádoucích příměsí. Několik drobných kuliček drahého kovu přitom uvízlo na povrchu struskovitého povlaku. Čištění zlata proběhlo přes drobné ztráty úspěšně: má nejvyšší ryzost – 24 karátů.

Sklovitý povlak na střepeň odpovídá složením křemičito-vápenato-hlinité, resp. křemičito-vápenato-hlinito-draselné strusce, přičemž za anomální lze označit podíl vápníku (*tab. 2*, analýza č. 49, 51–53). Z toho důvodu můžeme usuzovat, že hlavním rafinačním činitelem byla látka s vysokým obsahem Ca.

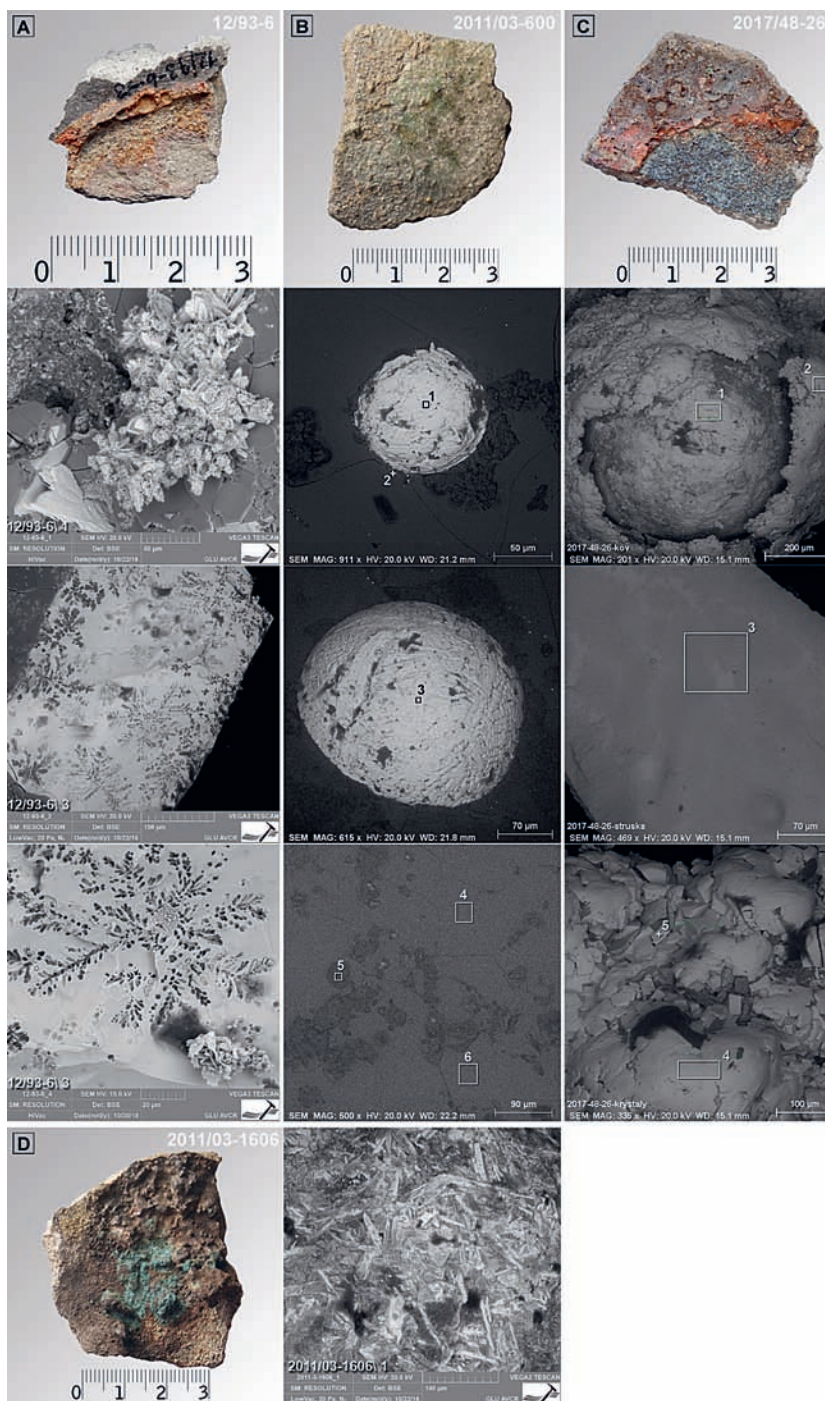




Anal. č.	Vzorek č.	Analyzovaná oblast	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	Cu	Pb	Zn	Sn	As	Bi	Ag	Au	S	Cl	Br	O	
53	2011/3-6001_6	jiné místo světlého struskovitého povlaku	17,3	1,3	6,6	2,7		0,4	23,6		3,8									2,2				42,1	
54	2011/3-15761_1	kovová globulka	0,1																	74,4			23	2,3	0,2
55	2011/3-15761_2	další partie kovové globulky	0,3																	78,3			11,6	9,4	0,4
56	2011/3-15761_3	homogenní sklovitá struska	19,8	0,7	11,3	5,2	0,2	2	5,5	2,1	6,5	0,3	0,5	3,4					0,9					41,4	
57	2011/3-15761_4	jiná oblast homogenní sklovité strusky	3,1		1,6	4,8			6,2		2,7	1,7	11,9						0,6					26,1	
58	2011/3-16061_1	jehličkovitý krystal	4,0		1,9	23,9			4,8		1,1	5,3	2,9	12,9		43,6	0,3							31,3	
59	2011/3-16061_2	tmavší mezerní hmota mezi krystaly	13,5	0,3	6,0	1,3		0,5	1,5	2,1	2,1	5,3	4,3	31,4	2,0	4,8	2,7							29,5	
60	2011/3-16061_3	kompaktní struska na lomu (niže od povrchu)	6,9	0,2	2,5	1,3			1,1	1,0		10,8	50,8	1,3	3,0							1,4		19,7	
62	2011/3-17201_A1	světlejší partie kompaktní strusky	8,1	0,4	3,8	39,2	0,3	2,8			1,2	0,2	8,2	1,2					0,4					34,2	
63	2011/3-17201_A2	homogenní sklovitá struska	20,5	0,4	8,2	3,2		0,9	2	3,5	2,4	0,4	10,7	5,5					3,2					39,1	
64	2011/3-17201_A3	struskovitý povlak s drobnými krystalky	10,6	0,7	4,8	16,2		0,8	1,2	1,5	0,3	2,7	2,1	2,8				1,7						32,3	
65	2011/3-17201_A4	kovový sluk v dutince po plynu	5,3	0,2	2,6	3,6		0,2	1,2	1		5,9	1,8					17,5		33,7				21,3	
66	2011/3-17201_B1	kovový sluk v dutince po plynu-okrajová část struskovitý povlak s drobnými inkluzemi kovu	8,8	0,3	3,6	4		0,4	1,3	1		7,3	2					16,3		24,2				23,8	
67	2011/3-18721_1	další svítilivý sluk ve strusce	3,2	1,3	1,3	1		0,5	0,7			0,5	1,4					64,1						19,2	
68	2011/3-187201_B2	jiná oblast povlaku s drobnými inkluzemi kovu	7,9	0,8	2,5	6,3		0,1	2	0,5		1,1	7,3	6,8				2,5						26,2	
69	2011/3-18721_1	svítilivý sluk (v BSE) v struskovitém povlaku	5,4	1,7	0,9		0,5	1,1		0,6		2,2	7,2,3											15,3	
70	2011/3-18721_2	světlejší struskovitý povlak (v BSE)	4,7	2	1,6		0,2	7,9		1,7	5,6	2,6	49,2									1,4		23,1	
71	2011/3-18721_3	sférická vystupující ze struskovitého povlaku	1,3	0,6	0,6		0,2	8,2		0,3	6,7	5,8	53,5									2,7		20,1	
72	2011/3-18721_4	další svítilivý sluk ve strusce	5,6	1	0,6		0,2	4,3		1,4	1,1	69,2												16,6	
73	2011/3-18791_A1	homogenní sklovitá struska u kovové globulky	12,5	0,4	5,6	0,7		0,6	2,6		1		2	46,6				2,5						25,5	
74	2011/3-18791_A2	střepová hmota pod struskovitým povlakem	26,3	1,7	17,5	2,3		0,5	0,7	2,2														48,8	
75	2011/3-18791_A3	kovová globulka	0,7		2,6			0,1										72,3						3,1	
76	2011/3-18791_B1	jiná část homogenního sklovitého povlaku	11,8	0,3	5	0,6		0,6	1,8		1,1	0,2	8,4	41,7				3,3						25,2	
77	2011/3-18881_1	povlakem vně negativu po kovovém kolíčku	22,8		5,9	2,1			7,3	0,4	4,5	3,5	0,7	2,7								0,5		4,3	
78	2011/3-18881_2	sluk kovového vzhledu v negativu po vyjmutém kovu	0,3		0,5	0,3																21,7	3,5	0,9	
79	2011/3-18881_3	jako předchozí, jiné místo	0,7		0,7																	18,9	2,1	1,4	
80	2011/3-19701_A1	kovová globulka	0,6																70,1					0,7	
81	2011/3-19701_B1	homogenní sklovitý struskovitý povlak	15,5	0,4	7	0,7		0,5	4,6	0,8	5,6	1,2	3,3	24,7				3,5						32,2	
82	2011/3-19701_B2	struskovitý povlak s drobnými inkluzemi kovu	16,4	0,5	6,7	0,7		0,5	4,5	0,7	5,4	0,5	0,7	30,9				0,5				0,1		31,9	
83	2011/3-19701_B3	tmavší partie struskovitého povlaku	14,8	0,4	7,3	1		0,2	5,8	0,4	5,9	2	1,6	26,7				1						32,9	
84	2011/3-19701_B4	miniaturní inkluze kovu + okolní struska	15,7	0,4	6,3	0,7		0,5	4,6	0,7	5,6	0,3	3,8	26,2				4,2						31	
85	2011/3-21361_A1	globulka kovu	0,4		0,8	0,2		0,1																3	
86	2011/3-21361_A2	jiná část globulky kovu	0,6		0,5	0,2		0,1																1,7	
87	2011/3-21361_B1	struskovitý povlak	23,5	0,3	4,5	3,3	0,2	1,8	10,1	2,6	5,9	1,6	0,7	3,3										42,2	
88	2011/3-22501_1	těžší (nižší) část struskovitého povlaku u globulky	17,5	0,5	6,8	0,9		0,8	4		2,3	0,2	2,2	32,8										32,2	
89	2011/3-22501_2	povrchová partie struskovitého povlaku	26,5	1	9,7	2,6		0,3	4,4	0,2	4,5	0,2	6,4											44,2	
90	2011/3-22501_3	nižší část struskovitého povlaku, jiná oblast	11,5	0,5	4,4	1		0,3	2,7	0,2	2,2	0,1	1,1	5,2										24	
91	2011/3-22501_4	drobná globulka + okolní struska	0,8	0,8	15,5		0,5	2,4			3	0,4	9,4					8	31					22,7	
92	2011/3-22501_5	další kovová globulka	0,8	0,8	9,7		0,2	3,4			3,2	0,5	11,1					10,1		37,7				18,5	
93	2011/3-22501_6	miniaturní kovová globulka	0,7	0,3	9		1,3		1,3		1,2	0,3	4,4											19,7	
94	2011/3-22501_7	jiná kovová globulka	0,3	0,4	7,6		0,2	1,8			2,2	0,3	6,2											24,4	
95	2011/3-22911_A1	sférická kovového vzhledu	0,3																			20,2	6,4	0,4	
96	2011/3-22911_A2	struskovitý povlak u sférulky	16,6		9,7	3,6		1,4	8,1	2,9	8,3	4,7										0,3		42,1	
97	2011/3-22911_B1	sklovitá struska v místě negativu po kovu	14,1	0,5	4,7	1,3			1	2,1			14,3	27,8										27,9	
98	2017/48-261_1	jádro globulky kovu	0,9		0,6			2,0			2,8	1,9	29,9											19,0	
99	2017/48-261_2	okraj globulky kovu	0,7		0,0						0,8	0,7	3,0											13,8	
100	2017/48-261_3	homogenní sklovitá struska	14,2	0,2	4,7	0,7		0,7	2,5		1,2		21,8	19,8										30,0	
101	2017/48-261_4	kovový sluk s názky krystalků 1			2,7																			67,0	
102	2017/48-261_5	kovový sluk s názky krystalků 2	0,6		1,9																				12,9

Tab. 2. Výsledky analýz miskovitých zlomků běžné keramiky využitých druhotně v metalurgii; údaje v hm.% normalizované na 100 %.

Tab. 2. Results of analyses of bowl-shaped fragments of common pottery used secondarily in metallurgy; data in weight% standardised to 100 %.



Obr. 11. Zlomky metalurgických miskovitých střepeň, makro- a mikrofoto­grafie s označením míst měření. A–C svislé sloupce (foto M. Müller, mikrosnímky GLÚ AV ČR, úprava S. Babušková).  
 Fig. 11. Fragments of metallurgical bowl-shaped potsherds; macro- and microphotographs with indication of measurement location. A–C vertical columns.

## Vzorek 2011/3–1606

Na vnitřní straně běžného keramického střepu ulpěl tmavě šedohnědý struskovitý povlak s výraznými nepravidelnými hrbolky. Na části střepu je pokryt zelenomodrými zvětralinami mědi (*obr. 11: D*). Od podobných nálezů se tento poměrně výrazně liší barvou i strukturou.

Povrch povlaku pokrývají jehlicové mikrokrystalky a agregáty oxidu cíníčitého (*tab. 2*, analýza č. 58). Tmavší mezerní hmota mezi vyrostlicemi kasiteritu má anomální obsah železa a zjištěna zde byla i přítomnost dalších rudních prvků – olova, cínu, mědi a arsenu. Nabohacené jsou i obsahy vápníku a fosforu (*tab. 2*, analýza č. 59). Podpovrchovou kompaktní partii tvoří olovnato-křemičito-hlinitá struska s podílem dalších neželených kovů – mědi, cínu, zinku a arsenu (*tab. 2*, analýzy č. 60, 61).

Metalurgický střep z Thunovské ulice mohl sloužit k úpravě surovin souvisejících s výrobou cínového bronzu. Nelze vyloučit, že se jedná o pozůstatky zkoušky (průby) vypraženého, tj. síry zbaveného kamínku tvořeného původně kyzy (sulfidy) Fe, Cu a dalšími rudními prvky, na obsah zpracovávaných kovů.

## Vzorek 2017/48–26

Zlomek běžné keramiky sekundárně využitý k metalurgickému účelu je na vnitřní straně pokryt zlatavě hnědou červenohnědou až oranžovou sklovitou struskou o tloušťce až kolem 1 mm. Z tohoto místy porézního povlaku často vystupují kulovité sféručky tmavě šedého až stříbřitě šedého kovu (ojediněle s popraškem zelených solí mědi) o průměru do 1 mm. Přibližně na polovině vnitřní stěny střepu se zachovala část kruhového negativu (otisku) po vyjmuté placičce utuženého kovu. Průměr této sníženiny koláčkovitého tvaru lze odhadnout na min. 3,5 až 4 cm. Analýzám byla podrobena jedna z kovových globulek, dále kompaktní partie strusky při okraji negativu po zpracovávaném kovu a kovový shluk z dutiny po plynu s náznaky krystalů na povrchu (*obr. 11: C*).

Střep je na části vnitřní stěny pokryt křemičito-měďnato-olovnatou struskou s příměsí stříbra (*tab. 2*, analýza č. 100). Kovové sféručky zachycené místy ve strusce jsou v jádru tvořeny slitinou olova a stříbra (*tab. 2*, analýza č. 98), na povrchu pak vrstvou stříbra se sekundárním zvětralinovým povlakem AgCl, resp. AgBr (*tab. 2*, analýza č. 99), a krystalky AgCl (*tab. 2*, analýzy č. 101, 102). Analyzovaný střep s částí rozměrného negativu po vyjmutém kovovém koláčku je dokladem úspěšného dokončení hutnického postupu, jehož cílem bylo oddělení stříbra od křemičito-měďnato-olovnaté strusky. Přitom došlo ke značným ztrátám ve formě hojných sférulek Pb–Ag zachycených ve sklovité strusce.

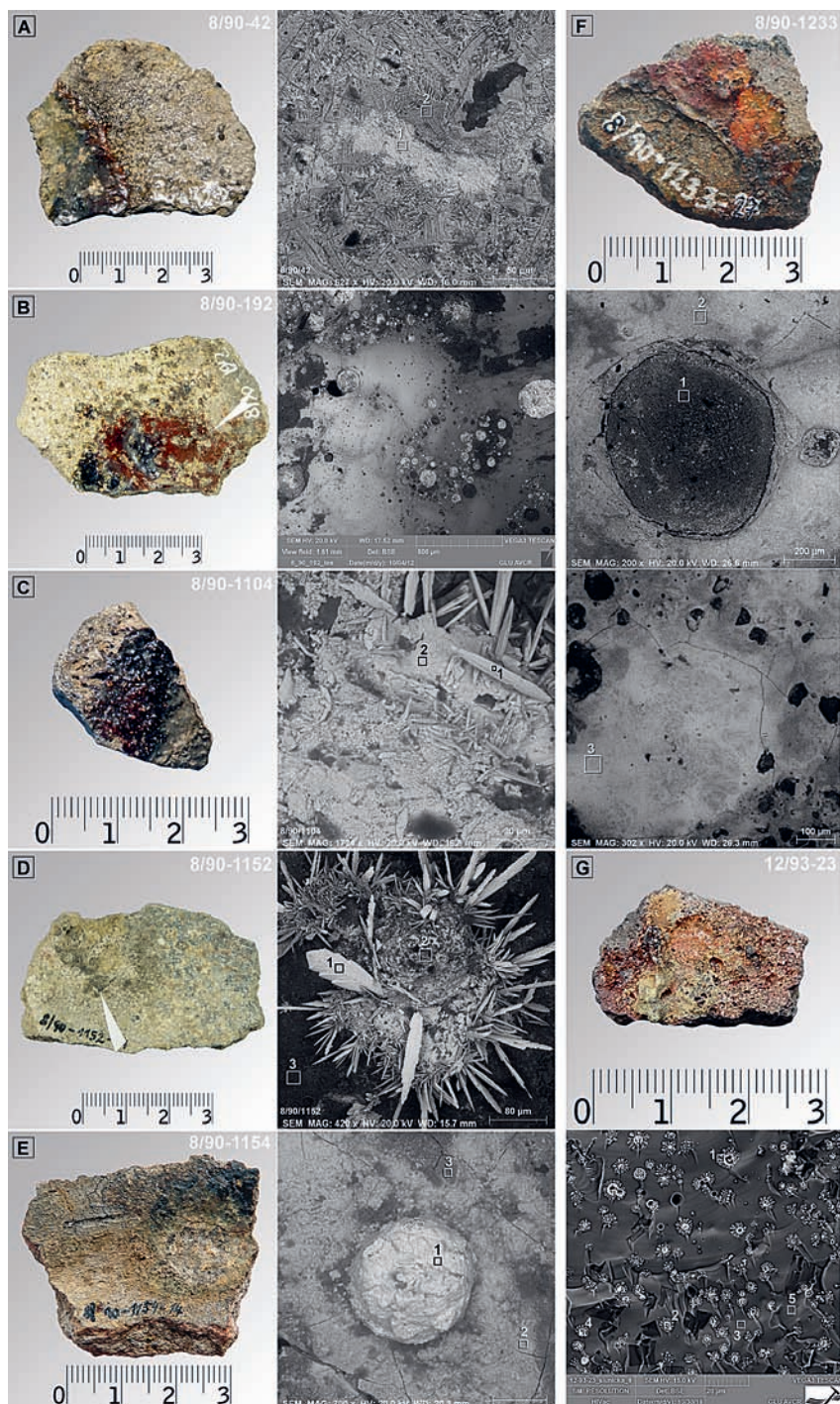
Kromě výše podrobně popsanych vzorků metalurgických střepových misek uvádíme, stejně jako v případě skupiny tavicích kelímků, stručné popisy (1) a interpretace naměřených hodnot (2) dalších nálezů tohoto typu:

Vzorek 8/90–42–2, *tab. 2*, analýzy č. 1, 2; *obr. 12: A*

1. Zlomek běžné keramiky je na vnitřním povrchu pokryt červenohnědým, špinavě žlutozeleným až šedočerným struskovitým povlakem složeným z podstatné části s klejtu (Pb>Si) s vyššími podíly Ag a Cu. Snímek elektronového mikroskopu odhalil počnající devitifikaci sklovité taveniny spojenou se vznikem kostrovitých vějířovitých krystalů (cerusit?, litargit?).
2. Metalurgie stříbra, pozůstatek po kupelaci; na části střepu je patrný negativ po kovovém koláčku.

Vzorek 8/90–192, *tab. 2*, analýzy č. 6–8; *obr. 12: B*

1. Střep je na vnitřní straně pokryt hnědočerveným sklovitým povlakem s vysokým obsahem Pb a alkálií s hojnými kovovými stříbřitými globulkami (Pb–Ag–Ca–P) i sekundárními jehlicovitými krystalky



Obr. 12. Zlomky metalurgických miskovitých střepeň, makro- a mikrofotografie s označením míst měření. F, G svislé sloupce (foto M. Müller, mikrosnímky GLÚ AV ČR, úprava S. Babušková).  
 Fig. 12. Fragments of metallurgical bowl-shaped potsherds; macro- and microphotographs with indication of measurement location. F, G vertical columns.

(AgCl) a krémovým povlakem, též sklovitě nataveným. Nevýrazné stopy žáru lze pozorovat i na vnější straně (slabé rozpraskání a známky natavení). Podél prasklin došlo k průniku části taveniny na vnější stranu střepeu.

2. Metalurgie stříbra, nedokončená kupelace kvůli rozpraskání střepeu.

Vzorek 8/90–550, *tab. 2*, analýzy č. 9–12; *obr. 10*

1. Střep s červenohnědým až fialovohnědým povlakem na vnitřní straně, místy překrytým tenkým šedým povlakem. Hojně jsou mikroskopické zlatavé, šedé či indigově zbarvené globulky s keříčkovitými agregáty (Cu–Fe–S) vystupující nad povrch silikátové olovnaté strusky se zvýšenými koncentracemi Fe, Cu, Zn a K.
2. Metalurgická operace s měděným kamínkem a klejtem; oddělení užitkových kovů (mědi, příp. stříbra?) od nečistot?

Vzorek 8/90–1104, *tab. 2*, analýzy č. 16–18; *obr. 12: C*

1. Střep je na vnitřní straně pokryt tmavě hnědočerným skelně lesklým povlakem (Si>Ag>K>Al), z něhož vystupují natavená zrna křemene. Strusku částečně překrývá stříbrně šedý film (směs chloridů a sulfidů Ag), místy s mikroskopickými jehlicovitými krystalky (Ag<sub>2</sub>S, akantit).
2. Metalurgie stříbra, pro velký obsah kovu ve strusce i povlaku s velkou pravděpodobností nedokončená operace v důsledku prasknutí střepeu.

Vzorek 8/90–1152–47, *tab. 2*, analýzy č. 19–21; *obr. 12: D*

1. Na vnitřní straně střepeu ulpěl běžový převážně skelně lesklý povlak s hojnými dutinkami po plynech, místy se vyskytují šedé kovové sféručky či shluky a kopinaté i jehlicovité krystalky, a to zvláště při okrajích mělké sniženiny (negativu) v povrchu povlaku, kde se koncentroval zpracovávaný kov.
2. Přes ztráty v podobě globulek AgCl a supergenních krystalků Ag<sub>2</sub>S došlo k úspěšné rafinaci (rafinačnímu přepálení) nebo testu stříbra na silně alkalickém potěru střepeu (anomální obsahy K a Ca); bezolovnatá technologie.

Vzorek 8/90–1154–14, *tab. 2*, analýzy č. 22–24; *obr. 12: E*

1. Zlomek běžné nádoby je na vnitřní straně částečně pokryt nevýrazným žlutozeleným až šedočerným struskovitým povlakem skelného vzhledu (Pb>Si, Ca, P), který tvoří lem kruhového otisku (negativu) po kovové placičce o průměru ca 17 mm. Zbytek vnitřního povrchu střepeu (mimo oblast strusky) je pokryt tenkým matným nažloutle bělavým povlakem původně kašovitě konzistence.
2. Metalurgie stříbra. Test (průba) malého množství zolověného stříbrného šrotu či bohaté rudy stříbra na alkalickém potěru na obsah kovu?

Vzorek 8/90–1233–27, *tab. 2*, analýzy č. 25–27; *obr. 12: F*

1. Střep je na vnitřní straně neúplně pokryt barevně proměnlivým (oranžovým, červenohnědým, okrovým, šedým) struskovitým povlakem (Pb>Si>Ag,Cu) s ojedinělými šedě zbarvenými globulkami o průměru až 0,7 mm (Ag>Fe>Pb>P,Ca>Cu). Zachována je i část negativu (otisku) po koláčku vytaženého kovu s vyvýšenou hranou.
2. Úspěšně dokončená kupelace stříbra pomocí klejtu a kostního popela.

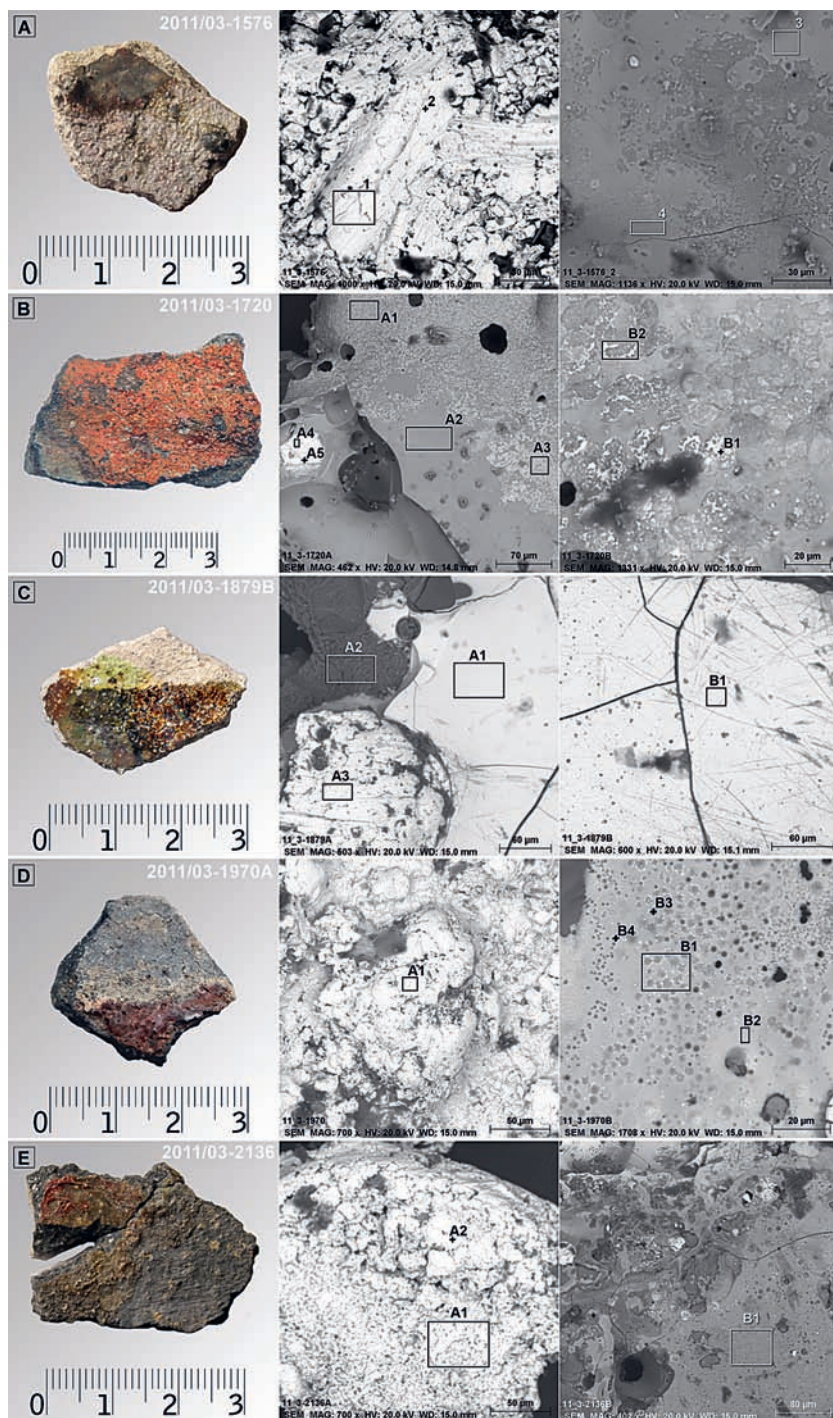
Vzorek 12/93–23, *tab. 2*, analýzy č. 31–35; *obr. 12: G*

1. Střep na vnitřní straně s hustě porézním struskovitým povlakem proměnlivých barev o složení křemičito-vápnito-hlinité strusky s vyšším podílem Cu i Pb. Mikroskopické kulovité útvary (někdy plné, někde duté) s paprčitými agregáty v okolí („sluníčka“) tvoří Cu a Cu<sub>2</sub>O.
2. Chemismem vzorek dosud nemá analogie; oddělení Cu od Ag bohatého olova do strusky? rafinace mědi?, jiný metalurgický postup?

Vzorek 1/94–198, *tab. 2*, analýzy č. 36–38

(viz *Zavřel – Čiháková – Ježek 2019*, fig. 6a–c)

1. Střep s nesouvislým tmavě šedým až namodralým povlakem kovového vzhledu s drobnými hrboleky i globulkami (Ag–Fe–S). Tavenina ulpěla i na lomových plochách střepeu. Metalický povlak je částečně pokryt sklovitou Si–Ca–Al struskou. Prasklinami ve strusce postupuje směs sulfidů Ag a Fe s příměsí Cu.



Obr. 13. Zlomky metalurgických miskovitých stěpů, makro- a mikrofoto grafie s označením míst měření (foto M. Müller, mikrosnímky GLU AV ČR, úprava S. Babušková).  
 Fig. 13. Fragments of metallurgical bowl-shaped potsherds; macro- and microphotographs with indication of measurement location.

2. Nedokončená práce s kamínkem – oxidační pražení za účelem převedení sulfidů na oxidy a odloučení železa do struskovité frakce – metalurgie stříbra s využitím látek s vyššími podíly Ca a K (rostlinný popel, vápnitý jíl?).

Vzorek 2006/12–539–11 (539A), *tab. 2*, analýzy č. 39, 40; *obr. 10*

1. Tmavý struskovitý povlak s oj. drobnými globulkami na vnitřní straně střeputy přechází na lomu do stříbřitého kovového povlaku (Ag>Fe>Ca>P>S) a je částečně zateklý i na vnější část fragmentu nádoby. Křemičitá-olovnatá-hlinitá struska v okolí má vedlejší podíl dalších rudních prvků Sn a Cu.
2. V důsledku popraskání střeputy nedokončený úkon; metalurgie Ag za využití kostního popela (Ca, P), klejtu (PbO), raná fáze hutnické operace.

Vzorek 2006/12–541–1, *tab. 2*, analýzy č. 41, 42; *obr. 10*

1. Zlomek střeputy má na vnitřní straně nepravidelný tmavě červenohnědý skelně až hedvábně lesklý struskovitý povlak (klejt s výrazným podílem kostního popela + olivnatá-křemičitá struska), místy částečně pokrytý šedým matným povlakem kovového vzhledu (Pb + Cu).
2. Klejt s příměsí mědi patrně souvisí s úspěšnou, ale přímo nepotvrzenou kupelací stříbra.

Vzorek 2006/12–549–9, *tab. 2*, analýzy č. 43, 44; *obr. 10*

1. Ze tří střeput s taveninovitými povlaky zkoumán nejsilnější a největší z nich s nesouvislým struskovitým hnědočerným povlakem na vnitřní straně. Ve sklovité strusce s vyšším podílem alkálií (rostlinný popel, potaš?) se objevují ojedinělé globulky Ag (+ Cl, S).
2. Chemicky atypický povlak související s bezolovnatou metalurgií stříbra – rafinace pálením (?).

Vzorek 2011/3–296, *tab. 2*, analýzy č. 45–47; *obr. 10*

1. Drobný, žárem deformovaný střeput je na jedné ploše překryt tmavě červenou, tmavě červenofialovou až krémovou silně napěněnou struskovitou taveninou (křemičito-olivnatá s vysokým podílem Cu, místy s Fe a výraznou složkou kostního popela). Stěny některých dutin po unikajícím plynu pokrývá modrozelený poprašek sekundárních solí mědi.
2. Metalurgická operace s použitím kostního popela a klejtu; metalurgie mědi? příp. stříbra?

Vzorek 2011/3–1576, *tab. 2*, analýzy č. 54–57; *obr. 13: A*

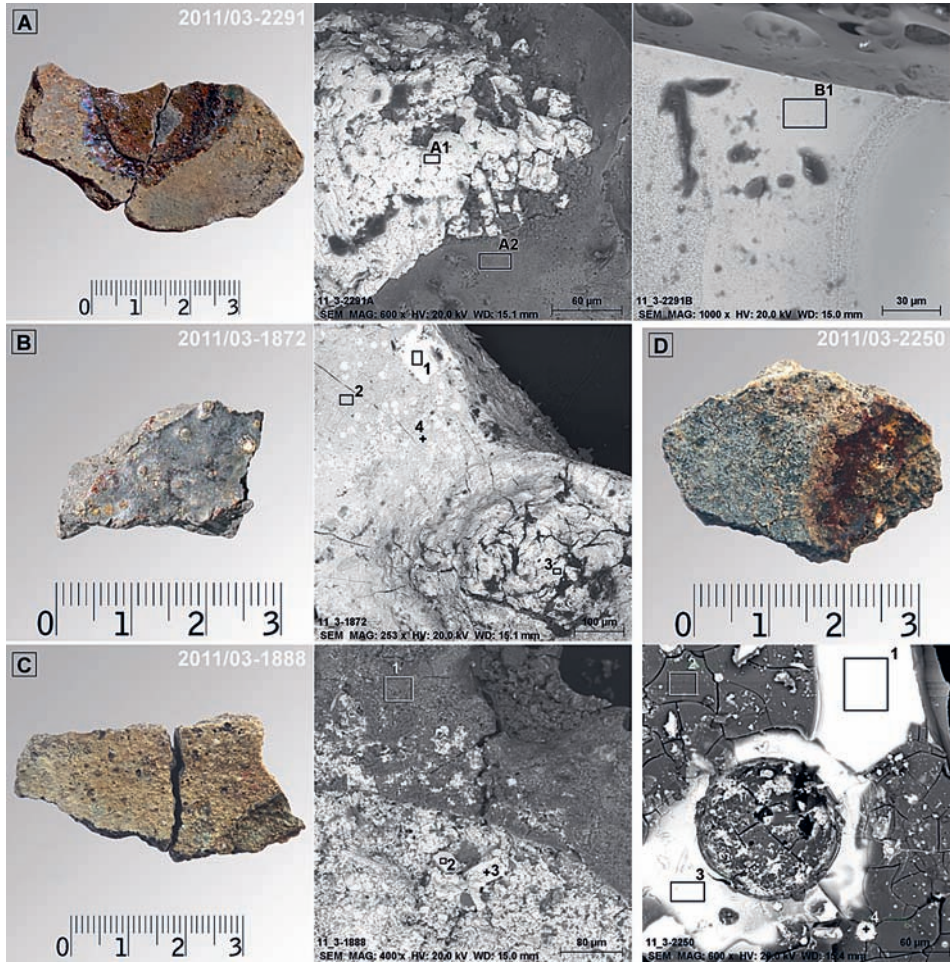
1. Střeput je na vnitřní straně pokryt nesouvislým povlakem silně alkalického chemismu, sklovitého vzhledu a proměnlivých barev (hnědozelené, oranžové, červenohnědé). Většinu struskovitého povlaku překrývá bělavě šedý matný film, ojedinělé jsou globulky tmavě šedé barvy (stříbro s výraznou koncentrací Cl a Br).
2. Rafinace stříbra pálením (nízké koncentrace Pb, silné natavení střeputy na vápnito – draselném potěru).

Vzorek 2011/3–1720, *tab. 2*, analýzy č. 62–68; *obr. 13: B*

1. Vnitřní strana střeputy je pokryta oranžovým až žlutooranžovým struskovitým povlakem se skelným leskem a hojnými dutinkami po úniku plynů. Pro posouzení charakteru metalurgického procesu je podstatné složení kovového shluku (Au>Ag>Cu), který ulpěl v malé fyzikální pasti – dutince (bublině) po plynu. Výrazně je zastoupena i síra. Kromě homogenní silikátové sklovité strusky s vysokým podílem Cu a vedlejšími koncentracemi Pb, Ag, Fe, alkálií, Ca a P je zastoupena struska s hojnými drobnými krystalitami spinelidů mědi a železa (delafossitu či kuprospinelu).
2. Metalurgie zlata. Vysoké koncentrace železa, ale i mědi, stříbra a olova, svědčí o záměrném převedení těchto prvků z kamínku, případně z černé mědi do strusky. Při metalurgické operaci tedy došlo k oddělení těchto prvků z poloproduktu do strusky za navýšení koncentrace hlavního cíleného produktu – zlata. Od strusky částečně smíšené s natavenou stěnou střeputy se slitina zlata oddělila likvací.

Vzorek 2011/3–1872, *tab. 2*, analýzy č. 69–72; *obr. 14: B*

1. Střeput je na vnitřní straně pokryt kompaktním šedočerným struskovitým povlakem s náznaky globulek (klejt PbO s výraznou příměsí Ca a P a místy s podílem Cu). Tmavá povrchová vrstva povlaku překrývá červenohnědou sklovitou strusku.
2. Výrazné nabohacení povrchové vrstvy strusky olovem, vápníkem a fosforem patrně vzniklo posypáním olivnaté taveniny kostním popelem a absorpcí PbO do popelovité hmoty; pozůstatek blíže neupřesněné metalurgické operace s využitím klejtu a kostního popela.



Obr. 14. Zlomky metalurgických miskovitých stěpů, makro- a mikrofotografie s označením míst měření. D svislý sloupec (foto M. Müller, mikrosnímky GLÚ AV ČR, úprava S. Babušková).

Fig. 14. Fragments of metallurgical bowl-shaped potsherds; macro- and microphotographs with indication of measurement location. D vertical column.

Vzorek 2011/3–1879, *tab. 2*, analýzy č. 73–76; *obr. 13: C*

1. Drobný stěp je pokrytý tmavě hnědým, zelenohnědým a světle žlutozeleným sklovitým povlakem ( $\text{Pb} > \text{Si} > \text{Al}$  s podíly Cu a Ag) s ojedinělou globulkou šedé barvy (stříbro s povlakem AgCl).
2. Kupelace, metalurgie stříbra.

Vzorek 2011/3–1888, *tab. 2*, analýzy č. 77–79; *obr. 14: C*

1. Zlomky dvou navazujících stěpů jsou na vnitřní straně pokryty krémovým zesklovatělým povlakem (potěr z kostního popela s vedlejším podílem Sn, Pb, As a Cu). Na větším fragmentu se zachoval okraj negativu po vyjmutém koláčku kovu s hnědozelenou sklovitou struskou a částečně ulpěným stříbrně šedým kovem (Ag s podílem halogenidů).
2. Rafinace stříbra.



Vzorek 2011/3–1970, *tab. 2*, analýzy č. 80–84; *obr. 13: D*

1. Drobný střep je na vnitřní stěně částečně pokryt povlakem béžové barvy a při okraji poměrně masivní hnědočervenou sklovitou struskou (křemičito-olovnato-hlinitou). Ojedinele se v hmotě strusky vyskytují velmi drobné shluky a globulky kovového vzhledu (směs AgCl a AgBr).
2. Metalurgie stříbra.

Vzorek 2011/3–2136, *tab. 2*, analýzy č. 85–87; *obr. 13: E*

1. Na dvou zlomcích střepů ulpěl na vnitřní straně žlutohnědý až červenohnědý struskovitý sklovitý povlak (Si>Ca>K>Al>Pb). V centrální části je patrný nevýrazný negativ po vyjmutém kovovém koláčku o průměru kolem 1,5 cm. Ojedinele globulky jsou složeny ze stříbra s povlakem AgCl.
2. Dokončená kupelace stříbra.

Vzorek 2011/3–2250, *tab. 2*, analýzy č. 88–94; *obr. 14: D*

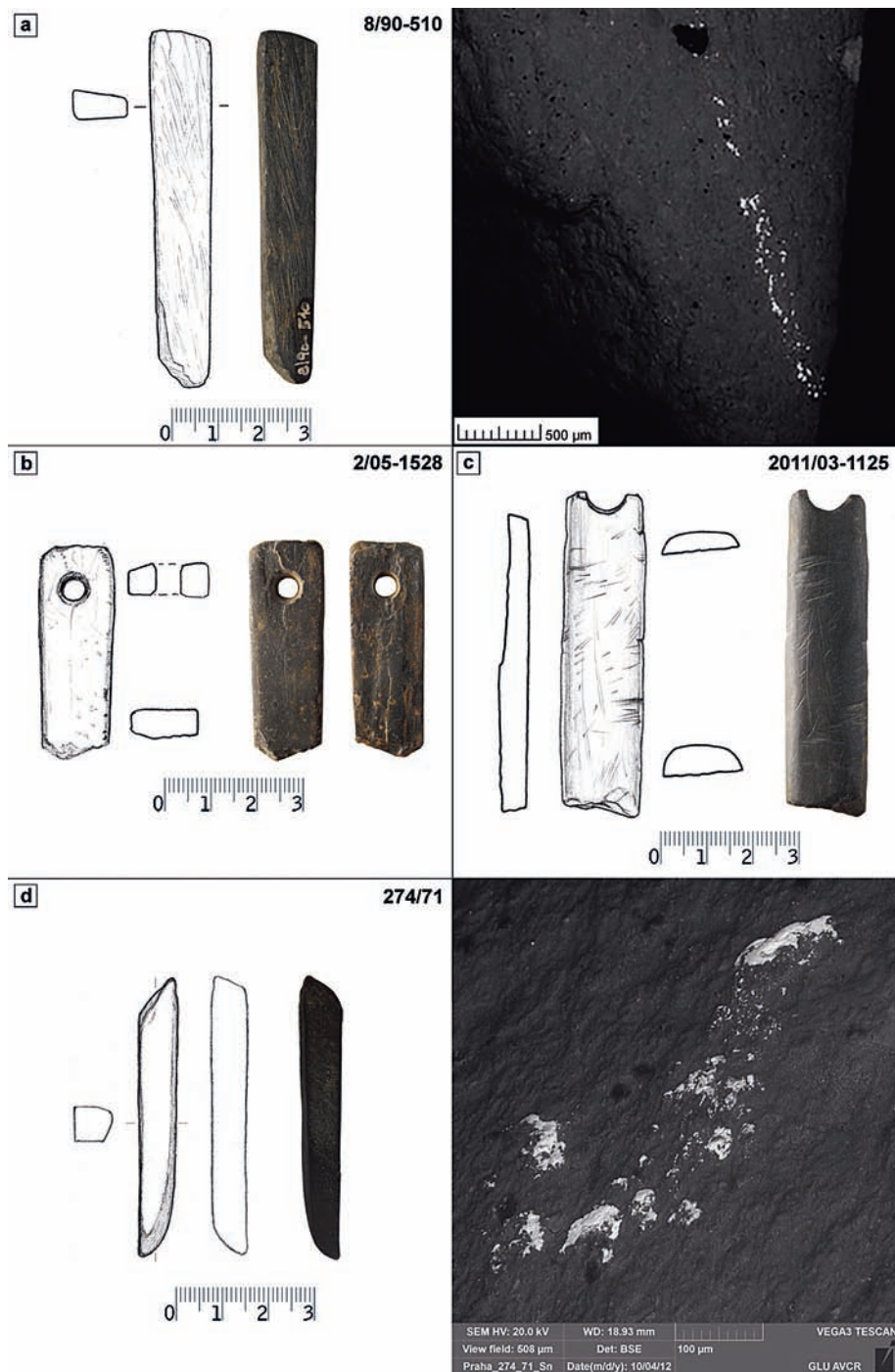
1. Část střepu je na vnitřní straně pokryta načervenalou hnědou sklovitou struskou, při jejím okraji vystupuje krémovitý natavený povlak. V reliktu je zachován i okraj negativu po vyjmutém kovu koláčovitěho tvaru. Povrchová část strusky je sklovitá (SiO<sub>2</sub>>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, v její nižší (těžší) partii převládá klejt. Hojně drobné globulky mají kromě dominujícího Ag i podíl Fe, Pb a Bi.
2. Přes ztráty v podobě hojných drobných stříbrem bohatých globulek zachycených na povrchu okolní strusky došlo k úspěšnému oddělení stříbra od křemičito-olovnaté strusky za použití klejtu a kostního popela.

Vzorek 2011/3–2291, *tab. 2*, analýzy č. 95–97; *obr. 14: A*

1. Vzorek tvoří 2 navazující zlomky běžné keramiky. Na vnitřní straně se zachoval kruhovitý negativ po utuhlém kovu s mírně vyvýšeným okrajem tvořeným sklovitou světle hnědou až zelenohnědou struskovitou hmotou s výrazným zastoupením Cu + Pb. V jejím okolí místy vystupuje světle okrový až krémový sklovitý film (alkálie + Ca + P) s ojedinelými stříbrnými globulkami (Ag s podílem Cl a Br).
2. Na střepu s potěrem kostního a rostlinného popela a patrně i jílu proběhla úspěšná kupelace stříbra. Po utužení kovového koláčku byl střep rozlomen.

## Prubířské kameny

Mezi kamennými archeologickými artefakty z výše referovaných výzkumů v oblasti Malé Strany se vyskytlo 58 kusů původně klasifikovaných jako brousky. V roce 2017 bylo z tohoto souboru na základě mikroskopického posouzení vyčleněno deset nálezů, které přítomností liniových otěrů (škrťů) kovu na povrchu, tvarem a zpracováním předmětů či barvou materiálu odpovídaly prubířským kamenům (blíže k tomuto typu nálezů např. Ježek – Zavřel 2010; 2013). Po EDS–SEM analýzách povrchu těchto artefaktů a vyhodnocení nálezových situací lze jako prubířské kameny raně středověkého stáří jednoznačně klasifikovat tři z nich (*obr. 15*). Jedná se o zlomky dvou protáhlých plochých hranolků z tmavě šedých krystalických břidlic 8/90–510, 2/05–1528 (s provrtaným otvorem) a zlomek protáhlého valounu tmavě šedého metaprachovce s reliktem průvrtu 2011/03–1125. Na prvním z nich – artefaktu 8/90–510 z Lichtenštejnského paláce (*obr. 15: a*), časově řazeném před rok 1300 – byly detekovány četné liniové otěry slitiny mědi a zinku (mosazi). Druhý z těchto kamenných výrobků, 2/05–1528 z 2. poloviny 12. století (Malostranské nám. čp. 2/III (*obr. 15: b*), nesl na svém povrchu ojedinele šupinky po kontaktu s předmětem obsahujícím olovo a měď se stopovým podílem zinku (ternární mosaz?). Pro nepatrné rozměry otěrů nelze o složení testovaného předmětu činit bližší závěry. Prubířský kámen byl po použití v minulosti patrně důkladně očištěn. Další vzorek 2011/03–1125 z Thunovské ul. 192/III (*obr. 15: c*), doprovázený keramikou 12. století, vykázal stopy otěru předmětu složeného ze stříbra s příměsí mědi. Kovový škrť byl v důsledku koroze



Obr. 15. Zlomky raně středověkých prubířských kamenů (kresba V. Čermák, úprava S. Babušková).  
Fig. 15. Fragments of early medieval touchstones.

Vzorek č.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO	PbO	ZnO	Ag	SO <sub>3</sub>	Cl
8/90–510/1	28,4		14,8	3,8		0,9	2,3	1,5		25,7		20,5		2,1	
8/90–510/2	28,0	0,3	11,1	3,2	2,2			1,4		31,8		20,9		1,1	
8/90–510/3	24,4		9,1	3,8		0,9		1,4		36,2		24,1			
2/05–1528/1	28,9	1,0	12,1	5,7	2,3	1,5	1,7	3,0		2,4	41,0	0,3			
2011/3–1125/1	38,4	0,8	23,0	10,1	1,8	4,2	1,4	3,9	5,9		10,0				0,6
2011/3–1125/2	32,5	0,5	19,2	4,5	1,9	0,4		2,7				38,1			0,4
2011/3–1125/3	26,8		15,6	5,2	1,8					12,2			19,6	18,9	

Tab. 3. Výsledky analýz povrchu prubiřských kamenů v místech kumulací prvků s vysokým protonovým číslem (hodnoty v hm.% normalizované na 100 %). Nález z Klárova nezahrnut.

Tab. 3. Results of analyses of the surface of touchstones in places with accumulations of elements with a high proton number; values in weight% standardised to 100 %. The find from Klárov not included.

Vzorek č.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PbO	CuO	ZnO	Au	SO <sub>3</sub>
2011/3–3188/1	16,3		3,6	1,2	0,3	27,7	0,6	1,6	22,8	25,2	0,7			
2011/3–3188/2	7,2		4,8	2,9		17,1		1,4	17,9	47,8	0,9			
2011/3–3188/3	13,4	0,2	8,0	2,8		16,5		2,1	16,9	39,2	1,0			
2011/3–3188/4	0,8		0,4								61,4	36,0		1,5
2011/3–3188/5	0,7		0,5								61,0	37,8		
2011/3–3188/6											4,3		95,7	

Tab. 4. Výsledky analýz povlaku strženého z povrchu kovolitecké formy pomocí lepidivé karbonové pásky; hodnoty v hm.% normalizované na 100 %.

Tab. 4. Results of analyses of coatings taken from the surface of metal casting mould using adhesive carbon strips; values in weight% standardised to 100 %.

Spektrum	O	P	Ca	Fe	Pb
1	11,0				89,0
2	16,5	8,3	11,7	0,5	62,9

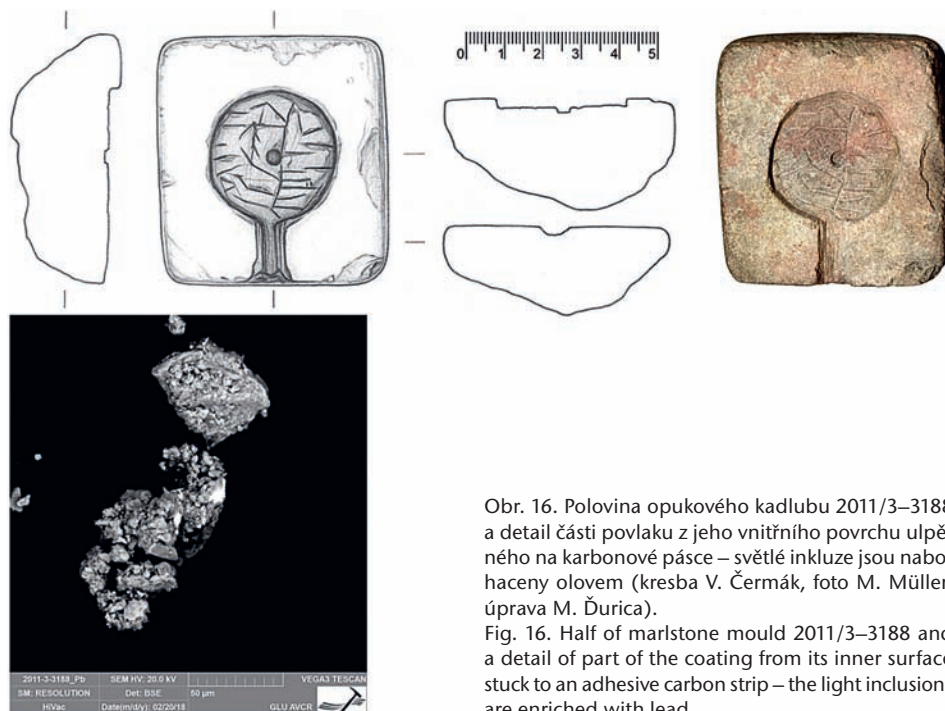
Tab. 5. Výsledky analýz povrchu kovové destičky 1/94–157 v místech bodů č. 1 a 2 (viz obr. 19).

Tab. 5. Results of analyses of the surface of metal plate 1/94–157 at points 1 and 2 (see fig. 19).

pokryt sekundárním sulfidem Ag. Na jiných místech povrchu byla detekována zrnka se zvýšenými obsahy Zn a Pb.

Další prubiřský kámen byl identifikován v nálezovém souboru z výzkumu L. Hrdličky na Klárově (obr. 15: d).<sup>6</sup> Na jeho povrchu se zachovaly škrty po průběh předmětu z cínu. Stopy testu neželezných kovů byly zjištěny i na prubiřských kamenech z Nerudovy ulice čp. 249 (2 ks, stopy olova a stříbra), výzkum NPÚ Praha 2002/41 (ved. J. Havrda a J. Podliska), a Karmelitské ul. čp. 387 (2 ks, stopy olova s příměsí zinku a šupinky zinku), výzkum NPÚ Praha 2003/20, sáček 112 (ved. J. Havrda a M. Tryml; viz *Zavřel 2019*).

<sup>6</sup> Autoři děkují Ivaně Boháčové za upozornění na tento předmět z pozůstalosti Ladislava Hrdličky a za jeho zapůjčení k analýzám.



Obr. 16. Polovina opukového kadlubu 2011/3–3188 a detail části povlaku z jeho vnitřního povrchu ulpělého na karbonové pásce – světlé inkluze jsou nabo-haceny olovem (kresba V. Čermák, foto M. Müller, úprava M. Ďurica).

Fig. 16. Half of marlstone mould 2011/3–3188 and a detail of part of the coating on its inner surface stuck to an adhesive carbon strip – the light inclusions are enriched with lead.

## Kadlub

Z lokality Thunovská čp. 192/III pochází předmět 2011/3–3188, který je polovinou dvoudílného kadlubu s vyřezaným vtokovým kanálkem, kruhovým negativem (průměr ca 35 mm, hloubka kolem 3 mm), centrálním důlkem a nepravidelnými tenkými zářezy (obr. 16). Artefakt, který sloužil k výrobě kruhových kovových odlitků (patrně s centrálním kulatým otvorem), je vyřezán z pevné bělavé křídové opuky a sloužil při finální fázi metalurgického procesu. Styková plocha v okolí negativu je pečlivě obroušena do hladka. O tom, že kovolítecká forma sloužila svému účelu, svědčí její růžové až světle červené zbarvení způsobené žářem roztaveného kovu, které prostupuje až ca 1 cm do hloubi kamene. Na karbonové lepicí pásce byla pod elektronovým mikroskopem na třech místech zaznamenána přítomnost komponent s anomálními koncentracemi olova (25 až 48 % PbO). Ve stejných místech se obsahem mezi hlavní prvky též řadily fosfor, vápník a částečně i křemík (tab. 4).

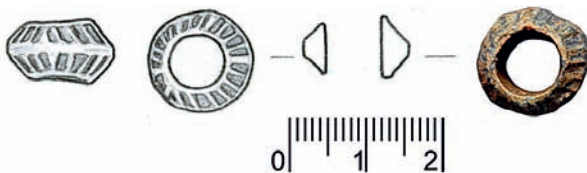
Naměřené spektrum prvků a jejich koncentrace dokládají využití formy při odlévání výrobků z olova. Obsahy Ca a P patrně souvisí s výmazem kadlubu popelem. Na třech místech došlo k detekci dalších neželezných kovů – mědi, zinku a zlata, avšak ve formě osamocených mikroskopických šupinek.

## Olověné předměty

V rámci referovaných archeologických výzkumů byly registrovány jen čtyři nálezy olova. Tmavě šedá až stříbřitě šedá amorfní hrudka 18/00–287 z výzkumu v Mostecké čp.

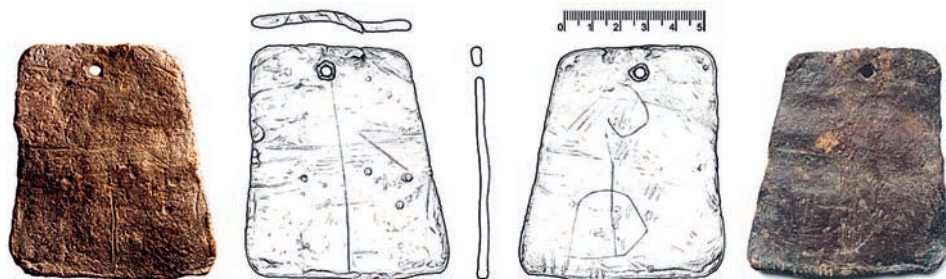


Obr. 17. Hrudka olova z výzkumu Mostecká čp. 279/III (M. Ďurica).  
Fig. 17. Lump lead from the excavation at Mostecká no. 279/III.



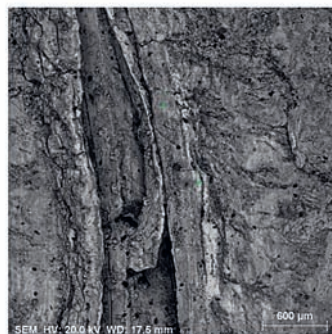
Obr. 18. Drobný olověný dvojkónický kroužek z výzkumu Thunovská čp. 192/III, inv. č. 2011/3–3190 (kresba V. Čermák, foto M. Müller, úprava M. Ďurica).

Fig. 18. A small lead biconical ring from the excavation at Thunovská no. 192/III, inv. no. 2011/3–3190.



Obr. 19. Kovová destička 1/94–157 z výzkumu Josefská čp. 42/III s vrypy na povrchu a na hranách. Na mikrosnímku část povrchu v místě jednoho z vrypů s místy analyzovaných bodů č. 1 a 2 (kresba V. Čermák, foto M. Müller, J. Zavřel, úprava M. Ďurica).

Fig. 19. Metal plate 1/94–157 from the excavation at Josefská no. 42/III and streaks on the surface and edges. Microphotograph showing part of the surface at one of the streaks with locations of analysed points 1 and 2.



279/III, místy s bělavým, patrně zvětralinovým povlakem na povrchu, dosahuje velikosti přibližně  $12 \times 11 \times 6$  mm a váhy 6,99 g (obr. 17). Sestává z olova s příměsí vápníku, fosforu a síry a místy obsahuje vtroušené nečistoty (běžné litofilní prvky). Nález je zajímavý vysokým (starohradištním?) stářím. Na základě chemického složení i vzhledu lze dovodit, že hmota vznikla hutnickou činností a jedná se o částečně znečištěné hutní olovo či klejt.

Třem následujícím předmětům je společná absence pečlivější úpravy povrchu.

Kotouček o průměru 17–18 mm, tloušťce kolem 2 mm, s průměrem otvoru 3,5 mm a váhou 5,16 g pochází z Lichtenštejnského paláce (8/90–732) a doprovázela jej keramika 10. století. Z Malé Strany se jedná o jediný nález tohoto typu.<sup>7</sup> Podobné předměty jsou

<sup>7</sup> Druhý nález, který známe z historického jádra Prahy, pochází ze Starého Města, Konviktská čp. 291/I, výzkum LXXXIV z roku 1979. Kotouček LXXXIV–333 o průměru 18 mm, tloušťce 2 mm a průměru otvoru 4 mm váží 4,38 g (předmět nepublikován).

Vzorek č.		<sup>206</sup> Pb / <sup>207</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb / <sup>206</sup> Pb
A1 8/90–550	x	1,1772	2,0860
	%RSD	0,14	0,12
A2 8/90–1232	x	1,1791	2,0881
	%RSD	0,12	0,17
A3 8/90–42–2	x	1,1778	2,0874
	%RSD	0,08	0,14
A4 8/90–695	x	1,1721	2,1015
	%RSD	0,13	0,19
A5 8/90–335	x	1,1797	2,0859
	%RSD	0,2	0,19
A6 8/90–192	x	1,1792	2,0823
	%RSD	0,07	0,07
A7 8/90–74–3	x	1,1821	2,0880
	%RSD	0,08	0,23
A8 8/90–921	x	1,1818	2,0791
	%RSD	0,1	0,15
A9 8/90–1154–14	x	1,1800	2,0810
	%RSD	0,19	0,19
A 10 8/90–1233–27	x	1,1815	2,0831
	%RSD	0,21	0,17
B1 2006/12–539A	x	1,1957	2,0695
	%RSD	0,14	0,1
B2 2006/12–541–1	x	1,1776	2,0797
	%RSD	0,11	0,16
C1 2011/3–296	x	1,1794	2,0880
	%RSD	0,1	0,49

Tab. 6. Poměry izotopů olova <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb a <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb ve vzorcích z Malostranského nám. čp. 258/III (Lichtenštejnský palác) – vzorky A1 až A10, Letenská ul. čp. 29–33/III (areál kláštera sv. Tomáše) – vzorky B1, B2 a Thunovské ul. čp. 192 – vzorek C1; %RSD – relativní směrodatná odchylka.

Tab. 6. Ratios of lead isotopes <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb and <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb in samples from Malostranské nám. no. 258/III (Lichtenstein Palace) – samples A1–A10, Letenská no. 29–33/III (grounds of St. Thomas Monastery) – samples B1, B2 and Thunovská no. 192 – sample C1; %RSD – relative standard deviation.

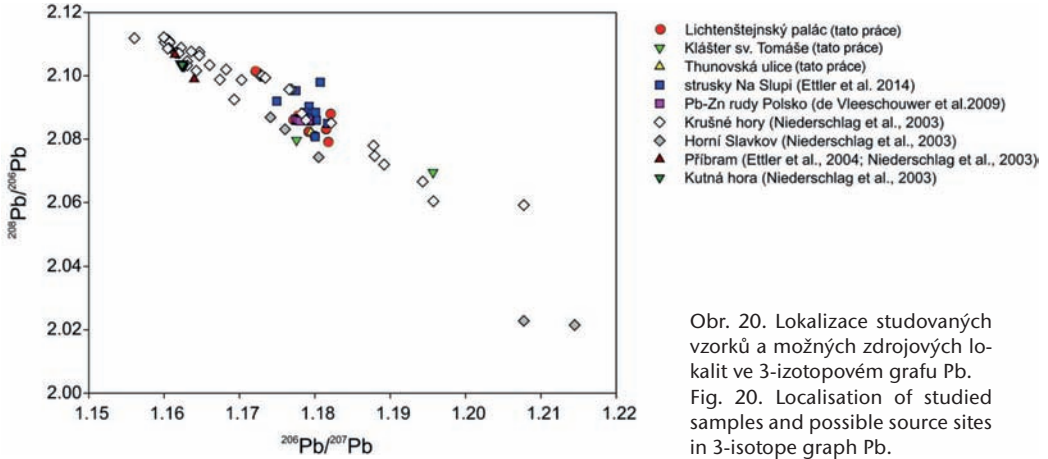
v současnosti interpretovány jako závaží (*Macháček – Měchura 2013, 884*), kvůli široké variabilitě váhových údajů však existují i pochybnosti vůči této interpretaci (*Ptáček – John – Beneš 2018; Militká – Beneš – Šámal 2018, 673*).

Podobné velikosti jako kotouček je dvojkónický kroužek 2011/3–3190 drobných rozměrů – průměr 13,0–13,5 mm, výška 6,1–8,1 mm, s otvorem o průměru 7,4 mm (*obr. 18*). Byl nalezen v sondě XIV v Thunovské čp. 192/III ve výplni dřevohliněné konstrukce ze širšího období okolo roku 1100.

Nezvyklý nález 1/94–157 pochází z výzkumu v Josefské ul. čp. 42/III. Představuje destičku o váze 197,31 g, tvaru trapezoidu o výšce 83 mm a šířce 72–57 mm, s tloušťkou stěny 3–4 mm a otvorem o průměru 3 mm pod horním okrajem, která je mírně zprohýbaná s nepříliš upraveným, poškrábaným povrchem, ojedinělými nepravidelnými vlasovými i hrubšími vrypky a nezačištěnými hranami (*obr. 19*). Předmět je zhotoven z olova s nevýrazným povrchovým oxidickým povlakem a příměsí vápníku a fosforu (kostní popel?).

### Orientační analýzy izotopů olova

Zatím orientačně byly na několika archeometalurgických vzorcích z Malé Strany naměřeny poměry stabilních izotopů olova <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb a <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb. *Obr. 20* zobrazuje pozici studovaných vzorků ve 3-izotopovém grafu s osami <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb a <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb spolu s dal-



Obr. 20. Lokalizace studovaných vzorků a možných zdrojových lokalit ve 3-izotopovém grafu Pb.  
Fig. 20. Localisation of studied samples and possible source sites in 3-isotope graph Pb.

šími izotopovými signaturami metalurgických strusek z lokality Na Slupi, Praha 2 (Ettler et al. 2014) a rudních ložisek z Polska, středních Čech, Krušných hor a oblasti Horního Slavkova (Niederschlag et al. 2003; Ettler et al. 2004; De Vleeschouwer et al. 2009).

## Diskuse

Z první uvedené skupiny archeometalurgických nálezů – keramických tavicích kelímků (tyglíků) – bylo zatím analyzováno 17 kusů z pěti malostranských výzkumných akcí. Deset vzorků dokládá práci s mědí či jejími slitinami: 8/90–335, 8/90–921, 8/90–1202 + 1232, 1/94–572 + 1340, 2006/12–539B + 540, 2011/3–2736 + 3525. Dalších šest můžeme na základě analýz jednoznačně spojit s metalurgií stříbra, resp. stříbra a zlata: 8/90–694, 1/94–2118, 2/04–139 + 500, 2011/3–1700 + 1811. U jednoho vzorku (2006/12–303) neumožnily výsledky analýzy bližší určení zpracovávaného kovu.

Z kelímků obsahujících stopy mědi nebo jejich slitin byly na stěnách pěti z nich detekovány povlaky i hroznovité útvary odpovídající složením hutnickému polotovaru – měděnému kamínku – ve formě slitiny sulfidů mědi a železa ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{FeS}$ ) – 8/90–921, 8/90–1232, 1/94–572, 1/94–1340 a 2006/12–540. Reprezentativní je vzorek 8/90–921 se struskovitým povlakem a hroznovitými agregáty o složení měděného kamínku, svědčící o nedokončeném procesu pražení kyzové měděné rudy nebo jiné práce s  $\text{Cu-Fe}$  kamínkem.

Jeden z postupů výroby mědi byl už od doby bronzové spojen s vícestupňovým pyrometurgickým procesem (blíže Killick 2014; Erb-Satullo – Gilmour – Khakhutaishvili 2015). Jeho první fáze spočívala v jednoduchém vypražení primárních  $\text{Cu}$  rud (většinou ve formě směsi uhličitánů, sulfidů a oxidů mědi a železa s hlušinou) na otevřeném ohni a jejich dalším zpracováním. Vzniklý praženec byl roztlučen a následně opakovaně s přísadami taven v silně redukční atmosféře v metalurgických kelímcích za vzniku měděného kamínku. V rámci několikastupňového dalšího tavení (vytavování) kamínku ve směsi s přidáním křemenem a dřevěným uhlím docházelo ke vzniku fayalitové strusky (reakce  $\text{FeO} + \text{SiO}_2$ ) a zároveň se postupně zvyšoval obsah cílového produktu – mědi. Výroba mědi v malých kelímcích představovala vícefázový proces (tzv. *matte smelting*), který kromě vlastní tavby

mohl zahrnovat i další pražení některých meziproduktů. Až poté, co bylo odstraněno veškeré železo z kamínku do strusky, mohlo dojít k vzniku kovové mědi, a to reakcí mezi oxidy a zbývajícími sulfidy mědi za úniku oxidu siřičitého. Měď se roztavila a usadila na dně kelímku (*Rostoker 1975*, 312). Měď byla prostřednictvím hutnění měděného kamínku vyráběna i v průběhu středověku a tento proces je rozhodující při pyrotechnologickém získávání mědi do současnosti.

Při tavení mědi a jejích slitin v tyglících za vhodných redukčních podmínek nedocházelo zpravidla k výraznější oxidaci kovů a vyšší tvorbě strusek. Případné strusky se pak opětovně využívaly v dalších tavbách. I z tohoto důvodu jsou stopy výroby a zpracování neželezných kovů v archeologických terénech mnohem méně frekventované než železářský odpad. Některé z prvotních fází prací s měděným kamínkem (bez použití olova) zanechaly své stopy na vzorcích 8/90–921, 1/94–572 a 2006/12–540, které spojujeme s produkcí mědi. Pokročilejší fáze výroby mědi se zachovala na fragmentech kelímků 8/90–335 a 8/90–1232. Globule tohoto kovu vystupující z olovnato-křemičité strusky dokládají patrně rafinaci nečisté mědi – tavení s olovem a oxidem křemičitým za účelem převedení zbytků železa a případných dalších prvků Zn, Sn, Ni, As do strusky.

Nález 1/94–1340 vykazuje v povrchových partiích variabilní složení z  $\text{Cu}_2\text{S}$ , Cu–Fe–S s příměsí Ag, Sn a krystalků kasiteritu ( $\text{SnO}_2$ ). Z dosavadních měření nelze prokázat, zda vsádka, na jejímž složení se opět podílí kamínek, představuje směs vedoucí ke vzniku cínového bronzu, nebo jiného kovu (slitiny). Zkoumaný vzorek představuje i v celoevropském kontextu mimořádný exemplář s velkým objemem zachované vsádky, jehož význam umocňuje i původ v 10. století.

Složení čtyř výše zmíněných vzorků (přítomnost sulfidů Cu a Fe, příměs dalších rudních prvků – Zn, Sn, Ag, Ni a As) v těchto případech vylučuje možnost využití kovového šrotu při získávání mědi nebo jejích slitin. Na stěnách kelímku 8/90–1202 se v povlaku i globulce kovového vzhledu projeví výrazné koncentrace zinku, mědi a lokálně i olova, které dokládají výrobu zlatavé slitiny mědi – mosazi. Ta primárně probíhala kalcinačním procesem, při němž byly malé kusy mědi zahřívány se zinkovou rudou a dřevěným uhlím (mourem) v uzavřeném kelímku. Při redukčních podmínkách nebyly zinkové páry oxidovány, ale difundovaly do mědi, čímž došlo ke vzniku mosazi (např. *Bayley – Crossley – Ponting eds. 2008*, 47). Oproti mědi se zinek vyznačuje výrazně větší reaktivností s materiálem keramického kelímku, a z tohoto důvodu je jeho obsah v povlaku stěny metalurgické nádoby vzhledem ke složení výsledné slitiny značně navýšen. Vícesložková mosaz (Cu>Zn, Pb>Sn) byla zaznamenána i v povlaku vnitřní stěny kelímku 2011/3–3525. Vyšší podíl olova v mosazných slitinách může souviset s použitím nečisté mědi, nebo má původ v složení využitě rudy zinku – kalamínu (*Merkel 2016*, 32 n.).

K výrobě jiné slitiny mědi – bronzu – sloužil kelímek 2006/12–539B s povlakem s vysokými obsahy olova a mědi a hojnými vyrostlicemi  $\text{SnO}_2$ , datovaný do 10. století. Oproti výsledné slitině došlo opět k nabohacení struskovitěho povlaku olovem na úkor mědi. Pozůstatky výroby cínového bronzu ve formě drobných globulek (Sn>Cu) s použitím rostlinného a kostního popela jako tavidla (anomální obsahy P, Ca, K) se zachovaly i na stěně kelímku 2011/3–2736. Výrobní detaily nelze z naměřených dat dedukovat.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Zjištění dokladů metalurgie mědi a jejích slitin, jejichž počátky na daném území spadají do 10. století, nejsou v souladu s názorem *Kořana (1984, 66)*, který zpochybnil možnost hutnického zpracování měděných rud na českém území před rokem 1300.



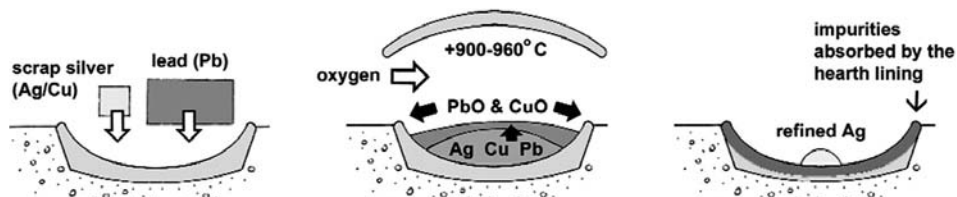
Kromě mědi a jejích slitin hrála v rané historii malostranského území zásadní úlohu výroba stříbra. S ní lze spojit i fragmenty několika tavicích kelímků. První z nich 8/90–694, má na stěnách povlak s dominantním zastoupením Ag a S, resp. Ag, S a Fe. Měď a olovo – obvyklé příměsi související s těžbou a zpracováním komplexních sulfidických polymetalických rud s obsahem stříbra – zde nebyly detekovány. Pokud připustíme, že složení povlaku mohlo být výrazně ovlivněno charakterem zpracovávané suroviny, můžeme uvažovat o dvou možných typech stříbrných rud. Sulfidem stříbrným  $\text{Ag}_2\text{S}$  je tvořena nejbohatší ruda stříbra argentit, resp. akantit (např. na ložiscích Jáchymov, Příbram, Stará Vožice, Ratibořské Hory). Další ruda ve formě minerálu argentopyritu  $\text{AgFe}_2\text{S}_3$  je známa z Jáchymova a dalších krušnohorských lokalit. Bohatší rudy stříbra, mezi které obě zmíněné počítáme, však byly podle dosavadních předpokladů (např. *Vaněk – Velebil 2007*, 194) také zpracovávány pomocí olova, a to přímým rozpouštěním v tavenině Pb, struskováním a uvolňováním síry ve formě plynného  $\text{SO}_2$ . Nemůžeme vyloučit, že v uvedeném kelímku došlo k tavení již vyrobeného kovu, případně šrotu, a síru i železo zde zanechaly dřívější operace se stejnou metalurgickou nádobou. Pravděpodobnější je ale možnost, že naměřené hodnoty souvisejí s dílčím technologickým postupem při výrobě stříbra, který upadl v zapomnění.

I další kelímky 2011/3–1700 a 2011/3–1811 sloužily k získání stříbra bez využití olova. Vnitřní povlak vzorku 2011/3–1700 s hlavními koncentracemi  $\text{Si} > \text{Cu} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Al}$  obsahoval šedé globulky stříbra a tento kov protekl prasklinou i na část vnějšího povrchu. Metalurgický proces (tavení měďnatých stříbrných rud?) s využitím tavidla ve formě NaCl (kamenné soli) nebyl kvůli technologické nehodě dokončen.

Globulky stříbra, tentokrát ve fayalitové strusce s podružným podílem mědi, ulpěly i na stěně kelímku 2011/3–1811. Povlak mohl vzniknout při redukci opakovaně vypraženého a síry zbaveného kamínku, přičemž tavidlem byl rostlinný popel nebo draselný ledek, redukčním činitelem pak uhlík z dřevěného uhlí (namísto olova). Směs sulfidů stříbra a železa ( $\text{Ag} > \text{Fe}$ ) se zachovala i u dna kelímku 1/94–2118. Tentokrát ji však doprovázel struskovitý povlak ve formě silikátu olova s podíly hliníku, stříbra a železa, který patrně odráží jeden z tradičních postupů metalurgie stříbra. Další fragment drobného tavicího tyglíku 2/04–500 obsahoval na vnitřní i vnější straně kapky a povlaky stříbra. V metalurgické nádobce došlo k oddělení stříbra od nežádoucích příměsí – v tomto případě mědi, železa, cínu, zinku a olova. V procesu sehrály důležitou roli látky s vysokým obsahem vápníku (rafináčnické činidlo?) a draslíku (tavidlo?). Proces byl zdárně dokončen, neboť tmavý povlak u vnějšího okraje tvořený stříbrem zde ulpěl při vylévání roztaveného kovu z kelímku.

Analýzy posledního podrobněji zkoumaného tavicí kelímku 2/04–139 se shluky stříbra a výrazným podílem halogenidů ( $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgBr}$ ) na vnitřní stěně naznačují, že součástí vsádky byla kamenná sůl (brom je běžnou příměsí halitu). Zachycen zde byl ale i vedlejší podíl zlata, který může dokládat hutnění zlatnaté rudy stříbra, spíše však je odrazem postupu záměrného oddělení zlata od stříbra (odstříbření – vyčištění Au) s využitím procesu cementace. Jeden ze způsobů oddělování Au a Ag probíhal tak, že se tenké plátky slitiny smíchaly s prachem z rozdrčených cihel či dlaždic a kamennou solí a v uzavřeném kelímku zahřívaly pod bod tavení zlata. Chlor reagoval se stříbrem za vzniku těkavého  $\text{AgCl}$ , který byl absorbován maticí a stěnami kelímku. Stříbra zbavené porézní zlato se dále zkujňovalo a zpracovávány byly i kelímky s usazeninami a povlaky bohatými stříbrem (viz *Rehren 2003*, 207; *Bayley – Rehren 2007*, 51).

Druhotné upotřebení (recyklace) kelímků obsahujících zbytkové povlaky s významnými koncentracemi užitkových neželezných kovů (hlavně olova, mědi, stříbra a zinku)



Obr. 21. Kupelace stříbra podle Söderberga (2011, fig. 1).

Fig. 21. Cupellation of silver according to Söderberg (2011, fig. 1).

většinou vyžadovalo jejich rozdrčení a přidání do dalších vsádek. To je patrně příčinou zcela výjimečného zachování rozměrnějších zlomků tavicích kelímků, a možná i dosavadní absence keramických či hliněných víček tyglíků v malostranských archeologických kontextech. Obdobně výrazná fragmentace tohoto typu metalurgické keramiky byla dokumentována i na Vyšehradě (Varadzin – Zavřel 2015, 400, obr. 15.11).

Výsledky analýz malostranských kelímků s povlaky a kapičkami stříbra a příměsí síry, železa, případně mědi a sodíku, to vše bez jakéhokoliv podílu olova, resp. klejtu, naznačují, že raně středověká výroba stříbra, spojovaná v archeometalurgické literatuře výhradně se dvěma základními operacemi využívajícími vlastnosti olova (tj. hutnění rud s podílem stříbra s olovem a následné oddělení Ag a Pb pomocí kupelace), probíhala i jinými (bezolovnatými) technologiemi.

Výrazně větší zastoupení mezi malostranskými archeologickými nálezy dokládajícími práci s neželeznými kovy má skupina sekundárně využitých střepů běžné domácí keramiky. Na souvislosti tohoto typu nálezů s produkcí neželezných kovů bylo poukázáno již v minulosti (např. Charvátová – Valentová – Charvát 1985, 150). Na některé obdobné zahraniční nálezy (Gdaňsk, Poznaň, Kyjev) upozornil Galuška (1989, 427 n.), který zároveň ve velkomoravských lokalitách předpokládal slévání čistých kovů a zahřívání většího množství slitin (mědi, olova, železa a částečně i cínu) za užití celých nádob běžné keramické produkce. Střepy běžné keramiky (8.–9. století), které nesly výrazné stopy sekundárního natavení, byly např. také nalezeny v okolí kovářské (?) pece spolu s tavicími kelímkami a jinými archeometalurgickými pozůstatky v maďarském Visegrádu (Merva 2017). Dle autorky mohly střepy po vypálení a nadrcení sloužit jako surovina k výrobě tavicích kelímků nebo jako pokličky při tavení neželezných kovů v těchto kelímcích. Nálezy dosud nebyly chemicky analyzovány. Na území Anglie se dle Bayley (2008, 136) ve 13. století i dříve střepy kuchyňských nádob užívaly podobně jako kapelky, tj. jako speciální nádoby k čištění drahých kovů (hlavně stříbra), nebo testování (průběh) hutnických poloproduktů. Na výskyt střepů druhotně využitých v metalurgii v prostředí některých hornických středisek vrcholného středověku v Sasku, Krušných horách a na Českomoravské vrchovině upozornil Hrubý (2019, 151 n.).<sup>9</sup>

Z malostranských nálezů sekundárně použitých miskovitých střepů bylo zatím podrobněji analyzováno 28 kusů ze šesti lokalit. Z nich lze na základě vyhodnocení analýz jednoznačně spojit s metalurgií stříbra 19 nálezů: 8/90–42–2, 8/90–74–3, 8/90–192, 8/90–695,

<sup>9</sup> Používání keramických fragmentů v metalurgii nebylo výsadou evropského středověku. Příkladem může být nález v lokalitě Thulamela v Jihoafrické republice (provincie Limpopo) – střep byl pokryt sklovitou struskou s množstvím kapiček zlata. Tamní metalurgické pracoviště je řazeno do pozdní doby železné (Miller – Killick 2004, 33).

Obr. 22. Koláček stříbra v centru popelovité kapelky – výsledek experimentální kupelace (podle *Moureau – Thomas 2016*, fig. 3).

Fig. 22. Silver cake in the centre of a cupel – the result of experimental cupellation (after *Moureau – Thomas 2016*, fig. 3).

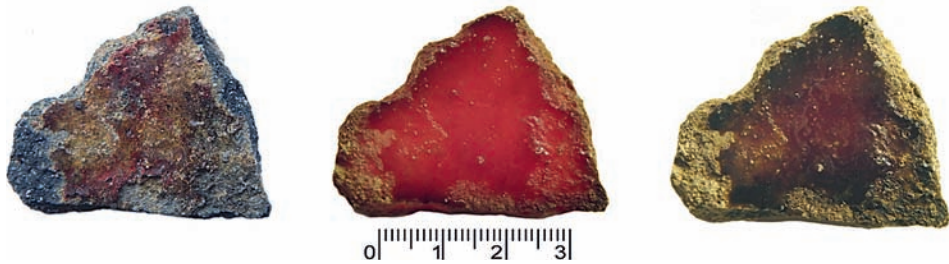


8/90–1104, 8/90–1152–47, 8/90–1154, 8/90–1233, 12/93–6, 1/94–198, 2006/12–539A, 2011/3–1576, 2011/3–1879, 2011/3–1888, 2011/3–1970, 2011/3–2136, 2011/3–2250, 2011/3–2291 a 2017/48–26. U dalších čtyř střepů 8/90–550, 2006/12–541, 2011/3–296, 2011/3–1872 se nepodařilo jednoznačně určit zpracovávaný kov, ale velmi pravděpodobně se též jedná o pozůstatky práce se stříbrem, případně s mědí (obsahují povlaky s výrazným podílem klejtu, případně kostního popela). Metalurgie stříbra tedy zanechala jednoznačné stopy na 65 % analyzovaných střepů a s velkou pravděpodobností se do této skupiny řadí i další 4 vzorky, s nimiž se celkový podíl blíží 80 %.

Asi nejčastěji se námi analyzované miskovité střepy využívaly při procesu kupelace stříbra. Tato metoda obecně představovala patrně nejstarší a nejefektivnější způsob získávání stříbra (případně zlata) z jejich surovin či hutnických poloproduktů. Dosud nejstarší stopy této techniky byly zachyceny v archeometalurgické lokalitě z 10. století př. n. l. v řeckém Argosu. Princip kupelace zjednodušeně spočíval ve vhánění vzduchu na roztavené olovo s podílem rozpuštěného stříbra (nebo zlata). Olovo přitom zoxidovalo za vzniku klejtu (litargitu), který rozpustil jakékoliv základní kovy (např. měď) a nečistoty a oddělil je od drahého kovu (*obr. 21*). Povrchový škraloup oxidů mohl být jednak mechanicky odstraněn, jednak se vsakoval do porézního obložení pícek nebo kapelek,<sup>10</sup> tvořeného spálenými rozdrcenými kostmi (kostním popelem) či vápnným jílem (podrobněji např. *Bayley – Eckstein 2006; Söderberg 2011; Moureau – Thomas 2016*). Stříbro i zlato, které nereagovaly s kyslíkem tak ochotně jako olovo, zůstávaly v kovovém stavu, a byly úspěšně rafinované (*obr. 22*). Stejná technologie byla později používána pro čištění recyklovaného stříbra. Během prvního tisíciletí našeho letopočtu se metoda dále rozvíjela jako technika pro testování nebo stanovení obsahu vzácných kovů v menších vzorcích (*Söderberg 2011, 7*).

*Bayley (2008, 136)* v souvislosti s použitím střepů běžné keramiky pro separaci drahých kovů rozpuštěných v olovu zdůraznila, že tyto střepy (na rozdíl od pozdějších kapelek vyráběných z popela spálených kostí a dřeva) neumožňovaly dobrou separaci drahých kovů rozpuštěných v olovu. Klejt (zoxidované olovo) totiž nebyl absorbován, ale reagoval s hmotou střepu za vzniku sklovité vrstvy. V té se pak zachycovaly drobné kapky drahých kovů a nedošlo k jejich spojení. Na střepích kuchyňské keramiky z Malé Strany i na obdobných nálezích z Vyšehradu však bylo zjištěno, že popsané nevýhodné vlastnosti se u vícero typů metalurgických postupů částečně kompenzovaly potěrem pracovní plochy

<sup>10</sup> Kapelky jsou specifické jednoúčelové výrobky. Mezi raně středověkými nálezmi z Malé Strany se nevyskytují, patrně byly používány až později.



Obr. 23. Střep se struskovitým povlakem 2011/3–2286 – původní stav (vlevo), stejný vzorek zahřátý na teplotu 1500 °C (uprostřed), střep po vychladnutí a utužení se sekundárně roztaveným struskovitým povlakem (vpravo).

Fig. 23. Potsherd with slag-like coating 2011/3–2286 – original condition (left), same sample heated to 1500 °C, potsherd after cooling and solidification with secondarily melted slag-like coating (right).

střepů vrstvou kostního popela, případně směsmi kostního a rostlinného popela nebo jinými látkami s vysokým obsahem draslíku a vápníku.

Stejně jako ve skupině tavicích kelímků se mezi metalurgickými miskovitými střepy vyskytly exempláře, které můžeme spojit s bezolovnatou metalurgií stříbra. Vzorek 8/90–695 uchovává pozůstatky nedokončeného procesu tavení měděného kamínku s vysokým obsahem stříbra. Střep 8/90–1152–47 sloužil zřejmě k testu obsahu stříbra v bohaté sulfidické rudě při tavení na potěru ze směsi kostního a rostlinného popela a podobný proces patrně odráží i výsledky analýz vzorku 2006/12–549–9. Zlomek střepové misky se stopami bezolovnaté metalurgie stříbra 1/94–198–2 obsahuje povlak sulfidů stříbra a železa a křemičitou strusku s vysokým podílem vápníku i draslíku z rostlinného a kostního popela.

Další struskovitý povlak na střepu 2011/3–1576 leží svým chemismem na rozhraní skupiny se stopami bezolovnatých technologií stříbra a vzorků s vysokým podílem olova. Jeho silně alkalický struskovitý povlak obsahuje jen vedlejší koncentrace PbO (do 4 hm.%), a proto lze usuzovat, že střep posloužil při závěrečné etapě rafinace stříbra – dočišťování od posledních nežádoucích příměsí při oxidačním tavení na popelovitém potěru. Na tomto vzorku, stejně jako na střepu 2011/3–2291, byly detekovány globulky stříbra s významným podílem halových prvků – chloru a bromu. Jejich přítomnost může naznačovat, že při získávání stříbra či průběh suroviny mohlo dojít k použití tavidla v podobě mořské soli. Halit (NaCl) je hlavní součástí koncentrátů z mořské vody, brom pak běžnou příměsí. Mnohé příklady použití soli při hutnických a průběhských procesech můžeme najít v receptářích renesančních vzdělavců a technologů J. Agricoly, L. Erckera i dalších.

Existenci výše diskutovaných příměsí halogenidů lze hypoteticky spojit i s jiným fenoménem. Z některých oxidačních zón rudních ložisek Pb–Zn–Ag aridní zóny je znám minerál chlorargyrit, resp. embolit – Ag (Cl, Br). *Bernard – Rost a kol. (1992, 253 n.)* uvádějí, že tento nerost kdysi býval vydatnou rudou ložisek v Krušných horách i jinde v Evropě. Celistvý zemité chlorargyrit s ryzím stříbrem je zmiňován z horních pater v Jáchymově, Schneebergu (Sasko), jako tzv. Buttermilcherz (smíšen s jílem) v St. Andreasbergu (Harz) a jinde. Z těchto důvodů tedy nelze zcela vyloučit, že na střepu byla zpracovávána poměrně bohatá stříbrná ruda s obsahem chloru a bromu z některého z krušnohorských ložisek. Ostatně přítomnost bromu zjištěná analyticky v řeckých stříbrných tetradrachmách nalezených v Rumunsku je též dávana do souvislosti se složením stříbrných rud v některých transylvánských dolech, které obsahují bromidy stříbra (*Constantinescu – Săşianu – Bugoi 2003*).

Poslední možností je sekundární vznik AgCl, resp. AgBr při zvětvávání vzorku v rámci postdepozicičních procesů. Chloridy a bromidy stříbra tvoří frekventovanou součást korozních produktů na stříbrných artefaktech z archeologických výzkumů. Přítomnost AgBr ve zvětralinových povlacích stříbrných mincí byla zaznamenána na archeologických nalezištích s hojným obsahem organické hmoty (Cronyn 1990, 231).

Na dvou vzorcích metalurgických střepech se zachovaly stopy po práci se zlatem, resp. se slitinou tohoto kovu: 2011/3–600, 2011/3–1720. První z nich sloužil k finální rafinaci zlata, tj. odstranění posledních zbytků nežádoucích příměsí při žhání (tavení) kovu za přítomnosti vzduchu, tj. oxidačních podmínek, na střepech s potěrem obsahujícím vysoké koncentrace vápničku. Výsledný kov měl nejvyšší ryozost. Metalurgická operace se patrně podobala jednomu z postupů zkouňování (čištění) zlata popsáno *L. Erckerem* (1574, 160 n.), tj. za využití ledku ( $\text{KNO}_3$  nebo  $\text{NaNO}_3$ ) a nehašeného vápna ( $\text{CaO}$ ). Na střepech 2011/3–1720 proběhlo oddělování železa, mědi, stříbra a olova z metalurgického meziproductu (kamínku či černé mědi) do strusky za zvýšení podílu zlata. Detekované zbytky slitiny zlata měly složení přibližně 56 hm.% Au, 31 hm.% Ag a 13 hm.% Cu.

Kromě výroby a rafinace drahých kovů sloužily střepech běžných nádob i k dalším metalurgickým operacím. Křemičito-vápnito-hlinitá struska s vyšším podílem Cu i Pb na vzorku 12/93–23 obsahuje hojně kulovité a paprscité útvary tvořené mědí, resp. jejím oxidem. Střepech mohl být využit k oddělení mědi od strusky, případně k rafinaci tohoto kovu. Na dalším keramickém fragmentu 2011/3–1606 s výrazným tmavým struskovitým povlakem tvořeným kovovými prvky Fe, Pb, Sn, Cu a As a hojnými vyrostlicemi  $\text{SnO}_2$  se zachovaly stopy po nějaké úpravě surovin souvisejících s výrobou cínového bronzu.

Množství nálezů druhotně využitých fragmentů běžné keramiky (alespoň na území České republiky) vylučuje, že se jedná výhradně o pozůstatky prubířské činnosti – např. testování rudního (stříbrem bohatého) olova na obsah Ag. Dřívější analýzy vyšehradských vzorků, stejně jako námi provedená stanovení malostranských nálezů dokládají, že střepech měly multifunkční využití při extrakci a rafinaci stříbra, zlata, případně i mědi. Střepech z raně středověké Prahy sloužily k obdobným účelům jako speciální metalurgické keramické výrobky označované jako *heating trays* ze švédských lokalit Birka (9. až 10. století) a Sigtuna (počátek 11. století), detailně zpracované *Söderbergem* (2004, 117 n.).

Při zkoumání uvedeného typu nálezů jsme experimentálně ověřili, jakých teplot bylo při práci s nimi přibližně dosahováno. Jeden ze střepech s olovnato-silikátovým struskovitým povlakem 2011/3–2286 byl v rámci zkoušky zahříván v elektrické keramické peci postupně od 550 °C do 950 °C s krokem po 50 °C. Struskovitý povlak se začal natavovat až v rozmezí mezi 900 a 950 °C (obr. 23). Z pozorování zároveň vyplynulo, že teplota výpalu původní nádoby, ze které střepech pocházel, musela přesáhnout 950 °C.

U některých vzorků lze změřit či odhadnout velikost otisku po vytaveném koláčku kovu a představit si jeho přibližný objem (obr. 24). Např. na střepech 8/90–1152–47 se průměr negativu pohybuje okolo 1,5 cm. Ze stejné archeologické situace pochází střepechová hutnická miska 8/90–1154–14 s negativem o průměru kolem 1 cm. V těchto případech je pravděpodobné, že střepech skutečně sloužily k testu menšího množství suroviny na obsah drahého kovu. Většina dalších však byla upotřebena v některé z fází výroby drahých kovů. Přesvědčivým příkladem je střepechová miska s neúplným negativem po kovu 8/90–74–3, jehož odhadovaný průměr činil nejméně 5 cm. Při našem pokusu o zjištění hmotnosti kovu, který byl na uvedeném střepech zpracováván, došlo k roztavení cínu o objemu přibližně odpovídajícímu velikosti popsáno negativu (Zavřel – Čiháková – Ježek 2019, fig. 11).



Obr. 24. Otisky po vytavených koláčích kovu na zlomcích metalurgických miskovitých střepech (dle návrhu autorů zpracovala S. Babušková).

Fig. 24. Impressions from the smelted cakes of metal on fragments of metallurgical bowl-shaped potsherds.

Jeho váha činila 78,6 g. Z hustoty cínu ( $7,365 \text{ g/cm}^3$ ) a stříbra ( $10,49 \text{ g/cm}^3$ ) lze dovodit, že stejný objem čistého Ag by mírně přesahoval váhu 112 g. Bylo by z něho teoreticky možné např. vyrazit více než 100 denárů používaných v Čechách v 10. století, neboť ryzost stříbra v těchto mincích dosahovala hodnot 850–900/1000 (Šmerda 1996, 23) a průměrná váha jednoho denáru z období vlád Boleslava I. a Boleslava II. činila 1,172 g (Smolík 1899, 19).

S metalurgií neželezných kovů patrně souvisí i nevelké množství dalších nálezů. Kromě předmětů z olova (hrudka, nepravidelná placka se záchytným otvorem, kotouček a drobná objímka) se jedná o prubířské kameny a opukový kadlub. Nálezy olovených předmětů mladohradištního stáří jsou na pražské Malé Straně např. ve srovnání s moravskými obchodními centry (např. Kostice na Břeclavsku: Macháček – Měchura 2013) naprostou výjimkou. Nic na tom nemění ani výše popsany nález kadlubu z Thunovské ulice, který k odlévání výrobků z olova sloužil. Přítomnost ojedinělých mikroskopických částeczek zlata a slitiny mědi se zinkem na této formě nelze považovat za důkaz odlévání předmětů ze zlata a mosazi. Spíše souvisí s charakterem prostředí, kde byl kadlub využíván, tj. na metalurgickém pracovišti. Na dosud zkoumaných prubířských kamenech z Malé Strany se podařilo detekovat otěry kovů, které jsme zaznamenali i na technické keramice: olova, stříbra a slitin mědi. Na rozdíl od Vyšehradu se mezi malostranskými nálezy prozatím nevyskytly kusy pecních stěn se struskami neželezných kovů ani formy k odlévání ingotů.

Za převažující finální produkty malostranských metalurgických dílen lze za současného stavu poznání považovat koláčky stříbra různé velikosti a hmotnosti, po kterých zůstaly otisky (negativy) na struskovitých povlacích miskovitých střepů. Otevřená zůstává problematika původu zpracovávaných surovin. Chemické složení povlaků na převážné části analyzovaných střepů s výraznějším obsahem Ag vylučuje druhotné využití stříbrného šrotu či mincí. Naopak přítomnost dalších rudních prvků (např. As, Bi, Sn a Sb) a povlaky kamínků (hutnických poloproduktů) na některých vzorcích odpovídají spíše raným stádiím zpracování bohatých rud či rudních koncentrátů neželezných kovů. Naše zjištění jsou v rozporu s některými autory, předpokládajícími, že většina stříbra v počátcích českého státu (ať už ve formě zlomkového kovu, mincí nebo stříbrných předmětů) pocházela z importu (např. Majer 2004, 37), a to dokonce ze severní Afriky či Střední Asie (Šrein 2003, 625 n.). Z hlediska pátrání po primárních zdrojích rud stříbra lze upozornit na význačnou koncentraci bismutu ve vzorku 2011/3–2250. Výskyt tohoto kovu je charakteristický na rudních žilách asociací Ag–Co–Ni a Ag–As–Bi–Co–Ni (Jáchymov, Abertamy, Přísečnice). V saském Schneebergu na polymetalickém ložisku Ag–Bi–Co–Ni–U byl bismut dobýván společně se stříbrem.

Zatím orientační stanovení izotopového složení olova na některých malostranských střepích ukazují na podobnost se signaturou polských rud Pb a jsou téměř identické se signaturami metalurgických strusek z raně středověké lokality Na Slupi v Praze (s výjimkou jediného vzorku 2006/12–539A z areálu kláštera sv. Tomáše). Výsledky tedy potvrzují, že studované vzorky mají stejný zdroj olova.

Na základě našich pozorování lze za ideální typ nálezů dokládajících různé fáze výroby a zpracování neželezných kovů označit střepy kuchyňské keramiky, které druhotně sloužily při různých technologických hutnických postupech, ale výhradně jednorázově. Po úspěšném dokončení metalurgické operace byly při vyjímání kupelovaného kovu nebo jiného výsledného hutnického produktu většinou rozlomeny a jako bezcenné a znovu nepoužitelné zahozeny. Při častém praskání střepových misek zůstaly na jejich stěnách stopy různých nedokončených metalurgických postupů s významným potenciálem pro získání

nových poznatků. V dosavadním evropském diskursu jsou přitom z archeologických nálezů dokládajících metalurgii neželezných kovů z pohledu četnosti a jejich vypovídající hodnoty za nejlepší indikátory považovány tavicí kelímky (tyglíky) a odlévací formy (kadluby; např. *Bayley – Crossley – Ponting eds. 2008*, 12). Oba typy nálezů citovaní autoři považují za nerecyklovatelné. Možnost opětovného využití kelímku a forem naopak připouští *Dungworth (2000, 58)* a považuje to za jeden z rizikových faktorů při interpretaci výsledků chemických analýz uvedených archeometalurgických materiálů.

Archeologické pozůstatky výroby a zpracování neželezných kovů se na Malé Straně často nacházejí v místech, kde se souběžně ve značném rozsahu vyskytují doklady výroby a zpracování železa, tj. hutnické i kovářské železářské strusky, pyrotechnologické objekty, kousky železných rud a okuje (kolej theatinů, Lichtenštejnský palác, Malostranské nám. čp. 2). Prostorová souvislost výroby železa, stříbra a mědi byla prokázána i archeologickým výzkumem a následnými geochemickými analýzami archeometalurgických nálezů z ul. Na Slupi pod Vyšehradem.

## Závěr

Analýzy chemického složení vybraných raně středověkých archeometalurgických nálezů z Malé Strany svědčí o existenci dílen, které kromě výrazně dominujícího stříbra produkovaly též měď a její slitiny (mosaz, cínový bronz) a pracovaly s olovem i zlatem. K nejčastějším pozůstatkům této činnosti náleží keramické tavicí kelímky (tyglíky) a druhotně využitě miskovité střepy běžných nádob. Na stěnách technické keramiky se dochovaly struskovité, metalické a popelovité povlaky i drobné globulky kovů a výjimečně též části vsádek, dokládající množství rozdílných metalurgických operací souvisejících s výrobou a rafinací neželezných kovů, a to v redukčním i oxidačním prostředí a s využitím různorodých přísad – např. dřevěného uhlí, kostního i rostlinného popela, olova a klejtu, chloridu sodného či látek s vysokým obsahem vápničku.

U více exemplářů tavicích kelímků ulpěly na vnitřních stěnách povlaky i hroznovité útvary odpovídající složením hutnickému polotovaru – měděnému kamínku – ve formě slitiny sulfidů mědi a železa ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{FeS}$ ) a zjištěna byla i příměs dalších rudních prvků – Zn, Sn, Ag, Ni a As. Analytická data v těchto případech vylučují možnost využití kovového šrotu při získávání mědi nebo jejích slitin. Z šesti tyglíků obsahujících pozůstatky metalurgie stříbra čtyři neobsahovaly žádné stopy olova, resp. klejtu ( $\text{PbO}$ ). Toto zjištění naznačuje, že raně středověká výroba stříbra, spojená v archeometalurgické literatuře výhradně se dvěma základními operacemi využívající vlastnosti olova (tj. hutnění rud s podílem stříbra s olovem a následné oddělení Ag a Pb pomocí kupelace), probíhala i jinými (bezolovnatými) technologiemi.

Množství nálezů fragmentů běžné keramiky druhotně využitých v metalurgii vylučuje, že se jedná výhradně o pozůstatky prubířské činnosti. Provedená stanovení dokládají, že střepy měly multifunkční využití při extrakci a rafinaci stříbra, zlata, případně i mědi. Na jednom ze střepů s olovnato-křemičitou struskou se podařilo experimentálně ověřit, že při práci s ním se pracovní teplota pohybovala v rozmezí 900 až 950 °C.

Za převažující finální produkty malostranských metalurgických dílen lze považovat koláčky stříbra různé velikosti a hmotnosti, po kterých zůstaly otisky (negativy) na struskovitých povlacích miskovitých střepů. U některých vzorků lze změřit či odhadnout



velikost otisku po vytaveném koláčku kovu a představit si jeho přibližný objem. U střepe 8/90–74–3 jsme na základě experimentu odhadli váhu vyrobeného kovu na přibližně 112 g. Bylo by z něho teoreticky možné např. vyrazit více než 100 denárů používaných v Čechách v 10. století.

Otevřená zůstává problematika původu zpracovávaných surovin. Chemické složení povlaků na převážné části analyzovaných střepe a tavicích kelímků s výraznějšími obsahy stříbra nebo mědi vylučuje druhotné využití kovového šrotu či mincí. Naopak přítomnost dalších rudních prvků (např. As, Bi, Sn a Sb) a povlaky kamínků (hutnických poloproduktů) na některých vzorcích odpovídají spíše raným stádiím zpracování bohatých rud či rudních koncentrátů neželezných kovů. Naše zjištění jsou v rozporu s některými autory, předpokládajícími, že většina stříbra v počátcích českého státu (ať už ve formě zlomkového kovu, mincí nebo stříbrných předmětů) pocházela z importu a že měď se na českém území neuhnila před rokem 1300.

Důkazy o hutnění a rafinaci drahých a ušlechtilých kovů pomocí sofistikovaných technologických postupů v centru tehdy osídleného prostoru pod Pražským hradem (daleko od primárních zdrojů rudy), a to nejpozději od 1. třetiny 10. století, dokládají nutnost nového pohledu na tuto problematiku. Předkládané výsledky mohou být základem pro řešení zásadních otázek souvisejících s počátky rané středověké exploatace, obchodu a zpracovávání rud neželezných kovů ve středoevropském prostoru i s hospodářskými poměry v počátcích českého státu.

*Práce vznikla v rámci plnění výzkumného cíle Národního památkového ústavu „Archeologie: Nové historické prameny k dějinám území ČR“ financovaného z institucionální podpory Ministerstva kultury na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace a díky podpoře Grantové agentury ČR, projekt reg. č. 16-22207S.*

*Autoři děkují prof. Vojtěchu Ettlrovi za pomoc při vyhodnocení analýz izotopů olova, Milanu Holubovi za cenné připomínky k textu a Aleši Wernerovi za provedení testu teploty tavení povlaku na keramickém střepe.*

## Literatura

- Bartůněk, V. – Varadzin, V. – Zavřel, J. 2018: Carbon tape microsampling for non-destructive analyses of artefacts. *Archaeological and Anthropological Sciences* 10, 2173–2177.
- Bayley, J. 2008: Medieval precious metal refining: archaeology and contemporary texts compared. In: M. Martínón-Torres – Th. Rehren eds., *Archaeology, history and science: integrating approaches to ancient materials*, Walnut Creek: Left Coast Press, 131–150.
- Bayley, J. – Crossley, D. – Ponting, M. eds. 2008: *Metals and metalworking: A research framework for archaeometallurgy*. Historical Metallurgy Society Occasional Publication No. 6. London: The Historical Metallurgy Society.
- Bayley, J. – Eckstein, K. 2006: Roman and medieval litharge cakes: structure and composition. In: J. Pérez-Arantegui ed., *34th International Symposium on Archaeometry*, 3–7 May 2004, Zaragoza, Spain, Zaragoza: Institución “Fernando el Católico”, 145–153.
- Bayley, J. – Rehren, T. 2007: Towards a functional and typological classification of crucibles. In: S. La Niece – P. Craddock eds., *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*. London: Archetype Publications in association with the British Museum, 46–55.
- Bernard, J. H. – Rost, R. a kol. 1992: *Encyklopedický přehled minerálů*. Praha: Academia.
- Boháčová, I. 2006: Stará Boleslav – stav a perspektivy studia funkcí a prostorového uspořádání přemyslovského hradu. *Archeologické rozhledy* 58, 695–723.
- Constantinescu, B. – Săşianu, A. – Bugoi, R. 2003: Adulterations in first century BC: the case of Greek silver drachmae analyzed by X-ray methods. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 58, 759–765.

- Cronyn, J. M. 1990: *The Elements of Archaeological Conservation*. London: Routledge.
- Čiháková, J. 2001: Raně středověké fortifikace na jižní hranici pražského levobřežního podhradí. In: M. Ježek – J. Klápště eds., *Mediaevalia archaeologica 3. Pražský hrad a Malá Strana*, Praha: Archeologický ústav AV ČR, 29–135.
- Čiháková, J. 2009: Opevnění Malé Strany od 9. do 13. století. *Staletá Praha 25/1*, 2–30.
- Čiháková, J. 2012a: Otázky chronologie pražské raně středověké keramiky. *Staletá Praha 28/2*, 91–120.
- Čiháková, J. 2012b: Ke stavebním dějinám kláštera augustiniánů eremitů u kostela sv. Tomáše v Praze. *Průzkumy památek 19/2*, 176–185.
- Čiháková, J. 2017: Opevnění podhradí a dřevěná cesta v Mostecké ulici. In: I. Boháčová – J. Podliska eds., *Průvodce pražskou archeologií: Památky známé, neznámé i skryté*, Praha: Archeologický ústav AV ČR, 96–98.
- Čiháková, J. 2018a: The Lesser Town of Prague in the Tenth and Eleventh Centuries. In: P. Kouřil – R. Procházka eds, *Moravian and Silesian Strongholds of the Tenth and Eleventh Centuries in the Context of Central Europe*. *Spisy Archeologického ústavu AV ČR Brno*, sv. 57, Brno: Archeologický ústav AV ČR, 283–303.
- Čiháková, J. 2018b: Die Rotunde des hl. Wenzels in Prag-Kleinseite – ihre Gestalt, Projekt sowie Vorgänger. In: T. Janiak – D. Stryniak eds, *Architektura w początkach państw Europy Środkowej / Architecture in the Early Period of the States of Central Europe*, Gniezno: Muzeum Początków Państwa Polskiego w Gnieźnie, 151–174.
- Čiháková, J. – Müller, M. 2006: Zpráva o nálezu rotundy sv. Václava na Malostranském náměstí v Praze. *Zprávy památkové péče 66*, 100–116.
- Čiháková, J. – Müller, M. 2008: Dřevěná cesta přes mokřinu v jihozápadním rohu Malostranského náměstí: vyhodnocení archeologických výzkumů. *Archeologické prameny k dějinám Prahy*, svazek 3. Praha: Národní památkový ústav v Praze (e-Book).
- De Vleeschouwer, F. – Fagel, N. – Cheburkin, A. – Pazdur, A. – Sikorski, J. – Mattielli, N. – Renson, V. – Fialkiewicz, B. – Piotrowska, N. – Le Roux, G. 2009: Anthropogenic impacts in North Poland over the last 1300 years – A record of Pb, Zn, Cu, Ni and S in an ombrotrophic peat bog. *Science of The Total Environment 407*, 5674–5684.
- Dungworth, D. 2000: A note on the analysis of crucibles and moulds. *Historical Metallurgy 34/2*, 83–86.
- Erb-Satullo, N. L. – Gilmour, B. J. J. – Khakhutaishvili, N. 2015: Crucible technologies in the Late Bronze-Early Iron Age South Caucasus: Copper processing, tin bronze production, and the possibility of local tin ores. *Journal of Archaeological Science 61*, 260–276.
- Ercker, L. 1574: *Beschreibung aller fiirmemisten mineralischen Ertz und Berckwercksarten*. Prag. – Český překlad: P. Vitouš (1974): *Kniha o průběžství*. Praha: Národní technické muzeum.
- Ettler, V. – Johan, Z. – Zavřel, J. – Selmi Wallisová, M. – Mihaljevič, M. – Šebek, O. 2014: Slag remains from the Na Slupi site (Prague, Czech Republic): evidence for early medieval non-ferrous metal smelting. *Journal of Archaeological Science 53*, 72–83.
- Ettler, V. – Mihaljevič, M. – Komárek, M. 2004: ICP-MS measurements of lead isotopic ratios in soils heavily contaminated by lead smelting: tracing the sources of pollution. *Analytical and Bioanalytical Chemistry 378*, 311–317.
- Forbes, R. J. 1971: *Studies in Ancient Technology*. Vol. VIII. Second revised edition. Leiden: E. J. Brill.
- Frolík, J. – Šrein, V. – Tomášek, M. 2001: Archeologické doklady zpracování kovů v Čáslavi 13. a 1. poloviny 14. století. *Archaeologica historica 26*, 55–66.
- Galuška, L. 1989: Výrobní areál velkomoravských klenotníků ze Starého Města-Uherského Hradiště. *Památky archeologické 80*, 405–454.
- Galuška, L. 1993: Archeologický výzkum na slovanském hradišti sv. Klimenta u Osvětman v roce 1989 (okr. Uherské Hradiště). *Přehled výzkumů 1989*, 73–74.
- Havrdá, J. – Podliska, J. – Zavřel, J. 2001: Surovinové zdroje, výroba a zpracování železa v raně středověké Praze: Historie, současný stav a další perspektivy bádání. *Archeologické rozhledy 53*, 91–118.
- Havrdá, J. – Tryml, M. 2013: Nebovidy. Středověká osada v pražském podhradí. *Archeologické prameny k dějinám Prahy*, sv. 3. Praha: Národní památkový ústav v Praze.
- Havrdá, J. – Zavřel, J. 2008: Pozůstatky raně středověkého metalurgického pracoviště v areálu Klementina na Starém Městě pražském. *Archaeologica Pragensia 19*, 333–357.
- Havrdá, J. – Zavřel, J. 2019: Nové archeometalurgické nálezy z areálu Klementina v Praze. *Archaeologica historica 44/2*, 769–785.
- Hrdlička, L. 1972: Předběžné výsledky výzkumu v Praze 1 na Klárově. *Archeologické rozhledy 24*, 644–663.

- Hrubý, P. 2019:* Metalurgická produkční sféra na Českomoravské vrchovině v závěru přemyslovské éry. Opera Facultatis philosophicae Universitatis Masarykianae 487. Brno: Filozofická fakulta, Masarykova univerzita.
- Hrubý, P. – Hejhal, P. – Malý, K. 2012:* K metalurgii při středověké produkci stříbra na Českomoravské vrchovině. Archeologica technica 23, 22–50.
- Hrubý, V. 1965:* Staré Město. Velkomoravský Velehrad. Praha: ČSAV.
- Charvátová, K. – Valentová, J. – Charvát, P. 1985:* Sídliště 13. století mezi Malínem a Novými Dvory, o. Kutná Hora. Památky archeologické 76, 101–167.
- Ježek, M. – Zavřel, J. 2010:* Prubířské kameny mezi archeologickými nálezy. Archeologické rozhledy 62, 608–628.
- Ježek, M. – Zavřel, J. 2013:* Touchstones in graves from the Avar and Great Moravian periods. Archäologisches Korrespondenzblatt 43, 117–129.
- Killick, D. 2014:* From ores to metals. In: B. W. Roberts – CH. P. Thornton eds., Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses, New York etc.: Springer, 11–45.
- Klanica, Z. 1974:* Práce klenotníků na slovanských hradištích. Studie Archeologického ústavu ČSAV v Brně, sv. 6. Praha: Academia.
- Kořan, J. 1984:* Kapitoly z dějin hutnictví barevných a drahých kovů I. Z dějin hutnictví 12, 62–73.
- Macháček, J. – Měchura, R. 2013:* Raně středověké olovo z jižní Moravy a hutnické centrum na Slezsko-kra-kovské vysočině. In: P. Boroň ed., Argenti fossores et alii, Katowice: Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, 275–287.
- Majer, J. 2004:* Rudné hornictví v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Praha: Nakladatelství Libri.
- Merkel, S. 2016:* Carolingian and Ottonian Brass Production in Westphalia: Evidence from the Crucibles and Slag of Dortmund and Soest. Metalla 22/1, 21–39.
- Merva, S. 2017:* 8th–9th Century Metalsmith's Furnace from Visegrád, Sibrik-Domb. Hungarian Archaeology E-Journal, 2017 Winter, 46–60.
- Militká, L. – Beneš, Z. – Šámal, Z. 2018:* Nové pravěké a raně středověké nálezy z areálu bojiště u Lipan, okr. Kolín. Archeologie ve středních Čechách 22, 663–678.
- Miller, D. – Killick, D. J. 2004:* Slag identification at Southern African archaeological sites. Journal of African Archaeology 2, 23–47.
- Moureaux, S. – Thomas, N. 2016:* Understanding Texts with the Help of Experimentation: The Example of Cupellation in Arabic Scientific Literature. Ambix 63/2, 98–117.
- Müller, M. 2015:* Několik vzácnějších mincí z výzkumů na Malé Straně. In: J. Podliska ed., V za(u)jetí malo-stranských stratigrafií, Praha: Národní památkový ústav v Praze, 140–149.
- Niederschlag, E. – Pernicka, E. – Seifert, Th. – Bartelheim, M. 2003:* The determination of lead isotope ratios by multiple collector ICP-MS: A case study of early Bronze Age artefacts and their possible relation with ore deposits of the Erzgebirge. Archaeometry 45, 61–100.
- Nováček, K. 2004:* Středověká výroba „falešného stříbra“ v Kutné Hoře? K interpretaci technologií v hutnické dílně mezi Malínem a Novými Dvory na Kutnohorsku. In: K. Nováček ed., Mediaevalia archaeologica 6. Těžba a zpracování drahých kovů: sídelní a technologické aspekty, Praha: Archeologický ústav AV ČR, 211–221.
- Pleslová-Štiková, E. 1976:* Makotřasy – čtvercové „opevnění“ na sídlišti kultury nálevkovitých pohárů v Čechách. Sborník prací filozofické fakulty brněnské univerzity 24–25 – řada archeologicko-klasická (E), č. 20–21, 157–173.
- Procházka, R. – Hložek, M. – Holubová Závadná, B. 2011:* Doklady nezelezné metalurgie ze sklonku 12. století z Brna, Josefské ulice. Archeologické rozhledy 63, 65–89.
- Procházka, R. – Peška, M. 2007:* Základní rysy vývoje brněnské keramiky ve 12.–13./14. století. Přehled výzkumů 48, 143–299.
- Ptáček, M. – John, J. – Beneš, J. 2018:* Olovené předměty z hradiště Na Jánu v Netolicích. Archeologické výzkumy v jižních Čechách 31, 247–252.
- Rehren, T. 2003:* Crucibles as reaction vessels in ancient metallurgy. In: P. Craddock – J. Lang eds., Mining and Metal Production through the Ages, London: British Museum Press, 207–215.
- Richter, M. 1982:* Hradištko u Davle. Městečko ostrovského kláštera. Praha: Academia.
- Rostoker, W. 1975:* Some Experiments in Prehistoric Copper Smelting. Paleorient 3, 311–315.
- Smolík, J. 1899:* Denáry Boleslava I., Boleslava II., Boleslava III. a Vladivoje. Rozpravy České akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění VII, tř. I, č. 2, 1–122. Praha: Česká akademie císaře Františka Josefa.

- Söderberg, A. 2004: Metallurgic ceramics as a key to Viking Age workshop organisation. *Journal of Nordic Archaeological Science* 14, 115–124.
- Söderberg, A. 2011: Eyvind Skáldaspillir's silver – refining and standards in pre-monetary economies in the light of finds from Sigtuna and Gotland. In: R. Edberg – A. Wikström eds., *Situne Dei* 2011. Årsskrift för Sigtunaforskning och historisk arkeologi Sigtuna museum, Sigtuna: Museum of Sigtuna, 5–34.
- Stehlíková, D. 1983: Pražské zlatnické dílny v 15. století. *Archaeologia historica* 8, 267–285.
- Škácba, P. – Goliáš, V. – Sejkova, J. – Plášil, J. – Strnad, L. – Škoda, R. – Ježek, J. 2009: Hydrothermal uranium-polymetallic mineralization of the Jánská vein, Březové Hory, Příbram, Czech Republic: Lead isotopes and CHIME dating. *Journal of Geosciences* 54, 1–13.
- Šmerda, J. 1996: Denáry české a moravské: Katalog mincí českého státu od X. do počátku XIII. století. Brno: Datel.
- Šmíd, M. – Petřík, J. – Slavíček, K. – Šianský, D. 2017: Tyglík z objektu jordanovské kultury z Rousínova-Rousínovce. *Pravěk NŘ* 24, 9–22.
- Šrein, V. 2003: Příspěvek k objasnění původu stříbra v Čechách okolo roku 1000. *Archeologie ve středních Čechách* 7, 625–631.
- Turek, R. 1956: Po stopách libické mincovny. *Numismatické listy* 11, 164–166.
- Vaněk, V. – Velebil, D. 2007: Staré hutnictví stříbra. In: *Stříbrná Jihlava 2007. Studie k dějinám hornictví a důlních prací*, Jihlava: Muzeum Vysočiny Jihlava, Archaia Brno, 188–205.
- Varadzin, L. – Zavřel, J. 2015: Pozůstatky raně středověké metalurgie stříbra, zlata a dalších neželezných kovů na vyšehradské akropoli. In: V. Moucha – B. Nechvátal – L. Varadzin et al., *Vyšehrad. Knížecí a královská akropole. Svědectví archeologie*, Praha: Archeologický ústav AV ČR, 391–418.
- Varadzin, L. – Zavřel, J. v tisku: Metalurgie stříbra a dalších ušlechtilých kovů. In: I. Štefan – L. Varadzin et al., *Zrod hřbitova. Vrbno u Mělníka a počátky farní organizace*, Praha: Archeologický ústav AV ČR.
- Zavřel, J. 1997: Iron making in the centre of Prague basin and possible origin of the name of the Town of Praha (Prague). In: *Život v archeologii středověku. Sborník příspěvků věnovaných Miroslavu Richterovi a Zdeňku Smetánkovi*, Praha: Archeologický ústav AV ČR, 667–675.
- Zavřel, J. 2000: Nálezová zpráva Praha 1 – Malá Strana, Karmelitská čp. 377/III. *Archeologický výzkum PÚPP č. 44/00. Archiv NPÚ v Praze*.
- Zavřel, J. 2003: Skláři v pražském podhradí?. *Archeologické rozhledy* 55, 718–735.
- Zavřel, J. 2005: Mikroanalýzy sklovitých hmot ze Staré Boleslavi (odborný posudek). *Archiv ARÚ AV ČR Praha, čj. 2550/06*.
- Zavřel, J. 2013: Stopy neželezné metalurgie. In: J. Havrda – M. Tryml, *Nebovidy. Středověká osada v pražském podhradí. Archeologické prameny k dějinám Prahy, svazek 6*, Praha: Národní památkový ústav v Praze, 219–222.
- Zavřel, J. 2019: Petrografický rozbor a výsledky EDS-SEM analýz povrchu potenciálních prubišských kameňů z archeologických nálezů na Starém Městě a Malé Straně v Praze. *Zpráva pro NPÚ Praha, bez č.j.*
- Zavřel, J. – Čiháková, J. – Ježek, M. 2019: Domestic pottery sherds used in non-ferrous metalworking: A study from early medieval Prague. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, 5339–5358.
- Zavřel, J. – Mařík, J. 2012: Nové doklady zpracování drahých kovů v raném středověku (předběžné sdělení). *Acta rerum naturalium* 12, 99–105.

## Silver Prague

### The results of analyses of early medieval archaeometallurgical finds from the Lesser Quarter

The article summarises information that was gradually obtained during the study of early medieval archaeometallurgical finds connected with the production and refining of non-ferrous metals in the territory of today's Lesser Quarter (Malá Strana) in Prague. Our attention was focused mainly on slag-like, vitreous or metallic coatings, metal lumps, dropled and mineral phases on the walls of ceramic melting crucibles and sherds of common vessels used secondarily in metallurgy. However, even less-common artefacts testifying to work with non-ferrous metals were studied: touchstones, mould and artefacts made of lead.

The section devoted to the origin of analysed samples briefly describes archaeological conditions, stratigraphic situations and the age of the relevant finds from eight main sites (*fig. 1*). The dating of samples is based on the stratification of pottery assemblages from the individual layers.

Selected finds were subjected to analyses, which are presented in *tabs. 1–5* (the analytical method of EDS–SEM, the concentration of identified elements or oxides in weight% standardised to 100 %) and in *tab. 6* (the analytical method ICP–QMS, ratios of stable lead isotopes).

A total of 42 fragments of early medieval ceramic crucibles have been identified thus far in the presented Lesser Quarter find assemblages; 17 specimens from five sites were analysed in greater detail (*tab. 1*). Ten samples document work with copper and its alloys: 8/90–335, 8/90–921, 8/90–1202 + 1232, 1/94–572 + 1340, 2006/12–539B + 540, 2011/3–2736 + 3525. Another six can be positively linked to silver (or silver and gold) metallurgy: 8/90–694, 1/94–2118, 2/04–139 + 500, 2011/3–1700 + 1811. In the case of one sample (2006/12–303), the results of the analysis did not allow a more precise determination of the processed metal. The inner walls of five of the crucibles containing traces of copper or their alloys had coatings or aciniform formations corresponding to the composition of intermediate metallurgy products – copper matte – in the form of alloys of copper and iron sulphides ( $\text{Cu}_2\text{S}$ , FeS); an admixture of other ore elements was also identified (Zn, Sn, Ag, Ni and As). In these cases, analytical data rule out the possibility of the use of scrap metal to acquire copper or its alloys. Of the six crucibles containing remnants of silver metallurgy, four contained no traces of lead or litharge (PbO), a finding that suggests that the early medieval production of silver connected in archaeometallurgical literature exclusively with two basic operations taking advantage of the qualities of lead (i.e. the smelting of ore with a share of silver with lead and the subsequent separation of Ag and Pb by means of cupellation), was also performed using different (lead-free) technologies.

Another important group of studied samples was composed of bowl-shaped potsherds from common domestic pottery that was secondarily used in certain metallurgical processes. To date, 108 specimens have been identified within the presented archaeological excavations, 28 of which from six sites have been subjected to detailed analyses (*tab. 2*). In the vast majority of cases, the remnants of metallurgical processes in the form of various coatings and metal prills are found on the inner wall of the original vessel. However, there are also cases (by no means rare) in which the potsherd cracked and the melted charge or products of an incomplete metallurgical operation stuck to the fracture or spilled onto the outer surface of the potsherd.

Based on the evaluation of the analyses, 19 potsherds of domestic (or kitchen) pottery were positively connected with silver metallurgy: 8/90–42–2, 8/90–74–3, 8/90–192, 8/90–695, 8/90–1104, 8/90–1152–47, 8/90–1154, 8/90–1233, 12/93–6, 1/94–198, 2006/12–539A, 2011/3–1576, 2011/3–1879, 2011/3–1888, 2011/3–1970, 2011/3–2136, 2011/3–2250, 2011/3–2291 and 2017/48–26. With four other potsherds (8/90–550, 2006/12–541, 2011/3–296, 2011/3–1872), it was not possible to unequivocally determine the processing of metal, though it is very likely that they were also involved in work with silver or copper (they have a coating with a high share of litharge or bone ash). As such, silver metallurgy left behind positive traces on 65 % of analysed potsherds, and another four samples can be included in this group with a high degree of probability, thus bringing the overall share close to 80 %.

Our analysed bowl-shaped potsherds were perhaps used most frequently in the process of silver cupellation, which, in simple terms, involved blowing air on molten lead with a share of silver. The lead oxidised, producing litharge, which melted any base metals (e.g. copper) and impurities, separating them from the precious metal. The surface oxide shell could be mechanically removed or it soaked into the coating from bone ash on the inner side of the potsherd wall.

Traces of work with gold or its alloy were preserved on two samples of metallurgical potsherds: 2011/3–600, 2011/3–1720. The first of these served for the final refining of gold, i.e. for the removal of the last remnants of unwanted admixtures from the annealing (melting) of metal under oxidising conditions on a potsherd with a coating containing a high concentration of calcium. On the second potsherd, impurities were separated from the melted alloy of gold with silver and copper into slag.

As in the group of melting crucibles, there were also specimens among the bowl-shaped sherds that we can connect with lead-free technologies for working with silver: 8/90–695, 8/90–1152–47, 2006/12–549–9 and 1/94–198–2. Besides the production and refining of precious metals, these artefacts also served other operations unspecified in greater detail connected with copper or bronze metallurgy.

The large number of finds of secondarily used fragments of common pottery rule out the possibility that these were exclusively the remnants of assaying activities. The findings document that the potsherds had multifunctional uses in the extraction and refining of silver, gold and possibly even copper. An experiment verified that work with one potsherd with lead-silica slag was in the range of 900–950 °C.

The predominant final products of the Lesser Quarter metallurgy workshops were silver cakes of various sizes and weight that left impressions (negatives) on the slag-like coatings on the bowl-shaped potsherds. It is possible with certain samples to measure or estimate the size of the impression from the molten cake of metal and get an idea of its approximate volume. On the basis of an experiment, we were able to estimate the weight of the metal produced on potsherd 8/90–74–3 as roughly 112 g, from which more than 100 of the denarii used in 10<sup>th</sup>-century Bohemia could be minted.

The issue of the origin of the processed raw materials remains unanswered. The chemical composition of the coatings on the majority of analysed potsherds and crucibles with a greater content of silver or copper rules out the secondary use of metal scrap or coins. On the other hand, the presence of other ore elements (e.g. As, Bi, Sn and Sb) and coatings of matte (smelting phase) on certain samples corresponds more to the early stages of processing rich ores or ore concentrations of non-ferrous metals. Our findings conflict with those of certain authors who assume that the majority of silver at the beginning of Czech statehood (be it in the form of scrap metal, coins or silver objects) came from imports and that copper was not smelted in Czech territory before 1300.

From the perspective of the origin of the ore raw material, the significant concentration of bismuth in sample 2011/3–2250 is noteworthy. The occurrence of this metal is characteristic of ore veins of Ag–Co–Ni and Ag–As–Bi–Co–Ni associations (Jáchymov, Abertamy, Přísečnice). Bismuth was extracted along with silver from a polymetallic deposit of Ag–Bi–Co–Ni–U in Schneeberg, Saxony. For now, the approximate determination of the isotopic composition of lead on certain Lesser Quarter potsherds shows a similarity to the signature of Polish lead ore, and they are virtually identical to the signatures of metallurgical slag from the Na Slupí early medieval site in Prague (with the exception of a single sample). Hence, the results confirm that the studied samples have the same source of lead.

A small amount of other finds is apparently also related to the metallurgy of non-ferrous metals. Besides lead objects (a lump, an irregular flat piece with an opening for handling, a disc and a small collar), these were touchstones (four specimens with traces of tests on objects containing Cu, Zn, Sn, Ag, Cu and Pb) and a marlstone mould for casting items from lead.

Analyses of the chemical composition of selected early medieval archaeometallurgical finds from the Lesser Quarter document the existence of workshops which, besides heavily dominant silver, also produced copper and its alloys (brass, tin bronze) and worked with lead and gold, beginning in the first third of the 10<sup>th</sup> century at the latest. The slag-like, metallic and ashy coatings and small prills of metal (and in rare cases also part of the charge) preserved on the walls of technical ceramics document various metallurgy operations connected with the production and refining of non-ferrous metals in both reducing and oxidising atmospheres and with the use of a variety of additives such as wood charcoal, bone and plant ash, lead and litharge, sodium chloride or substances with a high calcium content. Evidence of the smelting and refining of precious and noble metals using sophisticated technological processes in the centre of the settled area beneath Prague Castle at the time (i.e. far away from primary sources of ore) could be the foundation of a new view of the beginnings of the medieval exploitation and processing of ores of non-ferrous metals in central Europe and of the economic conditions at the time of the formation of the Czech state.

English by *David J. Gaul*

JAN ZAVŘEL, Národní památkový ústav, úz. odb. pracoviště v Praze, Na Perštýně 12, CZ-110 00 Praha; Archeologický ústav AV ČR, Letenská 4, CZ-118 01 Praha; zavreljan@centrum.cz

JARMILA ČIHÁKOVÁ, Národní památkový ústav, úz. odb. pracoviště v Praze, Na Perštýně 12, CZ-110 00 Praha cihakova.jarmila@npu.cz