

Hrubý, Petr

Doklady metalurgické úpravy a hutnictví stříbrnosných polymetalických rud

In: Hrubý, Petr. *Metalurgická produkční sféra na Českomoravské vrchovině v závěru přemyslovské éry.*
Vydání první Brno: Filozofická fakulta, Masarykova univerzita, 2019, pp. 113-144

ISBN 978-80-210-9226-6; ISBN 978-80-210-9227-3 (online : pdf)

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/141101>

Access Date: 16. 02. 2024

Version: 20220831

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

11 DOKLADY METALURGICKÉ ÚPRAVY A HUTNICTVÍ STŘÍBRNOSNÝCH POLYMETALICKÝCH RUD

Pozůstatky středověkých hutí produkujících drahé a barevné kovy z 11. století až přelomu 13. a 14. století byly v rámci dosavadního montánního archeologického výzkumu v Evropě zkoumány ve Schwarzwaldu i ve Vogézách. Známe odsud četné typy strusek, které jsou přímo analogické hutnímu odpadu z Českomoravské vrchoviny (*Goldenberg 1996*, 50–105, 194; *Gauthier a kol. 2015*, 274–276). Také v hornatině Siegerland známe dvě struskoviště, která jsou spjata s rozvinutým hornickým centrem *Altenberg* ze 13. století (*Dahm a kol. 1998*, 199–210). Moderními metodami byl zkoumán hutnický areál v údolí potoka *Zitzenbach* (*Zeilner a kol. 2016*, 193–195). Nejvíce hutnických pracovišť od 8. do 17. století evidujeme v západním Harzu (*Bartels a kol. 2007*, 439–488). V německém Krušnohoří známe hutniště *Kohlung* s vazbou na důlní centrum v poloze *Treppenhauer* ze 13. až 14. století (*Schwabenicky 2009*, 87–90). Také na území Kutné Hory, popřípadě v jejím zázemí, jako třeba v údolí *Bylanky*, nalezneme zatím nečetné stopy hutnických provozů, ačkoliv tyto nejsou přesně datovány (*Bartoš 2004*, 192–193).

Hutnické areály v údolích potoků a řek

Na Českomoravské vrchovině se nacházelo množství různě velkých hutnických provozů. Jejich indikátorem jsou struskoviště, tj. lokální kumulace odpadu po hutnických tavnách a jsou dnes patrné většinou v podobě aplanovaných hald v lesním či náletovém porostu. Středověká struskoviště nalézáme zpravidla v blízkosti vodních toků, kde jsou převrstveny potočními sedimenty a vegetací, ovšem nalezneme je i volně v řečištích. Na Havlíčkobrodsku jich známe okolo dvou desítek, na Jihlavsku se koncentrují na Bělokamenském potoce (2 lokality) a Smrčenském potoce (2 lokality). Část těchto areálů pracovala, pokud nalézaná keramika dovoluje jistější datování, nejen v období konjunktury v druhé polovině 13. století, ale existovala i ve století následujícím a výjimečně i déle. V údolí řeky *Jihlavy* na Starých Horách známe dosud struskoviště jediné a nedatované (*Havlíček 2007*; *Malý – Rous 2001*; *Malý a kol. 2007*; *Rous*

2007; *Rous – Malý 2004*; *Hrubý a kol. 2012a*; *b*; *Hrubý 2011*, 28, 258–261; *2014*, 612, 617, Obr. 9; *Vosáhlo 2012*). Na Pelhřimovsku byla dosud detekována struskoviště u Čejkova (viz níže) a na lokalitě *Cvilínek*. Má se za to, že důvodem pravidelné přítomnosti hutnišť u vodotečí je pohon měchů pecí vodním kolem. Přesouvání hutí do údolí a jejich územní stabilizace byly prokázány v západním Harzu, kde se pro tento typ areálů žilo označení *Talhöuten* a kde tento proces probíhal od počátků 13. století v souvislosti s právními a organizačními změnami, ale také s technickými inovacemi, především se zaváděním pohonu měchů pecí vodním kolem (*Bartels a kol. 2007*, Abb. 13, 112, Abb. 39, 114–118, 125–186). Tento jev však může souviset i s pravidelnou blízkostí gravitačních úprav, které mokrou cestou produkovaly rudní koncentrát. S hutěmi proto byly z praktických důvodů prostorově propojeny, a proto i ony jsou blízko vody bez ohledu na to, zda měchy pecí vodní kola skutečně poháněla. Podobně jako lze rozlišovat z hlediska trvání, rozsahu a objemu těžby tzv. velkoprovaz a maloprovaz, lze vyčlenit nejprve hutnické provozy centrální. Ty pracovaly stabilně, dlouhodobě a tavily se zde rudy z více důlních podniků v okolí. Příkladem takového metalurgického provozu je lokalita v údolí řeky *sázavy* u *Utína*. Protikladem toho jsou malá hutniště lokální, zřízená krátkodobě a účelově ke zpracování rud z blízkých malých provozů. Jejich život končil zpravidla po vyčerpání daného ložiska a uzavření příslušného důlního provozu (*Rous – Malý 2004*, 122, 130).

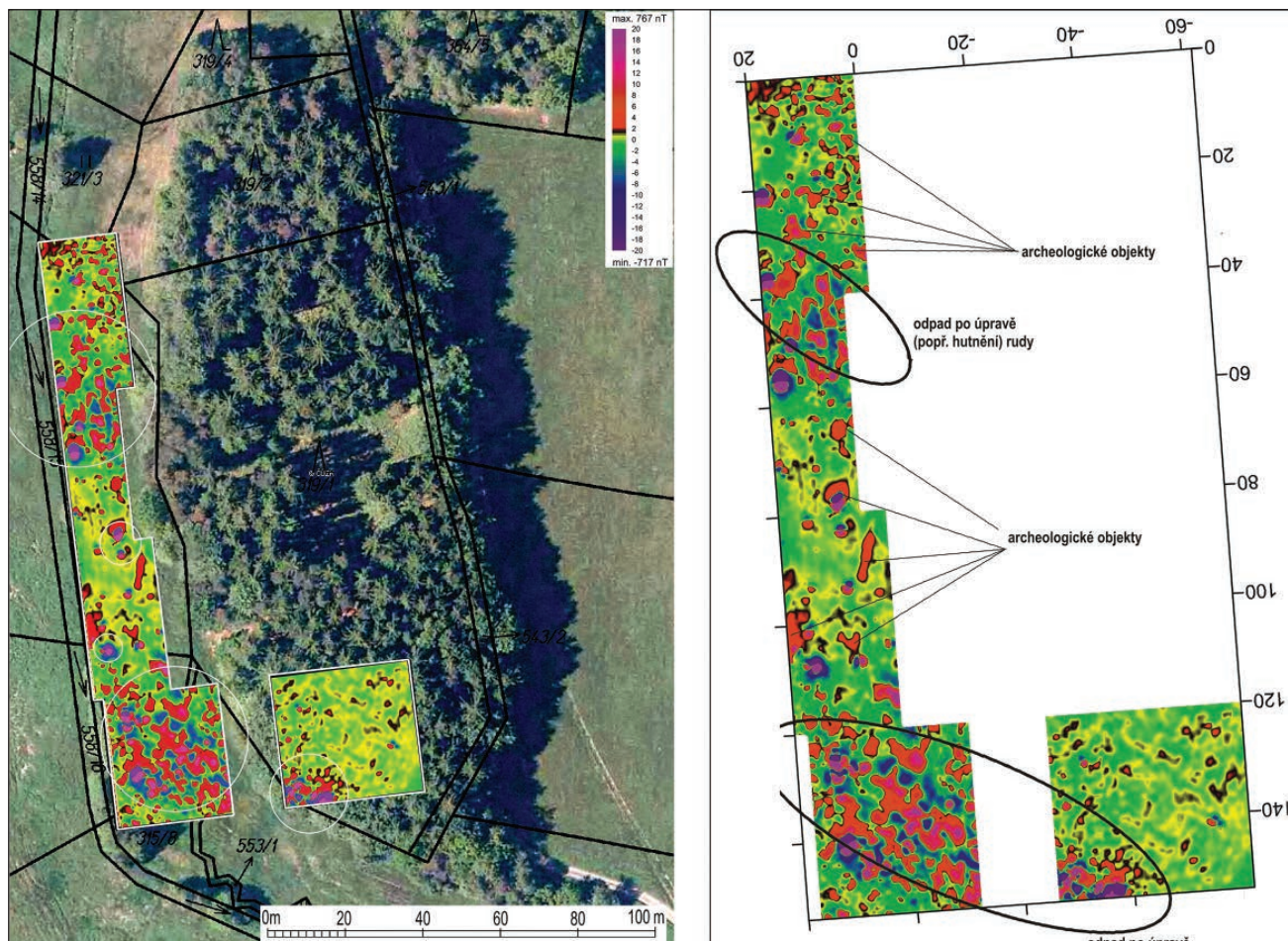
Z hutnišť 13. až 14. století, která řadíme k tomuto typu a která byla nověji archeologicky zkoumána, možno uvést následující příklady.

Čejkov (okr. Pelhřimov): struskoviště na bezejmenné vodoteči: Hutniště u Čejkova řadíme mezi typické metalurgické provozy v údolích vodotečí (obr. 5: 14, obr. 84–85). Geomagnetické měření ukazuje rozsáhlé anomálie v jižní části lokality (asi 30 × 30 m), kde bylo povrchovými průzkumy i mikrosondážemi nalezeno množství hutnických strusek, ale i dva zlomky kamenné vyzdívky či níštěje pecí (obr. 104). Další geomagnetickou anomálii nalezneme v severní části areálu.



Obr. 84. Čejkov. **1:** Ortofotomapa s porostovými anomáliemi indikujícími průběh jámového tahu. V nivě potoka je vyznačen zpracovatelský areál se struskovištěm. Podklad převzat z mapového serveru ČÚZK; **2:** Císařské otisky Stablního katastru z roku 1829, na nichž je průběh důlního tahu dobře patrný. V nivě potoka se nalézá struskoviště (SK č. 0821-1).

Fig. 84. Čejkov. **1:** Orthophoto map with spatial anomalies indicating the course of the opencast mining zone. An ore processing area with slag dump is marked out in the floodplain of the local stream. Background map was borrowed from the map server of the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre. **2:** The 1829 Imperial Obligatory Imprints of the Stable Cadastre, where the course of the opencast mining zone is well visible. Slag dump is situated in the floodplain of the stream (SK No. 0821-1).



Obr. 85. Čejkov. Magnetogram zobrazující naměřené podpovrchové anomálie v nivě potoka se struskovištěm a dalšími indiciemi úpravnického areálu. Podklad převzat z leteckých map TopGis na mapovém serveru mapy.cz (<http://mapy.cz/letecka>), stav leden 2016. Geomagnetické měření ÚAM FF MU (měření a interpretace P. Milo).

Fig. 85. Čejkov. Magnetogram showing the underground anomalies detected in the floodplain of a stream with a slag dump and other indications of a preparatory area. Background map was borrowed from TopGis aerial maps on the map server mapy.cz (<http://mapy.cz/letecka>), accessed in 2016. Geomagnetic survey by the Department of Archaeology and Museology, Faculty of Arts, Masaryk University (survey and interpretation by P. Milo).

V ploše mezi nimi se nachází lokální až bodové archeologické struktury, které lze znovu vzhledem k vyšším hodnotám nT interpretovat nejspíš jako pozůstatky metalurgických zařízení. Z deponií hutnických strusek na lokalitě pochází zlomky keramiky 13. až 14. století, u níž jasnějším chronologickým vodítkem je snad jen fragment dna nádoby se značkou (obr. 103: 11).

Vyskytná nad Jihlavou a Plandry (okr. Jihlava): Ukázkou pestré infrastruktury tohoto typu hutnického provozu 13. až 14. století v rozvinuté formě je areál na dolním toku Bělokamenského potoka na katastrálním území obcí Plandry a Vyskytná nad Jihlavou (obr. 5: 9, obr. 30: 4 a obr. 86). Na západním břehu potoka nalezneme relikty malého tvrzíště s valem, příkopem a centrálním pahorkem, tzv. *motte*, a v jeho těsném sousedství v korytě i na protilehlém břehu potoka pak struskoviště, dokládající hutnickou činnost. Novými nálezy v korytě potoka jsou dva žulové zlomky mlecích kamenů (obr. 67: 19), které doplňují obraz technologického spektra zdejšího areálu o rudní mlýn (*Havlíček*

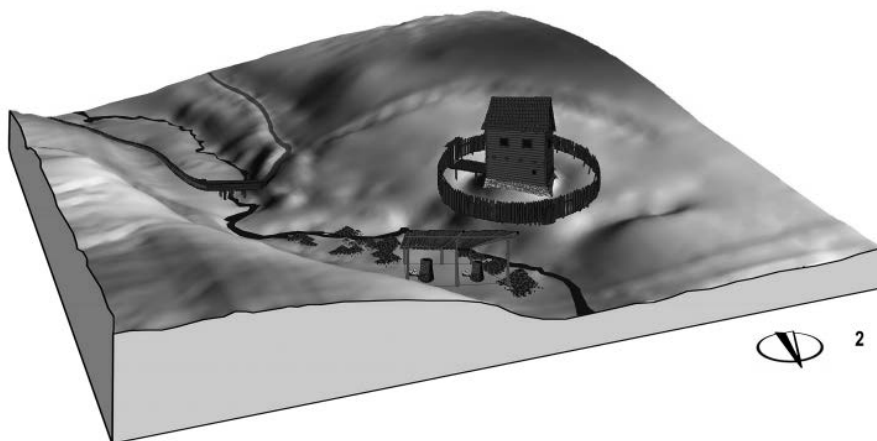
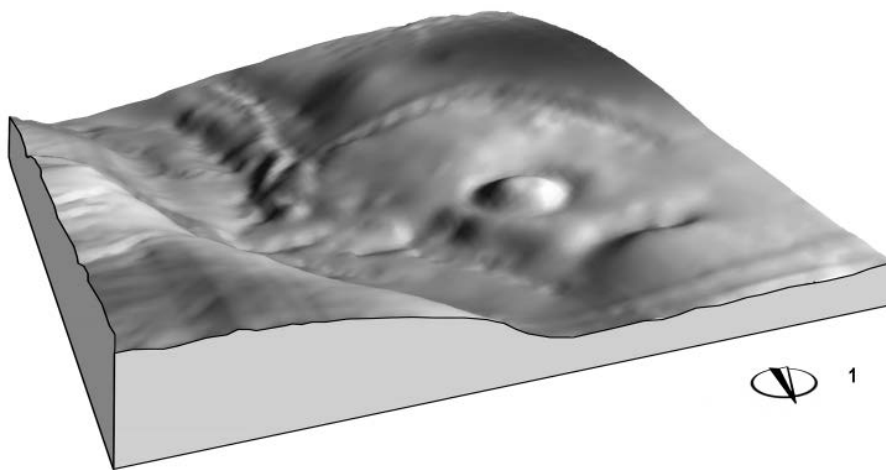
2015; *Malý a kol.* 2007; *Hrubý* 2011; 260–261). Areálem prochází tzv. rantířovský náhon, středověké vodotechnické zařízení (obr. 30:8).

Utín: úpravnický a hutnický areál centrálního významu v údolí Sázavy

Zajímavý obraz poskytuje lokalita v zákrutu řeky Sázavy u Utína (obr. 5: 11, obr. 34: 2). První povrchové průzkumy byly provedeny v roce 1998 (*Malý* 1998a, 48). Systematická prospekce se zjišťovacími vrypy a menšími sondážemi pokračovala v roce 2001. Tuto kampaň doplnila sondáž o rozměrech asi 1,6 × 1 m ve struskovišti a dvě mikrosondy v roce 2016. Nečetné nálezy keramiky neumožňují přesnější archeologické datování aktivit na lokalitě, pouze jediný zloмок možno řadit do 13. až 14. století. V odpadním a provozním souvrství byly odebrány vzorky rudniny, strusky, olovených slitků i klejtu, které byly laboratorně analyzovány (*Rous – Malý* 2004, 124–126, 136–141, 137–139, tab. 6).

Obr. 86. Ukázka hutnického provozu plně závislého na vodním toku. V tomto případě areál s opevněním typu motte na Bělokamenském potoce, k. ú. Plandry a Vyskytná nad Jihlavou. Nalezneme zde malý opevněný areál s příkopem, struskoviště indikující hutnické pracoviště, vodní náhon vybudovaný na počátku 14. století pro provoz dolů na Starých Horách. **1:** Zaměření M. Daňa, P. Hrubý a V. Kolařík. **2:** Kresba autor.

Fig. 86. Example of a metallurgical facility which is fully dependent on a watercourse. It is an area with a motte-and-bailey castle on the Bělokamenský Stream, in cadastral district of Plandry and Vyskytná nad Jihlavou. We can find here a small fortified area with a ditch, a slag dump indicating a smeltery, and a water race which was built at the beginning of the 14th century for the needs of mining enterprises at Staré Hory. **1:** surveying by M. Daňa, P. Hrubý and V. Kolařík. **2:** drawing by author.



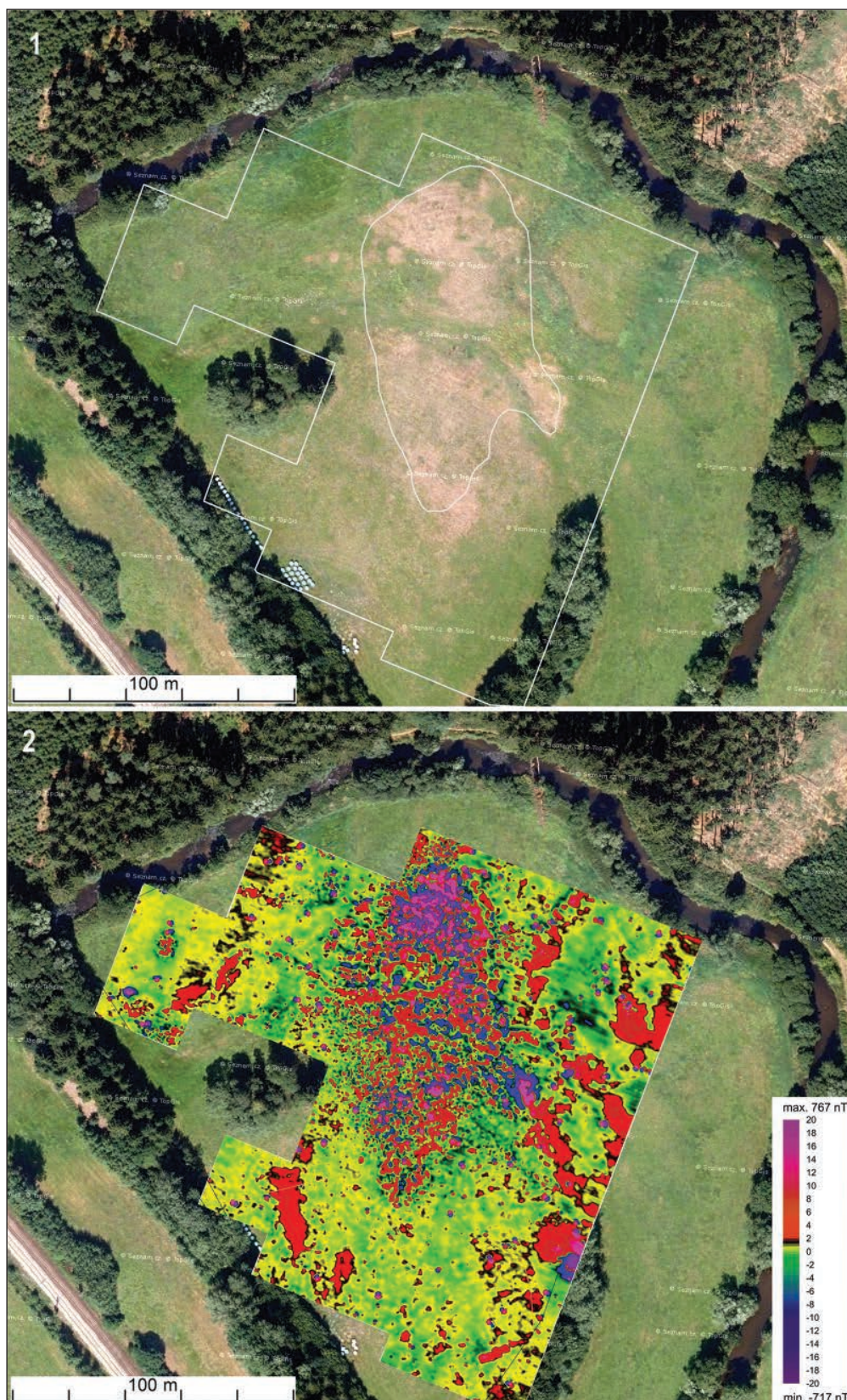
V letech 2013–2015 byla na struskovišti provedena plošná geomagnetická měření. Souběžně byly prováděny i plošné odběry půdních vzorků na metalometrii. Na základě toho je možné se pokusit o více či méně pravděpodobný model infrastruktury tohoto areálu. Do jeho tvorby se promítají poznatky o prostorové infrastruktuře a archeometalurgii, získané dosavadními plošnými archeologickými výzkumy tohoto druhu areálů především na Jihlavsku a Pelhřimovsku. I v tomto případě vidíme praktickou a funkční infrastrukturu, složenou z více na sebe navazujících pracovišť (obr. 87–89). Jejich součástí byla i vodotechnická opatření. Ukázalo se, že interpretačně významné jsou geomagneticky zjištěné lineární struktury (č. 5 a 7), třebaže bez archeologického výzkumu nelze jejich příslušnost k modelovanému areálu ověřit. Struktura č. 7 je pravděpodobně vedlejší říční ramenem. V době existence rudních mlýnů, stoup či pecí (poháněných vodními koly) mohla být využívána jako náhon, do kterého byla z řečiště Sázavy přesměrována voda a který byl podle potřeb upraven a podle možností udržován. Velký objem úpravnického i hutnického odpadu byl však po čase příčinou zanášení náhonu, což si vyžádalo zřízení nového náhonu.

Jako indikátor mladší fáze vodotechnického prvku se nabízí geomagneticky detekovaná struktura č. 5, která má podobnou dispozici i směr. V severní části struskoviště pozorujeme vysoké půdní obsahy interpretačně významných chemických prvků, přičemž tato geoche-

mická anomálie je v souladu se severní částí anomálie geomagnetické. Má významnější obsahy Zn, Cd a As, tj. prvků, které bývají vázány na počáteční fáze úpravy sulfidické rudniny. Tato anomálie tak může být odrazem primární úpravy rud. Masivní přítomnost hutnické strusky v tomto prostoru dokládá velkoobjemové tavby, v nichž snad lze spatřovat souvislost s komplexním sulfidickým koncentrátem (Rous – Malý 2004, 139, tab. 6). Druhá geochemická anomálie se nalézá jižněji. Z měřených prvků zde na rozdíl od té předchozí téměř chybí Zn, Cd a As, významněji zde byly obsaženy Cu, Pb a Ag. Jejich prostorové rozložení koreluje s geomagneticky detekovanými strukturami č. 2 a 3, považovanými za projev pecí. Nabízí se interpretace této zóny jako hutnického pracoviště, kde byly taveny olovem (a stříbrem) bohatší koncentráty. Tyto tavby byly v porovnání se severnějším pracovištěm spíše maloobjemové.

Jistým problémem je datování tohoto areálu. Přímé archeologické doklady v podobě nepočetného souboru středověké keramiky jsou jednoznačně chabé. Nepřímou oporou datování areálu do 13. až 14. století je širší historický kontext rudného hornictví na Havlíčkobrodsku. V žádném jiném období zde nedosáhla hornická a hutnická činnost měřítek jako v předkutnohorské éře.

Lokalita je úzce prostorově provázána s důlním střediskem, které bylo již dříve ztotožněno s důlním podnikem Buchberg, zmiňovaným v listině z 25. října 1258



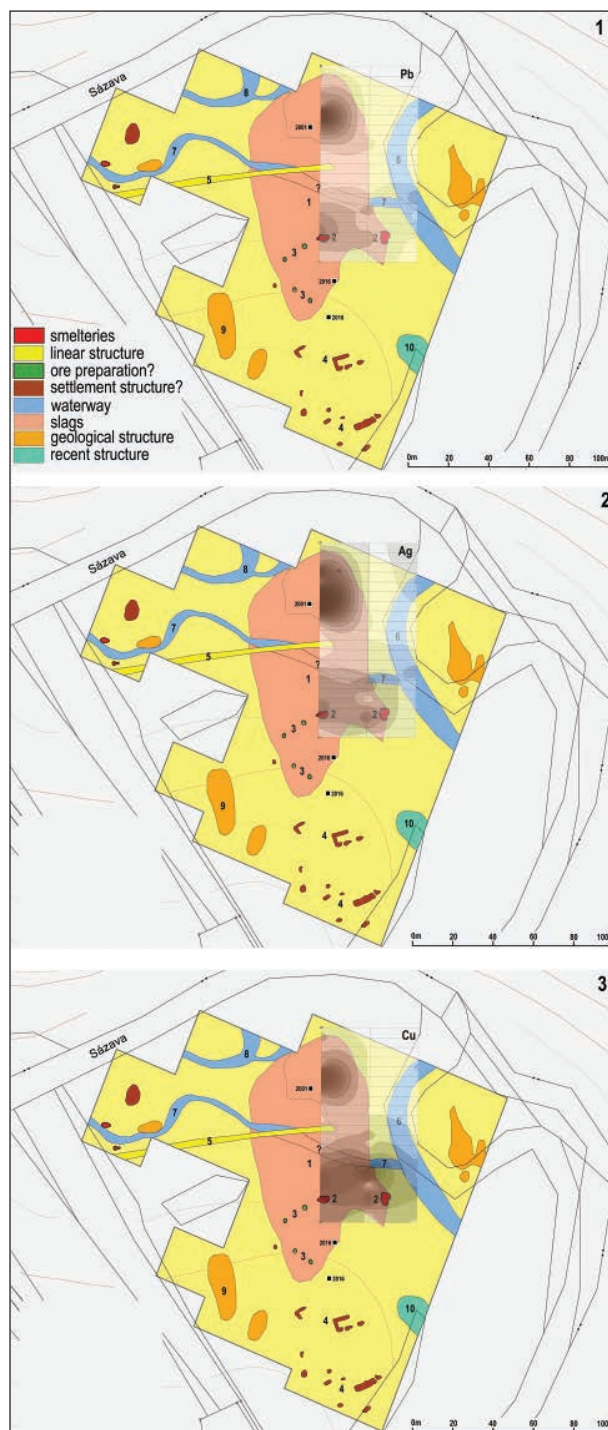
Obr. 87. Zákrut Sázavy u Utína. **1:** Kolmý snímek, na němž jsou patrné porostové příznaky, které můžeme ztotožnit s některými zjištěnými geomagnetickými anomáliemi. Světlý a vyschlý travní porost indikuje struskoviště. **2:** Magnetogram zobrazující naměřené podzemní anomálie. Podklad převzat z leteckých map TopGis na mapovém serveru mapy.cz. Geomagnetické měření a interpretace P. Milo, ÚAM FF MU (Hrubý a kol. 2016).

Fig. 87. Bend of the river Sázava near Utín. **1:** orthophoto with crop marks which can be identified with some of the detected geomagnetic anomalies. The light-coloured dry grassland indicates a slag dump. **2:** magnetogram showing the measured underground anomalies. The background map was borrowed from TopGis aerial maps on the map server mapy.cz. Geomagnetic survey by P. Milo, Department of Archaeology and Museology, Faculty of Arts, Masaryk University (Hrubý a kol. 2016).



Obr. 88. Zákrut Sázavy u Utín. Kombinace datových vrstev s geomagnetickými anomáliemi a geochemickými anomáliemi těžkých kovů (Pb, Ag, Cu). Analýza P. Kadlec (Ústav geologických věd PŘF MU), zpracování dat K. Malý. Podklad převzat z Geoportálu ČÚZK, Katastrální mapy. Geomagnetické měření P. Milo, ÚAM FF MU (Hrubý a kol. 2016).

Fig. 88. Bend of the river Sázava near Utín. Combination of data layers with geomagnetic anomalies and geochemical anomalies of heavy metals (Pb, Ag, Cu). Analysis by P. Kadlec (Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University), data processing by K. Malý. The background map was borrowed from Geoportal of the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre, Cadastral maps. Geomagnetic survey by P. Milo, Department of Archaeology and Museology, Faculty of Arts, Masaryk University (Hrubý a kol. 2016).



Obr. 89. Zákrut Sázavy u Utín. Interpretální geomagnetické schéma s datovou vrstvou geochemických anomálií těžkých kovů (Pb, Ag, Cu). Podklad z Geoportálu ČÚZK, Katastrální mapy. Geomagnetické měření P. Milo, ÚAM FF MU (Hrubý a kol. 2016).

Fig. 89. Bend of the river Sázava near Utín. Interpretational geomagnetic scheme with data layer of geomagnetic anomalies of heavy metals (Pb, Ag, Cu). The background map was borrowed from Geoportal of the Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre, Cadastral maps. Geomagnetic survey by P. Milo, Department of Archaeology and Museology, Faculty of Arts, Masaryk University (Hrubý a kol. 2016).

strusek po hutnictví polymetalických rud (obr. 107). Tato anomálie se jeví srovnatelně velká jako např. anomálie na hutnických areálech v údolích vodotečí, snad s výjimkou mimořádně rozsáhlého struskoviště v nivě Sázavy u Utína (obr. 87). V tomto případě lze plochu považovat za indikátor zaniklého hutnického pracoviště z druhé poloviny 13. století s přesahem do století následujícího. Tato plocha je situována zcela mimo jakýkoliv zdroj vody. Kumulace hutnických strusek prakticky ve stejném vztahu k důlnímu areálu i vodnímu zdroji byla nalezena na blíže nedatovaném areálu v oblasti svratecké klenby u Rozseče nad Kunštátem (průzkum a analýza *Karel Malý 1998b*, 65, 71).

Principy hutnického zpracování galenitových koncentrátů

Základem hutnického zpracování polymetalických rud bylo jejich roztrídění na galenitový koncentrát a směsný sulfidický koncentrát, který byl olovem chudý a dobovými technologiemi nerozdružitelný. Podle všeho představoval galenitový koncentrát ve srovnání s koncentrátem směsným výrazně menšinový produkt (Tab. 4). Počátečním pyrotechnologickým procesem bylo pražení, tedy převedení sulfidů a sulfosolů na oxidy kovů v oxidačních podmínkách. Rudní koncentrát byl opakovaně pražen v otevřených ohništích. Výstupem byl tzv. praženec, přičemž tento meziprodukt nebyl zatím archeologicky prokázán. Praženec vzniklý z galenitového koncentrátu lze charakterizovat jako převážně oxid olova (PbO) s obsahem Ag a dalších prvků. Sulfidy a sulfosoli stříbra byly v raně novověké praxi praženy dvakrát, olovené rudy alespoň třikrát. Hranice tepelné stability sulfidických rud, po jejímž překročení nastává termochemická přeměna na oxidy kovů, je u pyritu 800 °C, galenitu 820 °C a sfaleritu 860 °C (*Földvári 2011*). Při prvním mírnějším pražení byla ruda zbavena síry i plynokapalných uzavřenin. Při druhém pražení unikaly těkavé sloučeniny nežádoucích příměsí (As, Zn, Sb, Hg), čímž se snížilo riziko vzniku tzv. míšně. Ztrátám při pražení se předcházelo oxidací síry v rudách při nižší teplotě a rychlým zvýšením teploty při druhém pražení. Oxidy prvků s nižšími teplotami varu, jako síra, kadmium, antimon, ale i arsen, přešly převážně jako aerosol do kouřů (*Vaněk – Velebil 2007; Holub – Malý 2012*).

Následovaly redukční tavby, jejichž cílem bylo zbavit stříbrnosné olovo ve vypraženém rudním koncentrátu kyslíku, rozpustit v něm co nejvíce stříbra a to pak „protáhnout“ všemi následujícími procesy, na jejichž konci zůstala slitina Pb–Ag, tzv. rudní olovo (*Vaněk – Velebil 2007*, 191–192). Příprava vsázky byla sama o sobě popravdě uměním a její složení odpovídalo taveným rudám i empirii hutníků. Základem bylo dřevěné uhlí a pražený rudní koncentrát. K iniciaci vytékání kapének stříbrem bohatého olova z tavené rudy bylo

i u tavby olovnatých rud nezbytné do vsázky před tavbou či v jejím průběhu přidat klejt nebo i další olovo. Součástí vsázky byla i křemenná drť nebo namletá či nadrcená nístějovina. Jako tavidlo ovlivňující schopnost taveniny udržet se v peci kvůli dostatečnému proreagování vsázky byla přidávána nadrcená nebo namletá struska z minulých taveb a přidávána byla i struska s vysokým obsahem železa. Přidáván byl i tzv. kamínek. Po určité době byla nístěj pece vyplněna vytaveným nístějovým olovem a dalšími fázemi taveniny.

Snahou hutníků nejspíš bylo, aby se výpustí z nístěje pece do kelímku v předpeci dostávalo z tavby hlavně stříbrem bohaté rudní olovo, nicméně byly sem vpouštěny i ostatní složky taveniny, která se zde se rozvrstvila na několik nemísitelných částí. Vespod bylo rudní olovo s nejvyšším obsahem stříbra, na něm vrstva tzv. míšně s obsahem arsenidů Fe, Pb, Cu, Ni, Co, Sb, ještě výše kamínek obsahující Ag₂S, na vrchu se shromažďovala Fe-silikátová struska. Následovala série dalších taveb, jejichž cílem bylo co nejvíce odstříbřit kamínek i další meziprodukty obsahující Ag.

Po redukční tavbě vzniklo tzv. rudní olovo, slitina s převahou Pb, Ag a zbytkového množství dalších kovů. Následovalo oxidační shánění, tzv. kupelace. Do pece s tímto roztaveným olovem v kupelační misce (kapelka, střep) byl na misku či střep s taveninou vháněn vzduch, čímž začalo rudní olovo na hladině oxidovat, tj. vznikal nečistý klejt (PbO, něm. *Bleiglätte*, angl. *litharge*). Ten se používal znovu v dalších tavbách, popř. při testech, nebo se z něho tavbou vyrábělo odstříbřené olovo jako finální produkt. Klejt byl ze sháněcí nádoby upouštěn, čímž se podíl stříbra, které na rozdíl od olova takto neoxiduje, stále zvyšoval. Shánění probíhalo tak dlouho, až se na dně nádoby zaleskla hladina stříbrné taveniny (též *blik*, *plik* z něm. *Blick*). Toto tzv. hertovní stříbro obsahovalo 66–90 % cenného kovu. To bylo nutno zbavit nežádoucích příměsí tzv. přepalováním (tříbení, čištění). Jedná se o jemné shánění v kupelační nádobě s porézní nístějí z popela, přičemž oxidy nežádoucích kovů byly vázány porézními stěnami nádoby. Výsledné přepalované stříbro (něm. *Brandsilber*) obsahuje 98 až 99 % Ag. Z prvkové bilance je zřejmé, že největší objemy odpadu z hutí tvořila struska s obsahem Fe a Si. Část olova se dostávala při redukci i kupelaci do úletů, tj. v podobě aerosolů „vyletelo“ jako dýmná složka komínové peci. Největší část Pb se ztrácela při redukčních tavbách ve formě silikátů (*Vaněk – Velebil 2007*, 194–197, 199).

Specifické bylo zpracování bohatých stříbrných rud, pakliže byly takové rudy těženy a bylo-li možné z nich vyrobit zpracovatelný koncentrát. Provádělo se tzv. zolňování. Jeho principem byla oxidace sulfidů a sulfosolů stříbra oxidem olova (klejtem, PbO) na hladině olova. Rudy byly vnášeny do roztaveného Pb, kde začaly struskovat. V podobě SO₂ se uvolňovala především síra a stříbro obsažené v rudě se rozpustilo v olovu. Takto vzniklá slitina byla dále podrobena energetické

oxidaci, tzv. shánění. U zpracování dobře vytríděných stříbrných rud bylo možné vynechat pražení (Vaněk – Velebil 2007, 194; Goldenberg 1996, 35, 37, Abb. 8).

Principy hutnického zpracování nízkoolovnatých komplexních sulfidických koncentrátů

Olovem chudé sulfidické rudní koncentráty (pyrit, arsenopyrit, chalkopyrit, pyrhotin, sfalerit, příměs galenitu), které středověkými postupy rozdužitelné nebyly, tj. nebylo možné z nich efektivně separovat galenit jako hlavní koncentrátor stříbra, mohly být zpracovávány více hutnickými postupy. I v tomto případě bylo úvodní fází vypražení v oxidačním režimu. Zpracování těchto koncentrátů za účelem produkce olova a stříbra bylo ve srovnání s tavbou galenitového koncentrátu problematičtější z hlediska nákladů, zejména pak ceny a dostupnosti paliv. Dosavadní výzkumy naznačují, že na mnoha podnicích Českomoravské vrchoviny mohly nízkoolovnaté směsné rudní koncentráty představovat od určité doby většinový produkt.

Jednou z cest zpracování, či lépe technologickou mezifází redukce těchto koncentrátů na kov, bylo tavení tzv. kamínku. Pražení bylo řízeno tak, aby jím z rudy byla odstraněna pouze část síry. Poněvadž FeS oxiduje přednostně, vzniká tímto procesem praženec ve složení převážně FeO, Fe₂O₃ a Cu₂S. Kamínek je nehomogenní slitinou sulfidů kovů z tavených rud, která vzniká sérií koncentračních taveb v redukčním režimu a při minimální teplotě 1150 °C (*Roharbeit, Rohschicht*). V průběhu těchto taveb dochází k řízené proměně od prvotního kamínku s vysokým obsahem Fe a nízkým obsahem Cu až po finální měďnatý kamínek, který je naopak železa zbavený. Podmínkou je samozřejmě alespoň minimální přítomnost Cu v rudě, která šla do vsázky. Do této tavby se přidávaly i struskotvorné přísady, zejména SiO₂. Konkrétní složení prvotního kamínku bylo dáno složením tavených rud, převážně to však bylo Cu₂S s podílem FeS a PbS. Při tavnách se v nížeji pece shromažďovala tavenina složená z dvou nemísitelných vrstev. Spodní a kovy obohacená vrstva s vyšší hustotou byla tvořena žádaným kamínkem, svrchní vrstva Fe-silikátovou, popř. Zn-silikátovou struskou, která byla z pece upouštěna, nebo mohla také být po utužení a vyjmutí z pece od kamínku oddělována ručním rozbíjením. Následné tavby kamínku se prováděly v pecích s otevřenou výpustí i opakovaně, dokud se kamínek dostatečně nenabohatil stříbrem. Při všech tavnách byl termochemický proces řízen tak, aby se v kamínku zvyšoval podíl Cu nad podílem Fe. Při tavně směsi FeO, Fe₂O₃ a Cu₂S za přítomnosti SiO₂ přecházelo Fe do Fe-silikátové strusky a podíl Cu₂S v kamínku se zvyšoval. Teprve tento finální měďnatý kamínek byl po patřičné mechanické úpravě vypražen v oxidačním režimu na CuO. Kamínek už při svém vzniku plnil roli

nosiče stříbra, poněvadž z taveného rudního koncentrátu extrahoval a na sebe vázal přítomné Ag₂S. Z Cu-kamínku vypražený oxid mědi byl pak redukován na kovovou měď, která mohla obsahovat Ag podle toho, kolik jej bylo v tavených rudách. Takto vyrobený kamínek byl přidáván do redukčních taveb (Vaněk – Velebil 2007, 191–192).

Stříbrem nabohacené olovo však bylo možné získávat z těchto chudých a často prokřemenělých koncentrátů i způsobem, který byl v konečném důsledku levnější než opakované koncentrační tavení kamínku. Koncentrát se pražil, čímž byl ještě před tavbou zbaven As, Zn a přebytku síry. Při tavení shořel přebytek síry z pyritu a sfaleritu, z arsenopyritu unikl As₂O₃. Vznikla směs vysokoteplotního pyrhotinu, wüstitu a kovového železa, které se do tavby přidávalo kvůli minimalizaci přechodu žádaného olova do strusky, kdy silikáty Fe (fayalit) a vápník olovo ze strusky vytěsňují a naopak usnadňují zinku vstup do ní. Právě takový způsob tavby chudých kyzových koncentrátů, pro který se vžil označení goslarský, popisuje v 16. století *Lazar Ercker*. V centýři chudé rudy uvádí obsah olova až 16 liber, obvykle to ale bylo jen okolo 7 liber. Tato ruda se většinou třikrát pražila na velkých hromadách, kdy se obsah žádaného olova po vypražení ještě snížil asi na 5 liber. Tyto rudy se netavily v obvyklé výpustní peci, protože v té by olovo většinou přecházelo do strusek. Ty *Ercker* charakterizuje jako sirnaté a málo tekuté. Tavba probíhala optimálně ve dvou pecích s měchy na jedné společné hřídeli. Pozornost byla věnována správným rozměrům pecí i umístění odtokových kanálů, a to kvůli nežádoucímu vniknutí vody z přepadu od kol.

Důraz byl kladen také na umístění důvek, tzn. otvorů pro dyznu, které musí být seřizeny a umístěny tak, aby měchy vháněly vzduch doprostřed taveniny v peci hned za přední stěnou. Tento typ pecí měl dvojici měchů značného objemu, který odpovídal energetickým nárokům velkoobjemové tavby. Do odtokového kanálku se vložil velký kámen (tzv. kelímkový kámen), na kterém se z hlíny a drobné strusky postavila nístěj. Specifikem tohoto druhu tavby byl kelímek větších rozměrů vložený pod přední stěnu pece tak, aby byl zčásti uvnitř pece a zčásti se nakláněl ven. Vytavené olovo se pak shromažďovalo v kelímku před pecí, nikoliv v peci samotné. Do přehřátého kelímku se vsypalo uhlí z bukového dřeva, na které se udusal drcený a navlhčený uhelný mour. Podobné lůžko (nábojka) se zřídilo i v předpecí, aby se zabránilo odtoku strusek. Po uzavření pece se shora sypalo žhavé uhlí a struska. Pec se pak naplnila uhlím a praženou rudou, následně se nechala v klidu rozhořet, přičemž se zahřívala i vystlaná nístěj v předpecí. Samotná tavba trvala 23 hodin a vytavilo se 66–70 centnýřů rudy, přičemž tato tavenina byla velmi tekutá. V určité fázi sejmul hutník vidlicí první těžkou strusku, pod kterou byly další strusky, charakterizované *Erckerem* jako čisté, řídké

a tekoucí jako olovo. Vylévaly se velkou železnou naběračkou. Vytavené olovo zůstávalo po celou tavbu mimo dosah strusek a žáru. Při ukončování tavby prorazil hutník spodek čela pece a tzv. dýmařským železem vytáhl veškerou strusku usazenou v nístěji. Poté stejným nástrojem promíchal olovo, které následně z kelímku vylil na zahřívanou nístěj vedle pece. Z 66–70 centnýřů tavené chudé rudy se podle *Erckera* tímto způsobem v 16. století vytavily až 3 centnýře stříbrem bohatého olova (4 loty Ag/1 centýř Pb). Zbylé přítomné olovo a stříbro zůstalo ve strusce (*Vitouš 1974*, 214–216).

Teoretický model redukčních taveb olovnatých koncentrátů podle nálezů z lokality *Cvilínek*

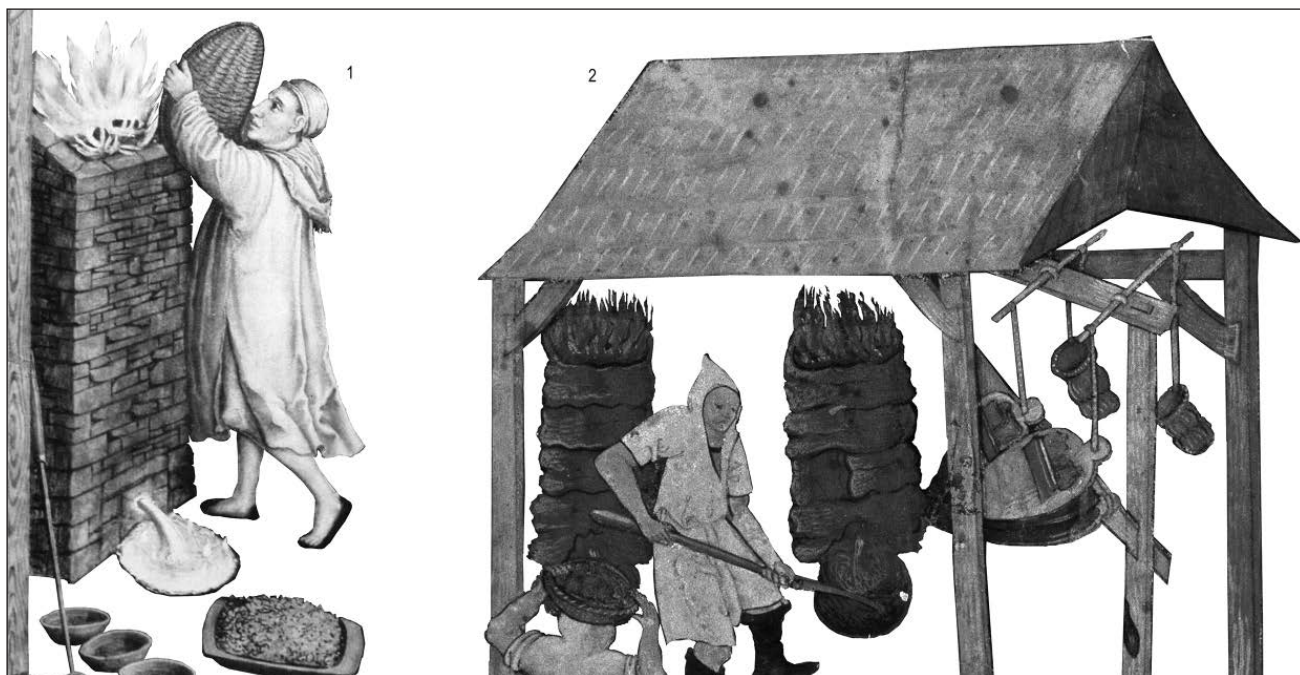
Model tavby galenitového koncentrátu přináší z podnětu výzkumu archeometalurgických nálezů na *Cvilínku* Milan Holub a Karel Malý. Proces mohl začínat opravou (dozděním) pece, nebo alespoň jejím vyčištěním po předchozí tavbě a vymazáním směsí dřevěného uhlí a hlíny. Poté se pec založila vypraženým rudním koncentrátem a palivem (dřevo nebo dřevěné uhlí) a začala se vyhřívat. Postupně se do tavby přidávala lehce tavitelná rozemletá olovnatá struska, která se dmýcháním roztavila a sloužila jako tavidlo. Přidáváním klejtu i olova do vsázky se snižovala teplota tavení pražence a nepřímo i viskozita. Vnášené olovo nadto udržovalo v nístěji pod dřevěným uhlím redukční prostředí. Snižování ztrát drahých kovů v redukční tavbě se dosahovalo čistotou hutněných koncentrátů, popř. přidáváním koláčů protaveného kamínku z kyzů železa, klejtu a nístějového olova. Viskozita taveniny při redukci se snižovala i vnášením železitéch strusek nebo železné rudy. Pokud některá struska vytékala výpustí ven, vhadzovala se zpět do pece, dokud nebyla vsázka dostatečně protavena. V šachtě pece začaly mezitím vznikat kapénky kovu z klejtu i přidaného olova, koncentrovaly v sobě kovy uvolňované z pražence, spojovaly se do větších kapek a od určité velikosti se od zbytku tavené vsázky začaly gravitačně oddělovat. Meziproduktem taveb bylo stříbrem obohacené tzv. rudní olovo. To klesalo do nístěje pece a odsud výpustí do jámy v předpecí, kde se mísilo s chudým olovem udržovaným v roztaveném stavu a obohacovalo jej stříbrem. Oxidické fáze (PbO a CuO) se z chladnoucí taveniny oddělovaly díky nižší objemové hmotnosti. Shrnovaly se v předpecí a následně znovu hutnily. Vyrobené stříbrem bohaté olovo z předpecí se vsazovalo do sháněcí pece ke shánění. Principem této operace je přeměna olova na kysličníky v oxidačním režimu (*Holub – Malý 2012*).

Reálné archeologické doklady metalurgických zařízení

S jakým nálezovým souborem pracujeme: Vrátime-li se od představeného modelu zpět k reliktním pecím a výhním na zkoumaných lokalitách (obr. 92–102), pak je zřejmé, že kritický pokus o jejich interpretaci je problematický. Na jihlavských Starých Horách bylo do roku 2015 zkoumáno 42 archeologických struktur různých rozměrů a typů (*Hrubý 2011*, 130–137), od jednoduchých ohnišť přes jámy, popř. nístěje s kamennými či výmazovými konstrukčními prvky nebo bez nich, až po reliktní konstrukčně vyspělé pece neznámé funkce. Osm jednoduchých ohnišť evidujeme v důlním areálu u České Bělé (obr. 40, 57 a 58) a dalších třináct potom na více místech v okolí bez vazby na důlní a úpravnická pracoviště, což jejich příslušnost k středověkým archeometalurgickým strukturám znejasňuje (*Hejhal a kol. 2009*). Specifické jsou pozůstatky pěti pecí v pracovním areálu u Květinova na Perlovém potoce (obr. 92: 13, 19, obr. 96: 3–4), které spojujeme s exploatací exogenních akumulací zlata. Pece zde mohly pracovat při prostém roztavování narýžovaného zlata v kelímku, při jeho slévání a případně i při čištění nebo zkoušení. Vyloučeno není ani pražení větších kusů zlatonosné horniny nebo křemene s vtroušeným zlatem před úpravou ve zlatomlýně. Nakonec mohou tyto pece být i pozůstatkem jiných metalurgických činností, např. kovářství. Třináct nálezových situací od spektakulárních pozůstatků konstrukčně propracovaných pecí přes oválná ohniště či výhně s kamennými vyzdívkami až po jednoduché jámy bylo odkryto na lokalitě *Cvilínek*. Třebaže nejde o kvantitativně největší množství, představuje právě *Cvilínek* nejlepší příkladovou lokalitu, pokud jde o stavební provedení pyrometalurgických zařízení či o jejich umístění vůči vodnímu zdroji, úpravnickým pracovištím nebo sídlišti. V největší míře zde byla provedena i půdní metalometrická měření, a to jak v topeništích pecí, tak i v jejich pracovním okolí. S velkým množstvím údajů však tento areál přináší i řadu nezodpovězených otázek a nejasností.

První problém – funkční interpretace a hledání analogií: Obtížně překonatelným problémem je funkční interpretace pozůstatků těchto zařízení a nálezových situací v jejich pracovním prostoru. Z hlediska technických funkcí je při produkci stříbra a drahých kovů nutné předpokládat několik pyrometalurgických procesů: a) pražení rud, b) redukční hutnické tavby, c) zolovňování, d) shánění, e) přepalování a čištění, f) prubířství, g) slévačství.

Samozřejmou součástí archeometalurgie montánních areálů je i kovářství, kromě toho je třeba počítat i s existencí ohnišť či pecí spojených s vytápěním obydlí, přípravou potravin apod. V tomto ohledu selhávají pokusy o nalezení alespoň přibližných archeologických analogií ve středověkých montánních areálech v okol-



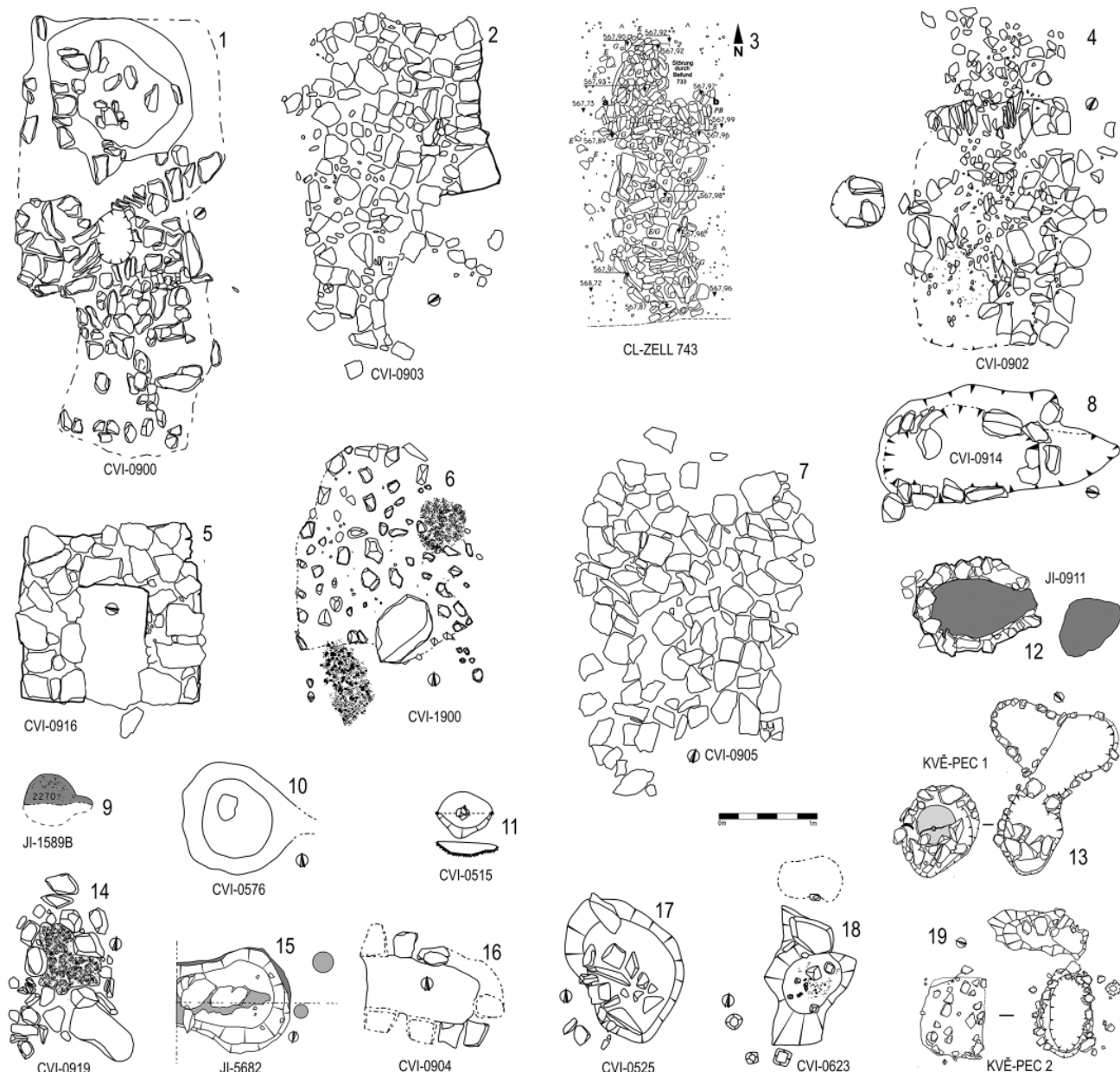
Obr. 91. Vlevo šachtová pec kvadratické základny s otevřenou výpustí a stavěná z kamene. Vyobrazení z první poloviny 16. století na tzv. Annaberském oltáři v kostele sv. Anny v krušnohorském horním městě Annaberg. Vpravo šachtová pec s ručně poháněnými měchy při tavbě polymetalických rud okolo roku 1500 na tzv. Kutnohorské iluminaci (Studničková – Purš 2010, 82–83).

Fig. 91. Left: a stone-built shaft furnace of quadratic layout with open hearth. An illustration from the first half of the 16th century on the so-called Annaberg Altar in the Church of St. Anna in the mining town of Annaberg in the Ore Mountains. Right: smelting of polymetallic ores in a shaft furnace with hand-operated bellows around 1500, depicted in the so-called Kutná Hora Illumination (Studničková – Purš 2010, 82–83).

ní Evropě. Množství pozůstatků pyrotechnologických zařízení poskytují centra jako např. *Johanneser Kurhaus* a *Pandelbach* v Harzu (Bartels a kol. 2007, 173, 184–186, 479; Alper 2003). Řadu pozůstatků pecí různých typů i určení nalezneme na lokalitě *Treppenhauer* a *Dippoldiswalde* (Schwabensky 2009, 62–63, Abb. 122 a 124, 83–86; Schubert – Wegner 2014; 2015). Analogickým příkladem z 12. století mohou být hutnické i jiné pece z lokalit *Sosnowiec – Zagórze*, *Strzemieszyce Wielkie* a *Dąbrowa Górnicza – Łosień* (Rozmus 2014, 159–170). Přehlednout nelze ani metalurgické pracoviště z přelomu 13. a 14. století na nádvoří vítkovského hradu Český Krumlov, kde lze na základě rozboru archeometalurgických nálezů s opatrností hovořit o maloobjemovém hutnictví sulfidů mědi s obsahem stříbra, dobývaných na zdejších výskytech, a o následných operacích, jako je čištění či zkoušení kovů (Ernée a kol. 1999). Všeobecně se ale zdá, že výstavba pecí, výhní a štádel byla spíše než technologickým standardům požadovaných metalurgických operací podřízena okamžitým až improvizacím potřebám metalurgů a prostorovým, reliéfním či materiálovým možnostem míst, kde měla tato zařízení pracovat. Typologie středověkých výrobních metalurgických zařízení je tak založena nikoliv na jejich bezpečné funkční interpretaci, nýbrž čistě na rozměrových a morfologických znacích toho, co se z těchto zařízení dochovalo a co se nám z nich podařilo prozkoumat.

Druhý, avšak rozhodně ne poslední problém – datování: Možnosti přesnějšího datování uvedených archeometalurgických struktur jsou problematické. Ve výplních nebyly chronologicky citlivé nálezy přítomny a jen v několika případech byla nalezena např. keramika v jejich pracovním okolí. U jednoduchých ohnišť na důlním pracovišti u České Bělé lze jen obecně hovořit o 13. či počátku 14. století, a to v souladu s nepočítaným keramickým souborem, kterým při snížené úrovni potřebné kritiky datujeme celý areál (obr. 41). Rovněž datování pozůstatků pyrometalurgických zařízení na lokalitě *Cvilínek* je založeno na datování areálu jako celku, u něhož předpokládáme spíše krátkodobou existenci bez možnosti přesvědčivého rozlišení případných chronologických fází. Pozůstatky pecí v maloplošně zkoumaném areálu u *Květinova* datujeme rovněž podle nečetných zlomků keramiky v jejich okolí jen rámcově do 13. století, přičemž i zde předpokládáme spíše krátkodobou existenci (obr. 28). Na starohorské dislokaci v Jihlavě je situace obtížnější, protože zdejší areály vykazují znaky dlouhodobější existence, přičemž ale jeho vnitřní chronologická a prostorová dynamika je i přes vytrvalé pokusy o rozkódování na základě analýzy keramiky stále nejasná (Zimola 2012).

Plochá ohniště bez stavebních prvků (obr. 93): Měla většinou oválný až nepravidelný, či dokonce amorfní půdorys.



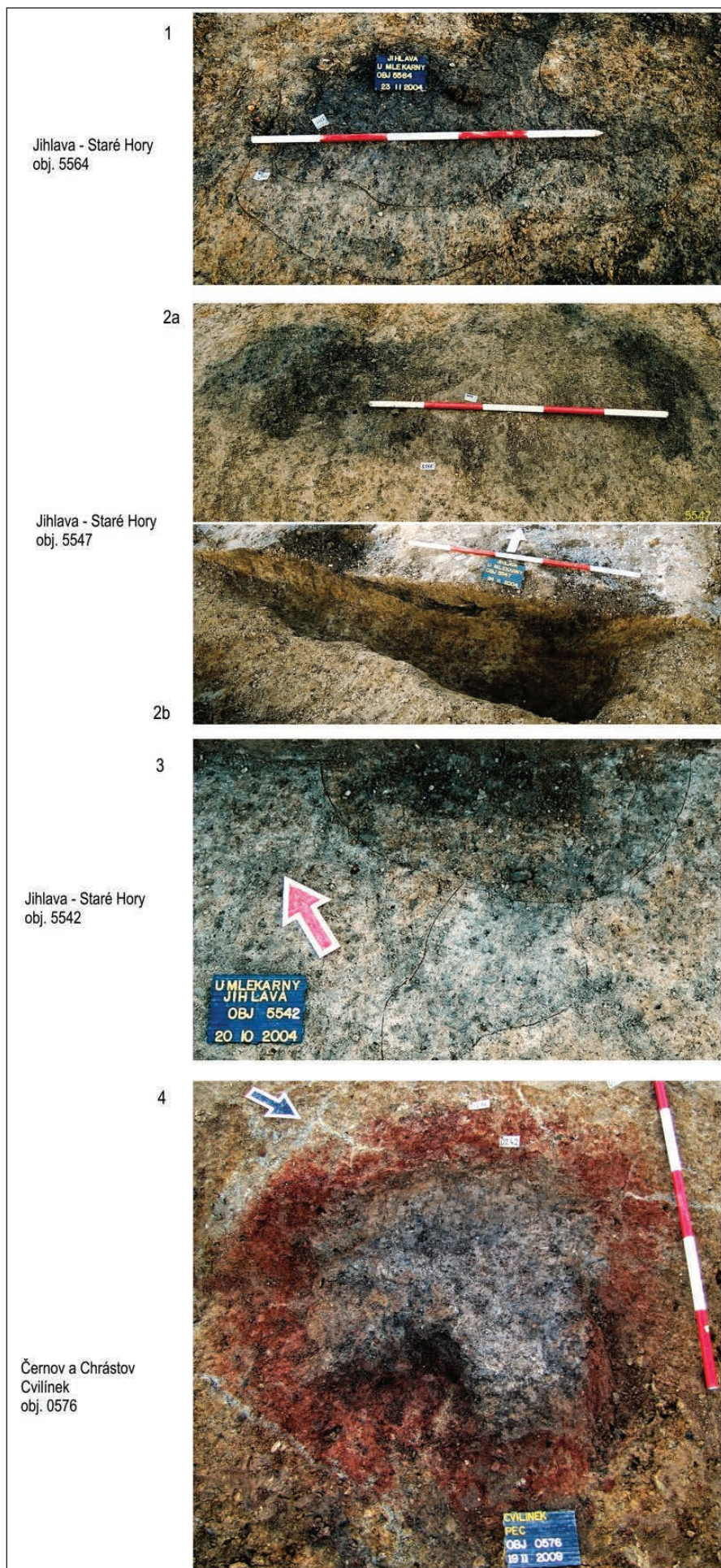
Obr. 92. Příklady archeologicky zkoumaných pozůstatků pyrometalurgických zařízení ze středověkých hornických a hutnických lokalit. **CVI:** Cvilínek (okr. Pelhřimov). **KVĚ:** Květinov (okr. Havlíčkův Brod). **JI:** Jihlava, starohorská hornická aglomerace. Výzkum ARCHAIA Brno a MVJ. **CL-ZELL:** Clausthal-Zellerfeld, lokalita Johanneser Kurhaus (Alper 2003, 120, 133, 139).

Fig. 92. Excavated relics of pyro-metallurgical devices from medieval mining and metallurgical sites. **CVI:** Cvilínek (Pelhřimov Dist.). **KVĚ:** Květinov (Havlíčkův Brod Dist.). **JI:** Jihlava, Staré Hory mining agglomeration. Excavation by ARCHAIA Brno and Museum of Vysočina Region in Jihlava. **CL-ZELL:** Clausthal-Zellerfeld, Johanneser Kurhaus site (Alper 2003, 120, 133, 139).

Jsou buď úplně plochá, nebo mírně konkávní s hloubkou do 15 cm. Jsou zpravidla větší, jejich rozměry přesahují 1 m až asi po 2,2 m. Ve výplni se nalézají stopy provozního žáru, tj. uhlíky, popel či do červena vypálená hlína. Výplně byly v několika případech na starohorské dislokaci v Jihlavě analyzovány na obsahy těžkých kovů nebo u nich byla zjišťována přítomnost technogenních příměsí metalurgického původu, tzn. strusky, úkapky kovů, feromagnetické fáze – tzv. okuje a ruda. Tyto komponenty byly zjištěny v zanedbatelném množství. Tato ohniště mohou být situována samostatně, ve vzdálenosti v řádu metrů od důlních jam, avšak běžně je jejich umís-

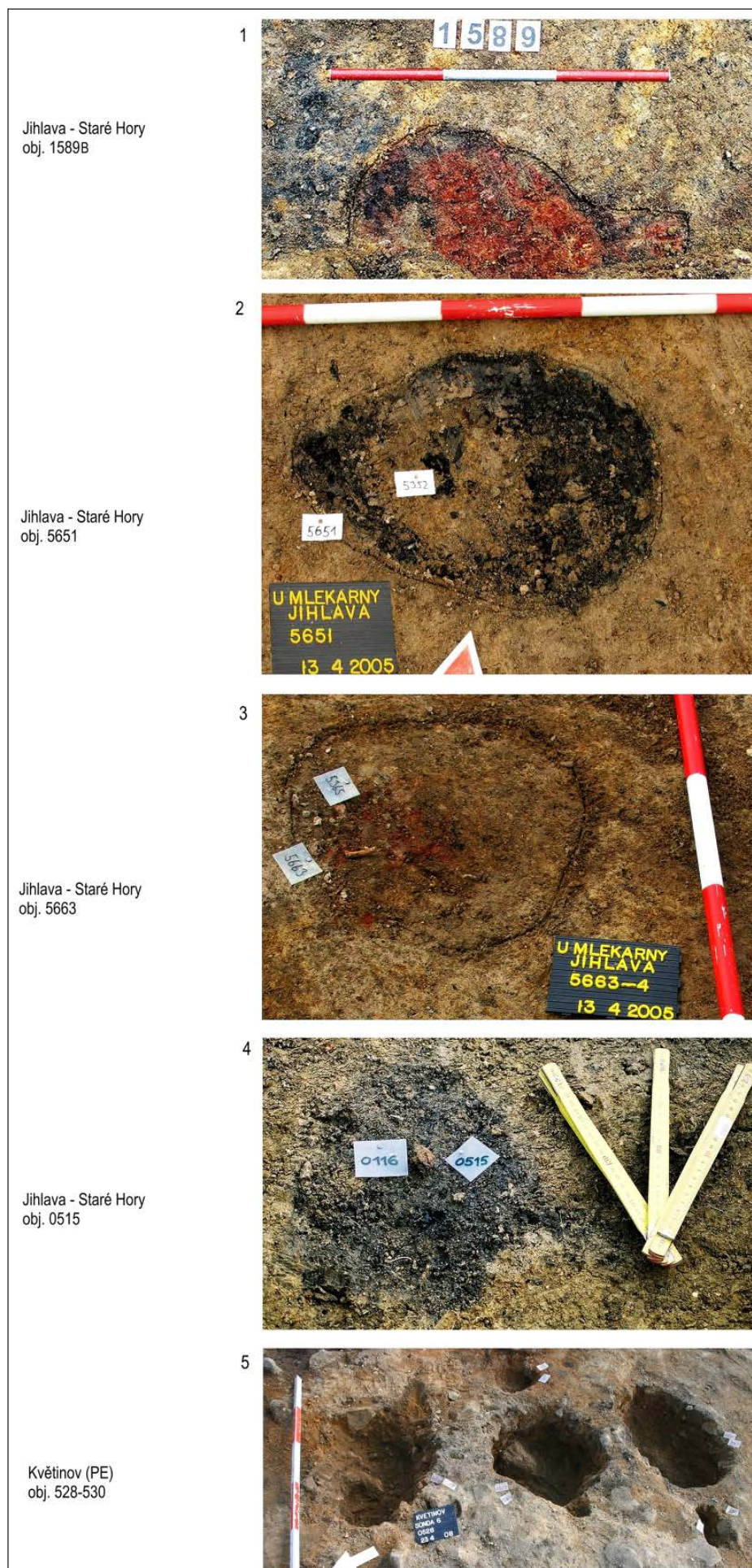
tění téměř na hranici odvalů, což budí dojem třídícího a pražicího pracoviště přímo u paty haldy.

Konkávní ohniště bez stovebních prvků (obr. 93): Od předchozí skupiny se liší větším zahloubením, které se pohybuje mezi 15–40 cm. Rozměry jsou zpravidla okolo 1 m či méně, jen výjimečně mohou být větší. Tvar mají zpravidla oválný až podélný, výjimečně hruškovitý či nepravidelně kruhový. Z hlediska zanedbatelné přítomnosti těžkých kovů v provozních výplních či téměř nulové přítomnosti technogenních archeometalurgických příměsí se neliší od předchozí skupiny.



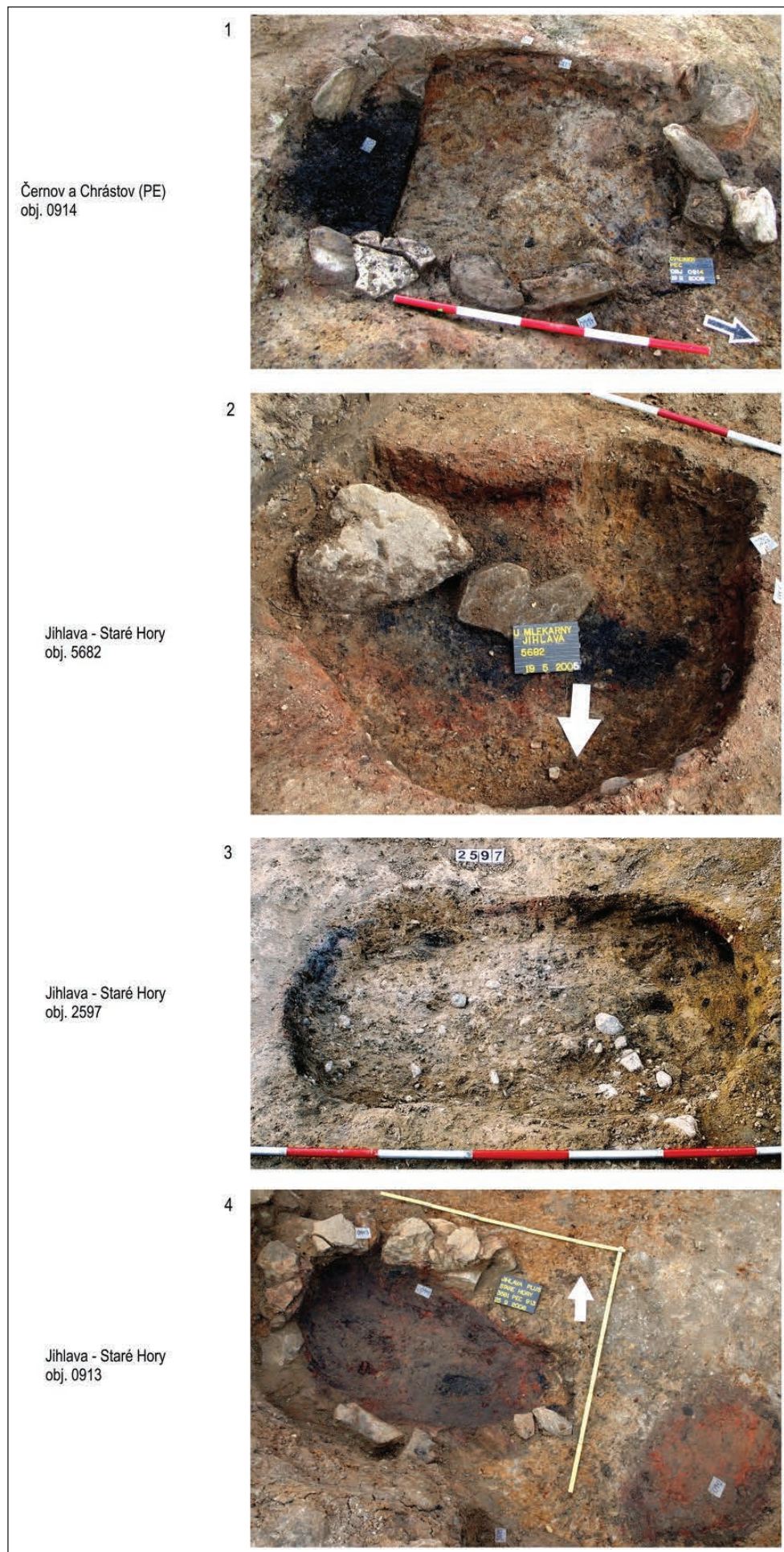
Obr. 93. Typy archeologicky zkoumaných pozůstatků pecí, výhni a dalších pyrotechnologických zařízení. Foto archiv Archaia Brno.

Fig. 93. Typology of the excavated relics of furnaces, forges and other pyrotechnological devices. Photo archive Archaia Brno.



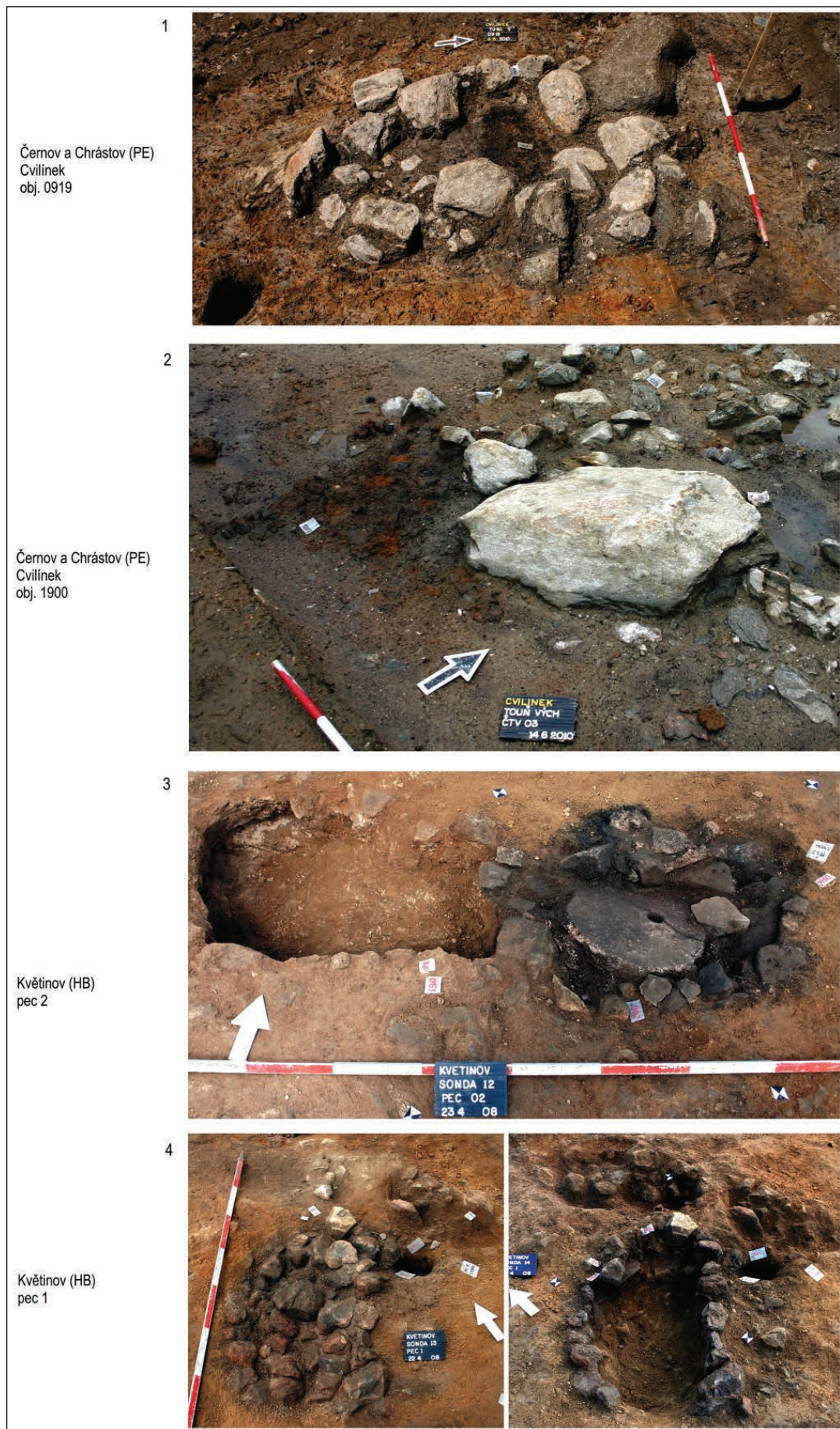
Obr. 94. Typy archeologicky zkoumaných pozůstatků pecí, výhňí a dalších pyrotechnologických zařízení. Foto archiv Archaia Brno.

Fig. 94. Typology of the excavated relics of furnaces, forges and other pyrotechnological devices. Photo archive Archaia Brno.



Obr. 95. Typy archeologicky zkoumaných pozůstatků pecí, výhni a dalších pyrotechnologických zařízení. Foto archiv Archaia Brno.

Fig. 95. Typology of the excavated relics of furnaces, forges and other pyrotechnological devices. Photo archive Archaia Brno.



Obr. 96. Typy archeologicky zkoumaných pozůstatků pecí, výhňí a dalších pyrotechnologických zařízení. Foto archiv Archaia Brno.

Fig. 96. Typology of the excavated relics of furnaces, forges and other pyrotechnological devices. Photo archive Archaia Brno.



Obr. 97. Typy archeologicky zkoumaných pozůstatků pecí, výhní a dalších pyrotechnologických zařízení. Foto archiv Archaia Brno.

Fig. 97. Typology of the excavated relics of furnaces, forges and other pyrotechnological devices. Photo archive Archaia Brno.



Obr. 98. Typy archeologicky zkoumaných pozůstatků pecí, výhní a dalších pyrotechnologických zařízení. Foto archiv Archaia Brno.

Fig. 98. Typology of the excavated relics of furnaces, forges and other pyrotechnological devices. Photo archive Archaia Brno.

Také z hlediska vazby na další typy archeologických struktur, definujících různé typy pracovních areálů, se s předchozí skupinou shoduje. Ohniště jsou v kontextu hornických lokalit interpretačně problematická. Známe je ve velkém množství a v různých formách z jihlavských Starých Hor.

Zajímavá zjištění, která snad mohou přispět k jejich poznání, přináší archeologický výzkum doplnění plošnou půdní metalometrií na malém důlním areálu u České Bělé. Jednoduchá ohniště, v jejichž okolí byly v půdě změřeny významnější obsahy těžkých kovů, se koncentrovala na severním okraji (obr. 40). Tato ohniště byla plochá a bez konstrukčních prvků. Ve výplních se nalézaly uhlíky, popel, dno bylo vypálené. Kontrastní nabožení Zn a Cd se ukazuje v pracovním prostoru okolo dvou ohnišť na severovýchodním okraji důlního areálu. Další zajímavé výsledky přinesla plošná půdní metalometrie provedená ve zhuštěné síti $0,5 \times 1$ m v sousedství důlních jam (obr. 57–58). Ve vzájemné vzdálenosti asi 50 cm se nacházela dvě plochá ohniště s provozními výplněmi v podobě uhlíků a s vypáleným dnem i okolím. Obě byla umístěna v blízkosti deponie hlušiny a rudniny, v níž byly naměřeny lokálně vyšší obsahy Pb a Ag. Nejvýrazněji se koncentrace kovů v půdě projevují u As a Cd, a to v pracovním prostoru okolo ohnišť. Tyto skutečnosti možno považovat za indikátor pražení rud. Zvýšené obsahy Cu, Pb a Zn zachytila půdní metalometrie také u malého a archeologicky nevýrazného ohniště v interiéru jedné ze zkoumaných staveb, v samotné výplni ohniště bylo změřeno zvýšení i Ag, As a Cd. Mírně zahlušená ohniště z areálu starohorské aglomerace v Jihlavě lze nejlépe srovnat s některými jednoduchými zahlušenými archeologickými strukturami na jihopolských hutnických lokalitách 12. století, považovanými za zařízení k pražení rud (tzv. *piec/palenisko typu roszt*; *Rozmus 2014*, 168, Ryc. 113).

Tvarem, rozměry i koncentracemi Pb a Ag v půdě se předchozím příkladům vymyká mělká až plochá kruhová struktura průměru asi 1 m na okraji prádel na *Cvilínku*. Byly zde pozorovány jednoznačné doklady působení žáru, díky němuž je místo zbarveno červeně až oranžově, nicméně nebyly zde stopy žádných stavebních konstrukcí. Nenalézaly se tu ani vypálené výmazy či kumulace kamene, v čemž jsou archeologové zpravidla ochotni vidět destrukci nadzemní části pece. Odkrytá nálezová situace je nejspíš již jen dochovaným tepelným projevem nístěje nadzemní pece, přičemž může jít i o otevřenou výheň pracující v oxidačním režimu. V nápadné vazbě na těleso je obsah Ag, méně As a v předpeci ještě Pb v půdě. Mohlo se zde tedy provádět např. zolovňování a shánění v jednom zařízení s minimálním odpadem (obr. 93: 4, obr. 99). Situace se rozměrem a tvarem podobá struktuře č. 801 na lokalitě *Johanneser Kurhaus* v pohoří Harz, který je podle výskytu úkapků olova a klejtu interpretován jako sháněcí (kupelační) pec (*Alper 2003*, 74–76).

Jámové pícky bez stavebních prvků (obr. 94): Jejich rozměry byly často jen 20–40 cm, hloubky 10–30 cm. Jsou hruškovitého, kruhového či oválného tvaru. Výplně jsou charakteristické přítomností paliv v podobě uhlíků. Geochemické analýzy a analýzy technologických příměsí byly provedeny jen výjimečně. Struktury tohoto typu byly zachyceny v sídlištním i důlním areálu na starohorské dislokaci v Jihlavě (obr. 94: 1–4), i v podobě trojice jam v rámci dřevěné zastřešující konstrukce v areálu u Květinova (obr. 93: 5). V jejich pracovním okolí nebyl pozorován žádný archeometalurgický odpad.

Konkávní pece hruškovitého či oválného tvaru se stavebními prvky (obr. 95): Jedná se o struktury v hlavní ose s délkou okolo 1 m. Mají mírně konkávní profil a miskovité až ploché dno. Hloubka se pohybuje do 20–30 cm. Tyto struktury nesou stopy provozního žáru, zpravidla mají dochované výplně s uhlíky a vypálené nebo vymazané dno a mohou mít kamennou konstrukcí stěn s výmazem. Zjistitelný obsah topenišť některých velkých pecí s kamennými konstrukcemi na *Cvilínku* (č. 0900 a 0916) a konkávních oválných až hruškovitých pozůstatků pecí tamtéž (č. 0525, 0904, 0914) i na Starých Horách (č. 2597, 5682, 0911) se pozoruhodně shoduje v rozpětí 0,5–0,6 m². Na *Cvilínku* byla pec tohoto charakteru (č. 0914) vybudována na okraji prádel mimo zónu stagnace vody (obr. 92: 8, obr. 95: 1).

Na jihlavských Starých Horách se zařízení tohoto typu našlo v interiéru zahlušené stavby č. 3581 (obr. 92: 12, 95: 4, obr. 124). Jednalo se o hruškovité oválnou pícku s vymazanou a vypálenou konkávní nístějí a se zbytkem kamenné konstrukce stěn. Na stejné úrovni se asi 40 cm od tohoto tělesa nacházelo ploché vymazané a vypálené místo nepravidelně kruhového tvaru o průměru asi 45 cm, naznačující existenci dalšího funkčně souvisejícího zařízení. Širší nálezová situace byla výjimečná tím, že z místa pochází soubor technologické keramiky s kovnatou nataveninou na povrchu. To v tomto konkrétním případě vybízí k úvahám o dílně, kde se v jednoduché peci prováděly testy, popř. čištění nebo i shánění stříbra. Že se tzv. kupelační pec nemusí nutně projevovat jako konstrukčně složitě zařízení, naznačuje struktura č. 444 na lokalitě *Johanneser Kurhaus* v pohoří Harz (*Alper 2003*, 150, Abb. 73). U pícky č. 0913 na Starých Horách lze ale připustit maloobjemové zolovňovací tavby ručně vytríděného koncentrátu bohatých stříbrných rud v oxidačním prostředí, nebo jednoduchou redukční tavbu galenitového koncentrátu. Tuto praxi zmiňuje v polovině 16. století *Agricola* v Sasku, který uvádí, že pícky se podobají pekařským a palivem je dříví. Vytavené stříbrem obohacené olovo se v předpeci zachytávalo do forem či misek. Po skončení tavby se čelní stěna vybourala a zbytek taveniny se vypustil (*Holub – Malý 2012*, 5–6). V obou takto uvažovaných případech by žárem postižená vymazaná krusta v sousedství pícky připouštěla

výklad, že jde o zařízení, ve kterém se v oxidačním režimu provádělo oddělování stříbra a olova sháněním, tj. přeměnou olova na klejt na struskovacích střepech.

Nezhloubené až konvexní pece oválného tvaru s výrazným podílem kamene na bázi (obr. 96): Tyto struktury mají délku okolo 1 m i méně, téměř nejsou zahloubené a jsou charakteristické podílem kamene v konstrukci dna. Nesou stopy provozního žáru a zpravidla obsahují výplně s uhlíky. Na *Cvilínku* se struktury tohoto druhu (č. 0919 a 1900) nacházely ve vzdálenosti metrů až desítek metrů od kumulací strusek po hutnictví polymetalických rud v jižní části lokality, samy však byly doprovázeny koncentracemi převážně kovářských strusek v pracovním okolí. Charakteristickým prvkem je zde i přítomnost většího kamene (obr. 92: 6 a 14, obr. 96: 1–2). V těchto případech lze uvažovat o kovářských výhních, k čemuž vedou i analogie např. z hutnické lokality *Johanneser Kurhaus* (Alper 2003, 164, Abb. 82 a 83) či v železnorudném revíru Dill-Dietzhölze v oblasti Sauerland (Willms 1996, 47, Abb. 13). Poněkud jiné jsou pece 1 a 2 u Květinova, které sice z hlediska rozměrů, tvaru i použití kamene do takto chápané skupiny řadíme, ale na rozdíl od ostatních u nich pozorujeme i předpecní jámy (obr. 92: 13 a 19, obr. 96: 3–4). U pece 1 vyvolává nálezková situace představu užití dvou měchů. S dvěma měchy se např. u pecí hutnických můžeme setkat již v tzv. tridentském horním právu z počátku 13. století a později i v privilegii Friedricha II. pro Goslar z roku 1219 (Bartels a kol. 2007, 62, 63; Hägermann – Ludwig 1986). Květinovské pece 1 a 2 byly na rozdíl od jámových pícek č. 0528–0530 situovány mimo zastřešení. Společným rysem těchto struktur na *Cvilínku* a u Květinova je obsah výhni v rozmezí 0,25–0,35 m². Zjistitelný obsah topenišť některých velkých pecí s kamennými konstrukcemi na *Cvilínku* a obsah konkávních oválných až hruškovitých nístějí pecí na *Cvilínku* i Starých Horách je dvojnásobný a pohybuje se v rozmezí 0,5–0,6 m².

Kamenné báze s kvadratickou základnou (obr. 97): Tyto struktury známe zatím z lokality *Cvilínek*. Kromě základny větších rozměrů může být součástí nálezkové situace i destrukce kamenů, které mohly být součástí stěn pece. V pracovním okolí se nachází výrazné kumulace uhlíků. Strusky nebo jiný archeometalurgický materiál zde pozorujeme málo nebo vůbec. Na lokalitě *Cvilínek*, nepřilíš daleko od obytného areálu s olověnými úkapky, klejtem či prubířským kamenem, zaujme dvojice tohoto druhu pecí č. 0903 a 0905. U jedné z nich byly zjištěny vysoké obsahy Ag a Pb i vysoké obsahy Cu a současně absence anomálií As nebo Zn (obr. 92: 2 a 7; obr. 97: 2 a 3, obr. 101 a 102). To naznačuje, že pec mohla sloužit ke zpracování např. již předtím metalurgicky upravené vsázky nebo vsázky bohaté na Ag, kterých byl nejspíš menší objem (kamínek, bohaté Ag rudy, černá měď?).

Druhá z pecí rovněž sloužila ke zpracování barevných kovů, půdní metalometrie k její interpretaci ale příliš nepřispěla. Může nicméně jít o polyfunkční pracoviště, kdy se v každé z pecí mohly provádět různé fáze hutnických operací včetně shánění nebo i průby. Vzájemná vzdálenost pecí (4,2 m) umožňovala např. rychlé přenášení tavenin v kelímcích pomocí tyglíkových kleští z jedné pece do druhé s minimální ztrátou teploty. Velmi blízkou analogií k těmto strukturám na *Cvilínku* je báze pece z hutnické lokality ze 13. století *Pandelbach* na severním okraji západního Harzu, považovaná za pozůstatek šachtové pece s kamennou základnou pro měchy (Bartels a kol. 2007, 184–186). Pece č. 0903 a 0905 na *Cvilínku* se však podobají i struktuře č. 743 z lokality *Johanneser Kurhaus* v Harzu (obr. 92: 3), považované za pozůstatek ploché pražící pece (*Röstbett*), známé od raného novověku také pod označením štádl (z něm. *der Stadel*; Alper 2003, 120, 133, 139). Štádl lze z hlediska praktické pracovní infrastruktury očekávat buď přímo v prádlech, nebo v jejich blízkosti, popřípadě mohou být v místě roztloukání rudniny. Jde-li opravdu o pozůstatky otevřených štádel, pak je jejich konstrukční pojetí z málo pochopitelných příčin výrazně vyspělejší než na soudobých lokalitách na Starých Horách u Jihlavy nebo u České Bělé, kde jsou za relikty zařízení na pražení rud považována jednoduchá plochá ohniště (Hrubý 2011, 130–137; Hejhal a kol. 2011, 195).

Pec kvadratické základny s kamennými stěnami a plochým vymazaným dnem v topeništi (obr. 97): Příkladem takového zařízení je struktura č. 0916 na *Cvilínku* (obr. 81: 3, obr. 92: 5, obr. 97: 4). Pec byla součástí prádel na západním břehu potoka. Jedná se o kvadratickou kamennou základnu s jednou otevřenou stranou (západní). V počáteční fázi exkavace byla v topeništi i v okolí pece zjištěna destrukce kamenů, což naznačuje, že původní výška tohoto zařízení byla větší. Dno bylo ploché a tvořené vypálenou hlínou s popelem a uhlíky, ty se však vyskytovaly i v pracovním okolí pece. Charakteristickým rysem je absence jakýchkoliv druhů a typů strusek, ale i jiného archeometalurgického odpadu, jaký jinak z hornických lokalit známe, např. úkapků kovů, metalurgické keramiky apod. Dále zde nebyly zjištěny ani významné půdní koncentrace prvků, k jejichž uvolňování by při pražení nebo hutnictví mělo docházet. Na druhou stranu se přítomnost těžkých prvků, uvolňujících se při těchto metalurgických procesech v závislosti na technologii a typu dotyčných půd, nemusí vždy nutně geochemicky projevit.

Další pec podobného typu byla nalezena v roce 2015 na řezu výkopu na jihlavské starohorské dislokaci, přičemž vypálená báze topeniště byla opakovaně vymazávána (obr. 97: 5). S přihlédnutím k okolním plošným situacím zkoumaným v letech 2006 a 2014 se nachází mezi šachetními ústími, nedaleko prádel i nedaleko některých zahloubených obydlí. Na rozdíl od pece

na *Cvilínku*, která byla od základny nadzemní, bylo topeniště starohorské pece zahloubeno okolo 40 cm pod úroveň terénu. V obou případech je stěna pece postavena z kamenů a při základně má mocnost až 40 cm. To svádí k myšlence, že šlo o staticky zatížené, a tedy vyšší konstrukce. Obě tyto struktury tvarově i materiálově velmi připomínají základnu šachtové pece s ručně poháněnými měchy, jaká je vyobrazena na tzv. Annaberském oltáři z první poloviny 16. století (obr. 91: 1). Nálezu z *Cvilínku* jsou morfologicky blízké pozůstatky některých pecí z 12. až 13. století z lokality *Gévaudan* v oblasti Mont-Lozère ve Francii (*Bailly-Maitre 2010a*, 142–143, Fig. 6).

Pece větších rozměrů s kamennou konstrukcí (obr. 98): Tato skupina je podobná předchozím dvěma, nebyly u ní však doloženy kompaktní kamenné základny, popř. podezdívky, nýbrž jen tvarově charakteristická destrukce, někdy s náznakem obvodových stěn. Vnitřky nesou zpravidla v jižní části tělesa stopy žáru a i v okolí pece jsou přítomny uhlíky. Pozůstatky všech větších typů pecí s kamennými konstrukčními prvky jsou na *Cvilínku* situovány vždy podélnou osou na vrstevnici východního či západního svahu. S výjimkou pece č. 0916 v plochem terénu mezi prádly je u všech těchto struktur snaha o orientaci S–J v hlavní ose, přičemž topeniště je vždy v jižní části zařízení. Společným rysem všech větších pozůstatků těchto pyrometalurgických zařízení kamenných konstrukcí na *Cvilínku* je určitá standardizace rozměrů, zejména vnější šířky, která se pohybuje okolo 1,8 m (obr. 92: 1–2, 4 a 7). To by však spíše než s funkcemi těchto zařízení mohlo souviset se zažitým jednotným stavebním postupem jejich budovatelů a uživatelů. Výjimkou je kamenná pec čtverhranné základny v interiéru zahloubené stavby č. 0582, jejíž rozměry jsou pochopitelně přizpůsobeny především velikosti zemnice a pohybují se okolo 1,4 × 1,5 m (obr. 128). Do této skupiny patří i pec č. 0900 z *Cvilínku* postavená na západním břehu potoka a na svahu vystupujícím z nivy. Z hlediska širších vztahů je součástí volnějšiho uskupení dalších pozůstatků pyrometalurgických zařízení na západním okraji prádel (obr. 92: 1). Hlavní osa struktury je orientována ve směru SZ–JV. Topeniště je indikováno kruhovou žárovou stopou v jihovýchodní části tělesa. K němu na severozápadní straně přiléhá kamenná destrukce, tvořící zhruba obdélný tvar. Celá tato situace v určitém ohledu snese srovnání s plošně zkoumanými pozůstatky železářské hutnické pece (*Rennofen*) v železnorudném revíru Dill-Dietzhölze na hranicích Hesenska a Vestfálska (*Lammers 1996*, 54, Abb. 2).

Druhým specifickým případem je pec č. 0902 na východním okraji údolí s úzkou vazbou prakticky jen na deponie rudniny. Rozměry má o něco menší než pec č. 0900, avšak v mnoha ohledech se jí velmi podobá. U západního boku topeniště se nacházela kruhová

jamka vystlaná plochými kameny. Svádí to k myšlence, že by snad mohla být místem, kam se při redukční tavně vkládalo odstříbřené roztavené olovo, se kterým se vytavené rudní olovo z pece mísilo. Postrádáme zde však metalurgický odpad (úkapky olova, strusky). Také rozložení kovů v půdě naznačuje manipulaci s olovem a stříbrem na opačné straně pece (obr. 92: 4, obr. 98: 2, obr. 100).

Úlomky vyzdívek nebo nístějí pecí: Dosud málo nalezeným druhem konstrukčních pozůstatků pecí jsou zlomky kamenných vyzdívek, popř. nístějí. Dva takové fragmenty byly nalezeny u Čejkova v areálu hutniště na podmáčené louce u potoka. Jedná se o ploché zlomky ruly s tepelně postiženou vnitřní stěnou, na niž pozorujeme sklovitě slinutou nataveninu (obr. 104). Další takový fragment byl nalezen povrchovým průzkumem důlního střediska Buchberg u Utína v areálu s baterií pecí východně od hlavního jámového tahu (obr. 35: F, obr. 117: F, obr. 105: 19). Analogické nálezy, u nichž byla provedena i prvková analýza natavené vnitřní stěny, známe třeba z hutnické lokality Johanneser Kurhaus (Alper 2003, 359–332). Úlomek pece se sklovitou nataveninou byl nalezen v hutnickém areálu Dąbrowa Górnicza – Łosień z 12. století (Rozmus 2014, Ryc. 121).

Kritické, nebo spíše bezradné shrnutí

Ve 13. století bychom na hutích produkujících v blízkosti dolů a úpraven barevné a drahé kovy jako olovo, stříbro či měď mohli oprávněně očekávat přítomnost archeologických pozůstatků po jednoduchých šachtových pecích, jaké jsou známy např. z Harzu ve 12. století (*Bartels a kol. 2007; Asmus 2012*). Očekávat bychom mohli i šachtové pece vybudované z kamene a hlíny, podobné těm na titulním listu kutnohorského hudebního rukopisu ze sklonku 15. století (*Studničková – Purš 2010*, 82–83; obr. 91). Je možné, že v množství pojednaných nálezových situací se pozůstatky takových pecí mohly skrývat. Nicméně ať už kvůli ne vždy optimálním formám terénního výzkumu, či stavu dochování, který byl často horší, než bychom si přáli, se takové pece na Českomoravské vrchovině zatím nepodařilo přesvědčivě prokázat.

Pozastavíme-li se u pozůstatků většiny zkoumaných pecí, vidíme především absenci metalurgického odpadu v jejich topeništích, nístějích i v pracovním okolí. Extrémně se to projevuje znovu na lokalitě *Cvilínku*. V kontrastu k masové přítomnosti různých typů strusek v jižní části lokality nebylo v pracovním okolí konstrukčně propracovaných pecí v severní části areálu a v prádlech nalezeno ani v jednom případě srovnatelné množství hutnického odpadu. Cenné poznatky o organizaci středověkého hutnického pracoviště přináší plošně zkoumané pracovní okolí železářské hutnické pece (něm. *Rennofen*) v železnorudném revíru Dill-Dietzhölze.

Několik metrů od pece se nachází deponie rudniny a na ní přímo navázaná místa třídění a roztloukání rudy. Ve vzdálenosti okolo 10 m od pece směrem po svahu se pak nachází masivní struskoviště, jehož přímá spojitost s provozem pece je pravděpodobná (Lammers 1996, 52, Abb. 61). U mnoha spektakulárních relikvů pecí na *Cvilínku* sice lze pozorovat podobnou prostorovou provázanost s místy, kde byla rudnina deponována a tříděna, kumulace hutnických strusek po redukčních tavných však v blízkosti těchto struktur nenalzáme. To vede k domněnce, že by mohlo jít o pozůstatky pecí, v nichž probíhalo maloobjemové hutnické zpracování ručně vytríděného galenitového koncentrátu, obsahujícího i určité množství sulfidů a sulfosolů stříbra. Odpad z těchto taveb se zde nehromadil na haldách, nýbrž se schraňoval a svážel na centrální struskoviště v jižní části lokality. Zde byl rozbíjen, rozemílán a připravován jako součást vsázek při velkoobjemových tavných většinového produktu dolů a úpraven, tj. nízkoolovnatého směsného sulfidického koncentrátu. V tomto prostoru by pak bylo možné očekávat i přítomnost pecí příslušných typů a rozměrů. Zde objevený kanál, či spíše náhon, v superpozici s hlavní deponií hutnických strusek nedaleko potoka by dokonce připouštěl i pohon měchů vodním kolem, jako tomu bylo u tzv. goslarských taveb. V případě maloobjemových taveb pečlivě vytríděných galenitových koncentrátů nutno nakonec připustit i malé píčky vytápěné dřevem, což je praxe, jakou v polovině 16. století zmiňuje Agricola pro Sasko (Holub – Malý 2012, 5–6). Ostatně úspěšně byla provedena experimentální tavba galenitového koncentrátu i ve velmi jednoduché peci typu *Bole*, v níž je palivem různě výhřevné i různě proschlé dřevo (Timberlake 2014, 70–72; Holub 2015, 664–665). Představě těchto takřka prubířsky maloobjemových taveb galenitového koncentrátu některé z pozůstatků pecí na Českomoravské vrchovině vcelku odpovídají.

Stručně k hutnickému odpadu

Analýzy strusek po hutnění polymetalických rud byly dosud provedeny na značném množství vzorků ze všech revírů centrální Českomoravské vrchoviny. Přesto by se mohlo zdát, že počet analýz stále není reprezentativní a neumožňuje bezpečně se vyslovit ke konkrétním technologiím středověkého hutnictví a zejména k otázce přípravy různých typů koncentrátů, kdy hutnické zpracování se podle jejich složení lišilo. Na Jihlavsku byly analyzovány strusky z lokalit vázaných na starohorskou dislokaci, potoky Smrčenský a Bělokamenský (Malý a kol. 2007, 130–131; Hrubý a kol. 2007, 258–261; Kapusta a kol. 2012; 2013; 2014). Na Havlíčkovobrodsku pak z hutnišť při Sázavě u Stříbrných Hor, na Borovském potoce, u Utína a u České Bělé (Malý – Rous 2001; Rous – Malý 2004, 137–140; Janíčková a kol. 2012). Na Pelhřimovsku byly analyzovány

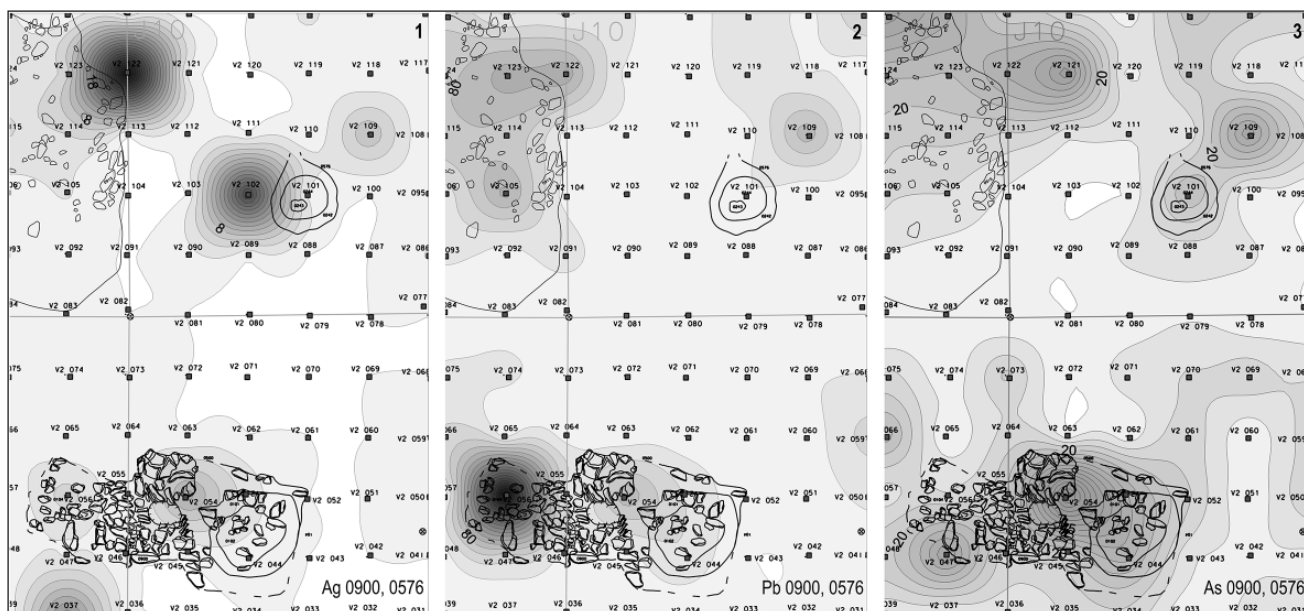
vzorky z lokality *Cvilínek* a z hutniště u Čejkova (Hrubý a kol. 2012, 372–376; Kapusta a kol. 2015; 2017).

Z hlediska morfologické různorodosti i prostorové výpovědi strusek, které lze spojit s hutnictvím polymetalických rud, přináší množství informací plošně archeologicky zkoumané struskoviště na lokalitě *Cvilínek*. Hutnických strusek zde bylo rozlišeno více typů. Největší exempláře pochází z hromadné kumulace strusek v jižní části lokality. Množství lze odhadnout na tisíce kusů (desítky až stovky kg). Na lomu jsou zpravidla tmavší, mohou mít skelný lesk, běžný je lasturnatý lom, porozita je nízká, uzavřeniny uhlíků výjimečné. Tvar je nepravidelný a často je odrazem tuhnutí při tečení, někdy jsou strusky ploché až deskovité. Velikost je proměnlivá od několika cm až po kusy 15 i více cm velké (Hrubý a kol. 2012a, 375).

Tvarově a velikostně specifické strusky se nalézaly v malé kumulaci o výměře asi 1,5 m² na východním břehu potoka, což je asi 30 m od hlavního struskoviště (obr. 90: M2). Ačkoliv se složením, barvou a porozitou neliší od klasických hutnických strusek velkých rozměrů, jsou výrazně menší. Jde o kapkovité, tyčinkovité i tenké ploché kousky, vzniklé tuhnutím při tečení či odkapávání malého množství taveniny. Může to být ukázka přetrvávání staré hutnické technologie, kdy podobné až identické strusky (tzv. *Fliebschlacken*) nalzáme v hutnických areálech 11. až 12. století např. ve Vogézách (Goldenberg 1996, 194, Taf. I.c; Gauthier a kol. 2015, 274–276).

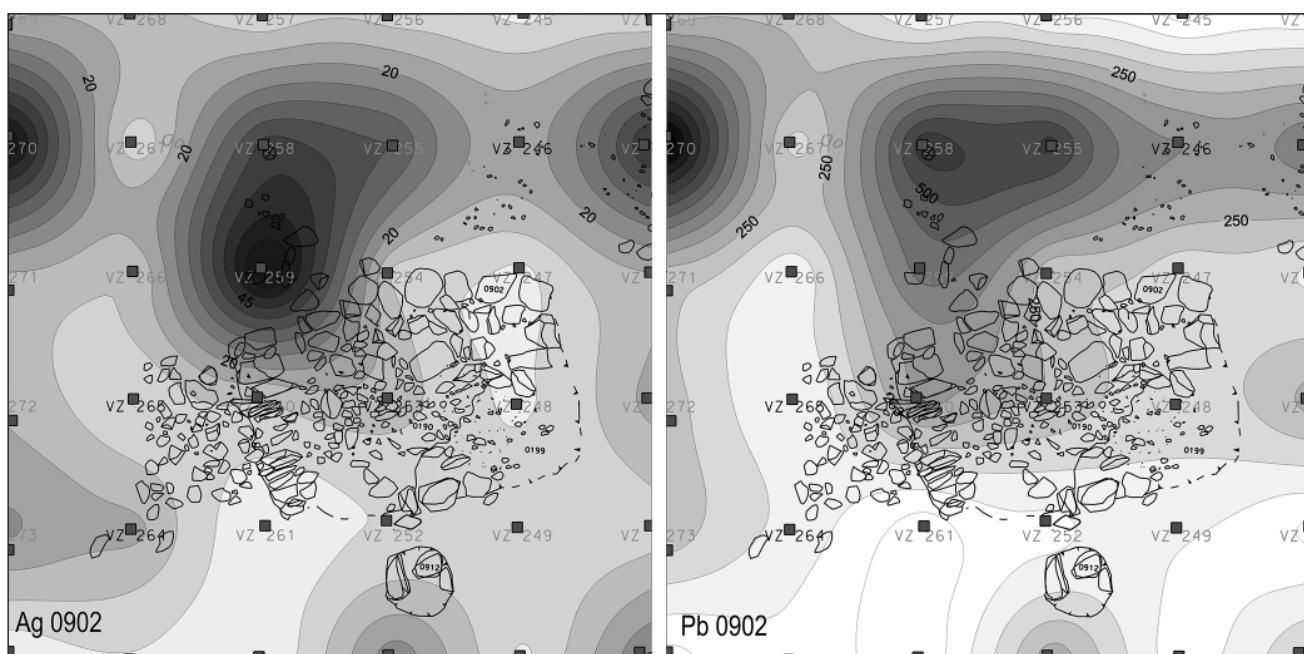
U strusek ze *Cvilínku* s nejvyššími obsahy Pb a Ag a zároveň s nízkým obsahem As (jehož nositelem je arsenopyrit) lze uvažovat o tavně koncentrátu s podílem sulfidů a sulfosolů stříbra (Hrubý a kol. 2012a, tab. 8). Strusky obsahují hlavně Zn, který ze sfaleritu přechází většinou do silikátů. Dále obsahují Ag, většinou soustředěné v sulfidech, nejméně je zastoupeno Pb. Nemusí však jít o indicie taveb vysokoolovnatých koncentrátů. Určité množství Ag i Pb tak či onak přechází do strusek také u velkoobjemových taveb nízkoolovnatých nerozdružitelných koncentrátů. Chemickým i fázovým složením, stejně tak velikostí i porozitou se od hutnických strusek všech typů lišily druhotně rozemleté strusky velmi drobné frakce ve výplni jámy č. 0510 (Hrubý a kol. 2012a, 376, obr. 73). Jedná se o hmotu homogenní milimetrové frakce a lze ji interpretovat jako moučku z kovářské strusky, připravenou do vsázky hutnických taveb nízkoolovnatého nerozdruženého sulfidického koncentrátu.

Ve struskách z hutnického areálu na dolním toku Bělokamenského potoka, ale i z jiných struskovišť byly opakovaně zjištěny sulfidické inkluze, tvořené obvykle několika prorostlými fázemi a sulfidy Fe, Cu a Zn (fáze typu pyrhotin, sfalerit, rudashevskyt, bornit, nestechiometrické fáze aj.). Složení inkluzí ukazuje na hutnění nízkoolovnatého směsného koncentrátu (Kapusta a kol. 2012; 2014). Tam, kde je inkluzí větší množství



Obr. 99. Cvilíněk. Plošné rozložení interpretačně významných barevných kovů (Cd, Zn, Pb) v pracovním prostoru okolo pecí a ohnišť. Výzkum ARCHAIA Brno. Hodnoty v ppm. Půdní metalometrie K. Malý.

Fig. 99. Cvilíněk. Spatial distribution of significant heavy metals (Cd, Zn, Pb) in the workspace around furnaces and hearths. Excavation by ARCHAIA Brno. Values in ppm. Soil metallometry by K. Malý.

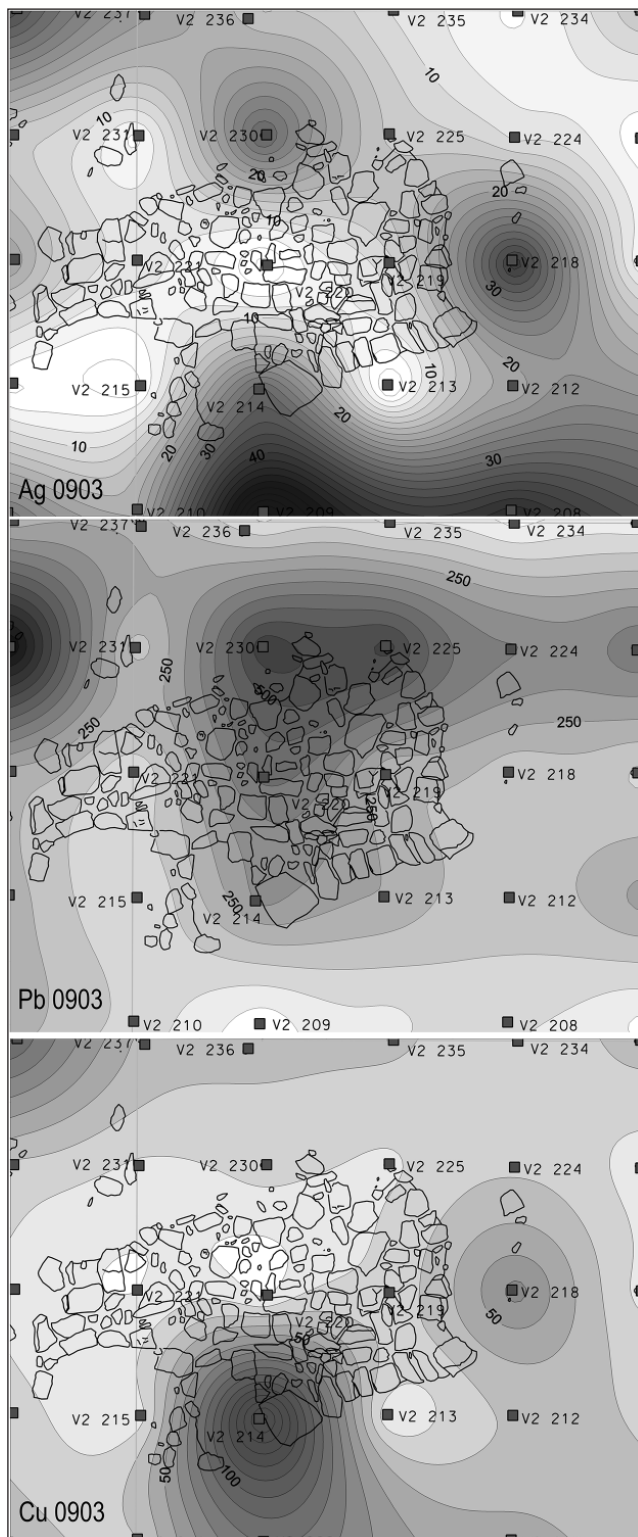


Obr. 100. Středověký zpracovatelský areál Cvilíněk. Plošné rozložení interpretačně významných barevných kovů (Ag, Pb) v pracovním prostoru okolo pecí a ohnišť. Výzkum ARCHAIA Brno. Hodnoty v ppm. Půdní metalometrie K. Malý.

Fig. 100. Cvilíněk. Spatial distribution of significant heavy metals (Ag, Pb) in the workspace around furnaces and hearths. Excavation by ARCHAIA Brno. Values in ppm. Soil metallometry by K. Malý.

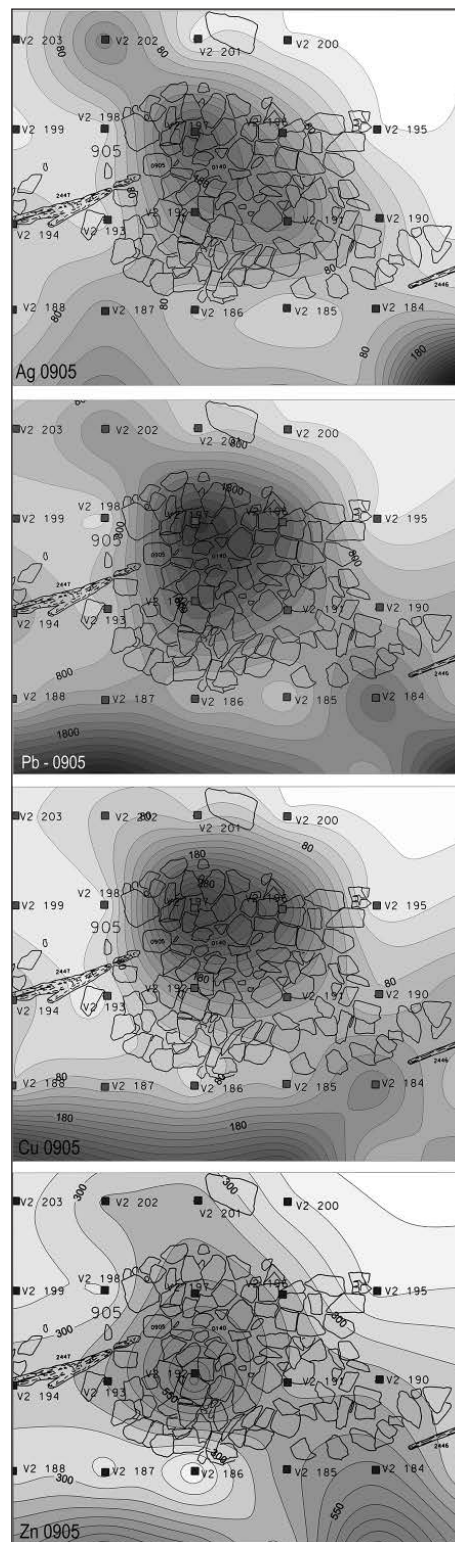
a jejich složení se blíží pyrotinu, můžeme uvažovat o tom, že strusky jsou odpadem z taveb jen částečně nebo nedůsledně vypraženého koncentrátu, nebo že byl do tavby záměrně přidáván kamínek. S drčením a rozemláním vytaveného měděného kamínku, ať už vzniklého záměrně či nechtěně, by pak mohla souviset

i častá přítomnost rudních mlýnů v blízkosti strusko- višť. Mlýny vedle rudy a pražence rozemlaly strusky z předchozích taveb, které se přidávaly do nových vsázek. Právě z nich se mohl gravitačně separovat také vytavený kamínek. Nakonec i ten mohl být rozemlán, a to kvůli důslednějšímu propražení před další tavbou.



Obr. 101. Středověký zpracovatelský areál Cvilín. Plošné rozložení interpretačně významných barevných kovů (Ag, Pb, Cu) v pracovním prostoru okolo pecí a ohnišť. Výzkum ARCHAIA Brno. Hodnoty v ppm. Půdní metalometrie K. Malý.

Fig. 101. Cvilín. Spatial distribution of significant heavy metals (Ag, Pb, Cu) in the workspace around furnaces and hearths. Excavation by ARCHAIA Brno. Values in ppm. Soil metallometry by K. Malý.



Obr. 102. Středověký zpracovatelský areál Cvilín. Plošné rozložení interpretačně významných barevných kovů (Ag, Pb, Cu, Zn) v pracovním prostoru okolo pecí a ohnišť. Výzkum ARCHAIA Brno. Hodnoty v ppm. Půdní metalometrie K. Malý.

Fig. 102. Cvilín. Spatial distribution of significant heavy metals (Ag, Pb, Cu, Zn) in the workspace around furnaces and hearths. Excavation by ARCHAIA Brno. Values in ppm. Soil metallometry by K. Malý.

Starohorské strusky a otázka barya

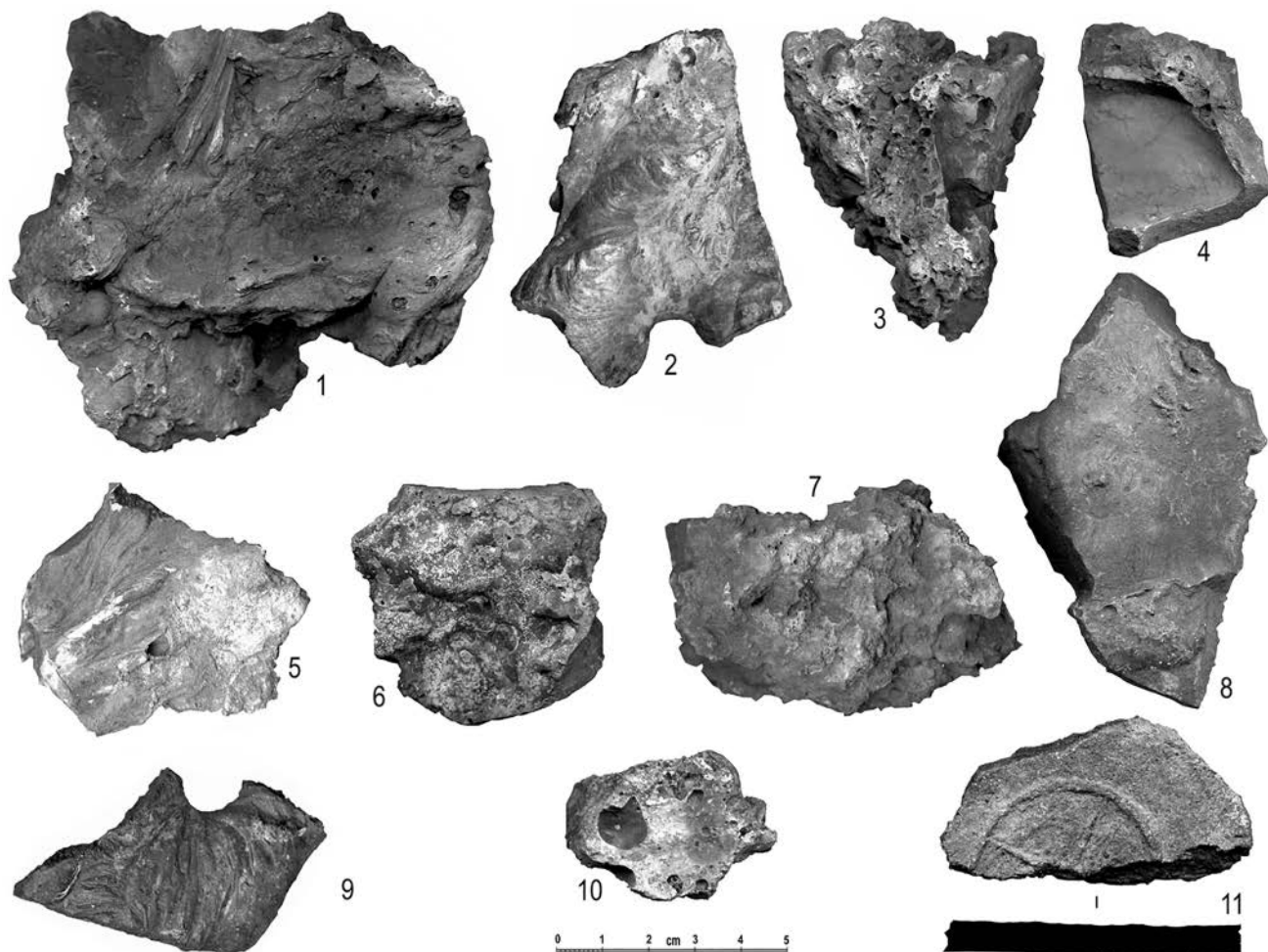
Problémem plošných archeologických odkryvů na jihlavských Starých Horách zůstává dodnes fakt, že zde nebylo identifikováno soustředěné struskoviště, tzn. místo, kde byly zdejší rudy hutnický zpracovávány. Dosavadní nesourodý a spíše menší soubor strusek je tvořen jednotlivými nálezy z různých kontextů zpravidla v severní části zkoumaných ploch (Staré Hory III). Dřívější analýzy těchto vzorků ukázaly vysoké obsahy olova i zinku (Hrubý 2011, 141–143). To v kontextu později provedených analýz jiných vzorků naznačuje, že v průběhu existence zdejšího důlního centra ve 13. a 14. století se hutnické technologie měnily a rozličné nejspíš byly i zpracováváné rudy. Z rozdílných výsledků však může vyplývat i potřeba revize, a zejména sjednocení analytických postupů. Konceptně, metodicky a laboratorně vyspělejší analýzy nepočteného souboru hutnických strusek nalezených při výzkumu roku 2005 rozlišují dva typy strusek, které se od sebe liší makroskopicky, fázovým složením i chemismem (Kapusta a kol. 2017). Strusky prvního typu jsou malé (do 10 cm), nepravidelného tvaru a dochovány jsou jak ve zlomcích, tak v tzv. celotvarech. Na povrchu lze pozorovat stopy po tečení. Hmoty je kompaktní a houževnatá, bez pórů a trhlin. Převažují modročerné odstíny, někdy s přechody do zelené. Na trhlinách i na matném povrchu pozorujeme rezavě zbarvené oxidy a hydroxidy železa. Na řezu jsou výjimečně patrná neroztavená zrna křemene (max. 2 mm), případně inkluze sulfidů nebo vytaveného olova (max. 1 mm). Druhý typ strusek je zastoupen nepočtenými a menšími fragmenty velikosti do 4 cm. Mají skelný lesk, jsou černé a porézní, přičemž póry jsou kulovité (max. 2 mm). Četnější inkluze křemene velikosti do 5 mm mají nepravidelný tvar. Také inkluze olova (max. 1 mm) jsou četnější než u první skupiny strusek. Inkluze sulfidů jsou sporadické.

Ve složení strusek převažuje hlavně SiO_2 (38,52–45,85 hmot. %), FeO (4,46–40,62 hmot. %), BaO (0,61–34,51 hmot. %), Al_2O_3 (6,35–6,86 hmot. %) a CaO (2,50–6,51 hmot. %). Chemicky se rozlišené typy strusek liší obsahy BaO a FeO . Překvapivé jsou nízké obsahy síry a zinku. Strusky jsou chudé na stříbro, jeho maximum bylo v jednom ze vzorků 331 ppm. Fázové složení prvního typu strusek bylo olivín + sklo + křemen + sulfidy + olovo, u druhého typu pak živec + sklo + křemen ± sulfidy + olovo. Živce v druhém typu strusek jsou zajímavé vysokými obsahy barya. Sulfidické inkluze tvoří kulovité útvary, vyplněné většinou pyrrhotinem. U strusek prvního typu bylo v inkluzích zjištěno i vytavené železo a stříbro s 91,5 hmot. % Ag , dále 6,2 hmot. % Sb a 1,2 hmot. % Cu . Ve skleněné fázi strusek mohou mít interpretační význam nízké obsahy CaO v olivínu, u čehož mohla sehrát svou roli teplota (Ettler a kol. 2001), ale i nízké obsahy vápníku ve vsázce. Laboratorní tavba

celkem pěti vzorků ukázala u strusek prvního typu, u nichž byl zjištěn vyšší obsah železa, teploty tání okolo 1000 °C. Tím se liší od strusek druhého typu s vyššími obsahy barya a vápníku, které se tavily při teplotách 1050–1100 °C.

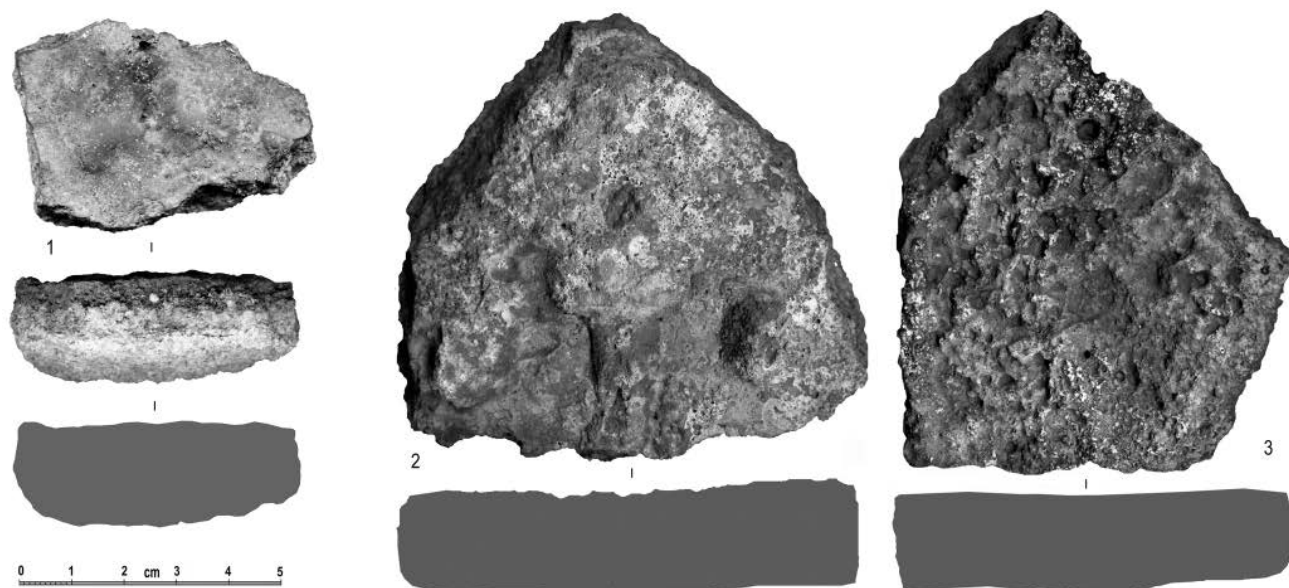
O čem analýzy starohorských strusek vypovídají? V technologickém sledu je to nejprve vstupní pražení koncentráту. Kvalita tohoto kroku se posuzuje podle co nejnižšího obsahu síry, u níž se za hraniční hodnotu považuje 1 hmot. % (Kierczak – Pietranik 2011). U starohorských vzorků lze podle toho označit pražení koncentráту jako dobré u strusek druhé skupiny, u první jako špatné. Překvapivé jsou nízké obsahy zinku, které nepřesahují 0,2 hmot. % ZnO . Přitom ve starohorských rudách je více druhů sfaleritu zastoupeno hojně (Pluskal – Vosáhlo 1998). Nelze to přičíst jen ztrátám zinku při pražení a v redukčních tavbách. Do vsázky šel dobře vytříděný, sfaleritů zbavený koncentrát. Nízké obsahy PbO ve struskách druhého typu naznačují, že olovo je přítomno hlavně ve formě kovu. Při srovnání obou typů strusek z pohledu separace ceněného olova z taveniny vychází lépe první skupina strusek. Příčinou horšího gravitačního vyčleňování redukovaného kovu ve struskách druhé skupiny může být kratší doba tavení i nevhodné teplotní podmínky zvyšující viskozitu taveniny, což kapkám olova, koncentrujícím v sobě stříbro, ztížilo průchod silikátovou hmotou.

U starohorských strusek, zejména z druhé skupiny, je nutné zastavit se nad vysokými obsahy barya. Z analýz skleněné fáze vyplývá, že strusky s vysokým obsahem barya mohou obsahovat až neobvykle málo olova (Kapusta a kol. 2013; 2015). Vzhledem ke kvalitně tříděným rudním koncentráтům se zanedbatelným podílem sfaleritů (což naznačuje nízké množství zinku ve struskách) nutno považovat přítomnost barya jako indikátor záměrného zvyšování množství tohoto prvku v redukční tavbě. Baryum vedle tradičnějšího vápníku, jehož původcem ve strusce byl mj. kostní popel ve vsázce, zabraňuje vstupu olova do strusky, popř. usnadňuje průchod redukovaného kovu taveninou (Kapusta a kol. 2013). Naproti tomu ve starohorských struskách zjišťujeme extrémně nízké obsahy síry, a to až 0,17 hmot. %. Přitom právě baryt byl jediným významným zdrojem síry ve vsázce, tvořené vypraženým rudním koncentrátem a dalšími přísadami. U jednoho ze vzorků strusek s obsahem 27,02 hmot. % BaO lze uvažovat zhruba o 5,5 hmot. % síry. Buď unikla většina síry v kouři, anebo lze uvažovat o snížení jejího množství ještě před tavbou společným pražením barytu s rudním koncentrátem. Proti tomu ovšem hovoří vysoká tepelná stabilita barytu, který se v oxidační atmosféře rozkládá až při teplotách nad 1400 °C (Blumenthal – Guersney 1915). Přitom jsou však popsány strusky bohaté baryem, a to z pecí typu Bole, užívaných na Britských ostrovech. Palivem v těchto pecích bylo dřevo a pražení i redukční proces probíhaly souběžně (Smith 2006).



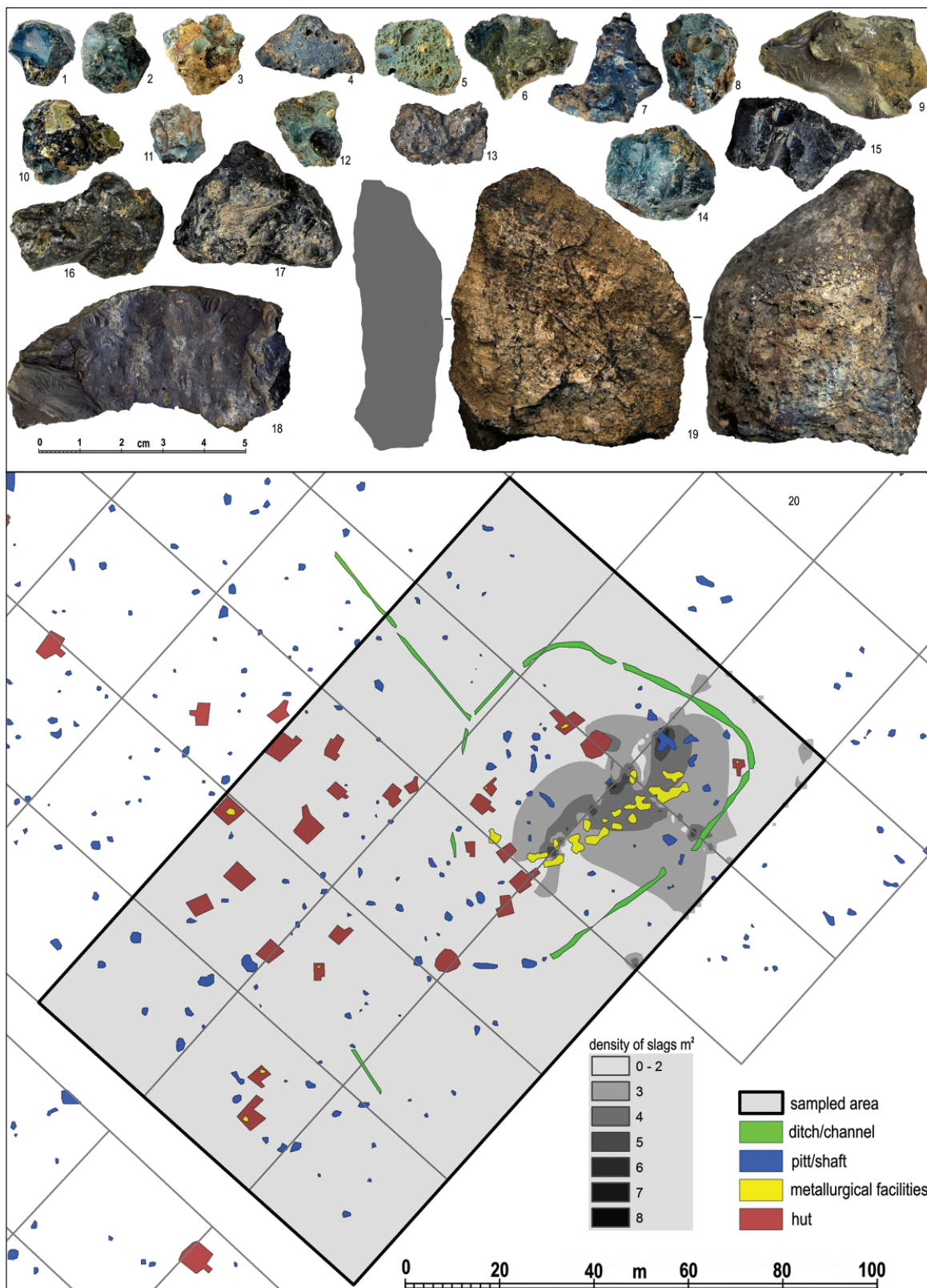
Obr. 103. Středověký hutnický areál v nivě potoka u obce Čejkov (okr. Pelhřimov). **1-10:** Nálezy strusek po hutnictví Pb-Ag rud. **11:** Zlomek dna keramické nádoby se značkou. Foto a úprava autor.

Fig. 103. Medieval metallurgical area in the floodplain of a stream near the municipality of Čejkov (Pelhřimov Dist.). **1-10:** Finds of slags from metallurgy of Pb-Ag ores. **11:** bottom fragment of a ceramic vessel with potter's mark. Photo and editing by author.



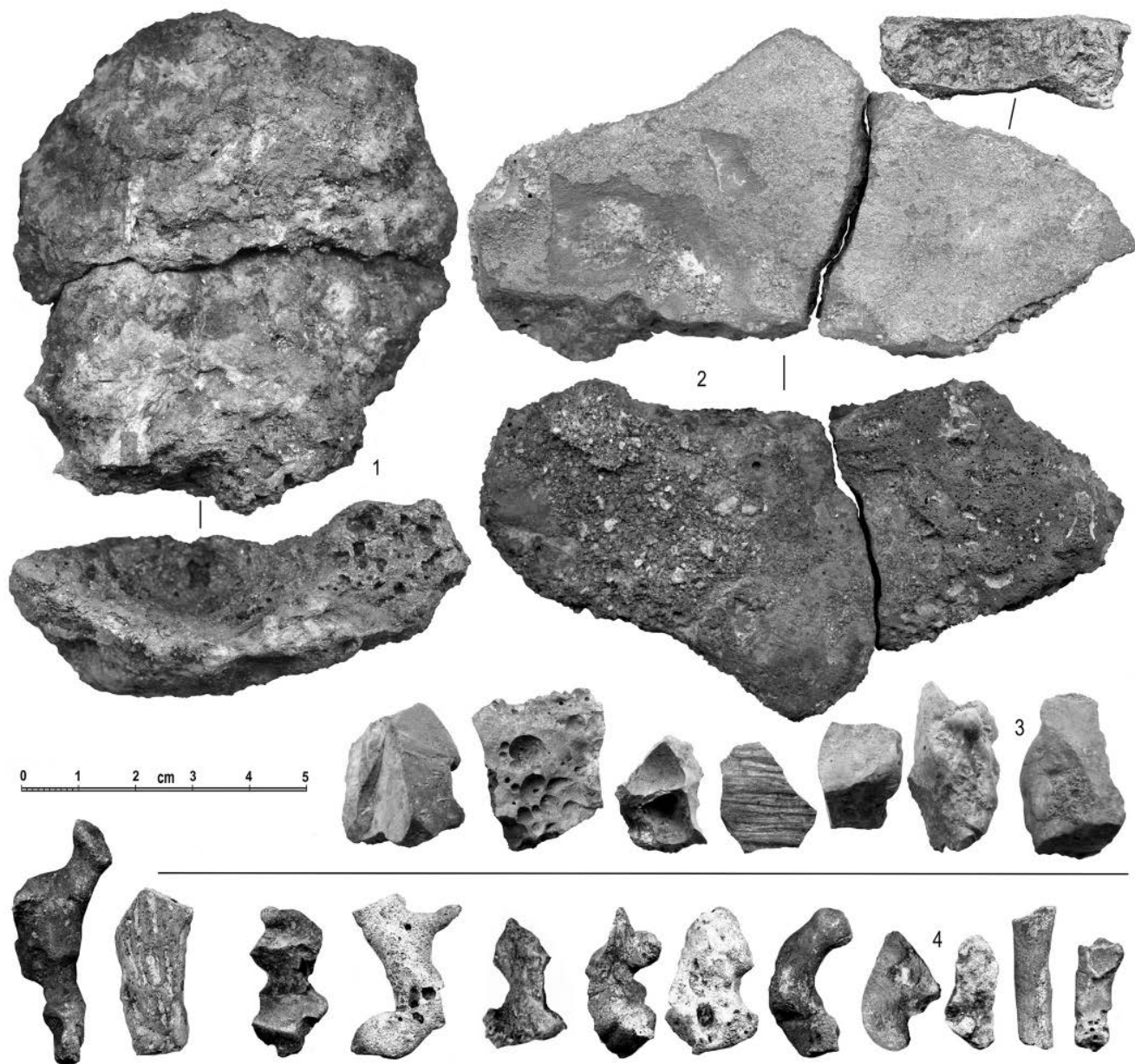
Obr. 104. Čejkov. Zlomky kamenných vyzdívek, popř. nístějí pecí s natavenými stěnami. Průzkum 2011, 2013 ARCHAIA Brno. Foto a úprava autor.

Fig. 104. Čejkov. Fragments of stone lining or hearths of furnaces with melt residues on the surface. Survey in 2011, 2013 by ARCHAIA Brno. Photo and editing by author.



Obr. 105. Utín (okr. Havlíčkův Brod). **1-18:** Nálezy strusek z prostoru, kde byl geomagnetickou prospekcí detekován ohrazený metalurgický areál s relikty pecí. **19:** Zlomek kamenné vyzdívky pece s natavenými stěnami. **20:** Prostorové koncentrace strusek v areálu s pecemi na základě zaměřovaných povrchových průzkumů. Průzkumy 2015, 2017 a 2018 ARCHAIA Brno a ÚAM FF MU. Geomagnetické měření P. Milo, ÚAM FF MU. Foto a úprava autor. Prostorové vyhodnocení strusek a zobrazení M. Košťál.

Fig. 105. Utín (Havlíčkův Brod Dist.). **1-18:** Slag finds from places where geomagnetic survey detected an enclosed metallurgical area with relics of furnaces. **19:** fragment of stone lining of a furnace with melt residues on the walls. **20:** spatial accumulations of slags in the area with furnaces based on surface survey. Survey and prospections in 2015, 2017 and 2018 by ARCHAIA Brno and Department of Archaeology and Museology, Faculty of Arts, Masaryk University (Geomagnetic by P. Milo). Photo and editing by author. Spatial evaluation of slags and picture by M. Košťál.



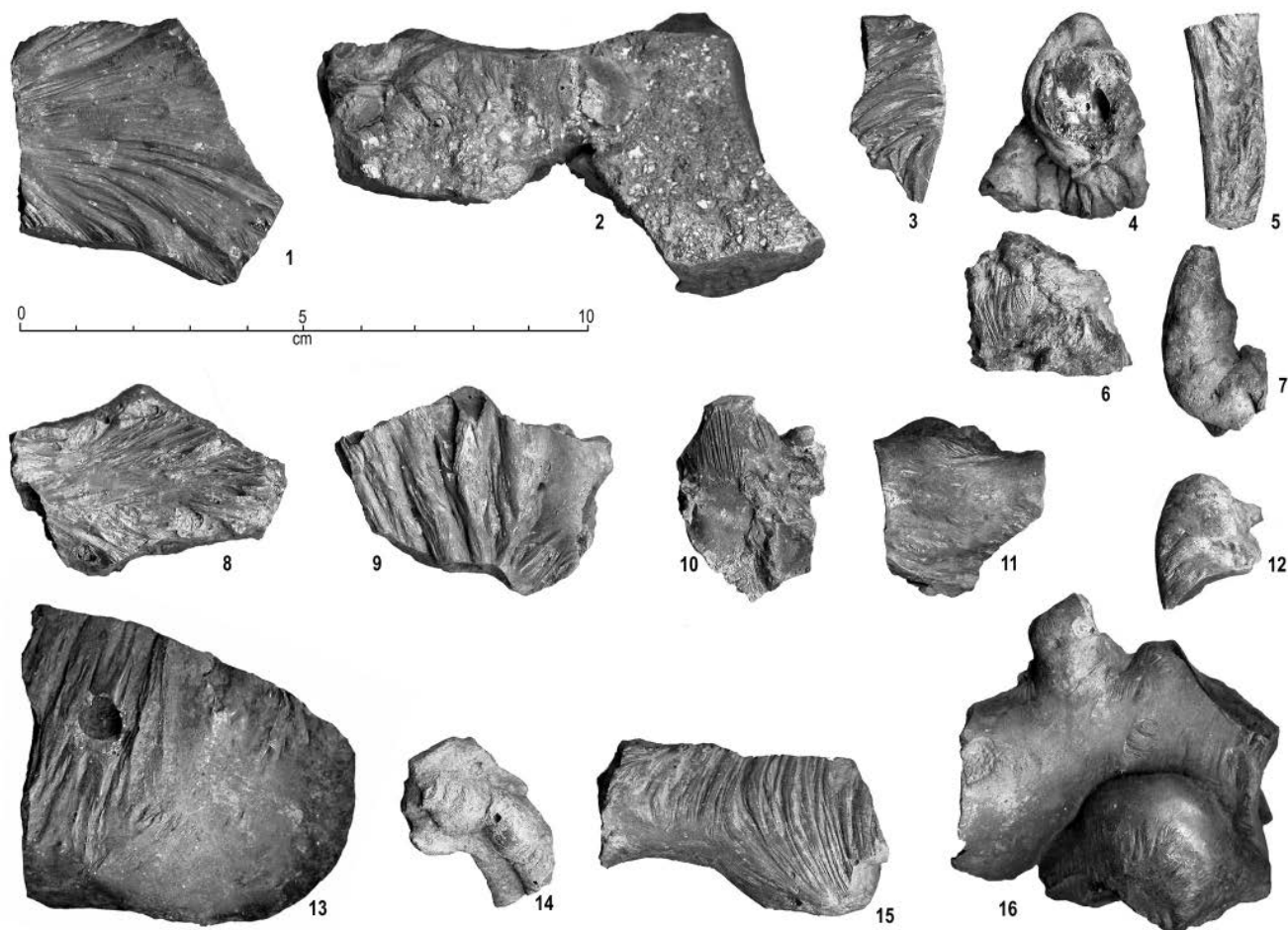
Obr. 106. Středověký zpracovatelský areál Cvilínek. **1:** Kovářská struska (celotvar). **2:** Plochá deskovitá struska. **3:** Strusky po hutnické polymetalických rud druhotně drcené a mleté. Výzkum ARCHAIA Brno a MVJ. Foto a úprava autor.

Fig. 106. Medieval processing area Cvilínek. **1:** forging slag (complete individual piece). **2:** flat tabular slag. **3:** secondarily crushed and ground slags from metallurgy of polymetallic ores. Excavation by ARCHAIA Brno and Museum of Vysočina Region in Jihlava. Photo and editing by author.

Ve svrchní části pece dochází nejprve k oxidaci vsázky, která se postupným propadáním dostává do redukčního prostředí v hlubších partiích pece (Cloughton 1995). Provozní teploty jsou 600–1000 °C, přesto se při nich baryt rozkládá (Hamilton a kol. 1999). Pece typu Bole ovšem sloužily k získávání velkého množství olova pro stavební a řemeslné účely, a to nenáročnou tavbou kvalitního galenitu, což hutníky nenutilo zabývat se snižováním ztrát. Pece byly konstrukčně nenáročné, jejich provoz byl snadný, nezávislý na vodních zdrojích a jako palivo stačilo dřevo (Cloughton 1995). Existenci a provoz takového typu pecí na Jihlavsku ve 13. století však na jen základě podobnosti starohorských strusek

a strusek z pecí Bole nelze odvozovat. Odlišné je totiž fázové i chemické složení strusek. Srovnatelně vynikají vysoké obsahy barya, avšak ve struskách z pecí Bole jsou výrazně vyšší podíly vápníku a ztrátového olova. U obou typů starohorských strusek musíme na rozdíl od taveb vysokoolovnatých galenitů v pecích Bole předpokládat spíše tavbu nízkoolovnatých koncentrátů s důrazem na snížení přechodu stříbrem naboženého olova do strusek, který byl považován za nežádoucí ztrátu.

Zvýšené množství barya bylo vedle jihlavských strusek zjištěno také u strusek z hutnického areálu u Čejkova (obr. 5: 14, obr. 87–88, obr. 103–104). V souladu



Obr. 107. Středověký hutnický areál poblíž jámového tahu jižně od Vyskytné (okr. Pelhřimov). Ukázky strusek po hutnictví polymetalických rud. Průzkum 2015 ARCHAIA Brno. Foto a úprava autor.

Fig. 107. Medieval metallurgical area near the open-cast mining zone south of Vyskytná (Pelhřimov Dist.). Examples of slags from metallurgy of polymetallic ores. Survey in 2015 by ARCHAIA Brno. Photo and editing by author.

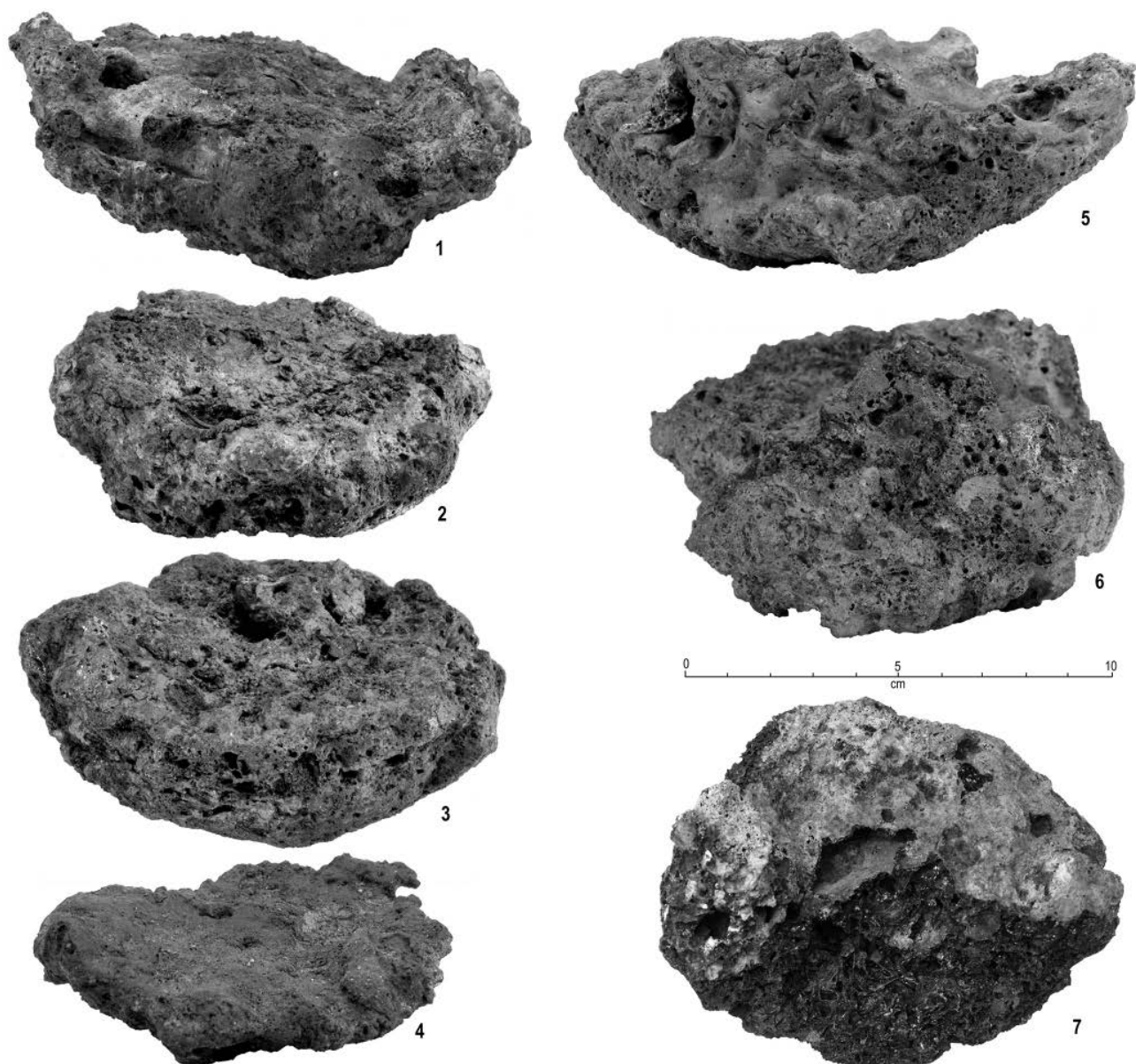
s uvedenými zjištěními lze uvažovat o záměrném přidávání barytu do hutnických vsáček jako o stabilizované technologii, která iniciovala export barytu z míst jeho přirozeného výskytu do hutí v okolních revírech, kde se baryt naopak nevyskytuje. Původ barya je proto nutné hledat v žilném barytu z rudně mineralizovaných zón Jihlavska, zejména na starohorské dislokační zóně. Spolu s tím je třeba uvažovat také o možném dovozu olova do jihlavských hutí z jiných a často i vzdálených produkčních oblastí, což naznačují srovnávací izotopové analýzy olova z prokazatelně místních rud a olova v hutnických struskách (Kapusta a kol. 2015; 2017).

Kovářství a kovářské strusky

Vedle měst, vesnic, dolů a hutí měly na odlesnění krajiny i na skladbu lesů již v prvních letech po zahájení těžby a hutnictví rud vliv areály zabývající se těžbou stavebního dřeva, popřípadě energeticky i materiálově náročnou výrobou dřevěného uhlí (Hillebrecht 1992; Klemm – Nelle 2008; Klemm a kol. 2005). Pracoviště pro-

dukující dřevěné uhlí i palivové dřevo, nezbytné pro redukční tavby, zolovňování, shánění, přepalování, prubířství a dalších pyrotechnologické činnosti, byla nejspíš krátkodobá a jejich množství i umístění v krajině bylo proměnlivé. Přesvědčivé archeologické doklady např. uhlířství však zatím na Českomoravské vrchovině k naší škodě chybí. Ke spotřebitelům paliv patřily i kovářny, mnohé z nich pak samozřejmě na dolech. Nevidujeme je bohužel v tak spektakulární podobě jako třeba na žíle *Riester* poblíž městečka Sulzburg v jižním Schwarzwald (Goldenberg 1999, 21; Goldenberg – Steuer 2004, 54), popř. na středisku *Brandes* ve francouzských Alpách, kde byly odkryty stavební relikty několika kováren a jejich instrumentální vybavení (Baillly-Maitre 2010b, 228–230).

Výjimečný je po mnoha stránkách metalurgický areál na někdejším středisku *Buchberg* u Utína. Zde byla geomagnetickým měřením zachycena oblast prostorově a dispozičně výmluvných bodových anomálií vysokých hodnot. Ty byly seřazeny v souvislé dvojité linii v ose JZ–SV a lze je bez obav interpretovat jako baterii asi dvaceti pecí ve dvou řadách (obr. 34, 35: F, obr. 117: F).

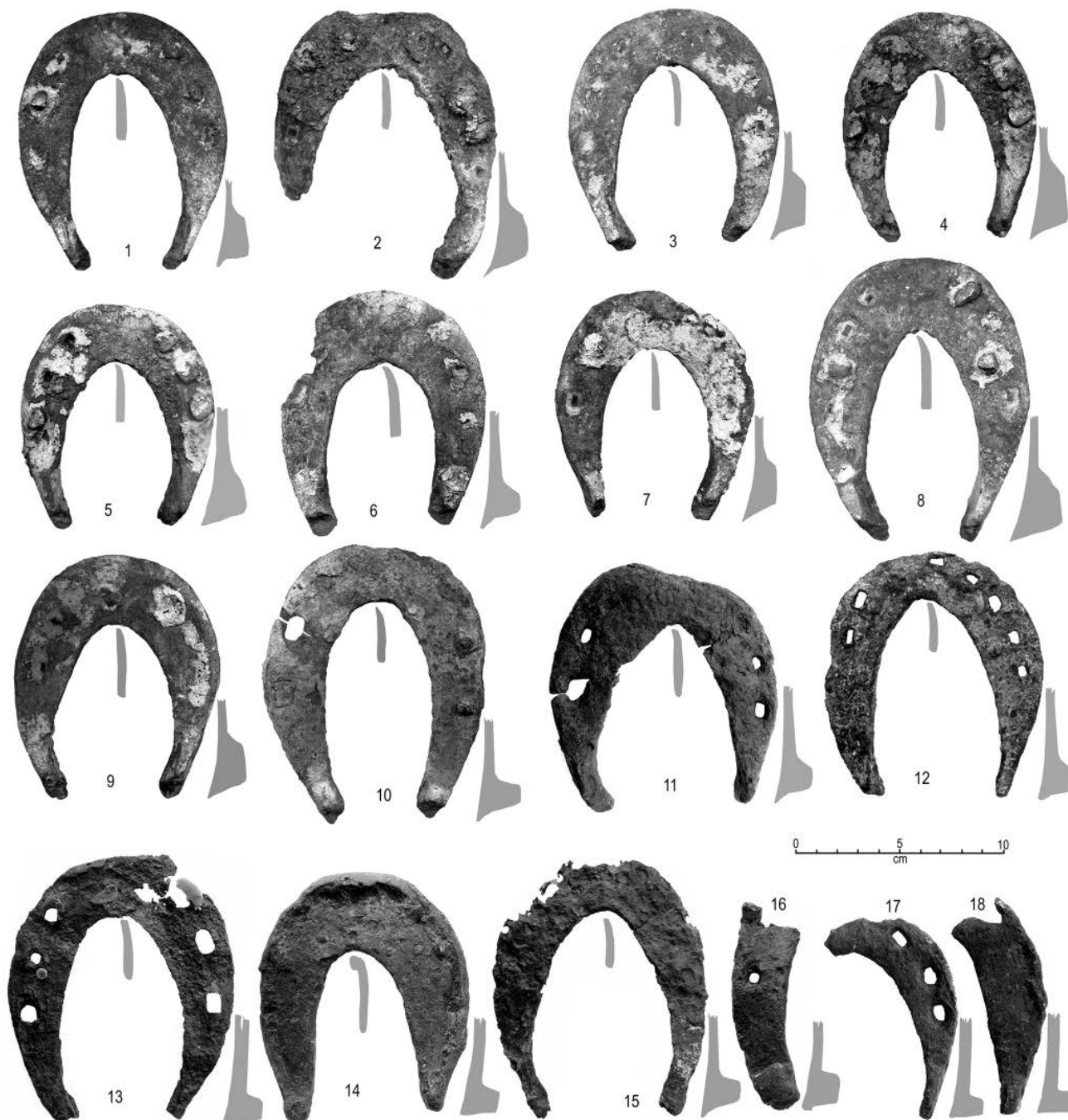


Obr. 108. Tzv. celotvary kovářských strusek z různých středověkých zpracovatelských lokalit centrální Českomoravské vrchoviny. **1:** Utín, areál zaniklého středověkého centra Buchberg. **2-3:** Opatov (okr. Jihlava). **4-6:** Vyskytná (okr. Pelhřimov). **7:** Jihlava, Staré Hory. Foto a úprava autor.

Fig. 108. Complete individual pieces of forging slags from various medieval processing sites in the central part of the Bohemian-Moravian Highlands. **1:** Utín, area of the deserted medieval centre Buchberg. **2-3:** Opatov (Jihlava Dist.). **4-6:** Vyskytná (Pelhřimov Dist.). **7:** Jihlava, Staré Hory. Photo and editing by author.

Toto pracoviště rozměrů přibližně 8×50 m bylo obehnáno plotem, který se na magnetogramu projevuje žlábkem (obr. 105: 20). Nálezy keramiky z povrchových průzkumů areálu řadíme jen obecně do 13. až 14. století, což odpovídá i závěrům dřívějších nedestruktivních terénních průzkumů (Rous 1998, 107–108, 114). Z archeometalurgických nálezů lze uvést kamenné fragmenty vyzdívek či nístějí pecí se sklovitou nataveninou (obr. 105: 19). Areál se vyznačuje extrémní koncentrací více morfologických typů strusek přímo v místě a v bezprostřední blízkosti pecí a výhní (obr. 105: 1–18, 20). Ačkoliv v tomto prostoru není vyloučeno zkouše-

ní rud či vyhutněných kovů, popř. hutnictví železných rud, které u Utína nebo jinde v okolí mohly být těženy, menší archeologická sondáž ($1,6 \times 7$ m) zde roku 2018 zjistila pozůstatky kovářských výhní. Jejich konstrukce byla kromě kamene tvořena i kovářskými struskami. Kovářský charakter pracoviště naznačují i měření prvkového a fázového složení vzorků strusek, v nichž převažují výrazně porézní a lehčí exempláře. Chybí u nich prvky charakteristické pro hutnictví polymetalických rud. V případě provázání kováren s hutnictvím železa lze uvažovat o zpracování limonitů a Fe karbonátů ze zdejších zvětralin, které musely být při vyhledávání



Obr. 109. 1-10: Cvilínek. Hromadný nález opotřebovaných podkov i s podkováky nedaleko kovářských pracovišť. **11-18:** Opatov (okr. Jihlava): podkovy z důlního střediska ve východní části pelhřimovského rudního revíru. Jsou jedním z nepřímých dokladů přítomnosti hospodářského, přesněji pracovního zvířectva na zdejších dolech a úpravárnách. Výzkum ARCHAIA Brno. Foto autor.

Fig. 109. 1-10: Cvilínek. A hoard of worn horseshoes and horseshoe nails in the vicinity of smithies. **11-18:** Opatov (Jihlava Dist.): horseshoes from the mining centre in the eastern part of the Pelhřimov ore district. They indirectly attest to the presence of livestock, more precisely working animals, in local mines and preparatory facilities. Excavation by ARCHAIA Brno. Photo by author.

a těžbě stříbrnosných sulfidů tak jako tak vydobývány. Závěrečnou fází existence tohoto pracoviště lze datovat nálezem stříbrného parvu Jana Lucemburského (1310–1346) v zásypu jedné z výhní (obr. 118: 4).

U Vyskytné byly geomagnetickým měřením a povrchovými sběry v blízkosti jámového tahu a v areálu sídliště detekovány tři kontrastně vymezené magnetické anomálie s koncentracemi kovářských strusek, indikující kovářská pracoviště (obr. 39: A, C–E). Jejich vzájemné vzdálenosti

byly okolo 60–70 m. Kovářské strusky ve formě celotvarů z nístější výhní i zlomků pochází však i z přilehlých odvalových tahů. Tyto tzv. celotvary kovářských strusek známe i z jihlavských Starých Hor, popř. z důlního střediska *Buchberg*, z lokalit *Cvilínek* a *Opatov* na východě pelhřimovského rudního revíru (obr. 108).

Na *Cvilínku* byly zkoumány dvě situace, které hlavně podle přítomnosti většího množství kovářských strusek můžeme označit za pozůstatky kovářských výhní.

První je archeologická struktura č. 0919 v jižní části lokality, která patří do skupiny nezahlobených pyrometalurgických zařízení s vysokým podílem kamene v konstrukci. Její délka je něco přes 1 m a kamenná konstrukce vytváří prostor pro výheň asi 30 × 40 cm, vyplněný uhlíky (obr. 96: 1). Tato struktura je analogická reliktu kovářské výhně na lokalitě *Johanneser Kurhaus* v Harzu (*Alper 2003*, 164, Abb. 82 a 83). Druhou nálezovou situací tohoto druhu, třebaže ne nejlépe čitelnou, představuje struktura č. 1900, která je od předchozí vzdálená jen několik metrů. Šlo o rozptýlenější kumulaci kamenů s dvěma žárovišti tvořenými uhlíky a kovářskými struskami (obr. 96: 2). Za indicii kovářského pracoviště by mohl být považován také hromadný nález opotřebovaných podkov a s podkováky uložený v blízkosti struktury č. 1900 (obr. 109: 1–10). Do jisté míry se nálezová situace těchto pozůstatků kovářských výhní podobá reliktním zastřešené kovárny s dvěma výhněmi nalezeným v železnorudném revíru Dill-Dietzhölze (*Willms 1996*, 47, Abb. 13). Snese srovnání i s kovářským pracovištěm na archeologicky zkoumané důlní lokalitě ze 13. a 14. století na zlatorudném ložisku Čelina-Mokrsko jižně od obce Prostřední Lhota na Příbramsku (*Kudrnáč 1987*).

Kovářské strusky byly na *Cvilínku* často doprovázeny struskami a dalšími pozůstatky po zpracování polymetalických rud. Přesnější by bylo říci, že pozůstatky kovářství i hutnictví polymetalických rud se v jižní části lokality vyskytovaly jako společná součást většího metalurgického areálu (obr. 90). Víme, že dvě z tamních nálezových situací byly s největší pravděpodobností kovárnami. Zároveň víme, že kovářské strusky, obsahující z principu značný podíl železa, byly po patričním mechanickém zpracování (roztlučení, stouповání a rozemletí) používány jako jedna z přísad do vsázky při redukčních tavbách polymetalických rud. Stejně tak mohly kovářské strusky sloužit i jako stavební materiál stěn či vyzdívek hutnických pecí, a to rovněž kvůli žádoucímu ovlivnění redukční tavby (*Holub – Malý 2012*). Spíše nepravděpodobná je souvislost Fe strusky s redukční tavbou olovnatých rud pomocí kyzů železa. Tento postup v 11. a 12. století předpokládají badatelé u zpracování sulfidických olovnatých rud na lokalitách

Sosnowiec – Zagórze a Dąbrowa Górnicza – Łosień v jižním Polsku (*Rozmus 2014*, 171–177). Od raného novověku se takový postup připouští také ve Schwarzwald, kde se pro něj užívá označení *Niederschlagsarbeit* (*Goldenberg 1996*, 33). Tuto praxi však v evropském středověku z hlediska chemických technologií odmítá Milan Holub (*Holub – Malý 2012*, 6; *Holub 2015*).

Otázka paliv

Vedle desítek kilogramů strusek disponuje dnes archeologie tím, co je společné dřevařství a uhlířství jakožto producentovi na straně jedné a kovářství či hutnické metalurgii jakožto spotřebiteli na straně druhé, a to jsou bohaté soubory uhlíků. Mohou posloužit jako informačně přínosný pramen ke studiu dobových tuhých paliv v metalurgické výrobě (*Ludemann 1995a–b; 1996; 2001*). V předchozím textu bylo už zmíněno, že při jednodušších a maloobjemových hutnických tavbách olovnatých rud v konstrukčně nenáročných pecích mohlo být palivem i dřevo (*Timberlake 2014*, 70–71; *Holub 2015*; 655, 657, 665). Čisté a reaktivní dřevěné uhlí obsahuje v suchém stavu až 90 % uhlíku. Výhodou je i jeho nižší hmotnost, což z něj činí surovinu, kterou lze bez větších problémů transportovat ve větším množství: 1 m³ sypaného dřevěného uhlí z tvrdého listnatého dřeva má hmotnost až 240 kg (*Stránský. K. – Stránský, L. 2005*). Zajímavou výpověď poskytly uhlíky coby zástupný indikátor metalurgických činností na *Cvilínku*. Nacházely se v topeništích pecí a v lokálních kumulacích v pracovním prostoru okolo nich. Vedle toho však byly analyzovány i uhlíky uzavřené ve struskách z jižní části lokality. Druhé spektrum těchto uhlíků se od uhlíků z pecí výrazně liší. Obsahovalo téměř výhradně uhlíky buku a břízy s malou příměsí dalších druhů, což lze považovat za doklad selekce vyhřevných dřevin. Ve vzorcích uhlíků z pecí a z jejich okolí je vyrovnaný podíl jehličnanů (jedle, smrk, jedle/smrk) a listnatých dřevin (buk, bříza, olše, topol/vrba) s malou příměsí javoru a jilmu. Může to znamenat, že některé z pyrometalurgických úkonů (pražení, vyhřívání šachtových pecí?) nevyžadovaly selektovaný druh paliva.