

# Příspěvek k výpovědní hodnotě kovových slitků doby bronzové a poznání organizačního a technologického procesu metalurgie cínového bronzu

The testimonial value of Bronze Age metal raw materials and knowledge of the organisational and technological process of tin bronze metallurgy

Markéta Augustýnová – Marek Fikrle – Jiří Kmošek

*Studie představuje příspěvek k poznání procesu výroby cínového bronzu v době bronzové na základě výpovědi kovových slitků. Jedná se o doklady metalurgické aktivity jak ve formě materiálových polotovarů/ingotů, tak odpadu vznikajícím při výrobní činnosti. Kovové slitky se vyskytují po většinu doby bronzové v různých kontextech. Mají rozmanitou povahu, funkci a původ. Kromě materiálových analýz nebyla dosud slitkům původem z Čech věnována komplexní systematická pozornost, a to zejména z hlediska jejich podrobné deskripce a z ní vyplývajících dat k posouzení druhu produktů. Výzkum se zaměřil na studium formálních vlastností slitků, kategorií hutnických a slévačských produktů v rámci operačního řetězce metalurgie bronzu a vzorců organizačního a technologického zacházení v rámci různého prostoru a času. Využity a komparovány byly jak klasické archeologické metody dokumentace, tak přírodovědné analytické metody.*

kovové slitky – ingoty – metalurgie bronzu – depoty – doba bronzová – Čechy

*The study contributes to knowledge of the Bronze Age tin bronze production process based on the testimony of metal raw materials. This concerns evidence of metallurgical activities both in the form of semi-finished products/ingots and waste generated during production activities. Metal raw materials of a diverse nature, function and provenance occur in various contexts throughout most of the Bronze Age. Besides material analyses, metal raw materials originating in Bohemia have not yet received comprehensive systematic attention, especially in terms of their detailed description and the resulting data to assess types of products. The research focused on a study of the formal properties of metal raw materials, categories of smelting and casting products within the operational chain of bronze metallurgy and patterns of organisational and technological treatment in various space and time contexts. Both classical archaeological methods of documentation and scientific analytical methods were used and compared.*

metal raw materials – casting cakes – bronze metallurgy – hoards – Bronze Age – Bohemia

## 1. Úvod

Přestože o metalurgii cínového bronzu bylo sepsáno zejména v zahraničí mnoho obecných i specializovanějších statí a vykonáno množství experimentálních či experienciálních taveb, o samotném procesu výroby a místech, kde byla tato aktivita vykonávána, se doposud ví málo. Jeden z nejvýznamnějších klíčů k rozluštění operačního řetězce metalurgie bronzu reprezentují kovové slitky.

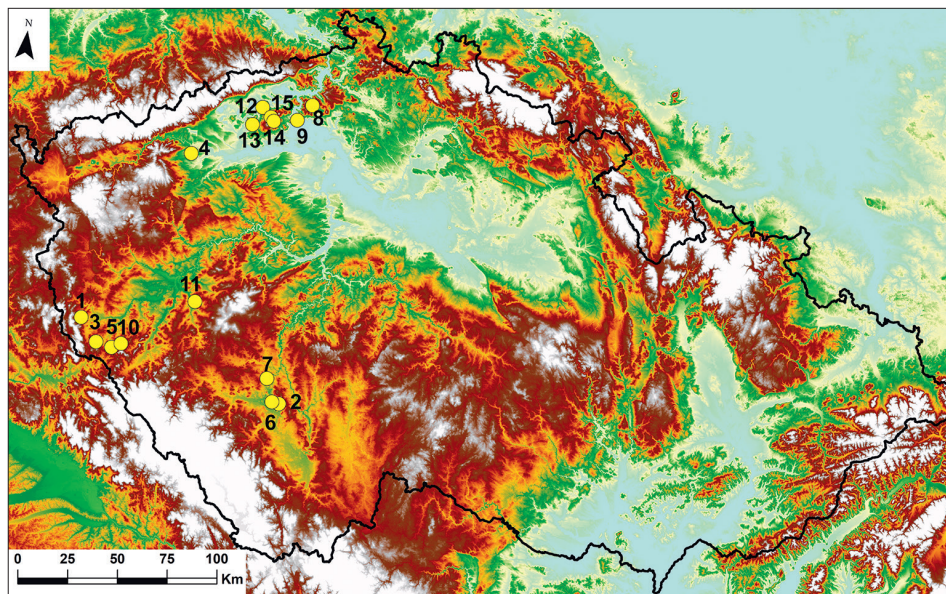
Kovové slitky představují obecně dosud nepřilíš často nalézané doklady metalurgie bronzu, přestože v přepočtu na absolutní množství kusů předmětů nejde o raritní artefakty (součástí depotů zlomků bývá v některých případech značné množství slitků – viz dále).

Snad tato situace pramení z jejich nevzhlednosti v porovnání se spektakulární podobou hotových výrobků a určité nenápadnosti zejména v jejich fragmentární podobě, díky nimž mohly unikat zájmu svých objevitelů. Postupně se však situace začíná zlepšovat (srov. *Křivánek – Kuna – Korený 2006; Chvojka – Červenka 2008; Vích 2012; 2016; Chvojka – Fröhlich 2013; Halama 2014; Hlásek et al. 2015; Chvojka et al. 2017; Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017; Parma a kol. 2017; Hlásek – Fröhlich 2019*), a to i díky rozšíření detektorů kovů.

Dosud nebyla slitkům původem z Čech věnována komplexní systematická pozornost, a to zejména z hlediska jejich podrobné deskripce. Podoba popisné a obrazové dokumentace nebývá vždy dostačující ani k základní klasifikaci předmětu a z ní vyplývajícího zařazení do škály hutnických a slévačských produktů (srov. *Bachmann et al. 2003, 81–91, 109; Modl 2019, 375, 377; Parma a kol. 2017, 87*) v procesních krocích operačního řetězce metalurgie bronzů. V minulosti se slitkům dostalo významného zájmu prostřednictvím výběrového provedení základních materiálových analýz, které přinesly důležité poznatky, ale nedošlo dosud k provázání s detailní deskripcí dalších vlastností slitků (morfologie, resp. technologické znaky, stopy užívání apod.). Rovněž byla publikována různá dílčí fakta, která byla na slitcích pozorována, a nastíněny některé prvotní úvahy, jež budou v této stati také reflektovány. Stále se však lze v publikovaných pracích setkat s nepřesnými interpretacemi slitků, které jdou ruku v ruce s jejich rozkolísanou terminologií. Bývají označovány množstvím termínů jako (měděné/bronzové) ingoty/slitky, koláčovitě ingoty/slitky, plan(o)konvexní ingoty/slitky, bronzovina, (měděná) surovina, měděné/bronzové polotovary, v německy psaných pojednáních je možné narazit na Gussstücke, Gussbrocken, Rohmetallbrocken, (Bronze)Barren, Gussbarren, Rohstoff, Rohmetall, Rohkupfer, Klumpen apod.

Kovové slitky jsou mnohdy nazírány jako monolit, přestože mají rozmanitou povahu, funkci a původ. Neztělesňují tedy pouze jediný produkt, jak je stále v širokém diskursu archeologické obce hluboce zažito, přestože alespoň domněnka o „bronzovině“ všech slitků (srov. *Pleiner – Rybová eds. 1978, 445, 455, 523, 547, 575*) byla již překonána. Jednou z příčin je absence běžného provádění materiálových analýz u konkrétních předmětů. Podrobnější interpretace kovových slitků v technologickém smyslu nejsou dosud v rámci českého území běžné, ačkoliv některá základní teoretická východiska byla vyslovena a v některých případech došlo k jistým konstatováním i na základě aplikace zmíněných instrumentálních metod. Uvažovalo se tak o možnostech legování, rafinace, druhu rudy a její proveniencí či o recyklaci. Studium výrobního procesu je však stále v počátcích i v zahraničí (viz kap. 3), a to jak z důvodu nižší hojnosti dokladů metalurgie a míry zachování terénních situací metalurgických aktivit, tak z důvodu nákladnosti a koordinace metod multidisciplinárního zkoumání (srov. *Hanning – Herdits – Silvestri 2015; Modl 2019, 375, 377; Nessel 2017, 190; Rovira – Montero-Ruiz – Renzi 2009, 407*). Ve specializovanějších či tématem obeznámených novějších textech se objevuje alespoň základní popis a pracuje se s interpretací na úrovni dvou druhů produktů – tj. měděných a bronzových slitků.

Cílem této práce je interpretace účelu blíže neurčených kovových slitků z depotů a jejich zařazení do modelu operačního řetězce technologie metalurgické výroby. V této fázi studia bylo záměrem kovové slitky pomocí podrobné deskripce základně klasifikovat a zjistit, jaké druhy produktů depotové celky obsahují a v jaké míře. Jinými slovy, identifikovat zastoupené fáze (produkty hutnění, slévání) a mezifáze (produkty rafinace, legování) operačního řetězce (viz teoretický model dále). Nově získané výsledky deskripce navázaly



Obr. 1. Přehled studovaných lokalit s kovovými slitky. Číslování odpovídá tab. 1.

Fig. 1. Overview of studied sites with metal raw materials. Numbering corresponds to tab. 1.

na stávající úroveň dostupných dat – zejména na materiálové analýzy provedené v minulosti, přičemž je přistoupeno k jejich dalšímu rozhojnění – a tyto informace současný záměr navzájem propojuje.

Dalším cílem zkoumání se stalo studium znaků odrážejících technologii výroby a nakládání s produkty. Jde o otázky kvality produktu (materiálová čistota a slinutost produktu), provedení tavby (rychlé, pomalé tuhnutí, postupné tavení), způsobu dělení celotvarů na fragmenty připravené k dalším tavbám a diskuse o velikosti píček/tyglíků (nístějí) na základě průměru slitků.

Předmětem zkoumání tedy byly otázky, jaké vzorce organizačního a technologického zacházení (tj. zastoupení produktů a fází operačního řetězce) existovaly v prostoru a čase, ať už v jedné lokalitě (mikroregionu depotu), či v makroprostoru regionů (viz kap. 4). Toto zacházení mohlo nabývat podobností i odlišností, různé míry komplexnosti a kvality (např. odlišnosti v přítomnosti rafinace produktů a její míry, úrovně čistoty produktů a tedy podílu čisté mědi v produktech, přítomnosti nelegovaných, legovaných nebo obou forem produktů či druhu legur).

## 2. Charakteristika kovových slitků

Kovové slitky nabývají třech základních forem produktů – vyčlenit lze „koláčovité ingoty“, „slitky-ingoty“ a „slitky-úkapky“, které jsou charakterizovány v následujících odstavcích. Pojem „kovový slitek“ je vnímán jako obecný a nadřazený zmíněným formám, používá se rovněž u dosud blíže neinterpretovaných slitků.

Povahu *koláčovitých ingotů* (např. obr. 4–5d, 6b–9a) nejlépe vystihuje jejich pojmenování, které odráží poměrně pravidelný, byť nedokonalý okrouhlý či lehce oválný tvar nejčastěji více či méně plankonvexního nebo plochého průřezu, rozmanitě členitý povrch od velmi hladkého po divoce zvrásněný-puchýřovitý a kompaktnost od velmi dobře slinitých koláčovitých ingotů po značně pórovitě. Přes určitou morfologickou unifikaci, danou způsobem výroby v pákách/tyglících, je jejich velikost a hmotnost silně variabilní počínajíc nízkými jednotkami centimetrů a gramů, konče kolem 30 cm a 3 kg, ojediněle i více. I přes individuální utváření lze ale hovořit o standardizovaném celkovém technologickém záměru pojetí takovéto formy koláčovitých ingotů. Často jsou zaznamenány fragmenty koláčovitých ingotů, vzácněji celotvary.

Jde o produkty jak různých mezifází hutnění (rafinované a nerafinované měděné koláčovité ingoty), tak slévání (legované bronzové koláčovité ingoty). Koláčovité ingoty bývají většinou měděné (z dosti čisté mědi s nízkým zastoupením dalších prvků), ale známé jsou i bronzové. Reprezentují fenomén rozprostírající se v prostoru víceméně celé Evropy a mnohých oblastí Asie (přehled viz *Modl 2019*, 374, 377). Pocházejí z různých kontextů. Jsou obsaženy v depotech, lze je rovněž identifikovat v sídlištních areálech a v některých evropských oblastech i v rámci pohřebních areálů jako hrobovou výbavu (*Augustýnová 2016a; 2016b; 2017; 2018; Jockenhövel 2020*). Z českého prostředí známe koláčovité ingoty ze sídlištních areálů, a to z exponovaných lokalit (*Hlásek – Fröhlich 2019*, 126–127, 130–131; další výzkumy D. Hlásky připravované k publikaci; z Moravy viz *Salaš 1985*) a z nížinných sídlišť z Moravy (*Parma a kol. 2017*, 92, 357, tab. 4.4b). Také některé depoty s koláčovitými ingoty byly rovněž identifikovány i v prostoru sídlištních areálů – nížinných sídlišť (*Stolz et al. 2015; Trefný – Polišenský 2012*) i exponovaných lokalit (*Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 42–43, 83, 90–91; *Kytlicová 2007*, 290–291).

Nejstarší exempláře koláčovitých ingotů bývají kladeny do horizontu Br A2/B1, tedy do doby existence staršího typu ingotů – žeber, s nimiž koexistují někdy během horizontů Br A2/B1 – Br B1 (*Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 162–163; *Fröhlich – Chvojka – Zavřel 2016; Möslein 1998*, 256–257; *Smejtek 2015*, 586). Výjimečně starou datací se vyznačují koláčovité ingoty z depotu z Turska, okr. Praha-západ, zařazované již do období Br A2 (*Daněček – Říhová 2020*, 110–111). Koláčovité ingoty se tedy vyskytují po většinu doby bronzové (*Kytlicová 2007; Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017; Möslein 2015*, 119–120; *Nessel 2017*, 175–178, 191; *Salaš 2005*) a přetrvávají i během doby halštatské (*Bursák – Daněček – Smíšek 2016*, 121, 124; *Bachmann et al. 2003*, 74, 96, 108–109; *Tylecote 1976*, 58). V některých depotech se nacházejí pouze koláčovité ingoty, a bývá tak problematické jejich datační ukotvení (*Chvojka – Červenka 2008*, 105–106; *Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 150–151; *Modl 2019*, 374; *Möslein 2015*, 114–115). V jiných hromadných nálezích utvářejí daný soubor společně s hotovými výrobky v celém a/nebo fragmentárním stavu. Všechny kombinace se objevují s různou intenzitou po celou dobu svého výskytu v době bronzové (*Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 163–176; *Kytlicová 2007*, 254–319; *Salaš 2005*, 262–478). Zejména ve starší fázi doby popelnicových polí bývají velmi častě zastoupeny v depotech zlomků (Br D – Ha A1) společně s různými kategoriemi bronzových artefaktů – nástroji (včetně metalurgických), ozdobami, součástmi oděvu, zbraněmi, nádobami aj. (*Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 163–176; *Kytlicová 2007*, 254–319; *Salaš 2005*, 129, 182). V následujícím horizontu Ha B1 se v depotech běžně neobjevují (*Blažek – Ernée – Smejtek 1998*, 28–29; *Kytlicová 2007*, 162–163; *Salaš 2005*, 129), výjimku představuje depot z moravské Klentnice

(Salaš 2005, 431). Původu rudy přinejmenším části českých nálezů koláčovitých ingotů v alpské oblasti nasvědčuje jejich distribuce a izotopové analýzy (Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 201; Kmošek et al. 2020; Zachar – Salaš 2018; 2019).

V mladší fázi doby popelnicových polí (Ha B2–3) se naopak často objevují (většinou bronzové) slitky-ingoty (obr. 10 – Lužice, Světec, Štěpánovská hora 3, 4) v počtu jen několika malých, dobře slinutých celotvarových kusů. Tato forma by *sensu stricto* (Modl 2019, 375, 377) svou podobou spadala spíše do kategorie „slitků-úkapků“, avšak se značnou pravděpodobností funkčně sloužily jako ingoty. V jiných regionech bývají označovány také jako „Gussfladen“, což je přeložitelné ve smyslu „lívancovitě/koblihovitě/placíčkovitě“ ingoty (Bachmann et al. 2003, 109; Rusu 1981, 382). Jedná se buď o přebytečný, nebo záměrně slitý kov při procesu slévání. Mohl být například určen pro osobu, která odlévala finální artefakt a jež se odlišovala od té, která zhotovila tento slitek-ingot (ať už se tak dělo v dané lokalitě, nebo byl slitek-ingot distribuován na jiné místo).

Slitky/úkapky (obr. 6a – č. 96.933, 96.939/2, 96.939/6, 96.939/8; obr. 9b – č. 41) vystiňuje amorfní či vyloženě kapkovitý tvar plochého i plankonvexního průřezu, většinou dosti hladkého povrchu (někdy značně amorfního) a velmi dobře slinuté konzistence. Pocházejí ze sídlištních i depotových situací. Za současné povahy jejich publikace nejsou vždy explicitně odlišené od koláčovitých ingotů a skrývají se pod všeobjímajícím a nejasným označením „kovový (amorfní) slitek“ (Beneš 1988, 10; Hlásek et al. 2015, 114, 117; Chvojka – Michálek 2003, 90, 94, 96, 130; Křivánek – Kuna – Korený 2006, 332; Parma a kol. 2017, 84; Vařeka – Šmejda 2003; na Moravě viz Parma a kol. 2017; blíže neklasifikované slitky viz Halama 2014; Vích 2012). U slitků/úkapků může jít jak o produkty procesů hutnění, tak slévání včetně jejich mezifází (rafinace, legování) ve formě nezáměrně odkápnutého či přebytečného („odpadního“) kovu – mědi či bronzu. Je s nimi možno počítat po celé trvání doby bronzové, protože jejich vznik se logicky pojí i s výrobou starších forem ingotů (tj. nákrčníkových hřiven a žeber).

### 3. Východiska poznání

V minulosti byla pozornost soustředěna zejména na fenomén depotů a v rámci tohoto tématu bývají slitky spíše jen okrajově pojednány z hlediska chronologicko-typologického vývoje jejich obsahu (Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 199, 209; Jiráň ed. 2008, 235–236; Šteffl 2014, 22–24, 32–59). V některých těchto dílech jsou k dispozici alespoň kratší statě s obecnou charakteristikou slitků a teoretickými úvahami. Šlo o otázky dotýkající se materiálového složení, rafinace, legování, recyklace nebo kvality materiálu (Kytlicová 2007, 162–164; Salaš 2005, 127–129). V novějších materiálových a katalogových pracích bývá zaznamenávána alespoň základní metrika (rozměry, hmotnost), determinace celotvarů a (okrajových/ostatních) fragmentů, včetně pozorování dělení koláčovitých ingotů a nápadných stop záseků (např. Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017; Parma a kol. 2017; Stolz et al. 2015). O zasazení kovových slitků do širšího kontextu bádání o organizaci metalurgie doby bronzové v prostředí Moravy se zasloužil D. Parma (Parma a kol. 2017, 357–360), drobné informace lze nalézt také v dalších pojednáních (Blažek – Ernée – Smejtek 1998, 34–36; Kytlicová 1970; 1982; Pančíková 2008, 100–101, 111–112; Pleiner 1970; Smejtek 2002, 229; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 488).

Důležitými počiny bylo publikování materiálových analýz, které má u nás tradici od 80. let 20. století (*Págo 1981; 1985; Frána – Maštalka 1986; Salaš 1986; Stránský – Salaš 1987; Salaš – Stránský – Winkler 1989; 1993; Frána et al. 1995; 1997*) a průběžně je doplňováno novými daty (z ucelenějších prací lze jmenovat *Frána – Chvojka – Fikrle 2009; Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017; Parma a kol. 2017, 80–94; Zachar – Salaš 2018; 2019; Kmošek et al. 2020*). Počátky takového zájmu lze dosledovat už i v dobách dřívějších (*Trapp 1879, 106; Skutil 1972, 41*). Různou měrou jsou k dispozici konkrétní data a interpretace ohledně rafinace, legování či recyklace k vybraným souborům (*Salaš 1986, 152; Salaš – Stránský – Winkler 1989, 63; 1993, 70–71; Frána et al. 1995, 130, 168, 171, 174, 187, 193, 196; 1997, 57, 60, 70, 74, 77; Salaš 1997, 46–49; Jiráň 2000, 64; Frána – Chvojka – Fikrle 2009, 106, 109–116; Kmošek et al. 2020*); byla zkoumána otázka mineralogického složení použité rudy (*Salaš – Stránský – Winkler 1989, 63; 1993, 70–71; Zachar – Salaš 2018, 50–56; 2019, 618, 621, 624–630; Kmošek et al. 2020, 8, 12*) a také distribuce koláčovitých ingotů a jejich původ (*Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 201*); bylo započato i s izotopovými analýzami pro určení provenience kovových slitků (*Zachar – Salaš 2018; 2019; Kmošek et al. 2020*).

Ve střední Evropě vznikla již řada tematicky vyhraněných děl o kovových slitcích. Problematice se věnovaly obecnější studie (*Mozsolics 1981; 1985; Primas – Pernicka 1998; Bachmann et al. 2003; Modl 2010; Nessel 2014; 2017; Möslein 2015; Skolaut 2017*) či metodické práce (*Czajlik 1996; Le Carlier de Veslud – Edme – Fily 2014; Modl 2019*). Výzkum se zaměřoval na metriku koláčovitých ingotů (*Rusu 1981; Skolaut 2017*) či na rozsáhlejší série materiálových analýz (*Rychner – Kläntschi 1995; Höglinger 1996; Trampuž-Orel 1996; Bachmann et al. 2003; Sperber 2004; Pernicka – Mehofer 2013; Lutz – Krutter – Pernicka 2019; Möslein – Pernicka 2019*). Také byla v mnohých statích přinejmenším uvažována, v některých blíže zkoumána, témata legování, rafinace, recyklace nebo determinace rudy (*Bachmann et al. 2003, 97–98; Mozsolics 1981; Craddock – Meeks 1987, 188, 190, 192–193, 195; Romanow 1995, 253–280; Trampuž-Orel 1996; Pernicka 1999; Sperber 2004; Pernicka – Mehofer 2013; Pernicka – Lutz – Stöllner 2016; Stöllner et al. 2016; Nessel 2017; Lutz – Krutter – Pernicka 2019*). Formulovány byly rovněž základní teoretické modely procesu výroby (*Coghlan 1951; Romanow 1995, 298–300; Pernicka 1999, 164–166; Bachmann et al. 2003, 96, 99–100; Rovira – Montero 2003; Rovira – Montero-Ruiz – Renzi 2009; Modl 2010, 127–129; Heeb – Ottaway 2014, 178; Rose – Hanning – Klein 2019, 49–52*). Předmětem dalších prací se stala distribuce koláčovitých ingotů (*Sperber 2004; Möslein 2015, 118, 121*), provenience materiálu slitků (*Romanow 1995; Pernicka 1999; Jung – Mehofer – Pernicka 2011; Pernicka – Lutz – Stöllner 2016; Lutz – Krutter – Pernicka 2019*) nebo experimentální tavby a porcování koláčovitých ingotů (*Herdits 1997; Herdits – Löcker 2004; Rovira – Montero-Ruiz – Renzi 2009; Modl 2010; 2015; Rose – Hanning – Klein 2019*).

#### 4. Teoretický model operačního řetězce metalurgie a výzkumné otázky

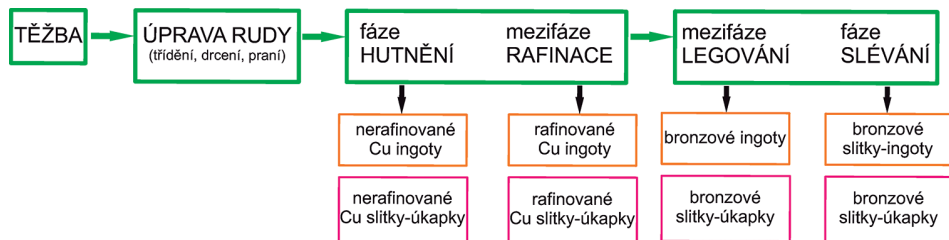
K výrobě finálního bronzového předmětu bylo od fáze těžby rudy zapotřebí celé řady kroků výrobního operačního řetězce. O konkrétní podobě řetězce a způsobu provedení jednotlivých operací je dosud známo poměrně málo. Představu o fázích a mezifázích

řetězce zastupuje teoretický model, který je postupně korigován a upřesňován prostřednictvím materiálových analýz a experimentů (viz výše). Zájmem nynější studie je pouze část tohoto řetězce/modelu, a to fáze hutnění, slévání a jejich mezifáze (rafinace, legování). Znázorňuje je obecné schéma (*obr. 2*), které k nim zároveň přiřazuje jednotlivé druhy produktů.

Pokud se nejednalo ve středoevropském prostředí o vzácněji využívané minerály ryzí mědi či oxidických měděných rud zpracovávaných jednostupňových tavicím procesem, byl uplatňován proces vícestupňový: Poté, co byla měděná ruda či směs rud (z více dobyvek) vytěžena, musela být opakovaně tříděna, drcena, prána a pražena, aby byla zbavena hlušiny a pro hutnění nežádoucích prvků (síry a železa, pokud je obsahovala). Když byla ruda/směs rud upravena, došlo v rámci hutnění („prvního kroku“) k první tavbě. Výsledkem se stal stále dosti nehomogenní kov s množstvím nečistot – tzv. kamínek (s vysokým podílem síry a železa), eventuálně s méně vytěkaným As a Sb. Tento produkt musel být dále pražen a znovu podroben opakovaným tavbám, tedy postupně rafinován, až byl získán kvalitní čistý a homogenní materiálový polotovár – tzv. černá měď, která mohla dostat podobu koláčovitěho ingotu určeného ke slévání. Všechny tyto operace významným způsobem ovlivnily a transformovaly charakteristiku prvkových a strukturálních poměrů vstupních surovin (např. *Bachmann et al. 2003*, 99–100; *Eibner 1982*; *Hanning – Herdits – Silvestri 2015*; *Hauptmann 2020*, 298–299, 309–317; *Herdits 1997*; *Herdits – Löcker 2004*, 185–186; *Herdits – Keen – Steinberger 1995*; *Lorscheider – Mass – Steiniger 2003*; *Martinek 1996*; *1997*; *Modl 2019*, 375, Abb. 2; *Rose – Hanning – Klein 2019*; *Trampuž-Orel 1996*, 201–202) – viz kap. 7. Zatím není známo, zda v hutnických areálech vznikaly samotné koláčovité ingoty, nebo jen tzv. kamínek, který byl dále upravován jinde (*Hanning – Herdits – Silvestri 2015*, 227, 229). Jedna z otázek zní: Lze uvažovat v rámci jednotlivých depotů, jednotlivých lokalit či regionů v průběhu trvání doby bronzové o rafinovaných a/nebo o nerafinovaných koláčovitých ingotech?

Dosud není jasné, jakou formou probíhalo legování mědi cínem při fázi slévání v „druhém kroku“:

- 1) Často se uvažuje o přidávání surového kasiteritu při roztavování měděných koláčovitých ingotů do tyglíku během fáze slévání.
- 2) Mohlo však docházet také k přidávání metalického cínu při tavbě měděné rudy/rud či koláčovitých ingotů. Cín ve formě ingotů nebo slitků-úkapků mohl být v půdním prostředí prakticky bezzbytku rozložen působením korozních procesů. Cínové ingoty mohly být cínové ingoty roztaveny a nezanechaly po sobě žádné stopy. Cínové ingoty jsou známy jen z několika málo lokalit doby bronzové (*Gersbach 1969*, 77; *Krüger et al. 2012*, 41; *Nielsen 2014*; *Tolksdorf et al. 2019*, 16, fig. 9).
- 3) Případně se mohla uplatňovat současná tavba měděné rudy/rud a cínové rudy.
- 4) Možná je i varianta hutnění jedné společně se (přirozeně) vyskytující měděno-cínové asociace minerálů v polymetalických rudách.
- 5) Lze též využívat recyklaci starého kovu (*Bachmann et al. 2003*, 96; *Blažek – Ernée – Smejtek 1998*, 34–36; *Coghlan 1951*, 35; *Hauptmann 2020*, 398; *Heeb – Ottaway 2014*, 178; *Jiráň 2000*, 64; *Kylicová 2007*, 164; *Modl 2019*, 375, Abb. 2; *Pleiner 1970*, 39; *Rovira – Montero 2003*, 15–22; *Rovira – Montero-Ruiz – Renzi 2009*, 407; *Salaš 1986*, 152; *Trampuž-Orel 1996*, 187–188), eventuálně zároveň dotovaného nově natěženým kasiteritem či novým měděným polotovarem.



Obr. 2. Zjednodušené schéma modelu operačního řetězce metalurgie cínového bronzu a produktů odpovídajících jeho jednotlivým fázím.

Fig. 2. Simplified scheme of model of operational chain of bronze metallurgy and products corresponding to its individual phases.

Řešení těchto možných východisek u studovaných souborů musí být předmětem budoucího bádání, v tuto chvíli se nabízí zodpovídat jiné otázky: Jsou v daných souborech identifikovatelné produkty mezifáze legování? Jsou současně zastoupeny legované i nelegované produkty v dané časo-prostorové situaci?

Slévání kovu mohlo proběhnout v jeden okamžik spolu s legováním, tj. ihned byl z tyglíku do kadluby odlit finální bronzový výrobek za využití rafinovaného koláčovitého ingotu připraveného podle jedné z výše jmenovaných metod. Nebo byl nejprve zhotoven bronzový polotovár/koláčovitý ingot, který byl přechodně uložen či distribuován jinam a až někdy posléze roztaven a nalit do formy (bronzové koláčovité ingoty jsou známy). Tato praxe mohla být záměrná ve formě výroby standardizovaného bronzového koláčovitýho ingotu nebo bronzového slitku-ingotu, který byl využit někdy později, nebo byl určen pro zpracování jinou osobou, která odlévala finální výrobky ve stejné lokalitě a odlišovala se od té, jež zhotovila koláčovitý ingot. Popřípadě mohl být bronzový koláčovitý ingot určen k distribuci na jiné místo. Eventuálně mohlo jít v případech slitků-ingotů i o přebývající várky, jež se nevešly do forem a s nimiž mohlo být naloženo obdobným způsobem. Je možné se ptát – existují doklady „odložených“ taveb (eventuálně přebytků) v měřítku různých lokalit, regionů a chronologie v podobě bronzových koláčovitých ingotů nebo ingotů-slitků?

Je pravděpodobné, že mohlo paralelně existovat více výše zmíněných technických východisek o různé preferenci na cílech a možnostech v čase a prostoru. Při všech těchto procesech vznikaly kromě žádoucích polotovarů/ingotů také odpadní produkty – struska, úkapky (měděné z hutnění, měděné či bronzové ze slévání podle jeho metody – viz výše). Spíše jen malé úkapky měly šanci být zachovány v archeologických situacích sídlištních areálů, protože na rozdíl od ingotů či strusek mohly uniknout využití při opětovném roztavení. Ingoty či jejich zlomky dochované jako (četný) inventář mnohých depotů představují odraz specifického záměru, protože jinak by další metalurgický krok spočíval v jejich roztavení na výrobky, a tím pádem jejich absenci v archeologickém pramenném fondu. Interpretace účelu depotů zahrnuje složitou problematiku s mnoha variantami posuzovaných případů a situací. Uspořádání a umístění depotu vzniklo za účelem specifického aktu deponování, jenž mohl být dalek praktické funkce a nemusel přesně zrcadlit metalurgickou praxi například jednoho člověka. Přesto je v této práci zaujímana hypotéza, že ty hromadné celky, které obsahují kovové slitky, reprezentují aktivity komunit a jejich členů, kteří žili v okolí a zabývali se sami metalurgickou činností, nebo ta byla v jejich sídlištních areálech



Obr. 3. Ukázka sloupcovitého charakteru koláčovitěho ingotu (Písek 1 – Nový Dvůr, inv. č. A19251).

Fig. 3. Example of the columnar character of a casting cake (Písek 1 – Nový Dvůr, inv. no. A19251).



vykonávána a některý z aktérů deponování přitom tuto aktivitu zohlednil (srov. *Fregni 2014*, 181; *Needham 2001*, 275–298; *Vachta 2016*, 108, 112). Z této teze tedy vyplývá vztah relativní (!) blízkosti depotu k sídlištnímu areálu s metalurgickou aktivitou, který zastupuje a v jehož areálu nemusejí být dosud objeveny doklady metalurgie. Rovněž informace o kovových slitcích ze sídlišť bývají obtížně získatelné z důvodu jejich torzovité publikace (srov. *Parma a kol. 2017*, 359–360). Nyní tedy můžeme, alespoň na základě dochovaného inventáře depotů, studovat druhy produktů a fáze operačního řetězce metalurgie, když jiné prameny a údaje zůstávají mnohdy nedostupné.

Ke zkoumání operačního řetězce se rovněž pojí spektrum rozmanitých technologických otázek. Tato studie se výběrem zaměřila na identifikaci postupného tavení produktů, na rychlost tuhnutí vytavených koláčovitých ingotů, odhad velikosti pícek/tyglíků či nístějí na základě průměru slitků a způsobu dělení celotvarů na fragmenty připravené k dalším tavbám. Obecným záměrem je hledat struktury a trendy v přítomnosti či absenci produktů, fází/mezifází operačního řetězce metalurgie a technologických znaků na úrovni různého prostoru a času.

## 5. Metoda studia

Pro komparaci a vyhodnocení byly zvoleny slitky ze tří regionů poskytujících rozdílný obraz dokladů metalurgie bronzů a její organizace (*obr. 1*). Vybrány byly severozápadní Čechy jakožto oblast s intenzivní metalurgickou činností a potenciálním vztahem k ložiskům surovin v Krušných horách, jižní Čechy představující pravděpodobně (na základě četných dokladů metalurgie, zejména koláčovitých ingotů) tranzitní koridor distribuce materiálových polotovárů a západní Čechy, které se v současnosti z hlediska metalurgie jeví spíše jako periferní oblast (srov. *Augustýnová 2016a; 2016b; 2017*).

Předmětem této studie se staly slitky z depotů. Motivací k jejich výběru je vícero. Jde o výhodu lépe datovatelných uzavřených nálezových celků, protože slitky samy o sobě nejsou jednoduše časově zařaditelné. I tak je nutné mezi depoty volit, neboť v některých případech obsahují pouze tento druh předmětu (srov. *Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 150–152). Sídlištní kontexty bývají často polykulturní, potažmo multifázové. Rovněž je zde větší nebezpečí kontaminace slitky z pozdějších období, jež lze sice často vyloučit především prostřednictvím materiálových analýz, ale ne ve všech případech se to může bezesbytku podařit. Koláčovité ingoty se vyskytují v průběhu trvání většiny doby bronzové až ojediněle po dobu halštatskou (*Bachmann et al. 2003*, 71, 74; *Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017*, 162), rozmanité amorfní slitky a úkapy však mohou pocházet z období celého metalika až po dnešek.

Č.	Lokalita	Okres	Datace	Počet kusů/ analýz	RFA	Průvodní předměty	Rok	Uložení	Literatura	Obr.
1	Drahotín	Domažlice	Br A2/ B1 – Br B1	14/14	Měření M. Fikrle 2016, 2021	zlomky, výrobky	2009	M Plzeň, inv. č. P89.482-P89.495	<i>Chvojka – Jiráň – Metlička a kol.</i> 2017, 18–19, Tab. 9–10	obr. 4
2	Písek 1 – Nový Dvůr	Písek	Br B–C	41/13	Měření M. Fikrle 2021	–	2007	M Písek, inv. č. A19241–A19280	<i>Fröhlich – Jířík 2007; Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 62–63, Tab. 75–78</i>	obr. 5
3	Havlovice	Domažlice	Br D	5/1	Měření M. Fikrle 2021	zlomky	2008	M Domažlice, č. 9-13	<i>Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 80–81, Tab. 94–95</i>	obr. 7
4	Pětipýsy	Chomutov	Br D	5/5	<i>Frána et al. 1995</i>	zlomky, výrobky	1901	M Teplice, inv. č. 1656-1660	<i>Kýřlicová 2007, 288, Taf. 60D–65</i>	obr. 10
5	Kout na Šumavě	Domažlice	Br D – Ha A1	1/1	Měření M. Fikrle 2016, 2021	zlomky	2011	M Plzeň, inv. č. P89.893	<i>Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 90, Tab. 99</i>	obr. 7
6	Smrkovičky	Písek	Br D – Ha A1	44/0	ne	zlomky	2014, 2018	M Písek	<i>Nepublikováno</i>	obr. 9
7	Zlivice	Písek	Br D – Ha A1	16/16	Měření M. Fikrle 2016, 2021	zlomky	2008	M Písek, č. 11-26	<i>Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 149–150, Tab. 149–150</i>	obr. 8
8	Rýdeč	Ústí n. L.	Br D – Ha A1	1/1	<i>Frána et al. 1995</i>	zlomky, výrobky	1886	M Teplice, inv. č. HRI14023	<i>Kýřlicová 2007, 301–302, Taf. 85B–94A</i>	obr. 10
9	Velké Žernoseky 2	Litoměřice	Ha A2	1/1	Měření M. Fikrle 2017	zlomky, výrobky	před 1895	M Teplice, inv. č. 5-680/81	<i>Kýřlicová 2007, 313, Taf. 118A</i>	obr. 10
10	Němčice u Kdyně	Domažlice	Br D – Ha A	1/0	ne	zlomky	2014	M Domažlice	<i>Nepublikováno</i>	obr. 7
11	Škáchovice	Plzeň-jih	Br D – Ha A	34/23	Měření M. Fikrle 2016, 2021	zlomky	2009	M Plzeň, inv. č. 96.920.96.940/4	<i>Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 145–148, Tab. 147–148</i>	obr. 6
12	Světce	Teplice	Ha B3	2/2	<i>Frána et al. 1995</i>	zlomky, výrobky	1913	M Teplice, inv. č. 2245-2246	<i>Kýřlicová 2007, 308, Taf. 152</i>	obr. 10
13	Lužice	Most	Ha B3–C	1/1	Měření M. Fikrle 2017	výrobky	před 1934	M Teplice, přír. č. 429/27 (172-7/76)	<i>Kýřlicová 2007, 280, Taf. 151A</i>	obr. 10
14	Štěpánovská hora 3	Teplice	Ha B2–3	2/2	Měření M. Fikrle 2017	výrobky	2015	M Teplice, inv. č. AS 58599-58600	<i>Šteffl – Hentschová eds. 2021, 150–152, obr. 163, 166</i>	obr. 10
15	Štěpánovská hora 4	Teplice	Ha B2–3	1/1	Měření M. Fikrle 2017	výrobky	2015	M Teplice, inv. č. AS 58606	<i>Šteffl – Hentschová eds. 2021, 153–156, obr. 167, 171</i>	obr. 10

Tab. 1. Přehled lokalit.  
Tab. 1. Overview of sites.

Depoty také většinou obsahují rozměrově větší fragmenty slitků, eventuálně celotvary, poloviny či čtvrtiny, u nichž je snadnější dokumentovat jejich vlastnosti než u většinou drobných až miniaturních kousků ze sídlištních kontextů. Dále jsou v depotech často zastoupeny od jednotek po desítky až stovky fragmentů, které je možné studovat. Výhoda spočívá také v té okolnosti, že na slitcích z některých depotů byla již v minulosti uplatněna série základních analýz materiálového složení.

V této studii bylo celkem analyzováno 169 kusů slitků a jejich fragmentů (*tab. 2; graf 1A; obr. 4–10*). Pro účely dlouhodobého studia tohoto typu předmětů byl volen takový přístup, aby slitky ideálně zastupovaly celé období svého výskytu v době bronzové (tj. Br A2/B1 – Ha B2–3) ve všech zájmových regionech, pokud jsou z jejich jednotlivých stupňů na daném území identifikovány – viz *tab. 1*.

Jako základní instrumentální analytická metoda ke zjištění materiálového složení byla vybrána rentgenfluorescenční analýza (RFA/ angl. XRF) provedená v Ústavu jaderné fyziky AV ČR v Řeži u Prahy, která navazovala na výsledky měření uskutečněného v 90. letech 20. století na některých souborech analýzou stejného typu (doplňkově byla tehdy také nasazena INAA; *Frána et al. 1995; 1997*), a byla tedy nyní již k dispozici ke komparaci a komplementárnímu doplnění archeologickou deskripcí. Strategii při využití výsledků RFA analýz bylo postihnout složení všech slitků v jednom souboru, zároveň ale získat data charakterizující vícero souborů a s ohledem na úvahy z hlediska časo-prostorové distribuce slitků byly záměrně vybírány takové celky, které by tyto všechny požadavky efektivně naplnily.

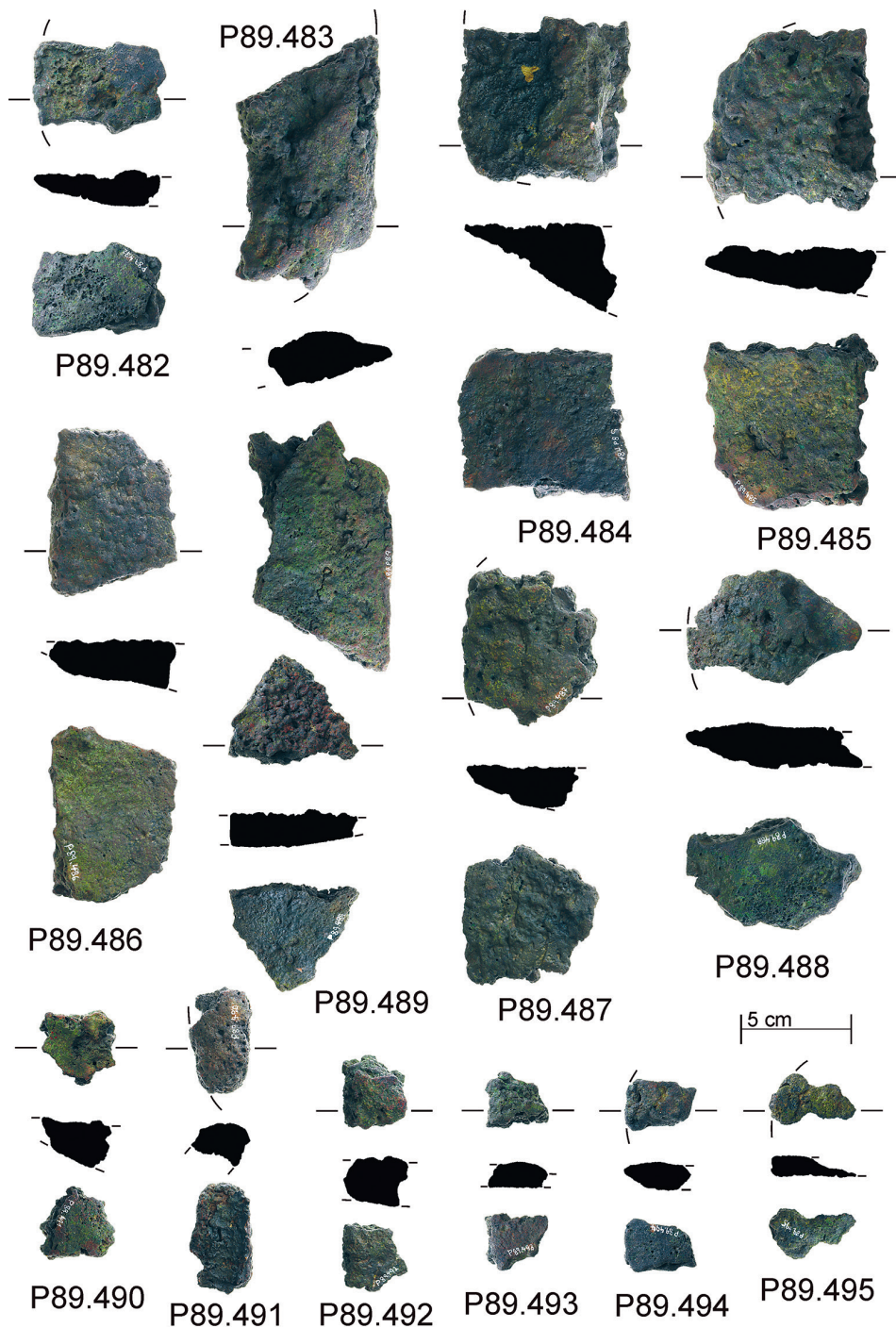
Ani přes snahu o co nejlepší uchopení vzorku dat stran teoretického a statistického hlediska není možné všechny požadavky ideálně naplnit. Např. ze západních Čech je v současnosti k dispozici pouze jediný soubor starší než horizont depotů Plzeň-Jílkalka, slitků datovaných do pozdní doby bronzové je v rámci celých Čech nepoměrně menší množství oproti těm z mladší doby bronzové, v některých depotech se nacházejí pouhé jednotky či jediné kusy slitků, jež je možno podrobit oběma metodám zhodnocení. Přesto lze výběr pro tuto prvotní studii považovat za uspokojivý. Rozřazení kovových slitků do jednotlivých druhů produktů probíhalo na základě jejich makroskopicky pozorovatelných vlastností (morfologie, slinutost) a výsledků materiálových analýz.

## 6. Vyhodnocení

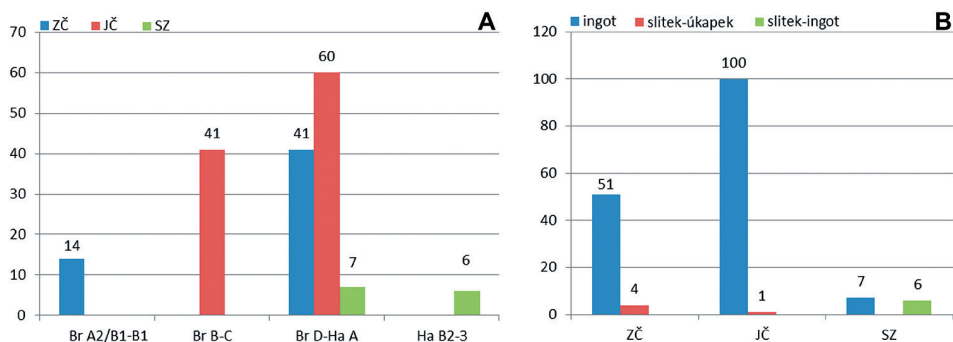
### 6.1. Vyhodnocení archeologické deskripce

Ve studovaném souboru o 169 kusech kovových slitků bylo identifikováno 158 *fragmentů* koláčovitých ingotů, 5 slitků-úkapků a 6 slitků-ingotů – viz *graf 1A-B*. Soupis kvalitativních a kvantitativních vlastností slitků je obsažen v *tab. 2*, obrazovou dokumentaci prezentují *obr. 4–10*.

Chronologicko-prostorová distribuce výběru slitků svým trendem kopíruje dosavadní poznatky o nejvyšším zastoupení koláčovitých ingotů během horizontu depotů zlomků (viz výše) a ubývání v následujícím období, potažmo spíše prezenci slitků-ingotů během pozdní doby bronzové. Taktéž bude odrážet o něco nižší zastoupení dokladů metalurgie bronzu a výrobních aktivit v tomto období a přesun jejich těžiště severním/severozápadním směrem z jižních oblastí Čech (srov. *Augustýnová 2017, 96*). Blížší makroprostorové



Obr. 4. Kovové slitky z lokality Drahotín (okr. Domažlice).  
Fig. 4. Casting cakes from the Drahotín site (Domažlice district).



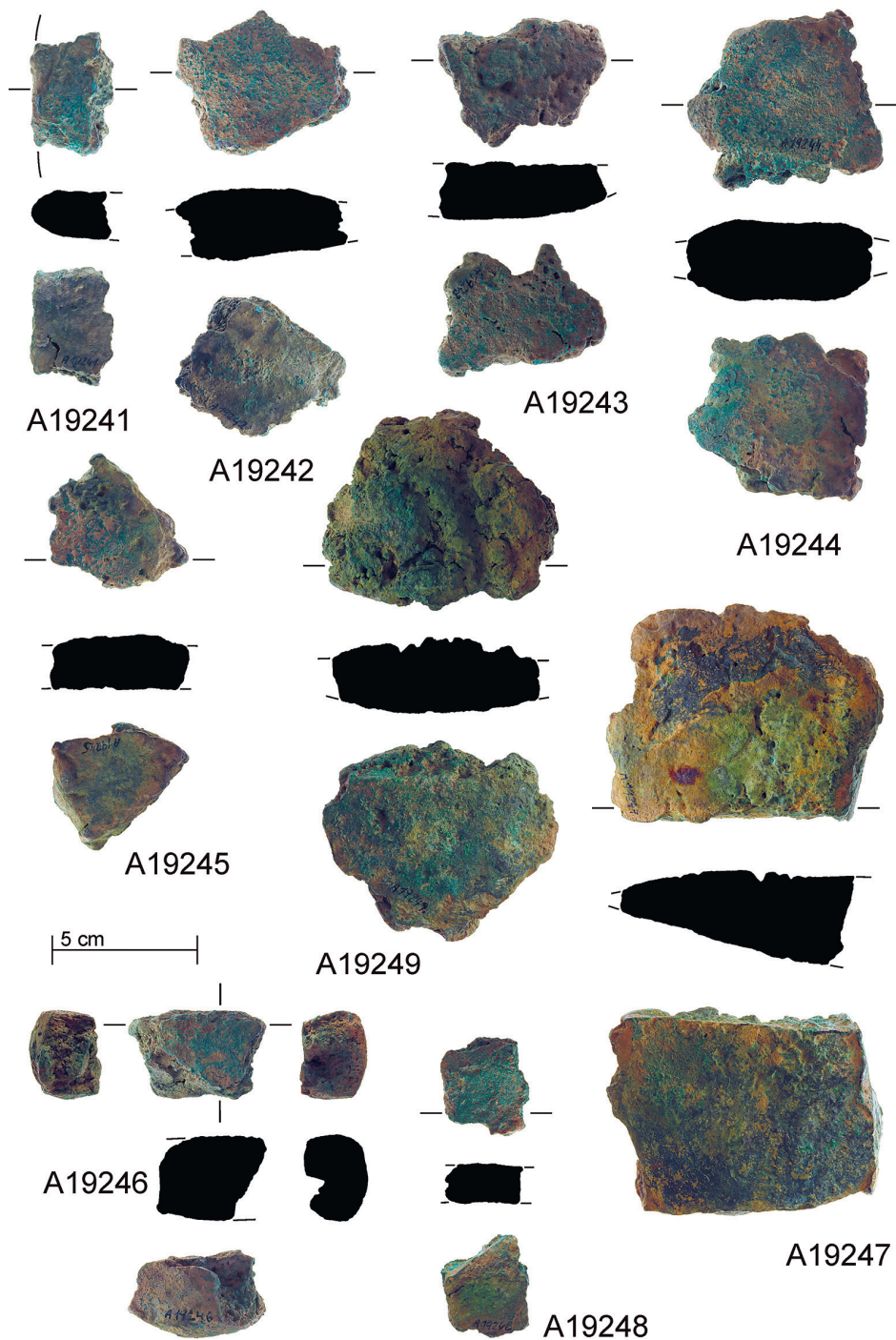
Graf 1. Přehled případovou studií dokumentovaných kovových slitků: A) časovo-prostorový záběr studovaných produktů, B) druhy studovaných produktů; ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.

Chart 1. Overview of documented metal raw materials. A) spatial-temporal scope of the studied products; B) types of studied products; ZČ = west Bohemia, JČ = south Bohemia, SZ = northwest Bohemia.

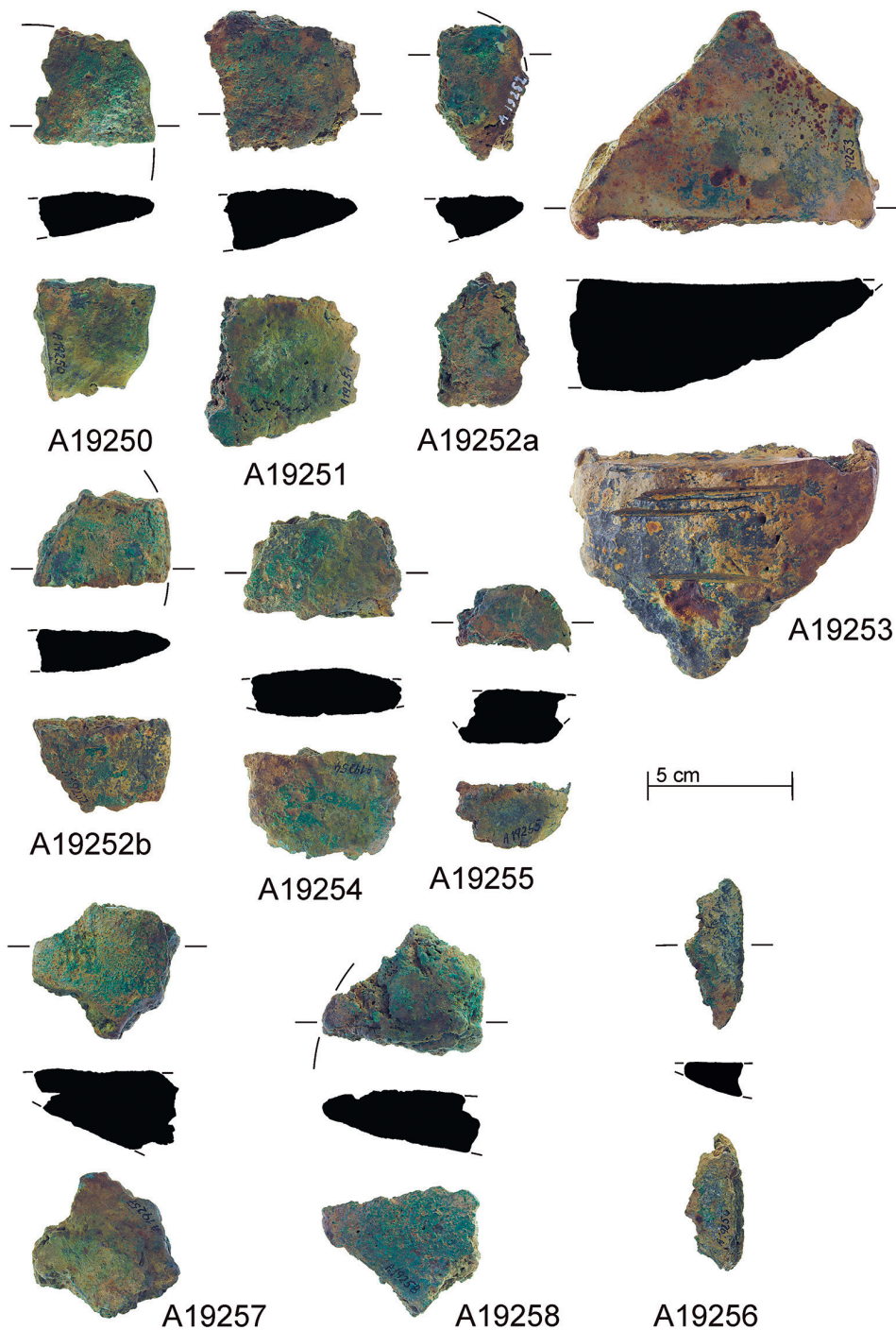
srovnání bude s jistotou možné až s vyšším množstvím vzorků, přesto je ale možné uvažovat o vyšším zastoupení koláčovitých ingotů v jižních Čechách přinejmenším pro starší období výskytu; i v mladším období budou pravděpodobně převažovat.

*Počet slitků* (tj. koláčovitých ingotů, slitků-úkapek, slitků-ingotů) v *depotech* kolísá ve starším i mladším období od jednotek po desítky kusů – viz *tab. 1*.

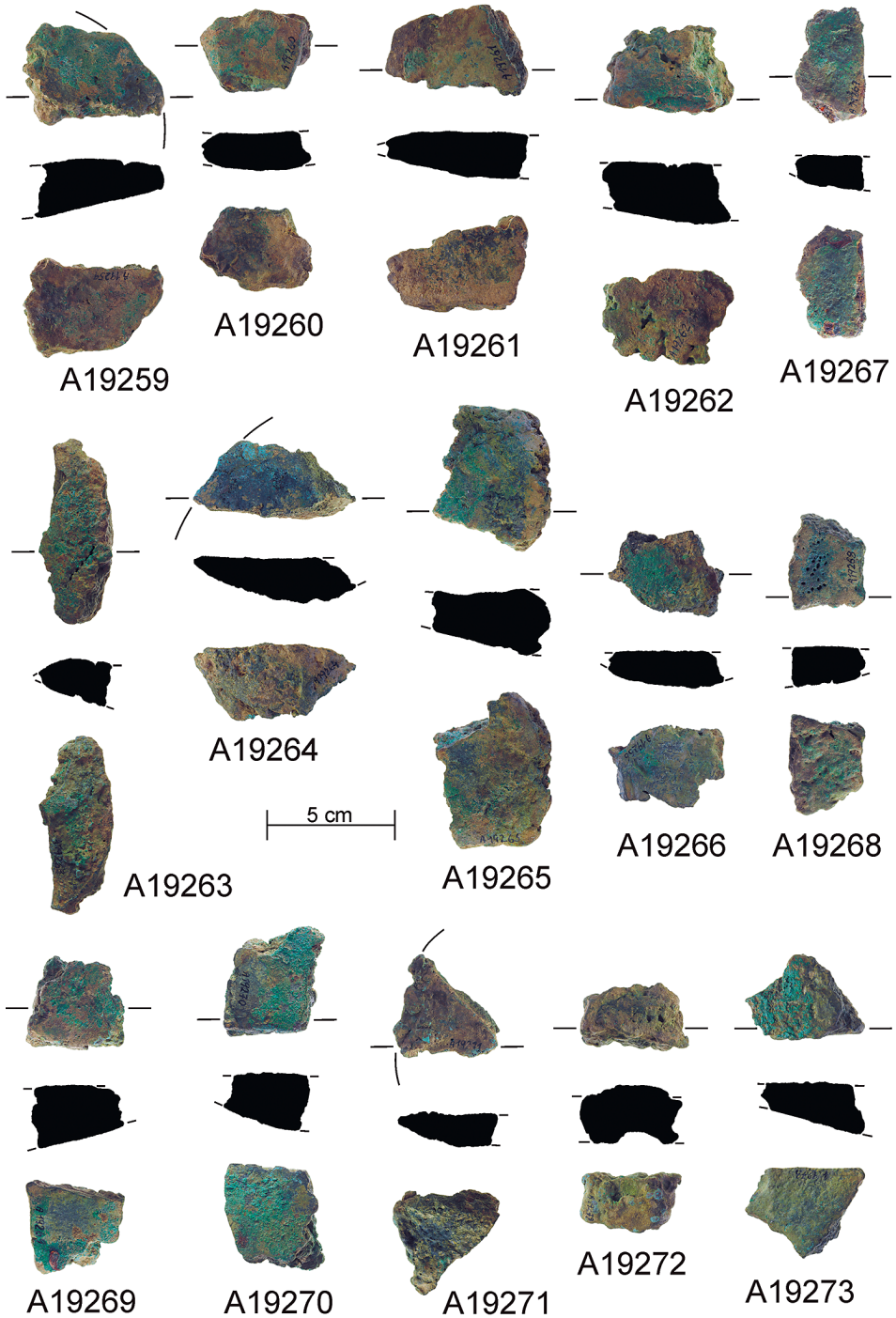
Žádný analyzovaný koláčovitý ingot v našem souboru nepředstavuje *celotvar*. Ty se obecně vyskytují v menšině (srov. *Kytlicová 2007*, 162; *Salaš 1997*, 46). Jejich původní průměr bývá možné pouze velmi zhruba odhadnout u okrajových fragmentů. V hodnoceném souboru jsou zřejmě přítomny koláčovité ingoty o průměrech počínajíc ca 30–40 mm a konče zřejmě až 250 mm, celkový rozptyl hodnot je tedy značně vysoký. U velikostní kategorie nebyla pozorována žádná vazba změn na čas a prostor. U jednotlivých depotů je pravděpodobně rozptyl také markantní (od ca 30–90 mm po ca 150–250 mm). V některých západočeských depotech jsou přítomny spíše větší koláčovité ingoty – více exemplářů kolem 170–200 mm (Drahotín, Br A2/B1–B1), snad též Havlovice – kolem 90–200 mm (Br D – Ha A), v jiných spíše menší – více kusů 60–80 mm (Štáhlavice, Br D – Ha A). V jihočeských se nacházely častěji menší a střední průměry (ca 40–150 mm). Variabilita pohybující se od malých po větší rozměry by měla odrážet velikost pícek/nístějí či tyglíků (srov. *Modl 2019*, 380; *Salaš 2005*, 127). V jednom depotu jsou tak zastoupeny koláčovité ingoty rozmanitých velikostí. Průměry koláčovitých ingotů v jiných regionech se pohybují často kolem 150 mm, existují ale velikosti pod touto hranicí (kolem 80 mm) i nad ní (do ca 300 mm). Různí badatelé vyčleňují podle studovaného materiálu jednotlivé velikostní skupiny (srov. *Bachmann et al. 2003*, 81, 89, 108, Tab. 2; *Kytlicová 2007*, 162; *Modl 2019*, 384, fig. 4; *Nessel 2017*, 171–172; *Primas – Pernicka 1998*, 36–37; *Rusu 1981*, 382; *Salaš 2005*, 127). U větších koláčovitých ingotů je téměř vždy patrná středně kvalitní slitnutost nebo pórovitost, častěji bývá i magnetičnost. Kvůli absenci celotvarů je však nutné ke všem těmto zjištěním přistupovat s rezervou. Celotvary jsou k dispozici u šesti slitků-ingotů (Ha B2–3), dosahují rozměrů 40–60 mm (srov. *Kytlicová 2007*, 162; *Rusu 1981*, 382). Většinou vykazují (lehce) plankonvexní či ploché průřezy a je otázka, zda nebyly odlity spíše přímo na zem nebo do velmi mělké jamky než do tyglíku.



Obr. 5a. Kovové slitky z lokality Písek 1 – Nový Dvůr (okr. Písek).  
Fig. 5a. Casting cakes from the Písek 1 – Nový Dvůr site (Písek district).

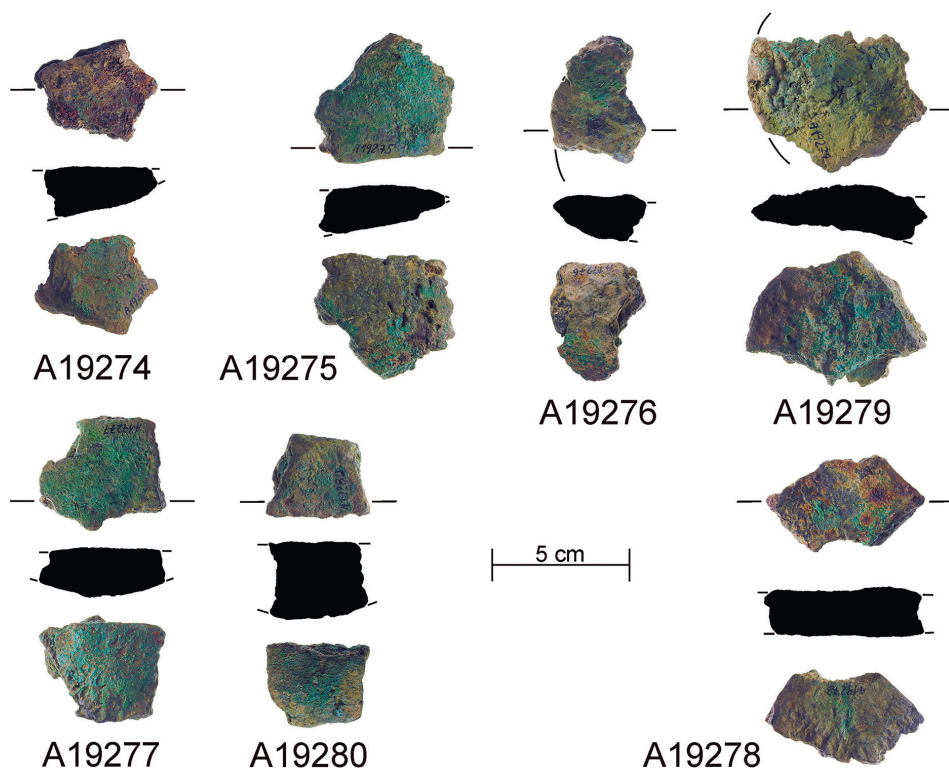


Obr. 5b. Kovové slitky z lokality Písek 1 – Nový Dvůr (okr. Písek).  
 Fig. 5b. Casting cakes from the Písek 1 – Nový Dvůr site (Písek district).



Obr. 5c. Kovové slitky z lokality Písek 1 – Nový Dvůr (okr. Písek).  
Fig. 5c. Casting cakes from the Písek 1 – Nový Dvůr site (Písek district).

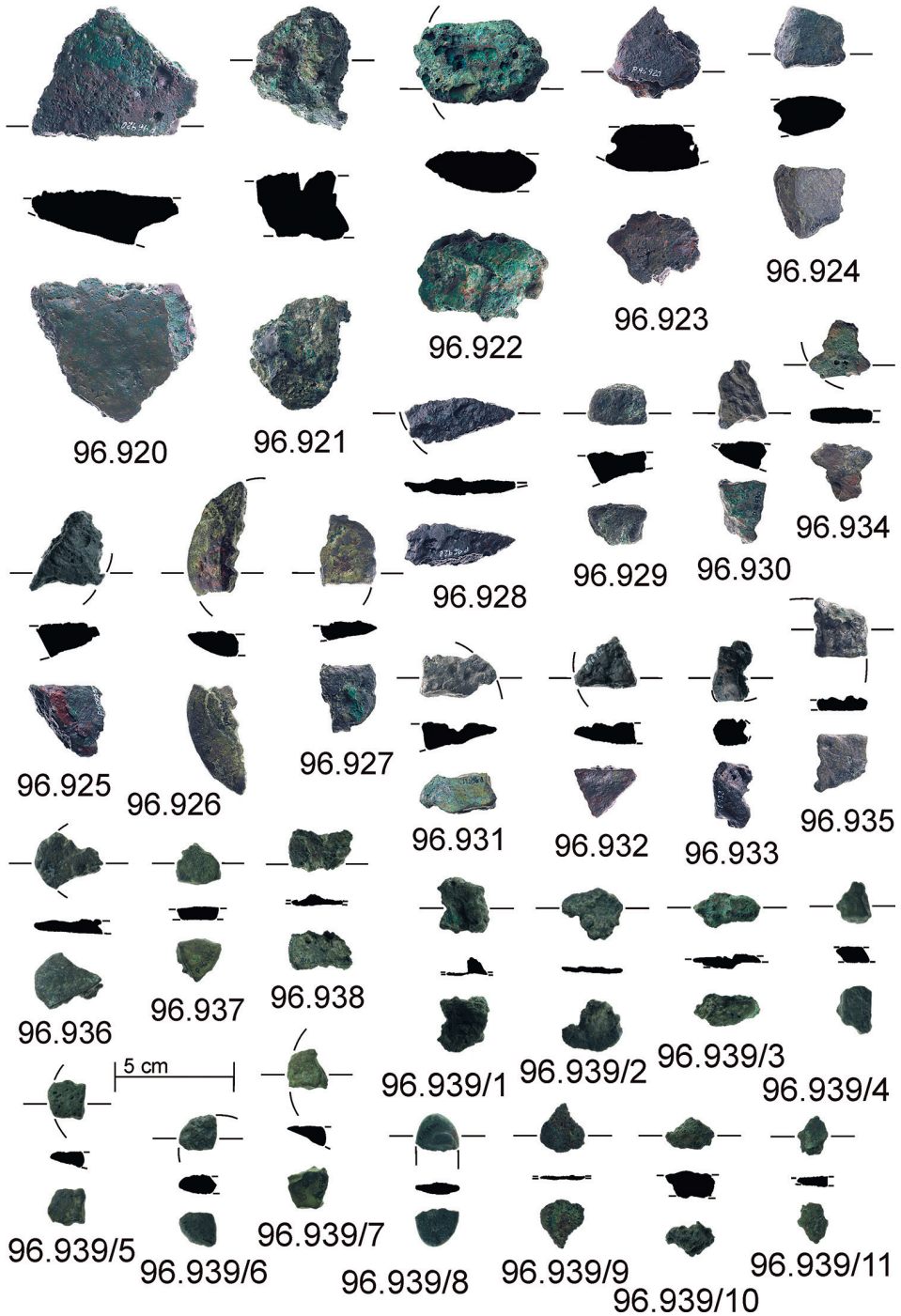




Obr. 5d. Kovové slitky z lokality Písek 1 – Nový Dvůr (okr. Písek).  
 Fig. 5d. Casting cakes from the Písek 1 – Nový Dvůr site (Písek district).

Co se týče *hmotnosti* fragmentů koláčovitých ingotů, lze vyčlenit skupinu staršího období s těžšími fragmenty o vyšší variabilitě hmotnosti (ZČ<sup>1</sup>: Drahotín, Br A2/B1–B1; JČ: Písek 1 – Nový Dvůr, Br B–C; oba depoty měly různou celkovou hmotnost všech přítomných koláčovitých ingotů) a skupinu mladšího období (Br D – Ha A) s lehčími fragmenty (ZČ: Štáhlavice, JČ: Zlívce, Smrkovice – tyto dva poslední si byly nejpodobnější), středně těžkými s nízkou variabilitou (SZ: Pětipsy) a těžkými fragmenty s vyšší variabilitou (ZČ: Havlovice). V jednom depotu se nachází většinou rozptýl hmotnosti jednotlivých fragmentů od několika málo gramů až po řád vyšších několika set gramů (Nessel 2017, 190, Abb. 22; Primas – Pernicka 1998, 45–46, 48–49, Abb. 13–17; Salaš 1997, 46, Abb. 9–10). Nejvyšší mírou variability roztečí hodnot se jevil depot v Havlovičích, nejnižší v Pětipsech. Nejpodobnější koláčovité ingoty vůči ostatním v depotu se nacházely rovněž v Pětipsech, nejméně podobné ve Štáhlavici (tab. 3). Hmotnost zkoumaných slitků-úkapků se pohybuje v rozmezí ca 6–18 g, slitků-ingotů pak od ca 30 do 235 g (medián 91,15 g; aritm. průměr 111,02 g; směrodat. odchylka 75,85; rozptyl 5753,12; srov. Bachmann et al. 2003, Tab. 5) – viz tab. 2. Celková hmotnost všech koláčovitých ingotů a slitků-úkapků v jednom depotu začínala na 360,3 g a končila 6578 g (srov. Bachmann et al. 2003, Tab. 9;

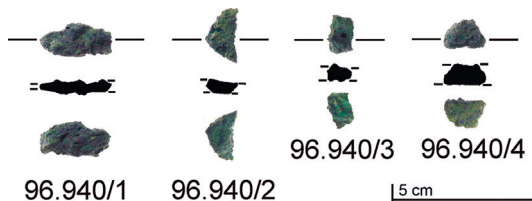
<sup>1</sup> ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.



Obr. 6a. Kovové slitky z lokality Štáhlavice (okr. Plzeň-jih).  
 Fig. 6a. Casting cakes and droplets from the Štáhlavice site (Plzeň-jih district).

Obr. 6b. Kovové slitky z lokality Štáhlavice (okr. Plzeň-jih).

Fig. 6b. Casting cakes and droplets from the Štáhlavice site (Plzeň-jih district).

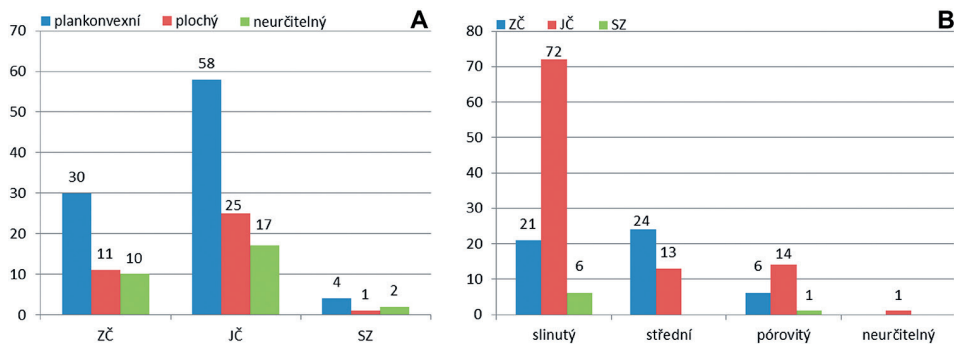


*Salaš 2005*, obr. 20). Napříč časem a regiony je vidět rozptyl těchto hodnot, ve kterém se odráží hmotnost jednotlivých fragmentů a počet kusů v depotu. Opětovnou podobnost v tomto případě vykazují mladobronzové depoty v západočeských Štáhlavicích a jihočeských Zlivicích (*tab. 3*). Lze ještě doplnit rozsah hmotnosti ostatních artefaktů v depotech, který činil od 126,5 g do 16 826 g – viz *tab. 4*.

*Rozměry* fragmentů koláčovitých ingotů jsou vysoce variabilní. K porovnání posloužil délko-šířkový index (délka x šířka v mm<sup>2</sup>). Obdobně jako v případě hmotnosti jsou i zde pozorovatelné podobnosti mezi regiony. V rámci staršího období převažují větší fragmenty, v mladším naopak menší (ale zároveň jsou zastoupeny i středně velké a velké). Nejvyšší podobnost velikostní kategorie byla znovu patrná u jihočeských mladobronzových depotů ve Zlivicích a Smrkovicích. Nejvyšší míru variability roztečí hodnot měl depot v Havlovicích, nejnižší v Pětipsích a naopak nejpodobnější koláčovité ingoty vůči ostatním v depotu obsahovaly Pětipsy, nejméně podobné Havlovice (*tab. 5*). Rozměry slitků-úkapků se pohybovaly mezi 16 a 32 mm, slitků-ingotů (srov. *Kytlicová 2007*, 163; *Rusu 1981*, 382) pak mezi 40 a 65 mm (*tab. 2*).

Analýzované koláčovité ingoty mají většinou plankonvexní průřez, zároveň jsou ale také přítomny ploché tvary – *graf 2A*. Pro starší období byly opět více typické plankonvexní průřezy než ploché. To samé platí pro mladší období – plankonvexní převažují nad plochými – viz *tab. 6*. Některé průřezy nebyly u odštěpků určitelné, u části menších fragmentů byly determinovány s nejistotou způsobenou nepravidelností morfologie koláčovitých ingotů. Je pravidlem, že v jednom depotu se vyskytují jak plankonvexní, tak ploché koláčovité ingoty, přičemž první zmíněné dominují – zejména ve starším období v jižních Čechách jde o Písek 1 – Nový Dvůr (Br B–C), případně v mladším období v severozápadních Čechách o Pětipsy (Br D – Ha A). Ostatní oblasti a období jsou variabilnější. Celkově tedy převažují plankonvexní průřezy, ale během staršího období je pozorovatelná o něco vyšší variabilita v západních Čechách, v mladším období pak v jižních Čechách. Slitky-ingoty z pozdní doby bronzové severozápadních Čech nabývají většinou plankonvexního průřezu – viz *tab. 2*. Na základě kvantifikace souboru dat lze potvrdit obecně známá pozorování, že jak koláčovité ingoty, tak slitky-ingoty nabývají formy obou dvou průřezů. Převažují plankonvexní průřezy, avšak s různě vysokou variabilitou v čase a prostoru.

Přítomné byly jak *okrajové* fragmenty, tak fragmenty z těla koláčovitých ingotů – viz *tab. 7*. Dochované fragmenty těl jsou v celkovém počtu v hodnoceném souboru v jižních Čechách o něco četnější zastoupené než okrajové fragmenty, v západních Čechách jsou naopak poměry okrajů vůči tělům vyšší, a to ve starším i mladším období. V jednom depotu jsou u koláčovitých ingotů vždy přítomné okraje i těla nezávisle na času a prostoru. Jen depoty z Drahotína (ZČ: Br A2/B1–B1; 9 : 5) a Havlovic (ZČ: Br D – Ha A; 3 : 2) obsahovaly o něco více okrajů než fragmentů těl. Pozdně-bronzové slitky-ingoty ze severozápadních Čech ztělesňují celotvary.



Graf 2. Přehled případovou studií dokumentovaných koláčovitých ingotů: A) typ průřezu, B) míra slinutosti; ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.

Chart 2. Overview of documented casting cakes. A) type of cross-section; B) degree of homogeneity; ZČ = west Bohemia, JČ = south Bohemia, SZ = north-west Bohemia.

Z hlediska *slinutosti* převažují spíše dobře slinuté koláčovité ingoty, následované středně pórovitými. Nižší zastoupení mají silněji pórovité koláčovité ingoty – graf 2B. Ve starším období dominují slinuté koláčovité ingoty nad středně pórovitými a pórovitými. V mladším období je opět patrné vyšší množství slinutých koláčovitých ingotů než středně pórovitých a pórovitých – viz tab. 8. V některých případech u odštěpků či celotvarových slitků-úkapků nebylo možné pórovitost snadno určit – viz tab. 2. V jednom depotu lze najít jak zcela slinuté, tak pórovité koláčovité ingoty, a to ve všech oblastech a obdobích (srov. *Kylicová 2007*, 163; *Modl 2019*, 388, fig. 23; *Nessel 2017*, 174; *Parma a kol. 2017*, tab. 4.4b; *Salaš 1997*, 46–47; *Salaš 2005*, 127). V některých je celková kvalita slinutosti nižší (ZČ: Drahotín, Br A2/B1–B1; Havlovice, Br D – Ha A), v jiných vysoká (JČ: Písek 1 – Nový Dvůr, Br B–C; příp. Zlivice, Br D – Ha A; SZ: Pětipsy, Br D – Ha A), nebo alespoň vyšší, resp. heterogennější (ZČ: Štáhlavice, Br D – Ha A; Smrkovice, Br D – Ha A). Potvrzuje se tak variabilita kvality slinutosti koláčovitých ingotů v jednom depotu ve sledovaných oblastech a čase. V západních Čechách je na základě aktuálního studia kvalita slinutosti horší a kolísavější, v jižních Čechách převažují slinuté koláčovité ingoty, ale v mladším období je variabilita poměrů rovněž o trochu vyšší. Lze shrnout, že z pohledu slinutosti obecně vyplývá jejich časté kvalitní zpracování. Ale domněnka, že by kvalitní slinutost zároveň vždy reprezentovala pokročilejších stádií rafinace, se nepotvrdila (viz kap. 7).

Zaznamenány byly dva případy slitku-ingotu s *otvorem* (SZ: Lužice, Světec – inv. č. 2245, Ha B2–3). Otvory pravděpodobně souvisejí se snahou o vyjmutí slitků z pece/tyglíku a/nebo testování míry roztavení (srov. *Kylicová 2007*, 163; *Mozsolics 1981*, 409, Abb. 1–8; *1985*; 35–37, Taf. 5–6, 22; *Modl 2019*, 387; *Nessel 2017*, 174; *Rusu 1981*, 382–383; *Pančíková 2008*, 111) – viz obr. 10.

Patrně otisky *uhlíků* (srov. *Bachmann et al. 2003*, 88; *Modl 2019*, 385–386) na bázi nesly dva mladobronzové koláčovité ingoty ze západních Čech (Havlovice, č. 10, 13). Některé mladobronzové koláčovité ingoty snad pokrývaly otisky hlinitého *podkladu* (JČ: Smrkovice – č. 1?, 5?, ZČ: Havlovice – č. 10–11?, 13?). Na povrchu některých koláčovitých ingotů se objevovaly *železité krusty* (srov. *Kylicová 2007*, 164; *Modl 2019*, 384; *Salaš 1997*, 47; *2005*, 128; *Stránský – Salaš 1987*, 12, 16). Na koláčovitých ingotech z jihočeského depotu z Písku 1 – Nového Dvora (Br B–C) byly zaznamenány na zhruba polovině exemplářů.

	min (g)	max (g)	medián (g)	aritm. průměr (g)	směrodatná odchylka $\sigma$	rozptyl var (X)	celková hmotnost (g)	celkový počet kusů	region	datace
Drahotín	17,50	576,50	127,25	208,35	184,61	34082,72	2917,0	14	ZČ	Br A2/B1-B1
Písek 1 – Nový Dvůr	49,00	1008,00	119,00	171,13	185,49	34407,92	6578,0	41	JČ	Br B-C
Zlivice	11,50	280,00	35,75	75,03	75,30	5671,42	1200,5	16	JČ	Br D-Ha A
Smrkovice	1,50	412,50	32,25	69,13	89,62	8032,42	3042,0	44	JČ	Br D-Ha A
Štáhlavice	2,00	275,50	15,00	32,79	52,72	2779,57	1115,0	34	ZČ	Br D-Ha A
Havlovice	38,00	839,50	363,50	383,70	259,72	67455,26	1918,5	5	ZČ	Br D-Ha A
Pětipsy	41,70	126,90	73,90	72,06	30,81	949,41	360,0	5	SZ	Br D-Ha A

Tab. 3. Hmotnostní poměry koláčovitých ingotů.

Tab. 3. Weight ratios of casting cakes.

Tab. 4. Celková hmotnost ostatních předmětů v depotech s kovovými slitky.

Tab. 4. Total weight of other artefacts in hoards with metal raw materials.

Depot	Celková hmotnost ostatních předmětů (g)
Drahotín	222
Písek 1 – Nový Dvůr	6578
Štáhlavice	197
Havlovice	1358
Kout na Šumavě	677
Zlivice	434
Smrkovice	126,5
Rýdeč	16826
Velké Žernoseky 2	879
Štěpánovská hora 3	474,5
Štěpánovská hora 4	445,3

	min (mm <sup>2</sup> )	max (mm <sup>2</sup> )	medián (mm <sup>2</sup> )	aritm. průměr (mm <sup>2</sup> )	směrodatná odchylka $\sigma$	rozptyl var (X)	celkový počet kusů	region	datace
Drahotín	744,00	7772,00	2655,00	3143,21	2256,82	5093255,88	14	ZČ	Br A2/B1-B1
Písek 1 – Nový Dvůr	814,00	6693,00	1598,00	2016,26	1337,29	1788351,51	41	JČ	Br B-C
Zlivice	476,00	4095,00	850,50	1324,62	1059,03	1121561,60	16	JČ	Br D-Ha A
Smrkovice	70,00	5600,00	701,00	1257,95	1277,78	1632729,17	44	JČ	Br D-Ha A
Štáhlavice	140,00	3965,00	541,00	761,91	746,18	556786,02	34	ZČ	Br D-Ha A
Havlovice	1026,00	12078,00	5698,00	6012,40	3552,82	12622559,04	5	ZČ	Br D-Ha A
Pětipsy	750,00	1908,00	1628,00	1409,60	488,98	239106,24	5	SZ	Br D-Ha A

Tab. 5. Rozměrové poměry koláčovitých ingotů.

Tab. 5. Dimension ratios of casting cakes.

Za účelem orientačního zjištění obsahu kovového železa (nad 1 % dle *Modl 2019*, 384, fig. 15) i u těch koláčovitých ingotů a slitků-úkapků, které nemohly být RFA měřeny, byl využit neodrymový magnet s deklarovanou magnetickou silou 3 kg (reálnou ca 2 kg). Různě silný a plošný *magnetismus* vykazovalo 108 koláčovitých ingotů. Ve starším i mladším období převažují magnetické nad nemagnetickými ve všech regionech – viz *tab. 9*. V jednom depotu se objevují jak magnetické, tak nemagnetické koláčovité ingoty ve všech

	ZČ	JČ	SZ	Celkem (období)
<b>Br A2-C</b>				
plankonvexní	9	35	0	44
plochý	4	4	0	8
neurčitelný	1	2	0	3
<b>Br D-Ha B</b>				
plankonvexní	21	23	4	48
plochý	7	21	1	29
neurčitelný	9	15	2	26
<b>Celkem (regiony)</b>				
plankonvexní	30	58	4	92
plochý	11	25	1	37
neurčitelný	10	17	2	29

Tab. 6. Formy průřezů koláčovitých ingotů; ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.  
 Tab. 6. Forms of cross-sections of casting cakes; ZČ = west Bohemia, JČ = south Bohemia, SZ = northwest Bohemia.

	ZČ	JČ	SZ	Celkem (období)
<b>Br A2-C</b>				
okraj	9	10	0	19
tělo	5	28	0	33
neurčitelný	0	3	0	3
<b>Br D-Ha B</b>				
okraj	17	19	3	39
tělo	11	25	2	38
neurčitelný	9	15	2	26
<b>Celkem (regiony)</b>				
okraj	26	29	3	58
tělo	16	53	2	71
neurčitelný	9	18	2	29

Tab. 7. Zastoupení okrajů a těl koláčovitých ingotů; ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.  
 Tab. 7. Edges and bodies of casting cakes.

oblastech a obdobích. Vyšší poměry magnetických vůči nemagnetickým byly zaznamenány v jihočeských depotech Písek 1 – Nový Dvůr (Br B–C), Zlivice (Br D – Ha A) a severozápadočeském v Pětípsech (Br D – Ha A). V ostatních depotech jsou poměry heterogennější. Čtyři z pěti slitků-úkapků z mladší doby bronzové byly magnetické (ZČ 3, JČ 1) a jeden ze šesti pozdně-bronzových slitků-ingotů ze severozápadních Čech mírně. Z korelace s výsledky materiálového složení poskytnutého RFA analýzou vyplývá záchytnost magnetismu i na úrovni nízkých desetin procent. Přestože možná došlo k záchytnosti lokálních Fe čoček jak magnetem (v některých případech docházelo jen k bodové reakci), tak bodovou povahou RFA měření, využitý magnet byl zřejmě příliš silný k odlišení hodnot. Kromě kovového železa je dále možné počítat také s obsahy železa ve formě oxidů a sulfidů.

U 17 koláčovitých ingotů se projevovala *vrstevnatost*. Ve starším období se jednalo o 10 kusů (ZČ 2, JČ 8), v mladším období pak o 7 kusů (ZČ 1, JČ 6). V měřítku jednoho

	ZČ	JČ	SZ	Celkem (období)
<b>Br A2-C</b>				
slinutý	2	38	0	40
střední	9	2	0	11
pórovitý	3	1	0	4
neurčitelný	0	0	0	0
<b>Br D-Ha B</b>				
slinutý	19	34	6	59
střední	15	11	0	26
pórovitý	3	13	1	17
neurčitelný	0	1	0	1
<b>Celkem (regiony)</b>				
slinutý	21	72	6	99
střední	24	13	0	37
pórovitý	6	14	1	21
neurčitelný	0	1	0	1

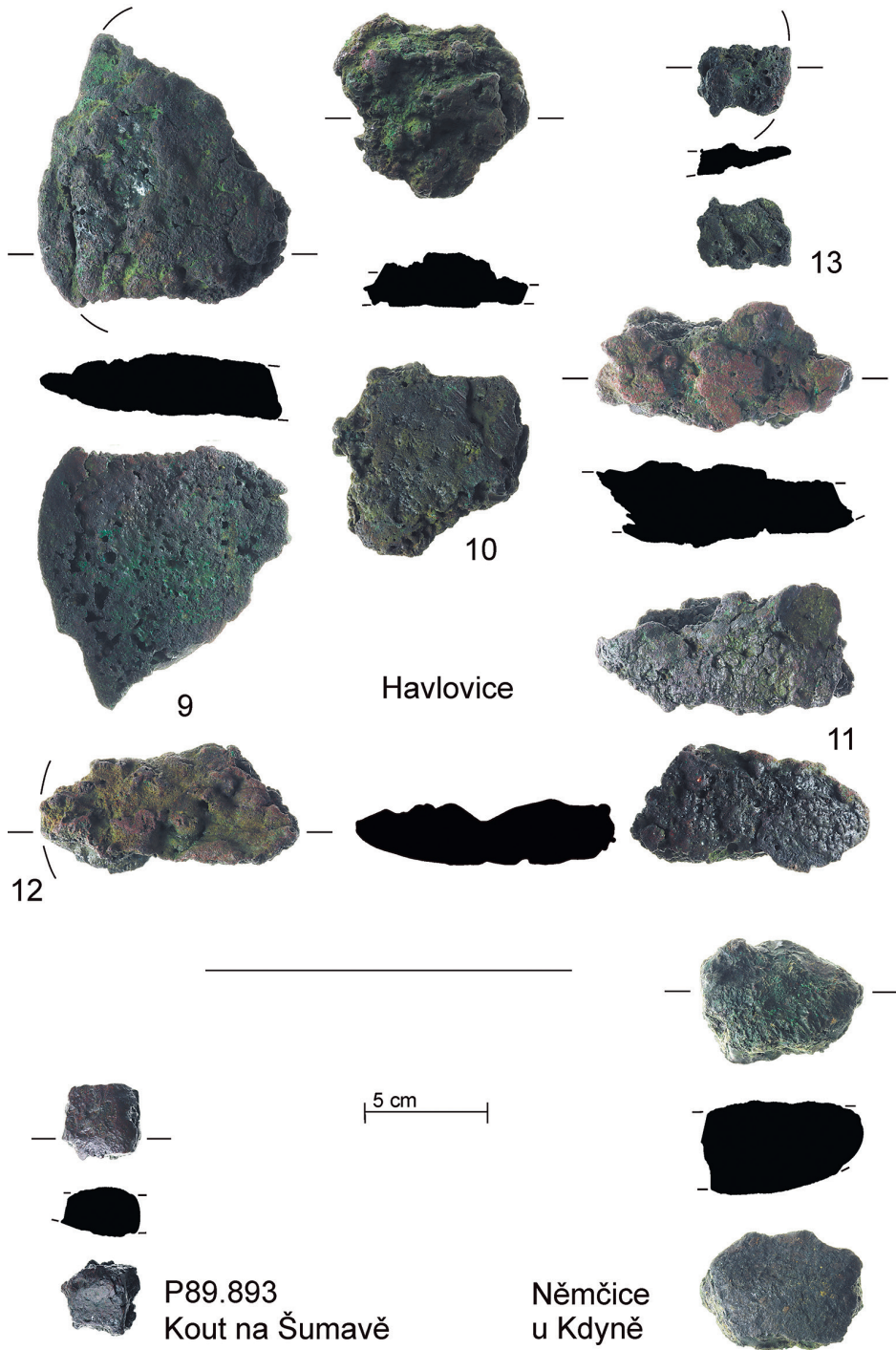
Tab. 8. Míra slinutosti koláčovitých ingotů; ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.  
Tab. 8. Degree of homogeneity of casting cakes.

	ZČ	JČ	SZ	Celkem (období)
<b>Br A2-C</b>				
magnetický	8	32	0	40
nemagnetický	6	9	0	15
<b>Br D-Ha B</b>				
magnetický	22	41	5	68
nemagnetický	15	18	1	34
<b>Celkem (regiony)</b>				
magnetický	30	73	5	108
nemagnetický	21	27	1	49

Tab. 9. Magnetičnost koláčovitých ingotů; ZČ = západní Čechy, JČ = jižní Čechy, SZ = severozápadní Čechy.  
Tab. 9. Magnetism of casting cakes.

depotu se vrstevnatost objevuje jen ojediněle (o něco více – 8 vzorků – jí bylo zaznamenáno v jihočeském Písku 1 – Novém Dvoře, Br B–C). Vrstevnatost svědčí o dodatečném přibytí kovu (postupném tavení), ať už v po sobě bezprostředně blízké době, nebo po delším čase (srov. *Bachmann et al. 2003*, 91, 108–109; *Modl 2019*, 381, 386, 388, 390, fig. 7, 27).

Na koláčovitých ingotech nebyly identifikovány boční *nálitky*, jež by mohly naznačovat stranový směr přítoku taveniny (srov. *Modl 2019*, 386). V našem souboru nebyly přítomny žádné slitky-ingoty z makroskopicky rozeznatelných kusů slinutých *recyklovaných poloroztavených předmětů*, např. zlomkového kovu (srov. *Bachmann et al. 2003*, 91, 110; *Kmošek et al. 2020*, fig. 1; *Kytlicová 2007*, 163; *Modl 2019*, 386; *Mozsolicz 1981*, 403–417, Abb. 7–8; 1985, 24–27, 35–36, Taf. 5–7; *Nessel 2017*, 175; *Pančíková 2008*, 101, 111; *Rusu 1981*, 382–383), ani ze šrotu nasypaného do roztavených měděných koláčovitých ingotů (srov. *Modl 2019*, 375; *Mozsolicz 1985*, 36).



Obr. 7. Kovové slitky z lokalit Havlovice, Němčice u Kdyně, Kout na Šumavě (okr. Domažlice).  
Fig. 7. Casting cakes from the Havlovice, Němčice near Kdyně, and Kout na Šumavě sites (Domažlice district).



*Záseky* byly patrné pouze na dvou (?) koláčovitých ingotech ze střední doby bronzové (Písek 1 – Nový Dvůr – inv. č. A19253, A19275? – viz *obr. 5*) a snad na jednom z mladší doby bronzové (Smrkovice – č. 30) z jižních Čech. Tyto stopy jsou interpretovány jako pokusy o rozdělení koláčovitého ingotu a/nebo o otestování kvality materiálu (srov. *Kytlicová 2007*, 225; *Nessel 2017*, 186, 192, 194, Abb. 13–15; *Pančíková 2008*, 111; *Parma a kol. 2017*, 86, tab. 4.4b; *Salaš 2005*, 127). Koláčovité ingoty byly podle všeho nejspíše za tepla porcovány sekáním za pomoci seker či dlát, nebo úderu palicí (srov. *Bachmann et al. 2003*, 88; *Kytlicová 2007*, 143, 162–163, 225; *Modl 2019*, 377, 382–383, 387, 390–391, fig. 11, 29–30; *Nessel 2017*, 182, 186, 187, Abb. 10–11, 13–18; *Salaš 1997*, 49; *2005*, 127; *Smejtek 2002*, 229). Využití pilek k dělení se nepředpokládá (srov. *Modl 2019*, 387; *Nessel 2010*, 9–10). Během období výskytu koláčovitých ingotů byl většinou uplatňován stejný vzorec jejich porcování ve variantách polovin, čtvrtin, osminek, „D“ fragmentů, trojúhelníků, čtverců, úsečí aj. (*Modl 2019*, 380; *Nessel 2017*, 178, 190–191, Abb. 8). Nalezené fragmenty většinou nelze k sobě spasovat, ať už proto, že náleží odlišným a v depotech nekompletním koláčovitým ingotům, nebo pro nepravidelnost jejich hran v důsledku způsobu dělení (srov. *Bachmann et al. 2003*, 88; *Primas – Pernicka 1998*, 35). Variabilita kombinací různě velkých a těžkých kusů je vysoká (viz výše) a je pravděpodobné, že při distribuci mohly být naporcované fragmenty navažovány v množství, jaké bylo potřeba (*Parma a kol. 2017*, 358; *Nessel 2017*, 192, 194). U některých slitků-úkapků (ZČ: Štáhla-vice, Br D – Ha A, inv. č. 96.933 – lichoběžník, 96.939/6 – čtvrtina, 96.939/8 – polovina?) bylo také zjištěno porcování stejně jako v případech koláčovitých ingotů.

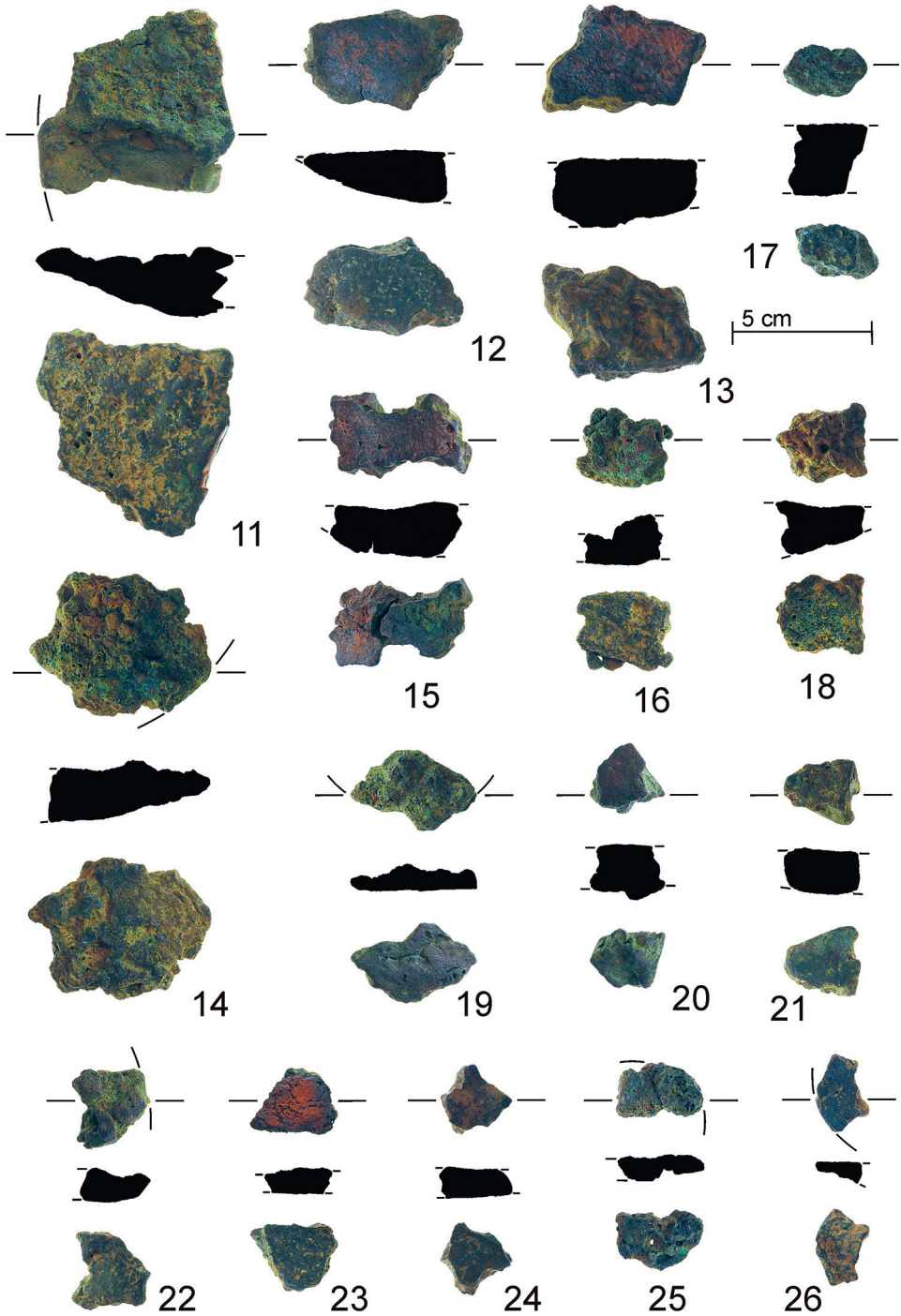
Makroskopicky viditelný *sloupcovitý charakter* (viz *obr. 3*) mělo 10 koláčovitých ingotů – ze staršího období dva jihočeské, z mladšího jeden západočeský a sedm jihočeských. V rámci jednoho depotu se opět vyskytuje jen ojediněle (mírně více jí obsahoval depot v jihočeských Smrkovicích, Br D – Ha A). Sloupce vznikají při pomalém chladnutí látek v horkém okolním prostředí. Snad se tak dělo při porcování koláčovitých ingotů za tepla. Při rychlém ochlazení dochází k obnovení původní struktury krystalické mřížky (srov. *Modl 2019*, 389–391, fig. 24–25; *Nessel 2017*, 187; *Salaš 1997*, 47; *2005*, 127).

Na některých koláčovitých ingotech bylo pozorováno *sekundární natavení* (na horní a dolní straně i na řezu). Často šlo o koláčovité ingoty z jihočeského Písku 1 – Nového Dvora (Br B–C) a také o jeden koláčovitý ingot ze západočeských Němčic u Kdyně (Br D – Ha A).

*Stopy po úderech* (palice?, kladiva?) se nacházely u dvou koláčovitých ingotů z horizontu Br A2/B1 – B1 (Drahotín – inv. č. P89.486, P89.488) ze západních Čech a snad na jednom koláčovitém ingotu ze západních (Havlovice – č. 11) a jednom z jižních (Zlivi-ce – č. 15) Čech datovaných do mladší doby bronzové. Je otázkou, zda se jedná o úderu s úmyslem rozbít koláče, či o stopy po funkčním využití koláčovitého ingotu jako podložky/kovadlinky (srov. *Modl 2019*, 387, fig. 20; *Salaš 1997*, 49). Jeden koláčovitý ingot (JČ: Písek 1 – Nový Dvůr, inv. č. A19246; Br B–C) byl skován do hranolu.

## 6.2. Vyhodnocení materiálového složení

Z technicko-organizačních důvodů byl ve studovaném souboru analyzován pouze výběr slitků, přičemž jsme se snažili jak o rovnoměrné zastoupení vzorků ze všech chronologických období a regionů, tak o proměření alespoň některých depotů v úplnosti pro představu o struktuře inventáře. Kompletně analyzovat se podařilo: ZČ: Drahotín, Br A2/B1–B1;



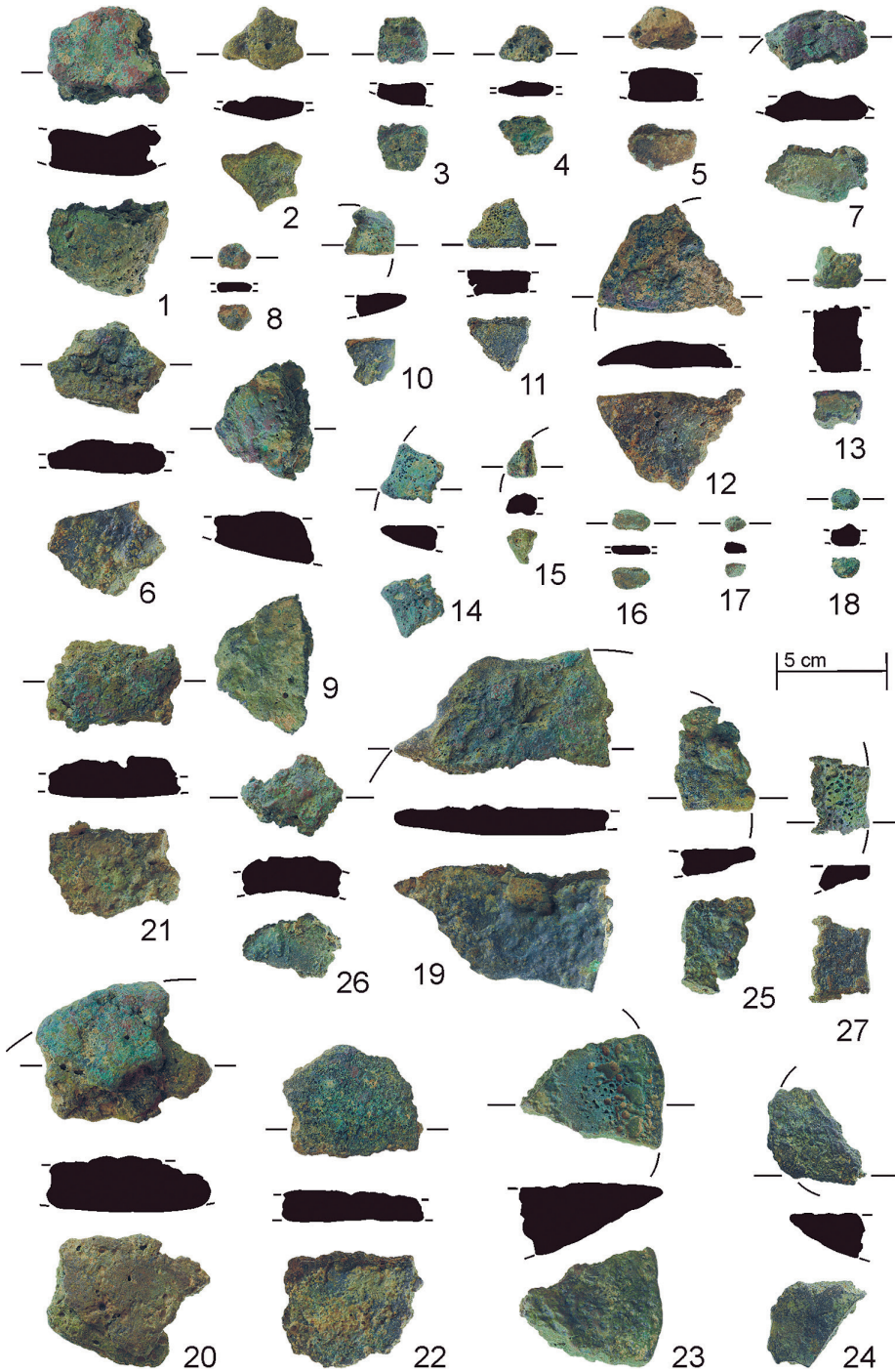
Obr. 8. Kovové slitky z lokality Zlivice (okr. Písek).  
Fig. 8. Casting cakes from the Zlivice site (Písek district).

JČ: Zlivice, Br D – Ha A. Téměř v úplnosti vyjma malých odštěpků pak ZČ: Štáhlavice, Br D – Ha A a depoty se slitky o několika málo exemplářích (ZČ: Kout na Šumavě, Br D – Ha A; SZ: Velké Žernoseky 2, Br D – Ha A; Lužice, Štěpánovská hora 3, 4, Ha B2–3). Depot z Písku 1 – Nového Dvora (JČ, Br B–C) byl proměřen částečně, stejně jako z Havlovic (ZČ, Br D – Ha A). Některé slitky byly podrobeny RFA analýze již v minulosti jinými badateli (SZ: Pětipsy, Rýdeč, Br D – Ha A, Světec, Ha B2–3). Celkem bylo k dispozici 81 měření prvkového složení (73 získáno nově – viz *tab. 1, 10*), což je poměrně značné množství ve srovnání s dosavadní frekvencí publikovaných dat dosažených obdobným způsobem (srov. *Chvojka – Jiráň – Metlička a kol. 2017, 177–193*).

V rámci studia slitků bylo přistoupeno k jejich základní přírodovědné analýze, tedy zkoumání obecného prvkového složení. Analyticky vhodnou metodou pro základní posouzení prvkového složení kovu je rentgenová fluorescenční analýza (RFA). Analýza slitků je z pohledu archeometrie jakousi vstupní branou k analýzám historických předmětů a jejich interpretacím. Slitky představují kov ve formě již redukováného a ve většině případů i rafinovaného materiálu, ve kterém ale stále mohou být přítomny některé příměsi (i kovové), jejichž koncentrace se v důsledku dalších metalurgických operací (rafinace, přetačování, legování) snižují, a to mnohdy až do stopových koncentrací.

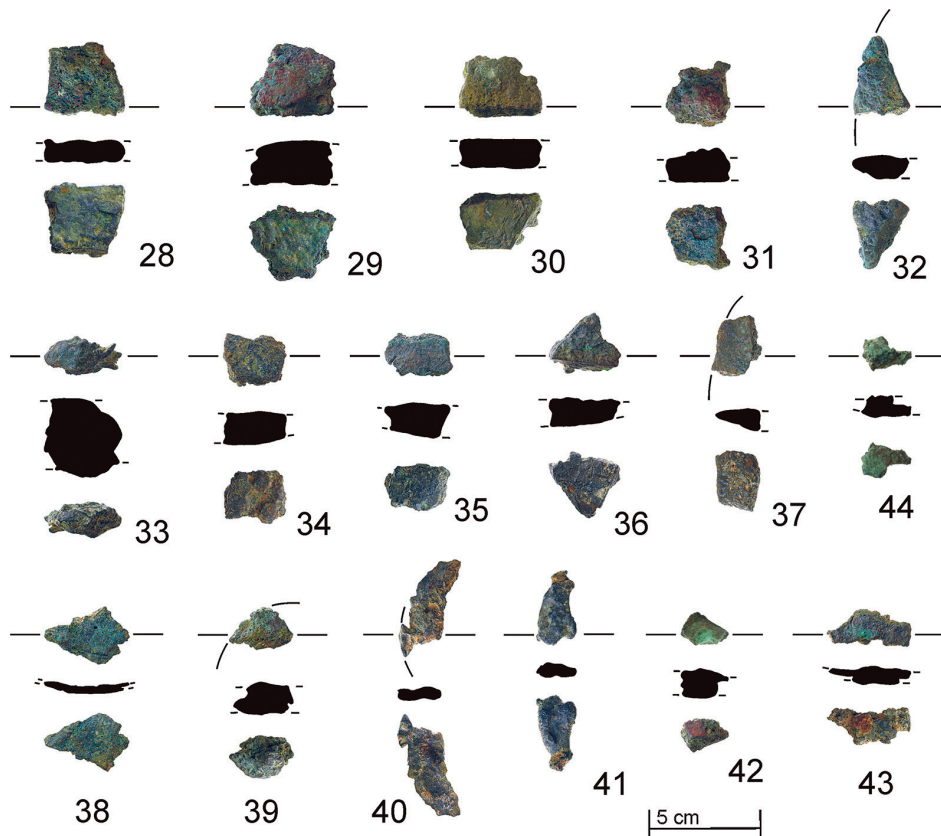
Konkrétně bylo využito přístroje SpectroMidex třetí generace. Přístroj je vybaven molybdenovou (Mo) rentgenkou. Pracovní parametry měření jsou následující: proud 45kV a napětí 0,5mA. Pro analýzu slitků byl použit nejmenší dostupný kolimátor (zařízení vymežující měřenou plochu), a to čtvercový o velikosti hrany 0,1 mm. To přináší jisté klady, ale i zápory. Kladem je fakt, že měření probíhá na ploše, kterou lze považovat za rovinnou, a i místo měření se dá určit velmi přesně. Tímto způsobem je možné provádět analýzy i v místech, která jsou vizuálně odlišná (např. nálitky). Další výhodou měření v takto malé ploše je možnost (ve většině případů) vzorek v malém místě očistit až pod povrchovou korozní vrstvu a měření provést na nábrusu, tedy na základním kovovém materiálu. Touto úpravou povrchu nedochází k odběru vzorku (měří se tedy v tzv. tlusté vrstvě), a není tedy nutné provádět ani různé korekce pro případ tenkého vzorku. V případě analýzy špon totiž u těžších prvků (např. Ag, Sn, Sb) může docházet ke zkreslení výsledků, neboť není vybudeno v objemu vše, co by vybudeno být mohlo. To lze pochopitelně korigovat vhodnou kalibrací, ale to již vnáší do měření další nejistotu. Nevýhodou měření v takto malém bodě a jen v jednom místě je pochopitelně nemožnost statisticky postihnout případné nehomogenity (srov. *Frána et al. 1995, 146, fig. 28; 1997, 45–46; Frána – Chvojka – Fikrle 2009, 94–95, tab. 2, graf 2; Pernicka 2014, 245*). Další nevýhodou je to, že naměřené výsledky reprezentují místo měření i v omezeném hloubkovém rozlišení. Výsledek měření je obvykle z hloubky maximálně desítek mikrometrů. To je důvod, proč metodu RFA v oboru archeometrie považujeme za základní a omezenou – je omezena měřeným vzorkem, nikoliv svým principem.

Soubor byl pro přehlednost rozdělen do skupin podle lokality nálezů, nicméně interpretace dat je společná. V souboru dat byly jen čtyři vzorky s obsahem detekovatelného cínu, přičemž obsah vyšší než 1 %, kde již lze uvažovat o záměrném legování, je pouze ve dvou případech (vzorky Pisek\_Novy\_Dvur\_c\_A19250 a Stáhlavice\_96-939-8). Tyto dva vzorky mají zároveň vysoké obsahy železa (2,8 a 8,9 %), které svým stupněm rafinace spíše poukazují na původ cínu z použitých měděných rud, nikoliv z legování. Další velmi proměnlivou položkou u všech analyzovaných vzorků je obsah železa, který je nutné zohlednit v kontextu toho, jak byl vzorek pro analýzu upraven, a to analýzou obroušeného povrchu nebo korozní vrstvy. V případě analýzy na korozní vrstvě je pravděpodobné, že část železa bude pocházet z půdního prostředí, nikoliv ze vzorku samotného. V případě měření na obroušené části předmětu je reálnější, že naměřená data pocházejí skutečně ze vzorku. Relativně vysoké koncentrace železa (menší jednotky procent) v tomto typu materiálu mohou



Obr. 9a. Kovové slitky z lokality Smrkovice (okr. Písek).

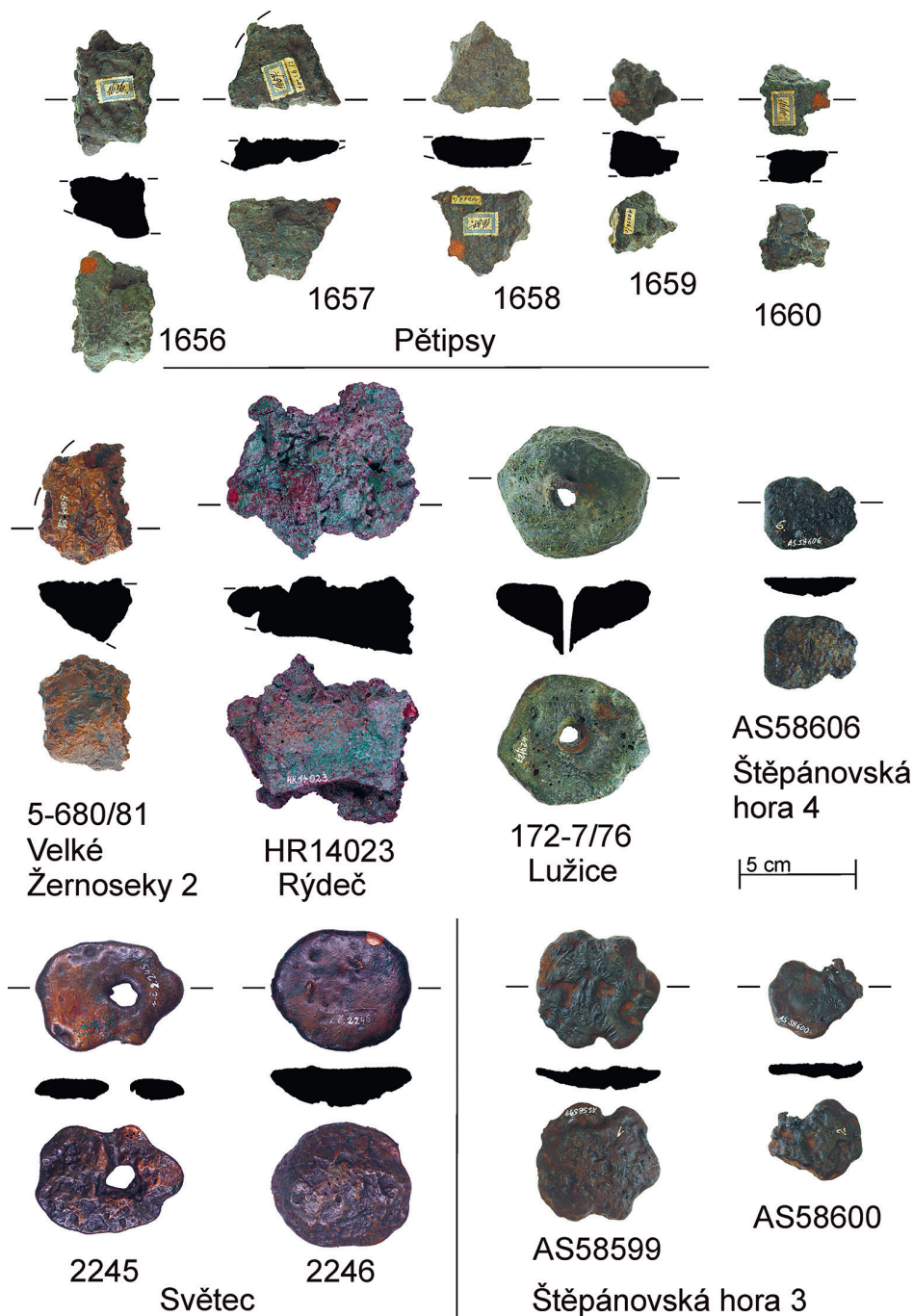
Fig. 9a. Casting cakes and droplet from the Smrkovice site (Písek district).



Obr. 9b. Kovové slitky z lokality Smrkovice (okr. Písek).

Fig. 9b. Casting cakes and droplet from the Smrkovice site (Písek district).

napovědět, ve které části metalurgického procesu slitky vznikly. Železo je při tavení mědi a jejím legování významným redukčním i struskotvorným činidlem. Je ale hlavně součástí polymetalických rud, které jsou jedním z významných zdrojů mědi – chalkopyrit a skupina označovaná jako „fahlore“ / „Fahlerz“, zejména tenantit ( $\text{Cu}_6[\text{Cu}_4(\text{Fe}, \text{Zn})_2]\text{As}_4\text{S}_{13}$ ) a tetraedrit ( $(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Ag})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ). Během vysokoteplotních metalurgických procesů, jako jsou rafinace, tavení nebo legování mědi, dochází k silnému ochuzení výsledného produktu – tedy „čisté mědi“ – právě o železo, které ve značné míře přechází do strusky. Vyšší obsah Fe ve vzorku, pohybující se nad hranicí 1–2 %, může tedy indikovat ranou fázi zpracování kovové suroviny na úrovni primární neúplné rafinace nebo nerafinovaného surového kovu. Jak bylo uvedeno výše, analýzy byly prováděny na jednom místě a v poměrně malé ploše. Vyšší koncentrace Fe mohou být tedy i logicky způsobené nehomogenitou předmětu. Tuto skutečnost nelze opominout ani v případě dalších prvků. Pro přesnější poznání fáze metalurgického procesu, ve které byly jednotlivé slitky vyrobeny, je nezbytné provést mikrostrukturní analýzy zaměřené na studium složení a distribuce nekovových inkluzí (vměstků). Prvkem, který je v analýzách pravěkých artefaktů sledován, je nikl. Zkoumaný materiál většinou Ni obsahuje, ale často v množstvích na hranici stanovitelnosti.



Obr. 10. Kovové slitky z lokalit Pětipsy (okr. Chomutov), Rýdeč (okr. Ústí n. Labem), Velké Žernoseky 2 (okr. Litoměřice), Světec, Štěpánovská hora 3, 4 (okr. Teplice), Lužice (okr. Most).  
 Fig. 10. Metal raw materials from the sites of Pětipsy (Chomutov district), Rýdeč (Ústí n. Labem district), Velké Žernoseky 2 (Litoměřice district), Světec, Štěpánovská hora 3, 4 (Teplice district), Lužice (Most district).

S největší pravděpodobností se nejedná o prvek legující (ve smyslu záměrně přidané legury), byť koncentrace v některých případech dosahují vysokých hodnot (nízké jednotky procent). V artefaktech z doby bronzové se často setkáváme s legurou směsi As, Ag, Sb a někdy Bi, která byla J. Fránou označena souhrnným názvem hřivnový kov, neboť poprvé ji ve větším rozsahu zkoumal právě při analýze jihočeských hřiven (*Frána – Chvojka – Fikrlé 2009*). Námi analyzované slitky ale tuto leguru neobsahují. Nicméně v některých případech jsou koncentrace vybraných prvků, zejména As (vzorky Drahotin\_c\_P-89-485, Drahotin\_P89-489, Drahotin\_c\_P-89-490, Drahotin\_c\_P-89-491, Drahotin\_c\_P-89-495, Stahlavice\_96-924, Stahlavice\_96-931), natolik vysoké, že se již mohlo jednat o legované slitky. V některých případech bychom mohli hovořit o tzv. arzenové mědi, jindy se složením spíše blížíme onomu hřivnovému kovu. Jedním z prvků, který se vyskytuje sporadicky, ale je v rámci prvkových analýz dlouhodobě detekován, je olovo. Celkově je olovo v předloženém souboru většinou na mezi detekce (0,05 %) nebo pod ní, nicméně v individuálních případech je jeho koncentrace velmi vysoká. Opět se může jednat o změřením v tzv. clusteru, a koncentrace olova v celém vzorku může být i o řád nižší. Některé slitky obsahují zinek, který ale překvapivě koreluje s vyššími obsahy olova. Oba tyto prvky jsou přirozenými příměsemi používaných sulfidických měděných rud. Jedná se o vzorky Pisek\_Novy\_Dvur\_A19272, Pisek\_Novy\_Dvur\_A19260, Stahlavice\_96-929, Stahlavice\_c\_96-939-6, Zlivice\_c\_21 a Zlivice\_c\_13. U většiny těchto vzorků je i obsah železa v koncentracích vyšších než 1 % a vzhledem k vysoké afinitě těchto prvků ke kyslíku lze předpokládat, že dalším přetavením měděné suroviny se jejich obsah znatelně sníží až přibližně na hranici detekce použité metody. Z prvků, které se obvykle vyskytují ve slitinách mědi a jejichž koncentrace se po primárním vytavení již příliš nemění, bychom měli jmenovat stříbro. Ovšem až na pár výjimek není stříbro v měřitelných hodnotách přítomno. Pokud již přítomné je, nepřevyšují jeho koncentrace 0,5 %.

Celkově lze soubor hodnotit jako produkty z prakticky čisté mědi s obvyklými příměsemi. U některých vzorků by se mohlo jednat o již dále přepracované (legované?) produkty.

## 7. Diskuse

Při celkovém vyhodnocení studovaného souboru byly porovnány výsledky archeologické deskripce a materiálového složení kovových slitků. Ze vzájemné komparace dat vyplývají shody, ale i rozpory s některými teoretickými předpoklady.

RFA měření především potvrdilo základní determinaci kovových slitků, a to rozlišení mezi (I) *koláčovitými ingoty* a (II) *kovovými slitky/úkapky* a také předpokládanými (III) *slitky-ingoty*. Dále napomohlo jejich rozdělení na produkty složené z mědi a produkty z cínového bronzu – viz *tab. 10, graf 1B*.

Ze skupiny *koláčovitých ingotů* (I) lze vyčlenit (I.I) skupinu koláčovitých ingotů sestávající z velmi čisté mědi (nad 95 %) – 28 exemplářů (případně dalších 17 pohybujičích se v hraničním pásmu hodnot) z počtu 72 měřených ingotů. To jest zhruba jedna třetina ingotů, event. dvě třetiny. Další skupinu tvoří (I.II) koláčovité ingoty z méně čisté mědi. Zaznamenány byly hodnoty od extrémních 51 %, častěji pak spíše od 83 a více procent. S druhou skupinou se částečně překrývá podřazená skupina (I.III) koláčovitých ingotů s vyšším poměrem železa (nad 1 %) – 20 kusů (plus 9 z hraničních hodnot) a zároveň s méně čistou mědí.

Vzorek	Fe [%]	Ni [%]	Cu [%]	Zn [%]	As [%]	Ag [%]	Sn [%]	Sb [%]	Au [%]	Pb [%]	Bi [%]	Sum [%]	Interpretace
Drahotin_c_P89-482	<0,10	<0,05	98,30	n/d	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,38	1
Drahotin_c_P-89-483	0,26	0,53	95,70	n/d	0,50	0,10	<0,05	0,15	n/d	<0,05	<0,05	97,24	1
Drahotin_P89-484	<0,20	0,26	98,90	n/d	0,52	0,12	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,80	1
Drahotin_c_P-89-485	<0,10	0,54	92,70	n/d	1,80	0,22	<0,05	0,30	n/d	<0,05	<0,05	95,56	2
Drahotin_c_P-89-486	0,13	0,43	96,60	n/d	1,03	0,15	<0,05	0,20	n/d	<0,05	<0,05	98,54	1
Drahotin_c_P-89-487	0,12	<0,05	98,60	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,72	1
Drahotin_c_P-89-488	<0,10	0,06	98,30	n/d	0,17	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,53	1
Drahotin_P89-489	0,68	1,92	94,30	n/d	3,04	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,94	2
Drahotin_c_P-89-490	0,14	0,52	91,70	n/d	2,30	<0,05	<0,05	0,12	n/d	<0,05	<0,05	94,78	2
Drahotin_c_P-89-491	0,46	1,80	88,10	n/d	7,80	0,16	<0,05	0,47	n/d	0,06	<0,05	98,90	2
Drahotin_c_P-89-492	0,60	0,18	95,90	n/d	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,73	1
Drahotin_P89-493	0,30	0,10	99,40	n/d	0,17	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,97	1
Drahotin_c_P-89-494	0,13	0,08	96,70	n/d	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	97,07	1
Drahotin_P-89-495	0,57	0,05	90,40	n/d	2,90	<0,05	<0,05	0,09	n/d	<0,05	<0,05	94,01	2
Stahlavice_c_96-920	0,40	<0,20	99,40	n/d	<0,10	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,80	1
Stahlavice_c_96-921	0,15	<0,05	99,70	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,85	1
Stahlavice_c_96-922	<0,1	<0,05	97,30	n/d	0,07	0,05	0,30	<0,08	<0,020	<0,05	<0,05	97,72	1
Stahlavice_96-923	6,15	3,50	88,60	n/d	0,70	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,95	5
Stahlavice_96-924	3,60	0,30	90,70	n/d	4,30	<0,05	0,80	0,30	n/d	<0,05	<0,05	100,00	4
Stahlavice_96-926	1,10	0,06	96,20	n/d	0,10	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	97,46	3
Stahlavice_96-927	0,94	<0,05	91,20	n/d	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,06	<0,05	92,25	4
Stahlavice_96-928	4,50	2,50	91,90	n/d	0,90	<0,05	0,07	0,07	n/d	<0,05	<0,05	99,94	5
Stahlavice_96-929	0,84	<0,05	93,20	1,80	0,40	0,35	<0,05	<0,05	n/d	1,04	0,10	97,73	2
Stahlavice_96-930	1,00	<0,05	94,30	n/d	0,89	<0,05	<0,05	0,41	n/d	0,05	<0,05	96,65	4
Stahlavice_96-931	3,30	0,95	85,90	n/d	2,10	<0,05	<0,05	2,80	n/d	<0,05	<0,05	95,05	5
Stahlavice_96-932	9,01	0,97	85,80	n/d	0,40	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,18	5
Stahlavice_96-933	4,80	0,42	78,40	n/d	6,80	<0,05	<0,05	<0,36	n/d	<0,05	<0,05	90,42	7
Stahlavice_96-934	1,02	0,05	92,70	n/d	1,20	<0,05	0,14	0,34	n/d	<0,05	<0,05	95,45	5
Stahlavice_96-935	1,03	0,10	95,50	n/d	0,37	<0,05	<0,05	0,40	n/d	<0,05	<0,05	97,40	3
Stahlavice_96-936	14,50	0,05	83,50	n/d	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,10	5
Stahlavice_96-937	0,30	<0,05	91,20	n/d	0,05	0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	91,60	2
Stahlavice_96-939-1_tmava_cast	25,60	0,11	59,20	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,09	<0,05	85,00	5
Stahlavice_96-939-2	1,40	<0,05	95,40	n/d	0,45	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,05	<0,05	97,30	6
Stahlavice_96-939-5	0,78	0,21	84,91	n/d	0,10	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,05	<0,05	86,05	2
Stahlavice_c_96-939-6	1,60	<0,05	91,80	1,02	0,12	0,16	<0,05	1,30	n/d	1,60	0,21	97,81	7
Stahlavice_96-939-7	0,41	<0,05	83,91	n/d	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,05	<0,05	84,49	2
Stahlavice_96-939-8	8,90	0,40	71,70	n/d	7,60	0,26	1,33	1,57	<0,020	15,94	<0,0010	107,69	7
Kout_na_Sumave_P89-886	0,80	<0,10	95,40	n/d	0,17	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	0,10	96,47	1
Havlovice_c_11	0,18	<0,05	98,70	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,88	1
Pisek_Novy_Dvur_c_A19244	0,73	0,50	93,60	n/d	0,30	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	95,13	2
Pisek_Novy_Dvur_A19246	0,42	0,21	94,17	n/d	0,04	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	94,84	2
Pisek_Novy_Dvur_c_A19250	2,80	0,05	93,10	n/d	0,10	0,22	1,40	<0,05	n/d	0,15	0,06	97,88	4
Pisek_Novy_Dvur_A19251	2,06	0,07	93,99	n/d	0,67	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,05	<0,05	96,84	5
Pisek_Novy_Dvur_A19253	5,97	0,60	92,30	n/d	0,20	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,07	5



Pisek_Novy_Dvur_A19255	0,32	1,10	95,26	n/d	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,86	1
Pisek_Novy_Dvur_A19256	0,96	1,90	95,28	n/d	0,60	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,82	3
Pisek_Novy_Dvur_A19257	0,90	0,40	93,60	n/d	0,40	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	95,46	4
Pisek_Novy_Dvur_A19258	4,30	0,45	94,70	n/d	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,61	5
Pisek_Novy_Dvur_A19260	3,10	<0,05	93,90	0,36	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,38	<0,05	97,79	5
Pisek_Novy_Dvur_A19266	2,40	0,22	93,30	n/d	0,79	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,71	5
Pisek_Novy_Dvur_A19267	6,60	0,11	88,40	n/d	0,30	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,05	<0,05	95,89	5
Pisek_Novy_Dvur_A19272	1,01	<0,05	95,40	0,56	<0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,70	0,08	97,87	3
Zlivice_c_11	0,70	0,20	96,50	n/d	0,60	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,00	1
Zlivice_c_12	3,30	0,51	92,30	n/d	0,62	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	97,04	5
Zlivice_c_13	1,40	<0,05	94,70	0,20	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	1,50	<0,05	97,93	3
Zlivice_c_14	26,20	2,90	51,80	n/d	1,31	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,06	<0,05	82,27	5
Zlivice_c_15	0,30	<0,05	96,80	n/d	<0,10	0,20	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	1,60	0,08	99,38	1
Zlivice_c_16	0,45	<0,05	96,50	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,95	1
Zlivice_c_17	<0,10	<0,05	99,50	n/d	<0,05	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,05	<0,05	99,66	1
Zlivice_c_18	0,88	0,39	97,50	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	98,77	1
Zlivice_c_19	0,59	0,75	94,70	n/d	0,70	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,74	1
Zlivice_c_20	0,20	0,05	98,90	<0,1	<0,05	0,23	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,20	<0,05	99,58	1
Zlivice_c_21	1,50	0,05	96,10	0,70	0,21	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,98	0,06	99,88	3
Zlivice_c_22	0,50	<0,05	99,30	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	99,80	1
Zlivice_c_23	0,37	<0,05	96,10	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	96,47	1
Zlivice_c_24	4,50	0,41	92,50	n/d	0,32	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	97,89	5
Zlivice_c_25	0,26	0,05	94,90	n/d	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	95,26	1
Zlivice_c_26	0,70	<0,05	97,10	n/d	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	<0,05	<0,05	97,80	1
Velke_Zernoseky_5680-81	0,42	0,10	97,90	n/d	0,50	0,23	<0,05	<0,05	<0,05	n/d	0,30	n/d	99,45	1
Luzice_429-27	<0,20	0,13	92,70	n/d	0,70	0,34	2,50	<0,05	<0,05	n/d	1,30	n/d	98,49	8
Stepanovska_hora_3_A558599	<0,20	0,30	86,40	n/d	0,70	0,22	7,11	1,19	<0,05	n/d	1,42	n/d	97,34	8
Stepanovska_hora_3_A558600	0,22	0,10	84,30	n/d	0,80	0,37	10,20	1,85	<0,05	n/d	0,20	n/d	98,04	8
Stepanovska_hora_4_A558606	<0,20	0,63	86,50	n/d	2,62	0,50	4,23	2,80	<0,05	n/d	0,45	n/d	97,73	8
Pětšpsy, inv. č. 1656	0,10	0,00	99,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1
Pětšpsy, inv. č. 1657	4,37	0,96	94,02	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,99	5
Pětšpsy, inv. č. 1658	1,91	0,91	96,97	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	5
Pětšpsy, inv. č. 1659	0,27	0,00	99,70	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1
Pětšpsy, inv. č. 1660	0,40	0,37	98,05	0,00	0,34	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,13	0,00	100,00	1
Rýdeč, inv. č. HRT14023	2,29	0,22	96,88	0,00	0,57	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	3
Světéc, inv. č. 2245	0,00	0,20	92,48	0,00	0,32	0,26	4,28	0,84	0,00	0,00	1,62	0,00	100,00	8
Světéc, inv. č. 2246	0,20	0,16	93,15	0,00	0,42	0,12	4,75	0,47	0,00	0,00	0,73	0,00	100,00	8

Tab. 10. Výsledky RFA měření. Kurzivou označeny převzaté výsledky měření J. Frány (Frána *et al.* 1995, 240). Interpretace: 1 rafinovaný Cu koláčovitý ingot z čistě mědi, 2 rafinovaný Cu koláčovitý ingot z méně čistě mědi, 3 nedokonale rafinovaný Cu koláčovitý ingot z čistě mědi, 4 nedokonale rafinovaný Cu koláčovitý ingot z méně čistě mědi, 5 nerafinovaný Cu koláčovitý ingot, 6 nedokonale rafinovaný Cu slitek-úkapek z čistě mědi, 7 nerafinovaný Cu slitek-úkapek, 8 slitek-ingot z cínového bronzu.

Tab. 10. Results of XRF measurements. Italics indicate results taken from measurements of J. Frána *et al.* (1995, 240). Interpretation: 1 refined Cu casting cake ingot from pure copper; 2 refined Cu casting cake from less pure copper; 3 imperfectly refined Cu casting cake from pure copper; 4 imperfectly refined Cu casting cake from less pure copper; 5 unrefined Cu casting cake; 6 imperfectly refined Cu casting cake; 7 unrefined Cu casting droplet; 8 casting ingot from tin bronze.

Koláčovitě ingoty z velmi čisté mědi skupiny (I.I) je možné v rámci operačního řetězce metalurgie bronzů interpretovat jako výsledný produkt fáze hutnění, resp. jeho mezifáze rafinace. Tento rafinovaný materiálový polotovár z čisté mědi byl určen k využití v další fázi řetězce, a to slévání, kdy měl být hned v následující mezifázi legován a slit do kadlubu za účelem zhotovení výrobku, nebo z něj byl vyhotoven další materiálový polotovár – bronzový koláčovitý ingot. Bronzové koláčovitě ingoty nejsou ve studovaném souboru kovových slitků zastoupeny. Skupina (I.I) se objevuje ve starším i mladším období synchronně v západočeské, jihočeské i severozápadočeské oblasti ve všech depotech.

Koláčovitě ingoty skupiny (I.II) zahrnují rafinované koláčovitě ingoty z méně čisté mědi. Ty pravděpodobně dále pokračovaly, stejně jako skupina (I.I), do fáze slévání. Znamenány byly ve starším období v depotech západních (Drahotín) a jižních (Písek 1 – Nový Dvůr) Čech, v mladším období pak v depotech západních (Štáhlavice) a jižních (Zlívce) Čech.

Další skupinu (I.III) tvoří pravděpodobně nedokonale rafinované koláčovitě ingoty s jednou podskupinou (I.III.I) z čisté mědi a druhou podskupinou (I.III.II) z méně čisté mědi. První podskupinu bylo možné vyčlenit ve starším období v jižních Čechách (Písek 1 – Nový Dvůr), v mladším období v západních (Štáhlavice), jižních (Zlívce) a severozápadních (Rýdeč) Čechách. Druhou podskupinu lze nalézt v depotech staršího období v jižních Čechách (Písek 1 – Nový Dvůr) a mladšího období v západních Čechách (Štáhlavice).

Koláčovitě ingoty skupiny (I.IV) představují nerafinovaný produkt fáze hutnění. Jde o polotovár vzniklý před mezifází rafinace, během níž měl být dále upravován a zbavován nečistot. Tato skupina se vyskytla ve starším období v jižních Čechách (Písek 1 – Nový Dvůr), v mladším období pak v západních (Štáhlavice), jižních (Zlívce) i severozápadních (Pětipsy) Čechách.

V jednom depotu (o více exemplářích koláčovitých ingotů) se vždy nacházelo více skupin. Inventář některých depotů se však jevil z pohledu materiálového složení velmi homogenní – ve starším období byly koláčovitě ingoty v jihočeském depotu z Písku 1 – Nového Dvora převážně nerafinované nebo nedokonale rafinované (vyskytl se v něm ale např. i rafinovaný koláčovitý ingot jak z méně čisté, tak velmi čisté mědi). Depot ze stejného období v západních Čechách (Drahotín) vykazoval ještě vyšší homogenitu, ale zcela opačnou – všechny koláčovitě ingoty byly rafinované, a to častěji z velmi čisté mědi. Podobnou charakteristiku vykazoval v mladším období i jihočeský depot ze Zlívce, ale variabilita již byla o trochu vyšší (přítomno bylo i několik nerafinovaných koláčovitých ingotů a pár nedokonale rafinovaných, avšak alespoň z čistší mědi). Značnou nehomogenitou oplýval západočeský mladobronzový depot ze Štáhlavic, v němž bylo možno identifikovat všechny skupiny v podobném množství a zároveň obsahoval i slitky/úkapky skupiny (II), které byly jednak nerafinované, jednak nedokonale rafinované. Také severozápadočeský stejně starý depot z Pětipsů zahrnoval jak rafinované koláčovitě ingoty z vysoce čisté mědi, tak nerafinované.

V jiných regionech (Německo, Rakousko, Anglie, Francie) se čistota většiny, nebo značné části měděných koláčovitých ingotů pohybuje okolo 94–98 % (*Modl 2019*, 375; *Nessel 2017*, 174; *Salaš 1997*, 47, Abb. 12; *Skolaut 2017*, 81, Abb. 36, 38) a námi studovaný soubor se z tohoto zjištění nevymyká. Potvrzuje se tak hojná prevalence kvalitní čisté mědi v distribuci materiálu, díky níž nebylo nutně potřeba masivního recyklování vyřazených artefaktů (srov. *Bachmann et al. 2003*, 110; *Frána et al. 1995*, 193; *Parma a kol.*

2017, 358; *Trampuž-Orel 1996*, 187; *Zachar – Salaš 2019*, 618). Patří se znovu připomenout, že u všech výsledků a interpretací je nutné brát ohled na materiálovou nehomogenitu měřených předmětů (*Frána et al. 1995*, 146, fig 28; 1997, 45–46; *Frána – Chvojka – Fikrle 2009*, 94–95, tab. 2, graf 2; *Pernicka 2014*, 245).

Interpretačně složitější otázka rafinace byla již nastíněna v kap. 6.2. Diskutovat lze kontaminaci železem z okolního prostředí (*Frána et al. 1995*, 146, 165; 1997, 48; *Frána – Chvojka – Fikrle 2009*, 94, 111), nicméně za dané metodiky přinejmenším hodnoty v řádu několika jednotek či více procent spíše odkazují na nerafinovaný materiál (srov. např. *Bachmann et al. 2003*, 99; *Craddock – Meeks 1987*, 188, 190, 192–193, 195; *Frána et al. 1995*, 171, 174, 196; 1997, 57, 60, 77; *Pernicka 1999*; *Pernicka – Mehofer 2013*, 42; *Modl 2019*, 388–389; *Salaš 1997*, 47; 2005, 128–129; *Salaš – Stránský – Winkler 1989*, 63; *Trampuž-Orel 1996*, 202–204; *Zachar – Salaš 2019*, 620, 630). V datech analyzovaného souboru jsou obsaženy také hraniční hodnoty Fe kolem 1 % objevující se synchronně většinou zároveň s hraničními hodnotami čisté mědi (kolem 95 %). Mohlo by se jednat o produkty nedokonale provedené rafinace. Vyšší koncentrace železa bývají někdy i ve finálních bronzových artefaktech (*Frána et al. 1995*, 198–239; 1997, 96–118; *Mozsolicz 1985*, 30; *Salaš 2005*, 129). Pro přesnější zařazení měřených produktů do operačního řetězce by kromě stanovení železa pomohlo i stanovení koncentrace síry. Tento prvek se v kovových slitcích vyskytuje nejčastěji ve formě samostatných fází – sulfidických sloučenin mědi a železa. Obsah těchto sulfidických fází/inkluzí se významně snižuje s každým přetavením suroviny, a zejména při její tepelné rafinaci (viz kap. 4). Při porovnání výsledků archeologické deskripce s výsledky RFA měření se v úplnosti nepotvrdila hypotéza, která předpokládala, že slinutost koláčovitého ingotu by měla reprezentovat jeho kvalitu. Přestože v mnoha případech došlo ke shodě, u poměrně velké množiny koláčovitých ingotů neodrážela úroveň jejich materiálové čistoty. Tohoto jevu si povšiml již *M. Salaš (1997, 47)*. Rovněž pokus o orientační stanovení vyššího obsahu železa za pomoci silného magnetu nevykazoval shodu absolutní většiny, ale ta po upravení metodiky možná vzroste (viz kap. 6.1.). Naopak se na zkoumaném souboru potvrdila spojitost železitých krust s vyšší koncentrací železa ve vzorku pod patinou.

Legované, tj. bronzové koláčovité ingoty, nebyly zachyceny. Nešlo tedy ani studovat jejich případnou kombinaci s měděnými koláčovitými ingoty v jednom depotu. Bronzové koláčovité ingoty jsou málo početné i v jiných oblastech (Morava, Německo, Anglie; srov. *Bachmann et al. 2003*, 109–110; *Nessel 2017*, 174–175; *Parma a kol. 2017*, 87, 90; *Skolaut 2017*, Abb. 36, 43), více jich bylo dosud zaznamenáno v Maďarsku nebo Francii (*Skolaut 2017*, Abb. 38, 47). Pouze jeden koláčovitý ingot z jihočeského depotu Písek 1 – Nový Dvůr inv. č. A19250 (Br B–C) vykazoval jen něco málo přes 1 % Sn. Výsledkem měření prvkového složení v místech blíže k povrchu předmětů může být také o něco vyšší koncentrace cínu v důsledku jeho oxidace či technologie výroby (*Frána et al. 1995*, 146; 1997, 46–48, 50; *Frána – Chvojka – Fikrle 2009*, 99). Nižší hodnoty je nutné brát s rezervou i s ohledem na diskuse vedené k procesu legování. Někteří badatelé považují slitinu za cínový bronz při obsahu cínu nad 1 % (*Frána et al. 1997*, 74; *Rovira – Montero 2003*, 15; *Salaš 1997*, 47), jiní nad 2–3 % (*Coghlan 1951*, 34–35; *Hauptmann 2020*, 395, 400–401; *Nessel 2017*, 174; *Rovira – Montero 2003*, 15; *Salaš 1997*, 48) nebo i nad 4 % (*Pare ed. 2000*, 2) či 5 % (*Skolaut 2017*, 64–65) a pod touto hranicí je vnímán jako přirozený obsah rudy, a tedy neintencionální příměs. V našem případě jsme se přidrželi minimální hranice 1 % s vymezením nejistých legur (viz kap. 6.2.) a jistějších nad 2 %. Ve finálně odlišných

artefaktech z cínového bronzu se mohou vyskytovat i velmi nízké hodnoty Sn u srpů, zejména v případě některých jejich typů (Frána *et al.* 1997, 70–71). Pro další výzkum zůstává otevřená otázka složení nečetných bronzových koláčovitých ingotů (nebyly součástí studovaného souboru) buď z legované čerstvé mědi a/nebo recyklovaného šrotu, či kombinace obou metod (srov. např. Kmošek *et al.* 2020, 18; Pernicka – Mehofer 2013, 42). Registrována také nebyla jiná potenciální legura – olovo s koncentrací nad ca 2–5 % (srov. Dörfler *et al.* 1969; Frána *et al.* 1995, 240–249; 1997, 74, 119–130; Parma *a kol.* 2017, 89–90; Pernicka 2014, 256; Pernicka – Mehofer 2013, 43; Salaš 1997, 49; Skolaut 2017, Abb. 36, 38). Naopak v případě některých koláčovitých ingotů jde možná o As leguru.

Skupinu (II) představují *slitky/úkapky*. Všechny jsou součástí depotu ze Štáhlavic (ZČ). V něm jsou přítomny dva nerafinované měděné slitky-úkapky z fáze hutnění (inv. č. 96.933 – odsekávaná amorfní úkapkovitá podoba, středně pórovitý, silně magnetický, povrch hladký; 96.939/6 – čtvrtina z okrouhlého tvaru, plochý průřez, dobře slinutý, nemagnetický, povrch hladký), jeden slitek-úkapek z nedokonale rafinované (?) poměrně čisté mědi z mezifáze (?) rafinování (inv. č. 96.939/2 – amorfně oválný tvar, plochý průřez, dobře slinutý, silně magnetický, povrch hladký) a jeden nedokonale rafinovaný slitek-úkapek s nepatrnou koncentrací Sn, u níž jde spíše o přirozenou příměs v rudě, tedy opět o mezifázi rafinování (inv. č. 96.939/8 – polovina z oválného tvaru, plochý průřez, homogenní, silně magnetický, povrch hladký). Porovnání výsledků archeologické deskripce a RFA měření ukázalo na variabilitu geneze a vlastností těchto produktů a oddělilo je od skupiny (I) koláčovitých ingotů. U některých slitků-úkapků bylo dále zjištěno porcování jako v případě koláčovitých ingotů. Celková presence slitků-úkapků ve studovaném souboru je nízká (srov. Parma *a kol.* 2017, 85–87, tab. 4.4c).

Skupina (III) reprezentuje *slitky-ingoty*. Všechny sestávají z dobře rafinovaného cínového bronzu (srov. Bachmann *et al.* 2003, 109) s koncentracemi Sn od 2 do 10 %. V našem souboru se vyskytovaly v depotech severozápadních Čech (Ha B2–3). V nich nebyly doprovázeny měděnými a/nebo bronzovými koláčovitými ingoty ani hypotetickými Cu slitky-ingoty. Tyto produkty odrážejí fázi slévání, resp. mezifázi legování (materiál vešel do fáze slévání – odlišit výrobku – později). Jde o hladké celotvary v nárysu okrouhlé či amorfně oválné, většinou s (lehce) plankonvexním řezem (jeden studovaný byl plochý), se zdáním dobré slinutosti (nelze pozorovat v řezu), z většiny nemagnetické, s rozměry 40–65 mm. Dva nesly v těle otvor. Zatím i u těchto bronzových produktů zůstává otevřeno, zda může jít o čerstvě slitý legovaný materiál, nebo o (např. částečnou) recyklaci staršího kovu (srov. např. Kmošek *et al.* 2020, 18; Pernicka – Mehofer 2013, 4).

Z dat, která přinesla RFA analýza, lze u některých slitků se zvýšeným obsahem As, Ag a Sb uvažovat surovinu v podobě komplexu tetradritových rud (srov. Modl 2019, 375).

## 8. Závěr

Studované produkty odrážejí různé fáze a mezifáze operačního řetězce metalurgie bronzu. Zastoupena je fáze hutnění – nerafinované Cu koláčovité ingoty (ZČ: Br D – Ha A; JČ: Br B–C, Br D – Ha A; SZ: Br D – Ha A) a nerafinované Cu slitky/úkapky (ZČ: Br D – Ha A) s mezifází rafinace – rafinované Cu koláčovité ingoty o různé míře dokonalosti – od nedokonale rafinovaných Cu koláčovitých ingotů a slitku-úkapku z méně čisté mědi

(ZČ: Br D – Ha A; JČ: Br B–C), nedokonale rafinovaných Cu koláčovitých ingotů z čisté mědi (ZČ: Br D – Ha A; JČ: Br B–C, Br D – Ha A; SZ: Br D – Ha A) a nedokonale rafinovaného odpadního slitku/úkapku z čisté mědi (ZČ: Br D – Ha A) přes rafinované Cu koláčovité ingoty z méně čisté mědi (ZČ: Br A2/B1–B1, Br D – Ha A; JČ: Br B–C) až po rafinované Cu koláčovité ingoty z velmi čisté mědi (ZČ: Br A2/B1–B1, Br D – Ha A; JČ: Br B–C, Br D – Ha A; SZ: Br D – Ha A). Fáze slévání, resp. mezifáze legování, je reprezentovaná slitky-ingoty z cínového bronzu (SZ: Ha B2–3), které vznikly buď jako přebytky materiálu, nebo záměrně, každopádně pro pozdější využití (fáze jejich slévání do kadlubu byla odložena). Je třeba podotknout, že spolehlivější indicie hutnictví ze sídlištních kontextů z oblasti Čech dosud postrádáme a u zmíněných produktů z depotů je nutné vnímat jejich složitější interpretaci (viz kap. 4). V jednom depotu byla zastoupena buď jedna fáze operačního řetězce metalurgie bronzů (mezifáze rafinace – ZČ: Drahotín, Br A2/B1–B1, mezifáze legování – SZ: Světec, Lužice, Štěpánovská hora 3, 4, Ha B2–3), nebo i několik fází (fáze hutnění, mezifáze rafinace – JČ: Písek 1 – Nový Dvůr, Br B–C; Zlivice, Br D – Ha A; SZ: Pětipsy, Br D – Ha A; fáze hutnění, mezifáze rafinace, hypotetická fáze slévání/mezifáze legování – ZČ: Štáhlavice, Br D – Ha A).

Podíváme-li se na konkrétní jevy z úhlu pohledu jednotlivých regionů, v západních Čechách byla zaznamenána jen fáze rafinace, v mladším období jak fáze hutnění, tak mezifáze rafinace. Pouze v tomto regionu se objevila přítomnost výhradně rafinovaných koláčovitých ingotů v jednom celém depotu (Drahotín, Br A2/B1–B1). Další jen zde se vyskytující jev představovala vysoká heterogenita produktů, výrobních fází a gramáže v jednom depotu (Štáhlavice, Br D – Ha A). Také zde byly v mladším období viditelné rozdíly v gramáži a rozměrech koláčovitých ingotů v různých depotech. V neposlední řadě v tomto regionu došlo ve studovaném souboru ke zjištění přítomnosti nejvíce slitků-úkapků (4), a to v jednom depotu (Štáhlavice, Br D – Ha A).

V jižních Čechách byly fáze hutnění a mezifáze rafinace zastoupeny ve starším i mladším období, a to i zároveň v jednom depotu. Zajímavé zjištění poskytl depot z Písku 1 – Nového Dvora (Br B–C), který obsahoval koláčovité ingoty v průběhu procesu rafinace (nerafinované, rafinované a nedokonale rafinované z čisté i méně čisté mědi) s častou vyšší koncentrací Fe, železítými krustami na povrchu, častým magnetismem a početnější vrstevnatostí. V mladším období se ukázala vysoká podobnost depotů ve Zlivicích a Smrkovicích z hlediska gramáže a velikosti koláčovitých ingotů a rovněž celkové hmotnosti všech přítomných koláčovitých ingotů.

Ze severozápadních Čech bylo prozatím k dispozici jen menší množství koláčovitých ingotů z mladší doby bronzové, jež vykazovaly jednak fázi hutnění, jednak fázi rafinace. V současnosti jen v tomto regionu byly studovány bronzové slitky-ingoty z pozdní doby bronzové (v některých případech opatřené otvory).

Z pohledu chronologicko-prostorových trendů zaznamenaných v našem souboru lze uzavřít, že ve starším období se objevuje rafinace i nerafinace, a to v západních i jižních Čechách. V západních Čechách byl evidován jeden zcela rafinovaný depot a naopak v jižních Čechách jeden převážně nerafinovaný. Převažovaly hmotnější a větší fragmenty koláčovitých ingotů (podobné si v tomto ohledu byly jeden depot ze západních a jeden z jižních Čech). V mladším období je situace obdobná – registrována byla rafinace i nerafinace v západních, jižních a severozápadních Čechách. V jednom západočeském depotu byla zaznamenána heterogenita produktů a fází, jeden jihočeský byl spíše rafinovaný. Oproti předchozímu období byly registrovány menší a lehčí fragmenty koláčovitých ingotů

(zřejmě byla v tomto ohledu vysoká podobnost dvou jihočeských depotů), zároveň se zde ale vyskytla kategorie s těžšími a středně těžkými fragmenty, a je tedy patrná určitá heterogenita. Z konce tohoto období pocházejí bronzové slitky-ingoty v severozápadních Čechách (jde ale o současný stav výzkumu).

Zastavíme-li se ještě závěrem u obecné kritiky dat a metody zpracování, potíže v bádání může přinášet otázka datování některých kovových slitků (viz kap. 2), nezaručená kompletnost inventáře depotů (*Moucha 2005*, 15–17; *Salaš 2005*, 127), nebo také malá velikost slitků, kdy je obtížná determinace horní/dolní strany a prostorového umístění jejich vlastností nebo odhad způsobu porcování – sekání vs. tříštění (srov. *Nessel 2017*, 188, 190). Vzhledem k počtu analyzovaných slitků a lokalit nelze v této prvotní studii vyvozovat rozsáhlé závěry z důvodu nižší statistické významnosti dat a omezení daných (kontrolovaným) výběrem studovaných souborů. Záměrem však bylo determinovat jednotlivé kovové produkty, zjistit jejich genezi a poukázat na prezenci/absenci metalurgických operací a vybraných technologických jevů během jednotlivých stupňů doby bronzové v rámci konkrétních depotů/lokalit a různých regionů, odlišných svým celkovým metalurgickým obrazem. Dosud provedené první kroky mohou být využity při dalším řešení otázek a komplexnějších témat organizace metalurgie bronzu doby bronzové. Jde jednak o lokalizaci metalurgických lokalit a metalurgických center, o vztah elit a centrálních míst k systému organizace metalurgie, jednak o otázky relativní intenzity produkce, druhů a zdrojů surovin, recyklace materiálu či specializace metalurgie.

*Výzkum byl proveden s podporou AV ČR v rámci programu Strategie AV21 č. 23 – Město jako laboratoř změny; stavby, kulturní dědictví a prostředí pro bezpečný a hodnotný život.*

*Za zápatky předmětů ke studiu a dokumentaci patří poděkování vedoucím archeologických oddělení a kurátorům sbírek ze Západočeského muzea v Plzni – Odd. prehistorie, Muzea Chodska v Domažlicích, Prácheňského muzea v Písku a Regionálního muzea v Tepličkách.*

## Literatura

- Augustýnová, M. 2016a:* Metalurgie bronzu doby bronzové v západních Čechách – známé indicie. *Archeologia technica* 27, 19–32.
- Augustýnová, M. 2016b:* Metalurgická krajina? Doklady metalurgie bronzu v jižních Čechách. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 29, 55–86.
- Augustýnová, M. 2017:* Metalurgické Podkrušnohoří – stopy po výrobě bronzu v době bronzové. *Acta rerum naturalium* 21, 79–100.
- Augustýnová, M. 2018:* Střední Čechy a metalurgie bronzu doby bronzové. *Archeologie ve středních Čechách* 22, 121–145.
- Bachmann, H. G. – Jockenhövel, A. – Spichal, U. – Wolf, G. 2003:* Zur bronzzeitlichen Metallversorgung im Mittleren Westdeutschland: Von der Lagerstätte zum Endprodukt. *Berichte der Kommission für archäologische Landesforschung in Hessen* 7, 67–120.
- Beneš, A. 1988:* Sídliště ze starší doby bronzové u Hostů, České Budějovice (Zpráva o předstihovém výzkumu za léta 1981–1985). In: P. Šrámek ed., *Archeologické výzkumy v jižních Čechách, České Budějovice: Jihočeské muzeum v Českých Budějovicích*, 7–26.
- Blažek, J. – Ernée, M. – Smejtek, L. 1998:* Die bronzzeitlichen Gussformen in Nordwestböhmen. Most: ÚAPPSZ Čech.
- Bursák, D. – Daněček, D. – Smitěk, K. 2016:* Nové kovové nálezy z doby halštatské z hradiště u Minic, okr. Mělník. In: M. Popelka et al. eds., ... tenkrát na východě... *Sborník k 80. narozeninám Víta Vokolka. Praehistorica XXXIII/1–2*, Praha: Univerzita Karlova, 117–129.

- Coghlan, H. H. 1951: Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze in the Old World. Oxford: University Press.
- Craddock, P. T. – Meeks, N. D. 1987: Iron in Ancient Copper. *Archaeometry* 29, 187–204.
- Czajlik, Z. 1996: Ein spätbronzezeitliches Halbfertigprodukt: Der Gußkuchen. Eine Untersuchung anhand von Funden aus Westungarn. *Archaeologia Austriaca* 80, 165–180.
- Daněček, D. – Říhová, P. 2020: Bronzový depot z Turska. In: L. Beneš ed., Krásný nový svět. Archeologie v muzeích na cestě k budoucnosti. Sborník příspěvků z 26. setkání českých, saských, bavorských a hornorakouských muzejních pracovníků v Mikulově (24.–26. 9. 2017), Praha: Asociace muzeí a galerií České republiky, z. s., 107–112.
- Dörfler, G. – Neuninger, H. – Pittioni, R. – Siegl, W. 1969: Zur Frage des Bleierz-Bergbaues während der jüngeren Urnenfelderkultur in den Ostalpen. *Archaeologia Austriaca* 46, 68–98.
- Eibner, C. 1982: Kupferverhüttung – Das Vorstadium für Gießereihütten der Urzeit. *Archeologia Polski* 27, 303–313.
- Frána, J. – Jiráň, L. – Maštalka, A. – Moucha, V. 1995: Artifacts of Copper and Copper Alloys in Prehistoric Bohemia from the Viewpoint of Analyses of Element Composition. *Památky archeologické – Supplementum* 3. Praha: Archeologický ústav AV ČR.
- Frána, J. – Jiráň, L. – Moucha, V. – Sankot, P. 1997: Artifacts of Copper and Copper Alloys in Prehistoric Bohemia from the Viewpoint of Analyses of Element Composition II. *Památky archeologické – Supplementum* 8. Praha: Archeologický ústav AV ČR.
- Frána, J. – Chvojka, O. – Fikrle, M. 2009: Analýzy obsahu chemických prvků nových depotů surové mědi z jižních Čech. *Památky archeologické* 100, 91–118.
- Frána, J. – Maštalka, A. 1986: Rentgenfluorescenční analýzy bronzů z Plzně–Jílkalky. *Památky archeologické* 77, 455–465.
- Fregni, E. G. 2014: The Compleat Metalsmith: Craft and Technology in the British Bronze Age. PhD thesis. University of Sheffield, Department of Archaeology.
- Fröhlich, J. – Chvojka, J. – John, J. – Šálková, T. 2016: Kovové depoty z doby bronzové v zázemí hradiště u Chřešřovic na Písecku. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 29, 117–141.
- Fröhlich, J. – Chvojka, J. – Zavřel, P. 2016: Nové archeologické nálezy pravěkých bronzových předmětů na Vodňansku. In: Vodňany a Vodňanské muzeum 10, Vodňany: Městské muzeum a galerie ve Vodňanech, 3–20.
- Fröhlich, J. – Jiřík, J. 2007: Tři depoty z doby bronzové objevené roku 2007 v povodí dolního toku Blanice. In: O. Chvojka – R. Krajčí eds., Archeologie na pomezí. Sborník příspěvků ze semináře, České Budějovice 8. 11. 2007. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách – Supplementum* 4, České Budějovice: Jihočeské muzeum v Českých Budějovicích, 187–197.
- Gersbach, E. 1969: Urgeschichte des Hochrheins. Funde und Fundstellen in den Landkreisen Säckingen und Waldshut. Bd. 2 Katalog. Badische Fundber. Sonderheft 11. Freiburg: Kehler.
- Halama, J. 2014: Pozoruhodné bronzové artefakty z lokality Žádlovice u Loštic (okr. Šumperk). In: J. Juchelka ed., Doba popelnicových polí a doba halštatská ve střední Evropě. Materiál z XIII. mezinárodní konference „popelnicová pole a doba halštatská“, Opava: Slezská univerzita v Opavě – Filozoficko-přírodovědecká fakulta v Opavě, 179–222.
- Hanning, E. – Herdits, H. – Silvestri, E. 2015: Alpines Kupferschmelzen – technologische Aspekte. In: T. Stöllner – K. Oegg Hrsg., Bergauf Bergab. 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. Wissenschaftlicher Beiband zur Ausstellung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum vom 31. 10. 2015 – 24. 04. 2016 und im Vorarlberg museum Bregenz vom 11. 06. 2016 – 26. 10. 2016, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 225–232.
- Hauptmann, A. 2020: *Archaeometallurgy – Materials Science Aspects*. Cham: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-50367-3>
- Heeb, J. – Ottaway, B. S. 2014: Experimental Archaeometallurgy. In: B. W. Roberts – C. P. Thornton eds., *Archaeometallurgy in Global Perspective. Methods and Syntheses*, New York: Springer, 161–192. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9017-3>
- Herdits, H. 1997: Experimentalarchäologische Untersuchungen zur bronzezeitlichen Verhüttung sulfidischer Kupfererze. In: M. Fansa Hrsg., *Experimentelle Archäologie. Bilanz 1996. Symposium in Hitzacker, Oktober 1995. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland – Beiheft* 18, Oldenburg: Staatliches Museum für Naturkunde und Vorgeschichte, 21–31.
- Herdits, H. – Keen, J. – Steinberger, M. 1995: Wie kommt das Zinn in die Bronze? Ein Beitrag zur experimentellen Archäologie. *Archäologie Österreichs* 6, 78–85.

- Herdits, H. – Löcker, K. 2004:* Eine bronzezeitliche Kupferhütte im Mitterberger Kupferkies-Revier (Salzburg) – Ausgrabung und Rekonstruktion. In: G. Weisgerber – G. Goldenberg Hrsg., *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anchnitt – Beiheft 17*, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 177–188.
- Hlásek, D. – Fröhlich, J. 2019:* Nenápadný monument doby bronzové. Hradištský vrch u Písku – hradiště z přelomu střední a mladší doby bronzové. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 32, 103–150.
- Hlásek, D. – Houfková, P. – John, J. – Novák, J. – Šálková, T. 2015:* Všemyslice – Kozi vrch. Nové poznatky o hradišti z počátku střední doby bronzové, výsledky multidisciplinárního výzkumu. *Archeologie západních Čech* 9, 96–121.
- Höglinger, P. 1996:* Der späbronzezeitliche Depotfund von Sipbachzell/OÖ. *Linzer archäologische Forschungen – Sonderheft 16*. Linz: Stadtmuseum Linz.
- Chvojka, O. – Červenka, E. 2008:* Nové pravěké nálezy z okolí Českého Krumlova. *Výzkumy v jižních Čechách* 21, 97–113.
- Chvojka, O. – Fröhlich, J. 2013:* Ojedinelé nálezy kovových předmětů z doby bronzové, dokumentované v jižních Čechách v letech 2010–2012. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 26, 77–112.
- Chvojka, O. – Fröhlich, J. – John, J. – Jiřík, J. – Král, V. – Menšík, P. – Michálek, J. – Pták, M. 2017:* Ojedinelé nálezy kovových předmětů z doby bronzové, dokumentované v jižních Čechách v letech 2013–2016. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 30, 97–157.
- Chvojka, O. – Jiráň, L. – Metlička, M. a kol. 2017:* Nové české depoty doby bronzové. Hromadné nálezy kovových předmětů učiněné do roku 2013. Díl 1, 2. České Budějovice etc.: Jihočeská univerzita etc.
- Chvojka, O. – Michálek, J. 2003:* Sídliště ze střední doby bronzové u Radčic-Vodňan, okres Strakonice – Výzkumy na stavbě silničního obchvatu v letech 1994–1996. *Památky archeologické* 94, 83–160.
- Jiráň, L. 2000:* Die Frage nach den Rohstoffquellen der urnenfelderzeitlichen Bronzeproduktion in Böhmen. In: M. Chytráček et al. eds., *Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen*. 9. Treffen 23. bis 26. Juni 1999 in Neukirchen b. Hl. Blut, Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH, 61–67.
- Jiráň, L. 2012:* Die Hortfundstellen in Böhmen. In: S. Hansen et al. Hrsg., *Hort und Raum. Aktuelle Forschungen zu bronzezeitlichen Deponierungen in Mitteleuropa*, Berlin – Boston: De Gruyter, 169–178.
- Jiráň, L. ed. 2008:* *Archeologie pravěkých Čech. Doba bronzová*. Praha: Archeologický ústav AV ČR.
- Jockenhövel, A. 2020:* Bronzezeitliche Gräber mit Rohmetall: Eine Fundgruppe zwischen praktischer Funktion und symbolischer Bedeutung. In: A. Kozubová et al. eds., *Ultra velum temporis. Venované Jozefovi Bátorovi k 70. narodeninám*. Slovenská archeológia – Supplementum 1, Nitra: Archeologický ústav SAV, 295–305.
- Jung, R. – Mehofer, M. – Pernicka, E. 2011:* Metal Exchange in Italy from the Middle to the Final Bronze Age (14<sup>th</sup>–11<sup>th</sup> cent. BCE). In: P. P. Betancourt – S. C. Ferrence eds., *Metallurgy: Understanding How, Learning Why*. Studies in Honor of James D. Muhly, Philadelphia: INSTAP Academic Press, 231–248.
- Kmošek, J. – Kochergina, Y. – Chvojka, O. – Fikrle, M. 2020:* Tracking Alpine copper – Analysis of Late Bronze Age Copper Ingot Hoard from South Bohemia. *Archaeological and Anthropological Sciences* 12, 1–21. doi:<https://doi.org/10.1007/s12520-020-01186-z>
- Krüger, J. – Nagel, F. – Nagel, S. – Jantzen, D. – Lampe, R. – Dräger, J. – Lidke, G. – Mecking, O. – Schüller, T. – Terberger, T. 2012:* Bronze Age Tin Rings from the Tollense Valley in Northeastern Germany. *Prähistorische Zeitschrift* 87, 29–43. doi:<https://doi.org/10.1515/pz-2012-0002>
- Křivánek, R. – Kuna, M. – Korený, R. 2006:* Hradiště Plešivec – preventivní detektorový průzkum a dokumentace stavu lokality. *Archeologické rozhledy* 58, 329–343.
- Kytlicová, O. 1970:* Význam bronzu v životě člověka mladší a pozdní doby bronzové. In: J. Majer ed., *Cín v dějinách vědy, techniky a umění. Rozpravy Národního technického muzea v Praze* 43, Praha: Národní technické muzeum v Praze, 73–84.
- Kytlicová, O. 1982:* Bronzemetallurgie in Böhmen in der Jung- und Späbronzezeit. *Archeologia Polski* 27, 383–393.
- Kytlicová, O. 2007:* *Jungbronzezeitliche Hortfunde in Böhmen. Prähistorische Bronzefunde* 22/12. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Le Carlier de Veslud, C. – Edme, L. – Fily, M. 2014:* Lingots et déchets de fonderie dans les dépôts de l'horizon de l'épée à pointe en langue de carpe (Bronze final IIIb): proposition de typologie. *Bulletin de la Société préhistorique française* 111, 509–522.
- Lorscheider, F. – Mass, A. – Steiniger, D. 2003:* Frühe Kupferproduktion – archäologischer Befund und Experiment: Versuche zur Fahlerzverhüttung in einem einzigen Ofengang. In: T. Stöllner et al. eds., *Man*



- and Mining. Studies in honour of Gerd Weisgerber on occasion of his 65 birthday. Der Anschnitt – Beiheft 16, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 301–307.
- Lutz, J. – Krutter, S. – Pernicka, E. 2019:* Zusammensetzung prähistorischer Rohkupfer-Gusskuchen aus Salzburg, Tirol und Südbayern. In: S. Hye – U. Töchterle Hrsg., UPIKU:TAUKE. Festschrift für Gerhard Tomedi zum 65. Geburtstag. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 339, Bonn: Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, 319–328.
- Martinek, K.-P. 1996:* Archäometallurgische Untersuchungen zur frühbronzezeitlichen Kupferproduktion und -verarbeitung auf dem Buchberg bei Wiesing, Tirol. Fundberichte aus Österreich 34/1995, 575–584.
- Martinek, K.-P. 1997:* Die Technologie der frühbronzezeitlichen Fahlerz-Verhüttung am Beispiel der Funde vom Buchberg bei Wiesing, Tirol. Archäometrie und Denkmalpflege. Kurzberichte 1997, 81–83.
- Modl, D. 2010:* Zur Herstellung und Zerkleinerung von plankonvexen Gusskuchen in der spätbronzezeitlichen Steiermark, Österreich. In: F. Both Hrsg., Experimentelle Archäologie. Bilanz 2010, Heft 9, Oldenburg: Europäischen Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie, 127–151.
- Modl, D. 2015:* Experimentelle Archäologie zu ostalpinen Aufbereitungs- und Hüttenprozessen. In: T. Stöllner – K. Oeggl Hrsg., Bergauf Bergab. 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. Wissenschaftlicher Beiband zur Ausstellung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum vom 31. 10. 2015 – 24. 04. 2016 und im Vorarlberg museum Bregenz vom 11. 06. 2016 – 26. 10. 2016, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 221–224.
- Modl, D. 2019:* Recording Plano-convex Ingots (Gusskuchen) from Late Bronze Age Styria and Upper Austria – A Short Manual for the Documentation of Morphological and Technological Features from Production and Partition. In: R. Turck et al. eds., Alpine Copper II – Alpenkupfer II – Rame delle Alpi II – Cuivre des Alpes II. New Results and Perspectives on Prehistoric Copper Production, Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH, 373–398.
- Möslein, S. 1998:* Ein Depotfund der ausgehenden Frühbronzezeit von Pfakofen, Lkr. Regensburg. Beiträge zur Archäologie in der Oberpfalz 2, 251–260.
- Möslein, S. 2015:* Bronzezeitliche Hortfunde im ostbayerischen Alpenvorland. In: O. Chvojka et al. Hrsg., Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen/Oberösterreich (Fines Transire 24), 24. Treffen 18. bis 21. Juni 2014 in Bechyně, Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH, 113–122.
- Möslein, S. – Pernicka, E. 2019:* The Metal Analyses of the SSN-project (with Catalogue). In: R. Turck – G. Goldenberg eds., Der Anschnitt – Beiheft 42, Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH, 399–453.
- Mozsolics, A. 1981:* Gusskuchen aus wieder eingeschmolzenem Altmetall. Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsische Bodendenkmalpflege – Beiheft 16. Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte I, 403–417.
- Mozsolics, A. 1985:* Ein Beitrag zum Metallhandwerk der ungarischen Bronzezeit. Bericht der Römisch-Germanischen Kommission 65, 19–72.
- Moucha, V. 2005:* Hortfunde der frühen Bronzezeit in Böhmen. Praha: Archeologický ústav Akademie věd České republiky.
- Needham, S. 2001:* When Expediency Broaches Ritual Intention: The Flow of Metal between Systemic and Buried Domains. Journal of the Royal Anthropological Institute 7, 275–298.
- Nessel, B. 2010:* Schmiede und Toreuten in den urnenfelderzeitlichen Depotfunden des Karpatenbeckens? – Funktionsanalyse von Handwerksgerät und soziale Implikationen. In: T. L. Kienlin – B. Horejs Hrsg., Siedlung und Handwerk: Studien zu sozialen Kontexten in der Bronzezeit. Beiträge zu den Sitzungen der Arbeitsgemeinschaft Bronzezeit auf der Jahrestagung des Nordwestdeutschen Verbandes für Altertumforschung in Schleswig 2007 und auf dem Deutschen Archäologenkongress in Mannheim 2008. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 194, Bonn: Dr. Rudolf Habelt, 373–386.
- Nessel, B. 2014:* Bronze Age Portioning of Raw Metal – Concepts, Patterns and Meaning of Casting Cakes. In: N. Boroffka et al. eds., Carpathian Heartlands. Studies on the prehistory and history of Transsylvania in European contexts, dedicated to Horia Ciugudean on his 60th birthday, Apulum 51, Alba Iulia: Muzeul Național al Unirii, 401–425.
- Nessel, B. 2017:* Von warmen und kalten Brüchen. Bruchmuster und Konzepte der Portionierung bronzezeitlichen Rohmaterials am Beispiel plankonvexer Gusskuchen. In: D. Brandherm – B. Nessel Hrsg., Phasenübergänge und Umbrüche im bronzezeitlichen Europa: Beiträge zur Sitzung der Arbeitsgemeinschaft Bronzezeit auf der 80. Tagung des Nordwestdeutschen Verbandes für Altertumforschung. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 297, Bonn: Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, 169–198.

- Nielsen, E. H. 2014: A Late Bronze Age Tin Ingot from Sursee-Gammainseli (kt. Luzern). *Archäologisches Korrespondenzblatt* 44, 177–193.
- Págo, L. 1981: Spektrální analýzy předmětů mohylové kultury z Mušova, okr. Mikulov. *Archeologické rozhledy* 33, 370–371.
- Págo, L. 1985: Spektrální analýzy některých artefaktů z výšinného sídliště doby bronzové u Blučiny. *Acta Musei Moraviae – sci. soc.* LXX, 57–59.
- Pančíková, Z. 2008: Metalurgie v období popolnicových polí na Slovensku. *Památky archeologické* 99, 93–160.
- Pare, C. F. ed. 2000: *Metals Make the World Go Round: The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe*. Oxford: Oxbow Books.
- Parma, D. a kol. 2017: Archeologie střední a mladší doby bronzové na Vyškovsku. *Interpretační potenciál plošných záchranných výzkumů*. Brno: ÚAPP.
- Pernicka, E. 1999: Trace Element Fingerprinting of Ancient Copper: A Guide to Technology or Provenance?. In: S. M. M. Young et al. eds., *Metals in Antiquity*. BAR International Series 792, Oxford: Archaeopress, 163–171.
- Pernicka, E. 2014: Provenance Determination of Archaeological Metal Objects. In: B. W. Roberts – C. P. Thornton eds., *Archaeometallurgy in Global Perspective*, New York: Springer, 239–268.
- Pernicka, E. – Lutz, J. – Stöllner, T. 2016: Bronze Age Copper Produced at Mitterberg, Austria and its Distribution. *Archaeologia Austriaca* 100, 19–55. doi:https://doi.org/10.1553/archaeologia100s19
- Pernicka, E. – Mehofer, M. 2013: Archäometallurgische Untersuchungen. In: E. Lauer mann – E. Rammer Hrsg., *Die urnenfelderzeitlichen Metallhortfunde Niederösterreichs – Mit besonderer Berücksichtigung der zwei Depotfunde aus Enzersdorf im Thale*, Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 226, Bonn: Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, 42–59.
- Pleiner, R. 1970: Cín v počátcích civilisace. In: J. Majer ed., *Cín v dějinách vědy, techniky a umění*. Rozpravy Národního technického muzea v Praze 43, Praha: Národní technické muzeum v Praze, 65–70.
- Primas, M. – Pernicka, E. 1998: Der Depotfund von Oberwilflingen. *Neue Ergebnisse zur Zirkulation von Metallbarren*. *Germania* 76, 25–65.
- Romanow, P. 1995: Archaeometallurgical Investigations of “Casting Cake” and a Copper Ore Sample from the Klinglberg Excavations. In: S. J. Shenann ed., *Bronze Age Copper Producers of the Eastern Alps*, Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 27, Bonn: Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, 263–273.
- Rose, T. – Hanning, E. – Klein, S. 2019: Verhüttungsexperimente mit Chalkopyrit-Erz nach Vorbildern aus dem bronzezeitlichen Ostalpenraum und Nepal. In: U. Weller – T. Lessig-Weller – E. Hanning Hrsg., *Experimentelle Archäologie in Europa*, Jahrbuch 2019, Heft 18, Unteruhldingen: Europäische Vereinigung zur Förderung der Experimentellen Archäologie, 47–60.
- Rovira S. – Montero, I. 2003: Natural tin-bronze alloy in Iberian Peninsula metallurgy: potentiality and reality. In: A. Giumlia-Mair – Lo Schiavo, F. eds., *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie. The problem of early tin*. BAR International Series 1199, Oxford: Archaeopress, 15–22.
- Rovira, S. – Montero-Ruiz, J. – Renzi, M. 2009: Experimental Co-smelting of Copper-tin Alloys. In: T. L. Kienlin – B. W. Roberts eds., *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*, Bonn: Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, 407–414.
- Rusu, M. 1981: Bemerkungen zu den grossen Werkstätten und Giessereifunde aus Siebenbürgen. In: H. Lorenz Hrsg., *Studien zur Bronzezeit. Festschrift für Wilhelm Albert v. Brunn*, Mainz/Rhein: Philipp von Zabern, 375–401.
- Rychner, V. – Kläntsch, N. 1995: Arsenic, nickel et antimoine. Une approche de la métallurgie du Bronze moyen et final en Suisse par l'analyse spectrométrique. Tome II. *Cahiers d'archéologie romande* 64. Lausanne: Cahiers d'archéologie romande.
- Salaš, M. 1985: Metalurgická výroba na výšinném sídlišti z doby bronzové u Blučiny. *Acta Musei Moraviae – sci. soc.* LXX, 37–56.
- Salaš, M. 1986: Hromadný nález bronzové industrie z Borotína, okr. Blansko. *Archeologické rozhledy* 38, 139–164.
- Salaš, M. 1997: Der Urnenfelderzeitliche Hortfund von Polešovice und die Frage der Stellung des Depotfundhorizonts Drslavice in Mähren. Brno: Moravské zemské muzeum.
- Salaš, M. 2005: Bronzové depoty střední až pozdní doby bronzové na Moravě a ve Slezsku I. Brno: Moravské zemské muzeum.
- Salaš, M. – Stránský, K. – Winkler, Z. 1989: Nové poznatky o metalurgii doby bronzové na podkladě nálezů z Cezav u Blučiny. *Acta Musei Moraviae – sci. soc.* LXXIV, 55–68.

- Salaš, M. – Stránský, K. – Winkler, K. 1993: Příspěvek ke studiu měděných slitků doby popelnicových polí na moravě. *Acta Musei Moraviae – sci. soc.* LXXVIII, 59–74.
- Skolaut, J. M. 2017: Untersuchungen zu spätbronzezeitlichen Gusskuchen- und Barrenhorten. Unpublizierete Masterarbeit. Philologischen, Philosophischen und Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaftliche Fakultät Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Skutil, J. 1972: Moravské příspěvky k pravěkému a časně historickému poznání domácí rudní těžby a zpracování kovů. Blansko: Okresní muzeum v Blansku.
- Smejtek, L. 2002: Slévání bronzů na knovízském sídlišti v Kněževsi u Prahy. *Archeologie ve středních Čechách* 6, 227–239.
- Smejtek, L. 2015: Senomaty: příspěvek k poznání bronzových depotů stupně Br B1 v Čechách. *Archeologie ve středních Čechách* 19, 573–591.
- Smejtek, L. – Lutofský, M. – Militký, J. 2013: Encyklopedie pravěkých pokladů v Čechách. Praha: Libri.
- Sperber, L. 2004: Zur Bedeutung des nördlichen Alpenraumes für die spätbronzezeitliche Kupferversorgung in Mitteleuropa. In: G. Weisgerber – G. Goldenberg Hrsg., *Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt – Beiheft 17*, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 303–345.
- Stöllner, T. – Hanning, E. – Lutz, J. – Kluwe, S. 2016: The Enmeshment of Eastern Alpine Mining Communities in the Bronze Age. From Economic Networks to Communities of Practice. In: G. Körlin et al. Hrsg., *From Bright Ores to Shiny Metals. Festschrift for Andreas Hauptmann on the Occasion of 40 Years Research in Archaeometallurgy and Archaeometry*, Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf, 75–108.
- Stolz, D. – Smejtek, L. – Blažková, K. – Hradec, P. – Stolzová, D. – Šámal, Z. 2015: Středobronzový depot ze Senomat, okr. Rakovník. *Archeologie ve středních Čechách* 19, 551–571.
- Stránský, K. – Salaš, M. 1987: Příspěvek k poznání výroby mědi v době bronzové. In: J. Merta ed., *Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami 4*, Brno: Technické muzeum, 11–23.
- Šteffl, J. 2014: Depoty z období popelnicových polí v Čechách a Sasku. Plzeň: Fakulta filozofická, Západočeská univerzita.
- Šteffl, J. – Hentschová, R. eds. 2021: Hradiště Hradišřany. Výsledky archeologického nedestruktivního výzkumu (2016–2020). Most: ÚAPPSZČ.
- Tolksdorf, J. F. – Schröder, F. – Petr, L. – Herbig, Ch. – Kaiser, K. – Kočár, P. – Fülling, A. – Heinrich, S. – Hönig, H. – Hemker, Ch. 2019: Evidence for Bronze Age and Medieval tin placer mining in the Erzgebirge mountains, Saxony (Germany). *Geoarchaeology* 35, 198–216. doi:https://doi.org/10.1002/gea.21763
- Trampuž-Orel, N. 1996: Spektrometrične raziskave depojskih najdb pozne bronzaste době. In: B. Teržan ed., *Depojske in posamezne kovinske najdbe bakrene in bronzaste dobe na Slovenskem II. Hoards and Individual Metal Finds from the Eneolithic and Bronze Ages in Slovenia II*, Ljubljana: Narodni muzej, 165–242.
- Trapp, M. 1879: Funde in Mähren. Mittheilungen der k. k. Central-Commission zur Erforschung und Erhaltung der kunst- und historischen Denkmale N. F. 5, 105–110.
- Trefný, M. – Polišenský, T. 2012: Depot bronzových předmětů z knovízského sídliště v Praze-Benicích. *Archeologie ve středních Čechách* 16, 741–753.
- Tylecote, R. F. 1976: *A History of Metallurgy*. London: The Institut of Materials.
- Vachta, T. 2016: Thesaurierungsprozesse bronzzeitlicher Hortfunde anhand ihrer Kompositionselemente. In: S. Hansen et al. Hrsg., *Raum, Gabe und Erinnerung. Weihgaben und Heiligtümer in prähistorischen und antiken Gesellschaften*. Berlin Studies of the Ancient World 38, Berlin: Universität Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin, 93–117.
- Vařeka, P. – Šmejda, L. 2003: Struktura sídlištního areálu. Analýza formálních a prostorových vlastností artefaktů a ekofaktů. Koncepce a metoda. In: *Struktura sídlištního areálu z mladší doby bronzové. Výzkum sídliště knovízské kultury v Praze-Hostivaři. Projekt GAČR (404/01/1407)*. Dostupné z: <https://www.kar.zcu.cz/vyzkum/Hostivar2/index.htm> (cit. dne 17. 8. 2021).
- Vích, D. 2012: Kladky – neznámé hradiště na severozápadní Moravě. Možnosti detektorového průzkumu v archeologii. *Památky archeologické* 103, 233–272.
- Vích, D. 2016: Nálezy bronzové industrie doby popelnicových polí z hradišť na Choceňsku. In: *Praehistorica XXXIII*, Praha: Univerzita Karlova, 441–449.
- Zachar, T. – Salaš, M. 2018: Provenienci medenej suroviny na Morave v mladšej době bronzovej na príklade kovových depotov z Blučína a Borotína. *Archeologické rozhledy* 70, 39–66.
- Zachar, T. – Salaš, M. 2019: Příspěvek k problematice distribuce středoslovenské mědi na Moravě v mladší době bronzové na příklade kovových depotů Blučína 1 a Blučína 13. *Archeologické rozhledy* 71, 615–640.

## The testimonial value of Bronze Age metal raw materials and knowledge of the organisational and technological process of tin bronze metallurgy

The study deals with metal casting cakes, casting droplets and other types of metal ingots from Bronze Age hoards in Bohemia. These are material semi-finished products in the tin bronze metallurgy process. In the past, some metal raw materials were the focus of significant interest through the selection of basic material analyses that brought important knowledge, but to date there has been no link with a detailed description of other properties of metal raw materials (morphology, or technological marks, use-wear marks, etc.). Published works still offer inaccurate interpretations of metal raw materials, which go hand in hand with their fluctuating terminology.

The aim of this work is a more comprehensive study of the phenomenon of metal raw materials, conceived mainly from the perspective of an archaeologist, which is linked to a scientific view based on available information as well as data newly obtained through a case study. The goal of the research was to use a detailed description to make a basic classification of undefined metal raw materials, i.e., to determine their genesis and interpret their purpose – to assess what types of products hoard units contain, to what extent, and to identify the represented phases of the operational chain (smelting and casting products) and intermediate phases (products of refining and alloying). In other words, to point out the presence/absence of metallurgical operations and selected technological phenomena and to look for answers to questions as to what patterns of organisational and technological treatment existed in space and time, whether in one locality (microregion surrounding hoard) or in the macro-space of different regions. Thus, this also involves the issue of product quality (material purity and product homogeneity), smelting (fast, slow solidification, gradual melting), the method of dividing whole forms into fragments ready for further melting and discussions about the size of ovens/crucibles (sunken hearths) based on metal ingots diameters.

Metal raw materials from hoards from three regions providing a different image of evidence of bronze metallurgy and its organisation were selected for comparison and evaluation: northwest Bohemia as an area with intensive metallurgical activity and a potential relationship to ore deposits in the Erzgebirge; south Bohemia, on the basis of a large amount of metallurgy evidence (especially casting cakes), probably representing a transit corridor of distribution of semi-finished products; and west Bohemia, which today seems more like a peripheral area from the perspective of metallurgy (cf. *Augustýnová 2016a; 2016b; 2017*).

The studied products reflect the various phases and intermediate phases of the operational chain of bronze metallurgy. Represented is the smelting phase – unrefined Cu casting cakes (west Bohemia: Br D – Ha A; south Bohemia: Br B–C, Br D – Ha A; northwest Bohemia: Br D – Ha A) and unrefined Cu droplets (west Bohemia: Br D – Ha A) with the intermediate phase of refining; refined Cu casting cakes with varying degrees of perfection – from imperfectly refined Cu of casting cakes and casting droplets from less pure copper (west Bohemia: Br D – Ha A; south Bohemia: Br B–C); imperfectly refined Cu of casting cakes from pure copper (west Bohemia: Br D – Ha A; south Bohemia: Br B–C; Br D – Ha A; northwest Bohemia: Br D – Ha A) and imperfectly refined waste casting droplets from pure copper (west Bohemia: Br D – Ha A) to refined Cu casting cakes from less pure copper (west Bohemia: Br A2/B1–B1; Br D – Ha A; south Bohemia: Br B–C); to refined Cu of casting cakes from very pure copper (west Bohemia: Br A2/B1–B1; Br D – Ha A; south Bohemia: Br B–C; Br D – Ha A; northwest Bohemia: Br D – Ha A). The casting phase, or an intermediate alloying phase, is represented by casting ingots of tin bronze (Ha B2–3), which arose either as surplus material or intentionally, in any case for later use.

It should be noted that we are still lacking evidence of smelting from settlement contexts in Bohemia and it is necessary to accept a more complicated interpretation for the aforementioned products from hoards. Represented in one hoard was either one phase of the operational chain of bronze metallurgy (intermediate phase of refining – west Bohemia: Drahotín, Br A2/B1–B1), or even several phases (smelting phase, intermediate phase of refining – south Bohemia: Písek 1 – Nový Dvůr, Br B–C; Zlivice, Br D – Ha A; northwest Bohemia: Pětipsy, Br D – Ha A; smelting phase, interme-

diate phase of refining, hypothetical casting phase/intermediate phase of alloying – west Bohemia: Štáhlavice, Br D – Ha A). If we look at specific phenomena from the perspective of individual regions, only the phase of refining was recorded in west Bohemia in the earlier period, in the later period, both the smelting and intermediate phase of refining. Only in this region did the presence of exclusively refined casting cakes appear in one whole hoard (Drahotín, Br A2/B1–B1). Another phenomenon occurring only here is the high heterogeneity of products, production phases and weight in a single hoard (Štáhlavice, Br D – Ha A). In the later period there are also visible differences in the weight and dimensions of casting cakes in various hoards. Finally, in this region was the highest presence of casting droplets (Štáhlavice, Br D – Ha A) detected in the studied assemblage. In south Bohemia, the smelting phases and the intermediate phase of refining were represented in the earlier and later period, even in a single hoard. The hoard from Písek 1 – Nový Dvůr (Br B–C) produced an interesting finding – it contained casting cakes in the process of refining (unrefined, refined and imperfectly refined from pure and less pure copper), with an often higher concentration of Fe, ferritic crusts on the surface, frequent magnetism and more multi-layered ingots. The late period showed the high similarity of hoards in Zlivice and Smrkovice in terms of the weight and size of casting cakes and also the overall weight of all present casting cakes. Available thus far from northwest Bohemia are only a small number of casting cakes from the Late Bronze Age showing both a smelting phase and a refining phase. Today, only in this region have bronze ingots (in some cases perforated) from the Late Bronze Age been studied.

In terms of chronological-spatial trends, it can be concluded that refining and non-refining occur in the early period, both in west and south Bohemia. One completely refined hoard was recorded in west Bohemia and, conversely, one mostly unrefined hoard in south Bohemia. Heavier and larger fragments of casting cakes predominated (one hoard from west and one from south Bohemia were similar in this respect). The situation is similar in the later period – refining and non-refining were recorded in west, south and northwest Bohemia. The heterogeneity of products and phases was recorded in one west Bohemian hoard, while one south Bohemian hoard was probably refined. In contrast to the earlier period, smaller and lighter fragments of casting cakes were recorded (two south Bohemia hoards were similar in this sense), but there was also a category with heavier and also with medium-heavy fragments, i.e., a certain heterogeneity is apparent. Only at the end of this period were bronze casting ingots found in northwest Bohemia (but this is the current state of research).

English by *David J. Gaul*

MARKÉTA AUGUSTÝNOVÁ, Archeologický ústav AV ČR, Letenská 4, CZ-118 01 Praha 1  
augustynovam@seznam.cz

MAREK FIKRLE, Ústav jaderné fyziky AV ČR, Řež 130, CZ-250 68 Řež; fikrle@ujf.cas.cz

JIŘÍ KMOŠEK, Institute of Science and Technology in Art, Academy of Fine Arts Vienna, Schillerplatz 3,  
A-1010 Vienna; Ústav jaderné fyziky AV ČR, Řež 130, CZ-250 68 Řež; kmosekj@gmail.com

Lokalita	Inv. č.	Druh	Kompletnost	Rez	Okraj	Slinutí	d. (max)	š. (max)	h. (max)	m. (g)	dxš	Přívod. průměr (mm)	Fe krusky	Magnet	Vrstvy	Stoup.	Natav.	Podklad	Zásek	Palice	XRF	Poznámka
Drahotín	P89-482	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	60	41	15	127	2460	170?	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-483	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	116	67	23	576,5	7772	nad 200?	ne	ano	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-484	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	75	68	30	517,5	5100	200?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-485	ingot	fragm.	plank.	ano	přovíř?	84	80	22	388	6720	200?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-486	ingot	fragm.	plochy?	ne	střední	76	58	24	400,5	4752	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-487	ingot	fragm.	plank.	ano	přovíř?	72	66	24	259	4208	250?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-488	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	79	50	21	242	3950	nad 170?	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-490	ingot	fragm.	plochy?	ne	střední	57	50	15	127,5	2880	—	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-491	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	47	27	18	74,5	1269	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-492	ingot	fragm.	plank.	ano	přovíř	38	34	20	56	1292	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-493	ingot	fragm.	plochy	ne	střední	31	24	20	70,5	930	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-494	ingot	fragm.	plochy	ne	střední	29	27	14	32,5	783	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Drahotín	P89-495	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	31	24	12	28	744	60?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-920	ingot	fragm.	neurč.	ano	slinutí	39	25	10	17,5	975	?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-921	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	65	61	27	275,5	3965	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-922	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	52	40	29	135,5	2080	nad 120?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-923	ingot	fragm.	plochy	ne	střední	57	39	22	117	2223	nad 120?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-924	ingot	fragm.	plank.	ano	přovíř	43	39	19	91	1677	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-925	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	30	28	7	17	840	nad 60?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-926	ingot	fragm.	plochy	ne	slinutí	25	23	8	16,5	575	50?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-927	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	31	27	7	15,5	837	nad 60?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-928	ingot	fragm.	plochy	ne	střední	21	20	9	14,5	420	nad 50?	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-929	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	28	19	10	10	532	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-930	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	26	23	13	9,5	558	30?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-931	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	25	22	5	7,5	590	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-932	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	19	11	6	2,5	209	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-933	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	15	10	5	2	150	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-934	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	14	10	6	2,5	140	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-935	ingot	fragm.	neurč.	ano	střední	30	24	31	86,5	870	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-936	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	61	44	36	378	2684	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-937	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	122	99	25	839,5	12078	200?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano?	otisky uhlíků?
Štěhlavice	P89-938	ingot	fragm.	plochy	ne	přovíř	100	49	34	363,5	4900	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano?	otisky uhlíků?
Štěhlavice	P89-939/10	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	120	53	19	286	6360	180?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	skování do hranolu
Štěhlavice	P89-940/1	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	38	27	14	38	1026	90?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-940/2	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	38	27	16	78,5	1107	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-940/3	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	53	44	24	213,5	2332	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Štěhlavice	P89-940/4	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	54	41	19	180	2214	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Němčice u Kdyně	—	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	66	58	28	385,5	3828	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	Č. 9	ingot	fragm.	plochy	ne	slinutí	47	40	18	144,5	1880	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	Č. 11	ingot	fragm.	neurč.	ano	slinutí	42	36	29	162,5	1512	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	Č. 12	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	91	71	32	1008	6461	—	ano	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	Č. 13	ingot	fragm.	plochy?	ne	slinutí	47	45	25	162,5	2115	—	ano	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19241	ingot	fragm.	plank.?	ne	slinutí	33	31	15	67	1023	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19242	ingot	fragm.	plank.?	ne	střední	78	72	26	438,5	5616	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19243	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	41	40	14	93,5	1640	80?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19244	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	50	47	21	211,5	2350	?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19245	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	46	31	18	96	1426	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19246	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	47	32	15	76	1504	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19247	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	69	35	816	6693	—	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19248	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	52	37	16	135,5	1924	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19249	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	37	22	18	56,5	814	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19250	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	51	21	14	49	1071	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19251	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	47	45	25	162,5	2115	—	ano	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19252	ingot	fragm.	plank.?	ne	slinutí	56	47	19	133	2632	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19253	ingot	fragm.	plank.?	ne	slinutí	47	37	20	144	1739	100?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19254	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	41	40	14	93,5	1640	80?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19255	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	50	47	21	211,5	2350	?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19256	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	46	31	18	96	1426	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19257	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	47	32	15	76	1504	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19258	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	69	35	816	6693	—	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19259	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	52	37	16	135,5	1924	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19260	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	37	22	18	56,5	814	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19261	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	51	21	14	49	1071	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19262	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	47	45	25	162,5	2115	—	ano	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19263	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	56	47	19	133	2632	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19264	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	47	37	20	144	1739	100?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19265	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	41	40	14	93,5	1640	80?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19266	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	50	47	21	211,5	2350	?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19267	ingot	fragm.	plank.	ano	střední	46	31	18	96	1426	140?	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19268	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	47	32	15	76	1504	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19269	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	69	35	816	6693	—	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19270	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	52	37	16	135,5	1924	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19271	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	37	22	18	56,5	814	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19272	ingot	fragm.	plank.	ano	slinutí	51	21	14	49	1071	—	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	
Havlovice	P19273	ingot																				