

Příspěvek k experimentální (experenciální) metalurgii bronzových artefaktů

Těžištěm výzkumného snažení bylo experimentální testování metodologie výroby kovů a kovových artefaktů a replikace archeometalurgických procesů v několika kontrolovaných tavbách. Cílem bylo experimentálně zhotovit bronzové artefakty různého typu a funkce (sekery, meče, nože, srpy) na základě předloh z dokumentovaných archeologických lokalit. Testovali jsme jak „laboratorní“ přístup s využitím moderních technologických postupů, tak „historický“ přístup s využitím pravěkých technologických postupů. Výsledkem je celkem patnáct artefaktů (čtyři meče, čtyři sekery, dva nože, pět srpů) a získaná zkušenost s bronzovým materiálem, která se dále uplatní při experimentálním užití replik.

■ Josef JEŽEK
Markéta HAVLÍKOVÁ
Václav HOLÁSEK

V případě metalurgie bronzových artefaktů se z pohledu archeologie potýkáme s omezením sociokulturních studií, které připisují kovovýrobu všechny druhy zvláštního významu, ale často ignorují technologický proces (Kuijpers 2008, 13). Naopak z pohledu metalurgů a technologických experimentů poznáme technologický proces výroby, ale zase postrádáme jakýkoli sociální či symbolický kontext, který v tehdejší společnosti hrál velkou roli (Ottaway 2001). Je proto důležité podívat se na toto téma skrze spolupráci archeologie a moderní metalurgie.

Experimentální metalurgie a experimentální archeometalurgie je podobou experimentální archeologie,

který se zabývá prehistorickými a historickými metalurgickými procesy. Vychází z praktiky padesátých let 20. století s využitím moderních přístupů metalurgie ve formě experimentu a etnologie jako analogie k prehistorickým a historickým procesům (Forrest 2008, 61–68). Archeometalurgické experimenty se obvykle provádějí v kontrolovaném prostředí. Snahou je docílit co největší autenticity tím, že jsou prováděny s použitím materiálů a zařízení, které byly k dispozici subjektům, jejichž technologii se pokoušíme rekonstruovat (viz Coles 1979). Bez ohledu na součet všech předpokladů a teoretických modelů předcházející samotnému experimentu, experimentování se vždy provádí s odlišným myšlenkovým přístupem, než jak tomu bylo v době, kterou se snažíme replikovat (Pleiner 2000, 268–284). Problémem s každým druhem experimentu je i kulturní vzdálenost. Tento rozdíl v myšlení vede nutně k nesrovnalostem v postupech výroby. Ne všechny pokusy jsou úspěšné a je těžké určit, zda to byla chyba použitých technik, nebo jednotlivců provádějících experiment (Craddock 1995, 106–109).

Metalurgie slouží k výrobě artefaktů s praktickou, symbolickou a dekorativní funkcí. Jde o složitý proces s vysoce propojenými jednotlivými kroky. Při kterém když selže jedna z dílčích částí procesu, selže proces celý (Tylecote 1992, 17–70). My jsme se zde pokusili o experimentální výrobu konkrétních bronzových nástrojů a zbraní (sekery, meče a srpy), a to od výroby kadlubů po finální zpracování a úpravu výsledného artefaktu. Data pro výrobu replik jsme získali metalografickými analýzami dvou fragmentů mečů ze zlomkového depotu Lažany (viz Křišťuf et al. v přípravě). Analýzy a následná experimentální výroba se prováděly v rámci studentského grantového projektu Západočeské univerzity v Plzni (SGS-2018-48). Projekt

byl zaměřen na traseologickou analýzu bronzových artefaktů, včetně výroby replik a jejich následného experimentálního užití. Vyrobené repliky byly tedy dále využity při experimentální verifikaci výsledků traseologických analýz. V rámci exaktní vědy nejde jen o výrobu artefaktů, ale zároveň je nutné jejich použití při kontrolovaných pracovních činnostech, s použitím kvalitního deskriptivního systému a vyprodukované stopy budou dále makroskopicky a mikroskopicky zkoumány a porovnávány s archeologickými daty. Jen v takovém případě je experiment skutečně objektivní, může být replikován další skupinou experimentátorů a závěry mohou být potvrzeny nebo vyvráceny v průběhu dlouhodobě trvajícího experimentálního užití.

Výběr artefaktů pro výrobu replik

Předlohou pro modely mečů jsou meče s jazykovitou a plnou litou rukojetí z lokality Labe-Porta Bohemica a lokality Praha-Vyšehrad (Kytlicová 2007, 292–293, 297).¹⁾ Typologicky jde o meče s jazykovitou rukojetí, obloženou původně stříenkou z organického materiálu (dřeva, kosti), připevněnou nýty (stupeň BB1–HB3), a meče tzv. lipovského typu s plnou litou rukojetí, zesílenou třemi prstenci (stupeň BD–HA2; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 430).

Pro repliky seker byly využity sekery s lištami – starší doba bronzová z lokality Kamenný Újezd 1, Klappý 1 a Kosořice (Hájek 1954, 152; Moucha 2005, 117, 120, 139). Typologicky jde o sekery s postranními lištami a vějířovitým břitem (stupeň BB1–BC2; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 432).

Pro repliky nožů je předlohou nůž s trnem z lokality Křemýž a nůž s bohatě zdobeným hřbetem čepele (typ Jenišovice) z lokality Praha-Zbraslav

1 Parametry pro výrobu replik byly čerpány z publikací: Kytlicová, O. 2007: Jungbronzezeitliche Hortfunde in Böhmen. Prähistorische Bronzefunde XX/12. Stuttgart, a Smejtek, L. – Lutovský, M. – Militký, J. 2013: Encyklopedie pravěkých pokladů v Čechách. Praha.

(Kytlicová 2007, 270, 317). Typologicky jde o nože se zploštělým trnem (stupeň BD–HB3) a nože s odděleným prstencem, tzv. „nákolní“ (stupeň HB1–HB3; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 430).

Předlohou pro repliky srpů jsou srpy z lokality Lochenice – srpy s kolmým trnem a hřbetem zesíleným



■ Obr. 1 A podoba jednoho dílu dvoudílné formy před tavbou; B surové odlitky bronzových seker, po vychladnutí a otevření formy; C hrubé odlitky bronzových nožů, po odstranění vtoků a výfuků; D hrubé odlitky bronzových mečů, po vyjmutí z forem a odstranění vtoků a výfuků.

dvěma plastickými žebry (Kytlicová 2007, 279–280). Druhým typem srpů jsou srpy s bočním výčnělkem, s kruhovým otvorem uprostřed řapu. Řapí je lemovaný dvěma přesekávanými žebry. Srpy nám byly zapůjčeny ze sbírek muzea v Karlových Varech a pocházejí z depotu z lokality Mezirolí; datované jsou do stupně HB1–HB3. Typologicky jde o srp s méně klenutou, užší, někdy až esovitou čepelí a kolmým trnem u báze (stupeň HB1–HB3) a srp s řapem, někdy i s otvorem pro nýt (stupeň HB1–HB3; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 433).

Dalším krokem bylo vyhotovení vhodných kadlubů. Ty se v době bronzové vyráběly z několika základních materiálů: kov, kámen, keramika, písek (Kuijpers 2008, 87–89; Smejtek et al. 2013, 426). Z našeho prostředí známe zejména dvoudílné kamenné kadluby pro odlévání sekerek nebo dalších nástrojů/zbraní (Jiráň et al. 2008, 144; Jockenhövel 1971; Kytlicová 2007; Smejtek et al. 2013, 84, 429). Méně jsou zastoupeny keramické kadluby pro odlévání menších nástrojů nebo ozdob oděvu. U menších artefaktů je třeba pamatovat na možné využití metody ztraceného vosku (Jiráň et al. 2008, 40; Kytlicová 1982, 383–394). V případě výroby mečů máme jen málo indicií o technologiích výroby a formálních vlastnostech kadlubů. Pro replikaci tohoto specifického artefaktu přichází v úvahu využití kamene, keramiky a písku (Pellegrini – Scacchetti 2014, 101). Časová náročnost při přípravě kamenné či keramické formy byla markantní. Navíc i tento samotný materiál není zcela efektivní. Menší zastoupení kamenných a keramických kadlubů pro výrobu mečů může být způsobeno jednak záměrným ničením kadlubů, jednak zakázkovou výrobou prestižního artefaktu, který měl jistě velmi důležitou funkční i ekonomickou hodnotu, jakožto i symbolický smysl (Melheim – Horn 2014, 5; Peroni 1970, fig. 75; Mödler 2011). Další možností je výroba alternativní technikou, která nezanechává stopy v archeologickém kontextu (Ottaway – Wang 2004), jako je například lití do písčové formy.

Realizace experimentu

Při experimentálním odlévání byl použit technický bronz CuSn9. Tato slitina byla vybrána na základě prováděných metalografických analýz fragmentů originálních artefaktů (Křišťuf et al. v přípravě) a dalších existujících publikací (např. Scott 1991, 23; Bogušová – Příbulová 2007; Ghandour 1981; Nørgaard 2015, 110–128; Nørgaard 2017, 101–122; Bunnefeld 2016, 379–430; Sych et al. 2018).

Pro kvalitní provedení experimentu bylo využito poznatků z experimentů provedených především v zahraničním prostředí (např. Barbieri et al. 2015; Sych 2015, 115–127; Friede – Steel 1977; Drescher 1957; Ottaway – Wang 2004; Kuijpers 2006; Bielenin 1972; Pleiner 1973; Rehren – Pernicka 2008; Bayley – Crossley – Ponting 2008; Killick – Fenn 2012; Bayley et al. 2001). V aplikované rovině rozdělujeme tento experiment na dva přístupy: laboratorní přístup (za použití moderních materiálů) a historický přístup.²⁾

V laboratorním přístupu jsme zhotovili repliky ve třech oddělených tavbách. Cílem bylo získat zkušenost při práci s bronzem a formováním artefaktů. Při první tavbě (6. 9. 2018 – venkovní teplota 23 °C; zpracováno 9,47 kg technického bronzu CuSn9) byly zhotoveny dvě sekery a dva nože. Druhá tavba proběhla 24. 10. 2018 (venkovní teplota 11 °C; zpracováno 12,3 kg technického bronzu CuSn9). Cílem bylo vyrobřit šest mečů, podařilo se zhotovit pouze čtyři kusy. Při poslední tavbě (30. 3. 2019 – venkovní teplota 15 °C; zpracováno 10,2 kg technického bronzu CuSn9) byly zhotoveny tři srpy (jeden úspěšně) a dvě sekery.

Provádění archeologického experimentu je komplexní záležitostí, u které se člověk může naučit pracovat s nejrůznějšími materiály. Zejména v přípravné fázi je možné otestovat rozmanité formovací materiály a poté posuzovat možnou dostupnost a časovou náročnost při přípravě forem. Vzhledem

2 Experiment byl realizován v rámci studentské grantové soutěže (SGS-2018-048) – Výpovědní potenciál pracovních výrobních stop na bronzových artefaktech.

3 Tímto srdečně děkujeme Zoologické zahradě města Plzně a spolku Oživená (pre)historie za možnost využít zázemí historické vesničky pro realizaci experimentu.

k časové nenáročnosti zhotovení jsme zvolili formování modelů do dvoudílné pískové formy. Dřevěný rám jednoho dílu pískové formy pro odlévání menších replik (seker, nožů, srpů) měl rozměry 28 × 40 × 11 cm s tloušťkou stěny 4 cm. Pro odlévání mečů měl dřevěný rám jednoho dílu pískové formy rozměry 32 × 90 × 11 cm s tloušťkou stěny 4 cm. Samotná forma je vyplněna olejovým červeným pískem sloužícím k vytvoření odlitku (Bentomix A). Dvě jednodílné formy jsou k sobě přiloženy tak, aby naprosto přesně doléhaly, pro lití poté slouží vtokový kanálek, přivádějící tekutý kov mezi formy. Důležité je také vytvoření odtokových kanálů (výfuků), aby se tavenina snadno dostala po celém objemu formy. Prostor mezi jednotlivými díly dvoudílné formy je nutné ošetřit separátorem (popel, grafit) – pro snazší otevření formy po zchlazení. Tento typ formy poskytuje podstatně širší uplatnění než forma jednodílná. Zároveň mohou být odlitky vyrobené v tomto typu formy tvarově náročnější (obr. 1A).

Pro laboratorní tavbu bylo využito mobilní kovářské výhně. Celkem jsme při třech tavbách zpracovali cca 65 kg kovářského koksu, frakce 20–40 mm. Poté, co je kov v tyglíku roztaven (při laboratorních tavbách jsme ve výhni dosahovali teplot kolem 1250–1280 °C), je dobré zhodnotit jeho zabíhavost (schopnost tekutého kovu vyplnit dutiny slévárenské formy). To je ovlivněno především teplotou. Čím vyšší teplota, tím je menší viskozita tekutého kovu a tím lépe se kov odlévá. Je důležité, aby byl kov roztaven v celém objemu tyglíku. Proces odlévání vyžaduje přesnost a rychlost. Když formy vychladnou, můžeme je otevřít (obr. 1B–D), případně rozbít, pokud jsme odlévali do forem na jedno použití.

Po otevření formy a vyjmutí odlitků se odstranily nálitky, vzduchové kanály a vtokový kanál. Odlitek se očistí a začne se s mechanickým broušením a leštěním. Pro finální úpravu ostří lze využít kamene nebo pískovce. Tento proces za pomoci moderních metod, od vyjmutí surového odlitku z formy až po broušení a leštění do podoby opracovaného odlitku, trval v průměru

30–60 minut na jeden artefakt. Celkem proces zpracování zabral osm hodin čisté práce (pro všechny tři tavby), bez přípravy a osazení topůrky (obr. 2A–D).

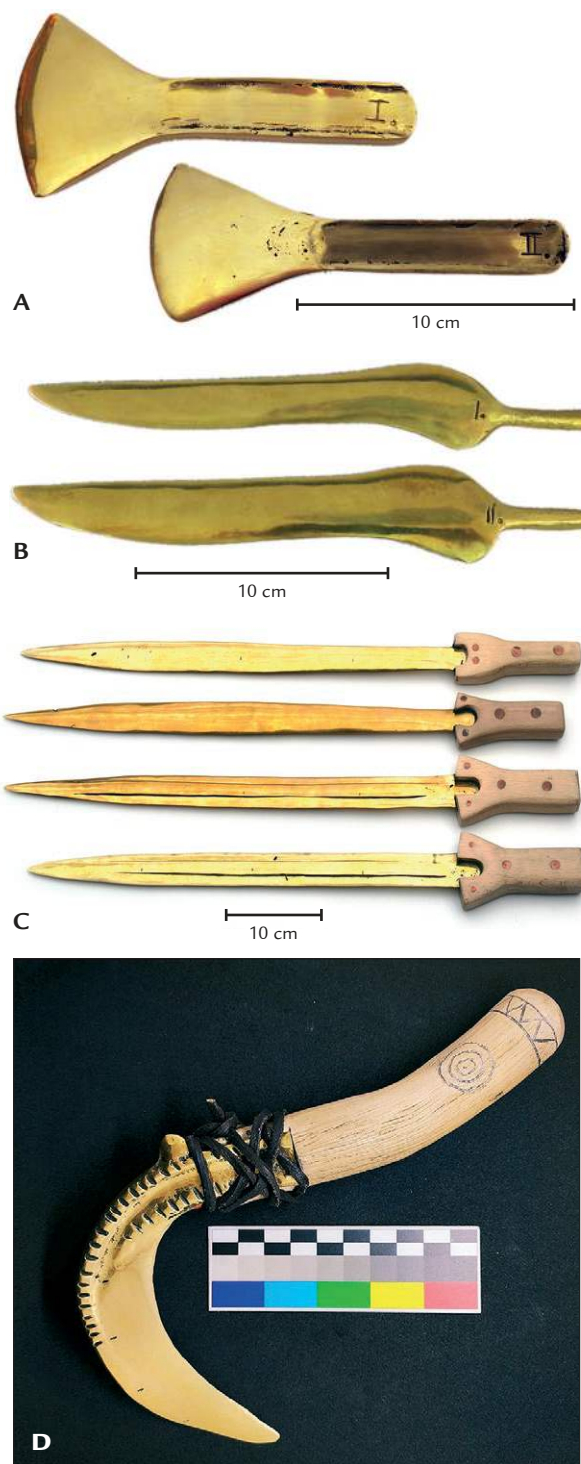
Pro lepší porozumění výroby bronzových artefaktů je zapotřebí opakovat experimentální výrobu pomocí „historického“ přístupu, tj. v ideálním případě těžba horniny a následně tavba cínu a mědi. To vše s využitím repliky tavící pece z doby bronzové. V našem případě jsme využili repliky pece z tohoto období v pravěké osadě, která se nachází v Zoologické zahradě města Plzně. Tato pec je součástí metalurgické dílny doby bronzové, kterou spravuje spolek Oživená (pre)historie, z. s. (Chroustovský et al. 2017, 124–134).⁽³⁾

Pec má tvar komolého kužele s rozměry vnějšího obvodu ±125 cm, kychta pece má obvod ±80 cm a výška pece je ±29 cm. Je zahlobena pod úroveň země a má dva otvory u základny pece pro připojení dyzen a kožených měchů. Před odléváním bylo připraveno celkem šest forem z keramické hmoty (2× jednodílná forma – srp, 1× jednodílná forma – hřivna, 1× jednodílná forma – symbolické ingoty, 1× dvoudílná forma – sekera, 1× dvoudílná forma – srp). Tavba bronzu v této peci trvala přibližně 3,5 hodiny, spotřebovalo se při ní přibližně 7,5 kg dřevěného uhlí (palivo) a bylo vytaveno přibližně 1,8 kg bronzu. Po celou dobu tavení bylo nutné uměle přivádět množství vzduchu podporující hoření, a to pomocí dvou kožených měchů (obr. 3). Těsně před odléváním se teplota v peci pohybovala kolem 1150 °C.

Formy byly před samotným odléváním nahřáty u ohně, abychom co nejvíce eliminovali teplotní rozdíl mezi taveninou a keramickou formou. Avšak jednodílné keramické formy praskly. Odlévání do dvoudílných keramických forem na srp a sekery bylo úspěšné (obr. 4A).

Referenčním artefaktem pro dokumentaci délky pracovní činnosti finálního opracování byla replika bronzové sekery. Nejprve se očistil přebytečný materiál a poté se povrch nahrubo zbrousil pomocí pískovce (helfštýnský pískovec).

Povrch sekery se doleštil sádlem a kusem lněné látky. Po dvou hodinách práce byly okraje sekery zbaveny většiny přebytečného materiálu, ale plocha sekery byla stále plná dutin a rýh a nesplňovala tedy požadovaný estetický účinek. Vybroušené ostří sekery však v této fázi splňovalo svůj funkční účel (obr. 4D).



■ Obr. 2 A opracované odlitky bronzových seker, po broušení a leštění; B opracované odlitky bronzových nožů, po broušení a leštění; C opracované odlitky bronzových mečů, po broušení a leštění a nasazení rukojetí z dřeva a nýtování; D replika srpů vsazená do topůrky.

Diskuse

Dosavadní zkušenost s experimentální produkcí archeologických artefaktů (replik) ukazuje, že z hlediska dovedností by výrobu forem pro odlévání méně komplexních artefaktů (sekery, nože, srpy,



■ Obr. 3 Replika bronzové pece v Zoologické a botanické zahradě města Plzně; dyzny a připevněné kožené měchy.

náramky) mohl provádět jakýkoli nespécializovaný řemeslník. Celý proces ve skutečnosti zahrnuje sérii relativně jednoduchých operací, kde svalová energie není diskriminačním faktorem. Keramická hmota je velmi snadno zpracovatelná, stejně tak zkušenost s výrobou pískových forem se získá velmi snadno bez dlouhodobého školení. Tvárnost těchto formovacích hmot poskytuje přiměřenou „toleranci chyb“ během výroby forem (Barbieri *et al.* 2015). Tvary menších artefaktů jsou konstrukčně dostatečně velké pro využití dvoudílných forem s jedním vtokem, které z velké části ignorují problémy symetrie (obr. 4; *Speciale – Zanini* 2010, 55–59). Musíme však u takovýchto závěrů brát v úvahu, že je naše základní technická úroveň při výrobě forem vyvážena hlubšími vědeckými (a empirickými) znalostmi materiální fyziky, slévárství a metalurgie.

Je možné sledovat jistou korelaci mezi typem artefaktu a materiálem pro výrobu kadlubů, což souvisí s technologickými možnostmi. Ty se liší v závislosti na fyzikálních vlastnostech artefaktu (tvar, velikost) a jeho účelu (Barbieri *et al.* 2015; Pellegrini – Scacchetti 2014). U větších a komplexnějších artefaktů, jakými jsou například meče, bylo nutné vyrobít již složitější kamenné formy. Bylo zjištěno, že v důsledku opakované výroby má kamenná forma tendenci ztrácet své detaily kvůli křehkosti formovacího materiálu, zejména na okraji čepele. Dalším pozorovaným aspektem byla deformace kamene, ke které dochází při styku s roztaveným kovem. Obě poloviny dvoudílných kamenných forem mají tendenci k prohýbání a následné netěsnosti, což je limitující pro úspěšné zhotovení repliky (Barbieri *et al.* 2015). Tento poznatek – spolu s absencí většího množství kamenných forem pro výrobu mečů v době bronzové – může poukazovat na využití alternativní technologie. Technologie, která nezanechala stopy v metalurgických objektech doby bronzové. Například lití do dvoudílné pískové formy s využitím jemného vápenatého písku (Ottaway – Wang 2004; Kuijpers 2008, 89–91). Tato metoda je relativně nenáročná na přípravu a je možné odlévání několikrát opakovat. Písek má také dobré teplovodivé vlastnosti a nedochází

k teplotnímu šoku při nalévání taveniny do formy a tím k znehodnocení finálního produktu. Odlévání do písku také umožňuje vytvoření lepšího detailu finálního produktu, tudíž není zapotřebí většího úsilí při zpracování surového a hrubého odlitku.

Při samotném odlévání záleží i na umístění formy. Jedním ze způsobů je umístění vertikální s jedním otvorem pro taveninu v horní části formy. Tento přístup jsme využili při odlévání menších artefaktů (srp a sekera). Druhým způsobem je umístění formy horizontálně (obr. 5A–B). Při nakloněné rovině s jedním vtokem tavenina zabíhá do formy v nejvyšším místě. V tomto případě má odlitek nejmenší pevnost v místě vtoku. Vzniká zde koncentrace plynů unikajících z formy a na povrchu odlitku se tím pádem mohou objevit charakteristické dutiny nejružnějšího průměru. V případě vodorovného uložení se dvěma vtoky, tavenina zabíhá do formy ze dvou stran a potkává se uprostřed, kde poté tuhne. V těchto místech pak vzniká nejmenší pevnost a náchylnost ke zlomení.

Z hlediska vzájemného srovnání z obou experimentálních prostředí (historické a laboratorní) je jasné, že modernější přístup laboratorního prostředí je časově a fyzicky méně náročný než u historického přístupu k experimentu. Jelikož jsme měli k dispozici moderní technologie, které umožňovaly konstrukci větších forem a tavbu většího množství bronz, byli jsme schopni zhotovit větší a složitější repliky bez dalších zásadních úprav po vyjmutí z forem (při třech tavbách je z celkového počtu sedmnácti zhotovených replik možné funkčně využít jedenáct kusů – 65% úspěšnost). Naproti tomu v historickém přístupu jsme limitováni velikostí pece, tyglíku a fyzickou zdatností účastníků experimentu při tavbě. Oproti pískovým formám při laboratorním přístupu jsme využívali keramických forem, které jsou nejen časově náročnější na výrobu, ale v mnoha případech použitelné pouze jednou (při dvou tavbách je z celkového počtu třinácti zhotovených replik možné funkčně použít pět kusů – 38% úspěšnost).

Závěr

Na základě našich provedených experimentů se domníváme, že jednotlivec by jen velmi obtížně dokázal vyrobit komplexní bronzové artefakty sám. Mohlo se tedy jednat o skupinovou činnost komunitního či nadkomunitního charakteru. Není ani vyloučeno, že se mohlo jednat i o sezónní událost, kdy se sešli jedinci se specializovanými vlastnostmi z blízkých komunit. To by podporovalo teorii o částečné mobilitě metalurgů, již mohli obsluhovat blízká sídliště, ze kterých ale doposud nemáme žádné doklady metalurgie. Výroba bronzových artefaktů měla jistě svou společenskou a symbolickou roli ve společnosti.

Nicméně náš skromný experiment je spíše začátkem pro hlubší studium otázky mezikomunitní a nadregionální spolupráce. Význam a organizace metalurgie v době bronzové byly jistě komplexní záležitostí. Metalurgové ji pravděpodobně vykonávali vedle zemědělské činnosti buď pravidelně, nebo sezónně. Nelze však vyloučit, že někteří pracovali jako specializovaní pracovníci ve službách elity a měli vliv na formování systému organizace (Augustýnová 2019, 148).

V laboratorním prostředí jsme ověřili, že je možné vyrobit komplexnější artefakty pomocí formovacího materiálu (písek), který nezanechává stopy v archeologickém kontextu. Nyní je třeba výrobu těchto komplexnějších artefaktů replikovat v historickém prostředí za pomoci keramických forem a také pískových pozorovat rozdíly ve využití různých formovacích materiálů při výrobě různých typů artefaktů. Experiment je v tomto hledisku neocenitelným zdrojem informací, jelikož pro pochopení tohoto procesu – i po společenské či symbolické stránce – je nutná vlastní empirie.

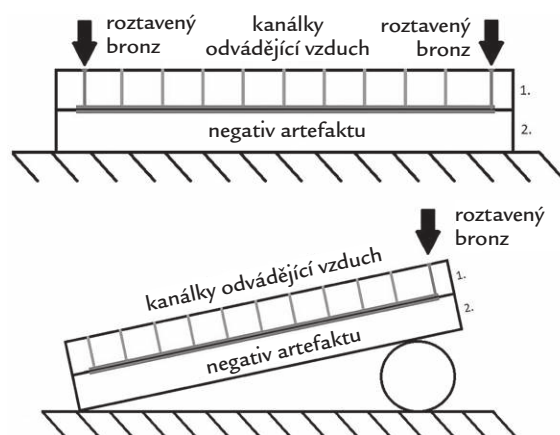
Experimentální archeologie by se neměla využívat pouze k ověření nebo prohloubení interpretací, ale také inspirovat k (novým) otázkám. V ideálním případě by neměl experiment jen odpovědět (kladně či negativně) na zvolené otázky, ale také vyvolat otázky další.

Použitá literatura

- Augustýnová, M. 2019: Metalurgie bronzové doby bronzové v Čechách ve světle výpovědi jejich pramenů. Nepublikovaná disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Katedra Archeologie.
- Barbieri, M. – Cavazzuti, C. – Pellegrini, L. – Scacchetti, F. 2015: Experiencing Visible and Invisible Metal Casting Techniques in Bronze Age Italy. EXARC Journal – Experimental Archaeology. Issue 2015/3. Dostupné online: <https://exarc.net/issue-2015-3/ea/experiencing-visible-and-invisible-metal-casting-techniques-bronze-age-italy> [cit. 24. 10. 2019].
- Bayley, J. – Crossley, D. – Ponting, M. 2008: Metals and Metalworking: A research framework for archaeometallurgy. The Historical Metallurgy Society. Occasional Publication No. 6. London.
- Bayley, J. – Dungworth, D. – Paynter, S. 2001: Archaeometallurgy. Centre for Archaeology Guidelines 01/2001, 17–30.
- Bielenin, K. 1972: Experimental smelting group in Cracovice, Poland, Archeologické rozhledy 24, 192–201.
- Bogušová, M. – Pribulová, A. 2007: Metalografická analýza bronzových predmetov z oblasti severného Potisia. Archeologia technica 18, 3–9.
- Bunnefeld, J. 2016: Crafting Swords. The emergence and production of full-hilted swords in the Early Nordic Bronze Age, Prähistorische Zeitschrift 91, 379–430.
- Coles, J. M. 1979: Experimental Archaeology. London.
- Cradock, P. T. 1995: Early Metal Mining and Production. Edinburgh, 106–109.
- Drescher, H. 1957: Der Bronzeguss in Formen aus Bronze. Versuche mit originalgetreuen Nachbildungen bronzzeitlicher Gussformen aus Niedersachsen, Die Kunde, Mitteilungen des Niedersächsischen Landesvereins für Urgeschichte 8 (1–2), 52–74.
- Forrest, C. 2008: The Nature of Scientific Experimentation in Archaeology: Experimental Archaeology from the Nineteenth to the Mid Twentieth Century. In: P. Cunningham – J. Heeb – R. Paardekooper (eds.), Experiencing Archaeology by Experiment. Oxford, 61–68.
- Friede, H. M. – Steel, R. H. 1977: An experimental study of iron smelting techniques used in the South African Iron Age, Journal of the South African institute of mining and metallurgy, 223–242.
- Ghandour, N. 1981: Elemental and Metallographic Analysis of Objects from Tell Ajjul, Palestine. M.A. Dissertation (unpublished). University of London, Institute of Archaeology.
- Gscheidle, R. et al. 2009: Tabulky pro automechaniky. Praha.
- Hájek, L. 1954: Jižní Čechy ve starší době bronzové, Památky archeologické 45, 115–192.
- Chroustovský, L. – Karel, V. – Trnka, R. – Ventrubová, E. 2017: Oživená (pre)historie v Zoologické a botanické zahradě města Plzně (1999–2017), Archeologie západních Čech 2017 (13), 124–134.
- Jirán, L. et al. 2008: Archeologie pravěkých Čech V. Doba bronzová. Praha.
- Jockenhövel, A. 1971: Die Raseiermesser in Mitteleuropa (Süddeutschland, Tschechoslowakei, Österreich, Schweiz). Prähistorische Bronzefunde VIII, 1. München.
- Killick, D. – Fenn, T. 2012: Archaeometallurgy: The Study of Preindustrial Mining and Metallurgy, Annual Review of Anthropology 41, 559–575.



■ Obr. 4 A experimentální výroba replik v bronzové peci, celkem šest forem; B surový odlitek bronzového srpu; C surový odlitek bronzové sekery před broušením a leštěním; D hrubý odlitek bronzové sekery po dvou hodinách práce.



■ Obr. 5 A dvoudílná forma uložena vodorovně; dva vtoky; B dvoudílná forma uložena na nakloněné rovině; jeden vtok.

- Knapp, B. 1996: Copper, Silver and Gold (Elements). Reed Library, Australia, 22–40.
- Křišťuf, P. – Havlíková, M. – Ježek, J. – Bláhová, O. v přípravě: Weapons or Social Symbols? Metallographic Analysis of Bronze Age Swords.
- Kuijpers, M. H. G. 2006: Looking for the bronze smithy. A research into the preservation of metallurgy-related artefacts in the Bronze Age; melting and casting, Leiden (Nepublikovaná bakalářská práce).
- Kuijpers, M. H. G. 2008: Bronze age metalworking in the Netherlands (c. 2000–800 BC). A research into the preservation of metallurgy related artefacts and the social position of the smith. Leiden.
- Kytlicová, O. 1982: Bronzemetallurgie in Böhmen in der Jung- und Spätbronzezeit, *Archaeologia Polona* 27, 383–394.
- Kytlicová, O. 2007: Jungbronzezeitliche Hortfunde in Böhmen. *Prähistorische Bronzefunde* XX, 12. Stuttgart, 292–293, Abb. 119–127.
- Melheim, L. – Horn, Ch. 2014: Tales of Hoards and Swordfighters in Early Bronze Age Scandinavia: The Brand New and the Broken, *Norwegian Archaeology Review* 47 (1), 1–24.
- Mödlinger, M. 2011: Herstellung und Verwendung bronzzeitlicher Schwerter Mitteleuropas. Eine vertiefende Studie zur mittelbronze- und urnenfelderzeitlichen Bewaffnung und Sozialstruktur. *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie* 193. Bonn.
- Moucha, V. 2005: Hortfunde der frühen Bronzezeit in Böhmen. Praha.
- Nørgaard, H. W. 2015: Metalcraft within the Nordic Bronze Age: Combined metallographic and superficial imaging reveals technical repertoire in crafting bronze ornaments, *Journal of Archaeological Science* 64, 110–128.
- Nørgaard, H. W. 2017: Portable XRF on Prehistoric Bronze Artefacts; Limitations and use for the Detection of Bronze Age Metal Workshops, *Open Archaeology* 2017 (3), 101–122.
- Ottaway, B. S. 2001: Innovation, production and specialisation in early prehistoric copper metallurgy, *European Journal of Archaeology* 4 (1), 87–112.
- Ottaway, B. S. – S. Seibel, 1998: Dust in the wind: experimental casting of bronze in sand moulds. *Instrumentum. Monographies instrumentum* 5. Paléoméallurgie des Cuivres. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 17–18 octobre 1997. Montagnac, 59–63.
- Ottaway, B. S. – Wang, Q. 2004: Casting Experiments and Microstructure of Archaeologically Relevant Bronzes. *British Archaeological Records, International Series*, 1331. Oxford.
- Pellegrini, L. – Scacchetti, F. 2014: Observation on Italian Bronze Age Sword Production: The Archaeological Record and Experimental Archaeology. *EXARC Journal – Experimental Archaeology*. Issue 2014/1. Dostupné online: <https://exarc.net/issue-2014-1/ea/observations-italian-bronze-age-sword-production-archaeological-record-and-experimental-archaeology> [cit. 24. 10. 2019].
- Peroni, B. V. 1970: Die Schwerter in Italien. *Prähistorische Bronzefunde* IV/1. München.
- Pleiner, R. 1973: Smelting experiment at Stora Benhamra, Sweden, *Archeologické rozhledy* 25, 454–462.
- Pleiner, R. 2000: Iron in Archaeology: The European Bloomery Smelters. Praha.
- Pluhář, J. – Koritka, J. et al. 1977: *Strojírenské materiály*. Praha.
- Rehren, T. H. – Pernicka, E. 2008: Coins, Artefacts and Isotopes – Archaeometallurgy and Archaeometry, *Archaeometry Journal* 50 (2), 232–248.
- Reynolds, P. J. 1999: The Nature of Experiment in Archaeology. In: A. F. Harding (ed.), *Experiment and desing: Archaeological studies in honour of John Coles*, Oxford.
- Scott, D. A. 1991: Metallurgy and microstructure of Ancient and Historic Metals. Marina del Rey, CA, 23–55.
- Smejtek, L. – Lutovský, M. – Militký, J. 2013: *Encyklopedie pravěkých pokladů v Čechách*. Praha.
- Speciale, C. – Zanini, A. 2010: Gli scalpelli nella Protostoria italiana. Definizione e proposte per una tipologia, *Padusa* 46, 37–80.
- Sych, D. 2015: Cultural biographies of Bronze age knives and sickles from southwestern Poland, *Śląskie Sprawozdania Archeologiczne* 57, 115–127.
- Sych, D. – Miazga, B. – Siejkowski, K. 2018: Bronze Age dagger from Dargocice, *Materiały Zachodniopomorskie Nowa Seria* 25, 275–286.
- Tylecote, R. F. 1992: *A History of Metallurgy*. London – Brookfield, VT.
- Vandkilde, H. 2016: Bronzization: The Bronze Age as Pre-Modern Globalization, *Prähistorische Zeitschrift* 91 (1), 103–123.

Summary

Contribution to Experimental (Experiential) Metallurgy of Bronze Artifacts

The focus of the research effort was the experimental testing of the methodology of production of metals and metal artefacts and the replication of archaeo-metallurgical processes in several controlled melts. The aim was to make bronze artifacts of different types and functions (axes, swords, knives, sickles) on the basis of models from documented archaeological sites.

Sword replicas are based on swords with a tongue-shaped and full cast handle from the site Labe – Porta Bohemica and site Prague-Vyšehrad (Kytlicová 2007, 292–293, 297). Typologically, the swords used had a tongue-shaped hilt, lined with an organic material (wood, bone), fastened with rivets (stage BB1–HB3) or the so-called Liptov type swords with full cast handles, reinforced with three rings (stage BD–HA2; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 430).

The replica axes are based on an axe with cordons from the sites Újezd 1, Klapý 1 and Kosořice (Hájek 1954, 152; Moucha 2005, 117, 120, 139). We used flanged axes with a curved cutting edge (stage BB1–BC2; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 432).

Knives replicas are based on knife, with a tongue, from the Křemýž site and a knife with a richly decorated back edge of the blade (type Jenišovice) from the Praha-Zbraslav (Kytlicová 2007, 270, 317) site. We typologically used knives with a flattened tongue (stage BD–HB3) and knives with a separate ring, so-called “pile dwelling knives” (stage HB1–HB3; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 430).

Sickle replicas are based on sickles from the Ločenice site – sickles with a perpendicular tongue and a back reinforced by two ribs (Kytlicová 2007, 279–280). The second type

of sickle is a sickle with a lateral protrusion, with a circular opening in the middle of the tongue. These sickles were borrowed from the collections of the Museum in Karlovy Vary and come from the Meziřík hoard. Typologically, it is a sickle with a less vaulted narrow, sometimes S-shape blade and a perpendicular tongue at the base (stage HB1–HB3) and a sickle with a wider tongue, sometimes even with a hole for a rivet (stage HB1–HB3; Smejtek – Lutovský – Militký 2013, 433).

For experimental casting we used technical bronze CuSn9, which has the most suitable casting properties and well reflects the metallurgy of the Bronze Age. This alloy was selected on the basis of metallographic analyses performed on the sword fragments from the Lažany site (Křišťuf et al. in prep.) and other existing publications (e.g. Scott 1991, 23; Bogush – Pribul 2007; Ghandour 1981; Nørgaard 2015, 110–128; Nørgaard 2017, 101–122; Bunnefeld 2016, 379–430). In the laboratory approach, we made replicas in three separate castings. The aim was to gain experience in working with bronze and mould formation. During the first casting (September 6, 2018 – outside temperature 23 °C; 9.47 kg of CuSn9 technical bronze processed) two axes and two knives were made. The second casting took place on October 24, 2018 (outdoor temperature 11 °C; processed 12.3 kg of CuSn9 technical bronze). The aim was to produce six swords, only four were managed. At the last casting (March 30, 2019 – outside temperature 15 °C; 10.2 kg of CuSn9 technical bronze was processed), three sickles were produced (only one successfully) and two axes.

To better understand the production of bronze artefacts, it is necessary to repeat experimental production using an “historical” approach, i.e. ideally rock mining and subsequent melting of tin and copper into bronze. All this by using a replica of the smelting furnace from the Bronze Age. It is also advisable to make ceramic crucibles and the related tools. A total of six ceramic moulds were prepared before casting (2× one-piece mould – 2× sickle, 1× two-piece mould – 1× sickle, 1× one-piece mould – 1× production ingot, 1× one-piece mould – 4× symbolic ingots, 1× two-piece mould – 1× axe). The bronze smelting in a replica of a Bronze Age furnace takes about 3.5 hours, consuming about 7.5 kg of charcoal (fuel) and yields 1.8 kg of bronze.

Previous archaeometallurgical experiments, as well as the experiment described above, can help in further research. While such experiments seem useful, in many cases the experience gained and its further use in scientific work is sometimes questioned (Kuijpers 2008, 24). Experimental archaeology should not only be used to validate or deepen interpretations, but also to inspire (new) questions. Ideally, the experiment should raise more questions than it has answered.

Josef Ježek, Katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, Sedláčkova 15, 306 14 Plzeň, e-mail: jezek.josef.jj@gmail.com

Markéta Havlíková, Katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, Sedláčkova 15, 306 14 Plzeň, e-mail: markethavlikova@gmail.com

Václav Holásek, e-mail: info@vaclavholasek.cz