



ARCHEOLOGIA TECHNICA 33/2022

ISSN 1805-7241

<http://archeologiatechnica.cz>

EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ MOŽNÝCH HISTORICKÝCH TAVIDEL V KOVÁŘSKÉM SVAŘOVÁNÍ

Patrick Bárta, Michal Hlavica

Dostupné online:

<http://archeologiatechnica.cz/node/390>

Citace článku:

Bárta, P. – Hlavica, M. 2022: Experimentální ověření možných historických tavidel v kovářském svařování. Archeologia technica 33, 9-20.

© Autoři, 2022

Technické muzeum v Brně / Purkyňova 105, 612 00 Brno, Czech Republic
Tel.: 541 421 426 / www.tnbrno.cz

 TECHNICKÉ
MUZEUM
V BRNĚ

Archeologia technica

Archeologia technica je odborným recenzovaným periodikem předkládajícím příspěvky spojené se „zkoumáním výrobních objektů a technologií archeologickými metodami“, průmyslovou archeologií i praktickými experimenty. Poskytuje prostor pro publikování a diskusi problematiky spjaté s archeologickými výzkumy technických a technologických zařízení, dokumentací a záchranou průmyslového dědictví a seznamování s výsledky praktických experimentů prováděných v rekonstrukcích starých výrobních zařízení. Publikujeme též kratší zprávy o vybraných výrobních objektech, výrobních technologiích z nejrůznějších časových období, ale i dalších tematicky souvisejících aktivitách.

Úvod třicátého třetího čísla AT nabízí několik nově nalezených a identifikovaných naseknutých železářských lup, resp. jejich polovin, pocházejících z Mikulčic, Starých Zámků u Líšně a Moravského krasu. Druhý text popisuje experimentální ověření použití různých historických tavidel při kovářském svařování z pera a kovadliny Patricka Bárty a Michala Hlavici. Dalším příspěvkem se vztahem ke zpracování železa je článek věnovaný souboru raně středověkých železářských artefaktů nalezených před takřka čtyřiceti lety nedaleko Lažánek u Veverské Bítýšky a zařazených do sbírkového fondu vydavatele tohoto časopisu.

Železářství se nevyhne ani při čtení dalších příspěvků: Hany Grison a Romana Křivánka týkajícího se využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků hutnických činností v oblasti Moravského krasu a Jaroslavy Neubauerové z Banického muzea v Rožňavě, přibližujícího jeden z významných exponátů muzea – podstatnou část železářské pece vyzvednuté při archeologickém výzkumu nedaleko Gemerského Sadu. Neželezářskou část letošního čísla reprezentují dvěma texty pravidelní příspěvatelé Petr Kos a Petr Holub posílení v případě popisu průběhu a výsledků pokusného kombinovaného výpalu vápna a cihel v areálu Staré huti u Adamova o Petera Majoroše. Relaci o výpalu vápna v Čechtíně na Třebíčsku pak zvládli sami, stejně jako činnost, již popisují.

Obsah čísla završuje zpráva Dominika Tally o železářském snažení ve Staré huti u Adamova v roce 2022. I tento rok zde byl svým průběhem neobvyklý. Tentokrát však byla důvodem potřebná rekonstrukce objektu muzea – Kameňáku.

Archeologia technica je odborným recenzovaným periodikem předkládajícím příspěvky spojené se „zkoumáním výrobních objektů a technologií archeologickými metodami“, průmyslovou archeologií i praktickými experimenty. Rádi bychom poskytovali prostor pro publikování a diskusi problematiky spjaté s archeologickými výzkumy technických a technologických zařízení, dokumentací a záchranou průmyslového dědictví a seznamování s výsledky praktických experimentů prováděných v rekonstrukcích starých výrobních zařízení. Kromě obsáhlejších příspěvků jsou přijímány též kratší zprávy o vybraných výrobních objektech, výrobních technologiích z nejrůznějších časových období, ale i dalších tematicky souvisejících aktivitách. Další informace pro autory jsou uvedeny na webu Technického muzea v Brně www.tmbрно.cz. Doporučili bychom Vaší pozornosti i stránky www.starahut.com, kde je možné nalézt jak starší publikace Archeologia technica ve formátu pdf, tak informace o akcích pořádaných Technickým muzeem v Brně na poli starého železářství. A v neposlední řadě web tohoto periodika i tradiční stejnojmenné odborné konference, jehož adresa zní archeologiatechnica.cz.

Za redakční radu Ondřej Merta

Obsah

Znamé nalezy raně středověkých železářských naseknutých lup z území Moravy 2 <i>Ondřej Merta – Michal Hlavica – Michael Lebsak – Michal Přichystal – Roman Mikulec</i>	3
Experimentální ověření možných historických tavidel v kovářském svařování <i>Patrick Bárta – Michal Hlavica</i>	9
Doklady středověkého železářství z Lažánek u Veverské Bítýšky <i>Ondřej Merta – Michal Hlavica</i>	21
Využití geofyzikálních metod při mapování pozůstatků raně středověké hutní činnosti ve střední části Moravského krasu <i>Hana Grison – Roman Křivánek – Ondřej Merta</i>	33
Polná šachtová pec z Gemerského Sadu <i>Jaroslava Neubauerová</i>	43
Pokusný výpal kombinované vsázky ve vápenické peci na Staré huti u Adamova na příkladu čtyř druhů stavebních surovin <i>Petr Kos – Petr Holub – Peter Majoroš</i>	49
Výpal vápna v areálu bývalého panského pivovaru v Čechtíně na Třebíčsku <i>Petr Kos – Petr Holub</i>	57
Stará huť u Adamova 2022 <i>Dominik Talla</i>	60

EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ MOŽNÝCH HISTORICKÝCH TAVIDEL V KOVÁŘSKÉM SVAŘOVÁNÍ

Patrick Bárta – Michal Hlavica

Studie prezentuje archeologický experiment zkoumající možnosti využití některých dobře dostupných materiálů pro historické kováře, jako například tavidel pro kovářské svařování. Kolekce metalografických výbrusů z experimentálně svařených vzorků byla analyzována prostřednictvím polarizačního mikroskopu a rastrovacího elektronového mikroskopu (EDX SEM). Cílem této analýzy bylo vyhodnotit kvalitu svaření a detekovat případné relikty použitých tavidel ve vměstcích uvnitř jednotlivých svarů. I přes svá kvantitativní omezení experiment prokázal, že jako nejvhodnější se jeví směs snadno tavitelné látky s reaktivním aditivem. Nejlepších výsledků v kategorii snadno dostupných látek dosáhla kombinace kamenné soli a písku, nicméně jako efektivní se ukázalo i využití spraše. Hodnotným zjištěním je také to, že využití soli v tavicí směsi se projevuje detekovatelnými stopami chloru uvnitř vměstků jednotlivých svarů. Tento fakt činí hypotézu o využití soli v historickém kovářství dále testovatelnou prostřednictvím prvkové analýzy archeologického materiálu.

Klíčová slova: železo – tavidla – kovářství – experimentální archeologie – EDX SEM

EXPERIMENTAL EVALUATION OF POSSIBLE HISTORIC FLUXES IN FORGE WELDING

The study presents an archaeological experiment which examines the use of some broadly accessible materials as a convenient flux for historical blacksmiths. A collection of metallographic sections of experimentally forge-welded samples was analyzed by means of a polarizing microscope and a scanning electron microscope (SEM-EDX). The aim of this study was to evaluate the quality of the weld and detect potential relics of the flux components in inclusions along the individual weld lines. Despite quantitative restrictions, the experiment has shown the combination of flux with a reactive additive to be the most effective. The best results in the category of broadly available substances were attained with a combination of sand and kitchen salt (NaCl), however even the use of loess has proven to be effective. A valuable observation is that the use of salt leads to detectable traces of chlorine in the various inclusions within the forge weld. This fact enables to test the the potential use of salt in the scope of historic blacksmithing by means of an element analysis of archaeological material.

Keywords: iron – fluxes – smithcraft – experimental archaeology – EDX SEM

Zkoumání technologické vyspělosti a řemeslných dovedností našich předků je důležitou součástí archeologického bádání. Umožňuje lépe pochopit mechanismy vzniku a šíření znalostí produkčních technologií, stejně jako distribuci surovin a fyzických výrobků uvnitř dobových společenství a mezi nimi. To je cenné zejména pro pochopení proměny úrovně jejich ekonomické komplexity v čase. Mezi klíčová řemesla patřilo již od počátku využití železných nástrojů jako produkčních prostředků i kovářství. Jeho archaické techniky tváření za horka, zejména spojování železa kovářským svařením, neměly jinou alternativu až do konce 19. století a mezi drobnými řemeslníky až hluboko do 20. století (Ambrož *et al.* 2001, 13). Tento typ svařování, jež je možné definovat jako spojení dvou nebo více součástí materiálu do jednoho celku vytvořením trvalého nerozebíratelného spoje, je charakteristický vznikem meziatomárních vazeb mezi povrchy svařovaných částí. Tak vzniká spoj pevnější, než v případě jeho jiných druhů (spoj nýtovaný, pájený, lepený), nicméně vzniku meziatomárních vazeb je možno dosáh-

nout jen vytvořením speciálních podmínek. K nim lze v praxi dospět působením zvýšené teploty, tlaku či oběma faktory dohromady (Ambrož *et al.* 2001, 14). Kovářské svařování kombinuje oba tyto faktory – jeho podstatou je působení tlaku (úder kladiva) na předmět ohřátý na teplotu nižší, než je teplota tání daného materiálu (Pleiner 1962, 34–35; Bárta 2011, 78).

Problémem techniky kovářského svařování je však intenzivní oxidace železa při vysokých teplotách. Tu lze sice při ohřevu snížit či eliminovat vytvořením redukčních podmínek ve výhni, nicméně po vytažení z výhně dochází i přesto k oxidaci při styku se vzduchem a k tvorbě okují, které mohou následné svaření znemožnit. Pro úspěšné vyhotovení svaru je tedy nutné oxidy z obou svařovaných částí odstranit. Toho lze u některých výjimečných druhů svarů dosáhnout oklepnutím těsně před svařením, v ostatních případech je nutné použití tavidla, které je při dané svařovací teplotě ve více méně tekutém skupenství a svar chrání před oxidací. Při následných úderech kladiva v průběhu vlastního svařování pak toto tavidlo

ze svaru vystříkne či odpadne. Dodnes zachovaná kovářská tradice ilustruje, že jako tavidla jsou využitelné různé druhy písku, nezapomenutelných usazených hornin (jíl, spraš) nebo snadno tavitelných solí (*borax*), případně jejich směsi (Pleiner 1962, 34). Otázkou nicméně zůstává, jestli tyto suroviny a směsi byly využívány i v minulosti, či zda byly preferovány spíše jiné dnes již nedochované substance. Mnohaleté praktické zkušenosti hlavního autora článku ukazují, že ideální tavidlo je charakteristické příznivou teplotou tání, stálostí při vysoké svařovací teplotě (nedochází k rychlému termickému rozkladu či odparu), má dobrou tekutost a smáčivost, a nejlépe i aktivně rozpouští oxidy železa. Žádná látka však nedisponuje všemi těmito vlastnostmi sama o sobě. Látky snadno dostupné, s příznivou teplotou tání do 1200 °C (písek, spraš, jíl, případně železářská struska) jsou ve vysokých teplotách většinou dlouhodobě stabilní, nemají ovšem schopnosti aktivně rozpouštět již vzniklé oxidy a nejsou obvykle ani zcela tekuté. Naopak nejpoužívanější tavidlo moderní doby, *borax*, má kromě aktivního rozpouštění oxidů i příznivou teplotu tání, tekutost i smáčivost, ovšem při vysokých teplotách poměrně rychle degraduje. Z pohledu praktických zkušeností se tedy jako ideální jeví kombinace substancí různých kvalit. Za tradičně nejvýhodnější a nejpoužívanější je v kovářském řemesle považována kombinace písku a *boraxu* jako reaktivního aditiva. Tuto směs používali i autorům známí kováři dožívající ještě v devadesátých letech 20. století, kteří se vyučili svému řemeslu mezi světovými válkami. Jinde zachovaná tradice zase ukazuje na využití směsi písku a sody (Semerák – Bohmann 1977, 215).

Ačkoliv kovářství je poměrně konzervativní řemeslo, jehož základní technologie se prakticky neměnily po celou dobu jeho existence, v posledních dekádách preferované užívání směsi písku a *boraxu* jako tavidla pro kovářské svařování nelze považovat za pravděpodobné v době před průmyslovou revolucí. Důvodem je poměrně vzácný výskyt *boraxu* a s tím související obtížná dostupnost. Znám byl sice již nejméně od raného novověku, a to pod názvem *tinkal* nebo *chrysocolla*, nicméně nebyl běžně dostupný. Jeho zdroje je třeba hledat až v oblasti dnešního Turecka či Dálného východu, odkud byl také nejčastěji vyvážen (Woods 1994; Wisniak 2005). Charakter tavicích směsí užívaných v předindustriálním období měl tedy velmi pravděpodobně odlišný charakter a využíval kombinace lokálních surovin.

Právě ověření vlastností těchto surovin je jedním ze dvou cílů prezentovaného archeologického experimentu. Experiment prakticky ověřuje využitelnost tavicích směsí, jejichž složky mohly být pro kovářské svařování železa v pravěkému a středověkému období běžně dostupné. Jeho druhým cílem je vytvoření souboru vzorků vyhotovených svarů a jejich následná podrobnější prvková mikroanalýza. Ta sleduje možnosti detekce zbytků užitých tavicích směsí, jež mohou ve vměstcích analyzovaných svarů zůstat přítomny i po svaření. Předpokládaným přínosem tohoto srovnávacího souboru a jeho podrobnějšího rozboru je možnost budoucího porovnání výsledků analýzy s prvkovým složením vměstků originálních historických železných výkovek obsahujících svary. Takto pak mohou být teoreticky identifikovány suroviny, jež ve zkoumaných obdobích jako tavidla pro kovářské svařování reálně sloužily.

MATERIÁL A METODY

Jako základní materiál pro experiment byla vybrána dobře svařitelná moderní ocel ČSN 11 375 (S235JR podle EN 10025-2:2004), a to ve formě kulatiny o průměru 5 mm. Důvodem upřednostnění moderní oceli před svářkovou je snadná identifikace svaru na metalografickém výbrusu, která může být u svářkové oceli problémem vzhledem k existenci mnoha dalších svarových linií souvisejících s předešlým zpracováním svářkového železa.

Zpracovaná kulatina byla nejdříve ohnuta tak, že obě části k sobě přiléhaly v délce cca 3 cm (obr. 1). Ohnutá část byla posypána drtí tavidla, nahřata ve výhni na svařovací teplotu a svařena několika údery kovářského kladiva o hmotnosti 150 g. Jako palivo pro ohřev ve výhni bylo použito bukové dřevěné uhlí. Po svaření byl vzorek odseknut za tepla.



Obr. 1: Ohnutá kulatina pokrytá drtí tavidla. Foto: M. Hlavica

Jako základ tavidla byl použit písek, spraš a železářská struska. Jako reaktivní aditivum kuchyňská a draselná sůl (NaCl , resp. KCl), soda (Na_2CO_3), potaš (K_2CO_3) a pro srovnání také *borax* ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Ve všech případech jde o snadno tavitelné soli anorganických kyselin, které se vyskytují ať už přímo v přírodě (*halit* – NaCl , *sylvín* – KCl), nebo jsou snadno připravené z dostupných základních surovin – *potaš* byla vyráběna loužením z popela, soda se většinou dovážela, obojí je však známo již od vzniku sklářství (Nový 1974, 250, 480). Sledovanými parametry v průběhu pokusu byla teplota tání tavidel (odhad podle barvy rozžhaveného kovu), tekutost (obecně je pro tavidlo, vzhledem k nutnosti smáčení, lepší vyšší tekutost), smáčivost (vizuálně hodnocená schopnost tavidla pokrýt budoucí svar stejnoměrnou vrstvou), stabilita tavidla (posouzení případné očividné degradace odparem či termickým rozkladem) a úspěšnost svařování.

Celkem bylo provedeno deset experimentálních svarů s různými tavidly (obr. 2). Samostatně byly hodnoceny vlastnosti surovin v podobě drčené železářské strusky, písku, soli a spraše. Tavicí směsi pak zahrnovaly kombinace písku a kamenné soli, písku a draselné soli, písku a kalcinované sody, písku a *potaše*, písku a *boraxu*, železářské strusky a kamenné soli.



Obr. 2: Experimentálně svažené vzorky s různými typy tavidel. Foto: M. Hlavica

Vykované vzorky byly následně řezáním zkráceny na délku 10 mm (při řezání se u odřezků zcela rozpadly svary vzorků 1 a 9, viz také níže), zality do dvosložkové epoxidové pryskyřice a broušeny za mokra na metalografické brusce smirky hrubosti 220, 400, 600, 1200 a 2000. Na závěr byly vzorky leštěny diamantovými suspenzemi 3P a 1P. Mikrofotografie svarů byly provedeny polarizačním mikroskopem Nikon Eclipse LV100POL.

Prvková mikroanalýza byla provedena na skenovacím elektronovém mikroskopu Tescan s energiově-disperzním detektorem (SEM-EDS) ve spolupráci s Mgr. David Pavliňákem, Ph.D., z Ústavu fyzikální elektroniky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně při použití urychlovacím napětí 15 kV. Vzorky byly pro SEM-EDS analýzu pokoveny vodivou vrstvou zlata pro odvádění vznikajícího náboje. Pro měření prvkového složení základů tavidel byl použit stolní ED-XRF spektrometr ElvaX Pro (Ag anoda, urychlovací napětí 45 a 10 kV, kolimátor 4 mm, doba měření 40 s, high speed extra large SDD detektor, He mikroproplach, vyhodnocení spekter v programu Elvatech prostřednictvím módu Soils (spraš a písek) a Steellow (struska). Měření provedl Mgr. Matěj Kmošek, DiS. z Archeologického ústavu AV ČR, Brno.

VÝSLEDKY

Vzorek 1 (železářská struska)

Experimentální svařování

Jako tavidlo byla použita železářská struska z experimentálních taveb Technického muzea v Brně (prvkové složení viz tab. 1). Budoucí svar byl zasypán struskou v hmoždíři rozdrčenou na prášek, poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě cca 1100 °C, kapalina měla dobrou tekutost, ale nízkou smáčivost, chovala se stabilně. Při následujícím vzorkování se odříznutá část svaru rozpadla, ačkoli při odsekávání vzorku za tepla se jevil jako svařený. I podle metalografického průzkumu svařování nebylo úspěšné (viz obr. 3: 1).

Výsledky SEM analýzy

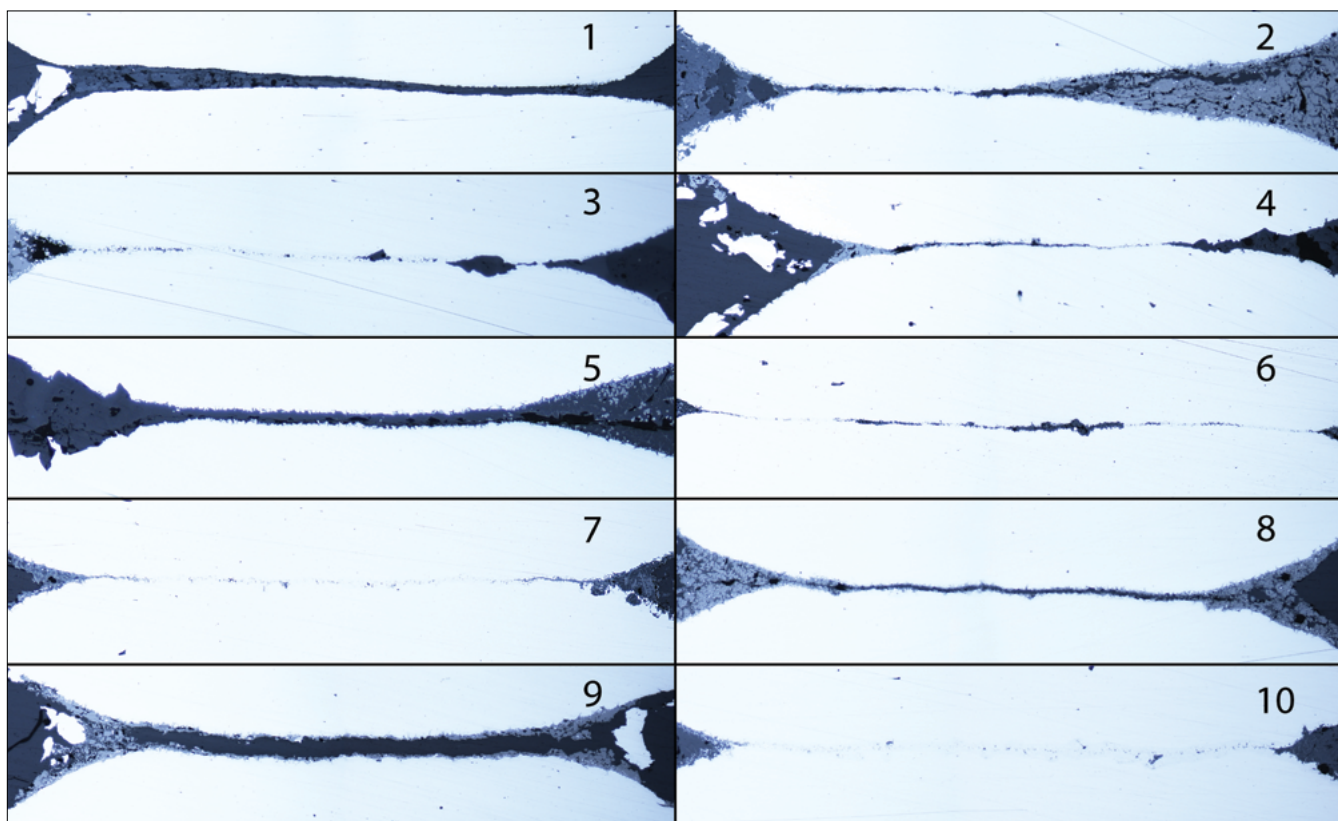
Vzorek svaru vyhotoveného s využitím drčené železářské strusky (obr. 4: 1) charakterizuje přítomnost fragmentovaných trosek vměstků s dutinami vyplněnými lehkými prvky (černou barvou jsou pravděpodobně zachyceny zbytky diamantové leštící pasty). Vměstky jsou tvořeny dvěma fázemi – světlou (obr. 4: 2, spektrum 5 a 7) a tmavě šedou (obr. 4: 2, spektrum 6 a 8). Obě fáze jsou prvkovým složením víceméně podobné s vyšším, resp. nižším obsahem železa. Podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 2.

Tab. 1: Prvkové složení použitých základů tavidel analyzováno metodou ED-XRF

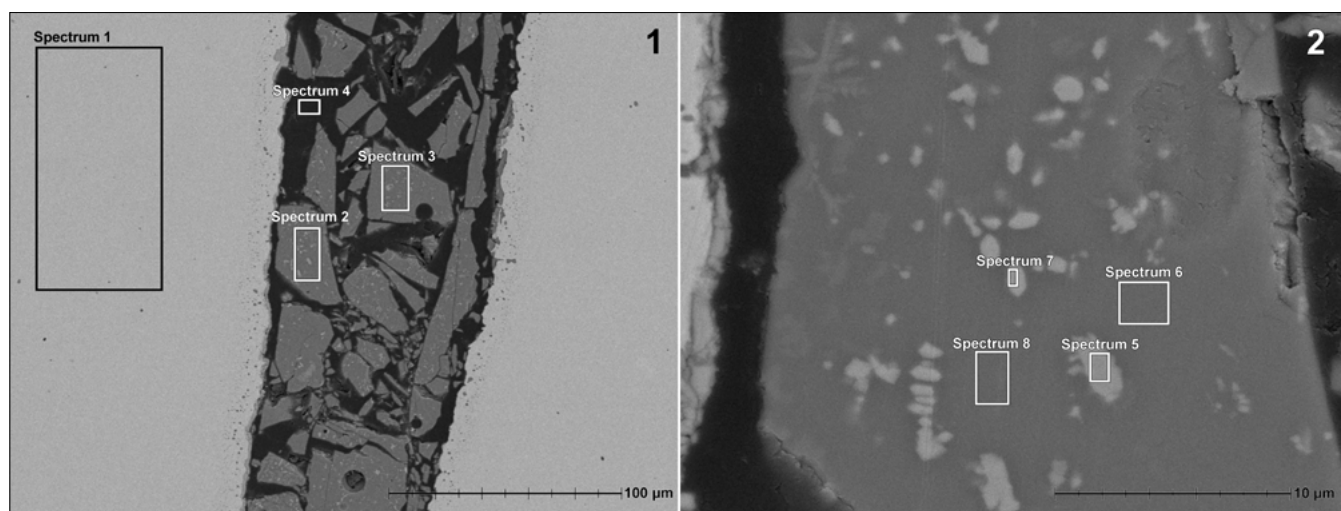
	LE*	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Písek (Bratčice u Brna)	59,3	5,0	30,7	0,05	0,01	1,74	0,17	0,076	0,003	0,011	0,6	< 0,0013	0,00
Spraš (Brno – Bosonohy)	54,4	7,4	28,2	0,06	0,30	1,25	3,43	0,413	0,009	0,038	2,213	< 0,0023	< 0,0005
Železářská struska (Stará huť u Adamova)*	< 0,001	10,5	17,7	3,79	0,11	0,51	4,64	< 0,068	0,057	0,556	55,103	< 0,046	< 0,007

* Lehké prvky (H až Mg)

* Produkt experimentálních taveb Technického muzea v Brně za použití rudy olomučanské provenience



Obr. 3: Mikrofotografie svarů vyhotovených s využitím experimentálních tavidel. Foto: P. Bárta

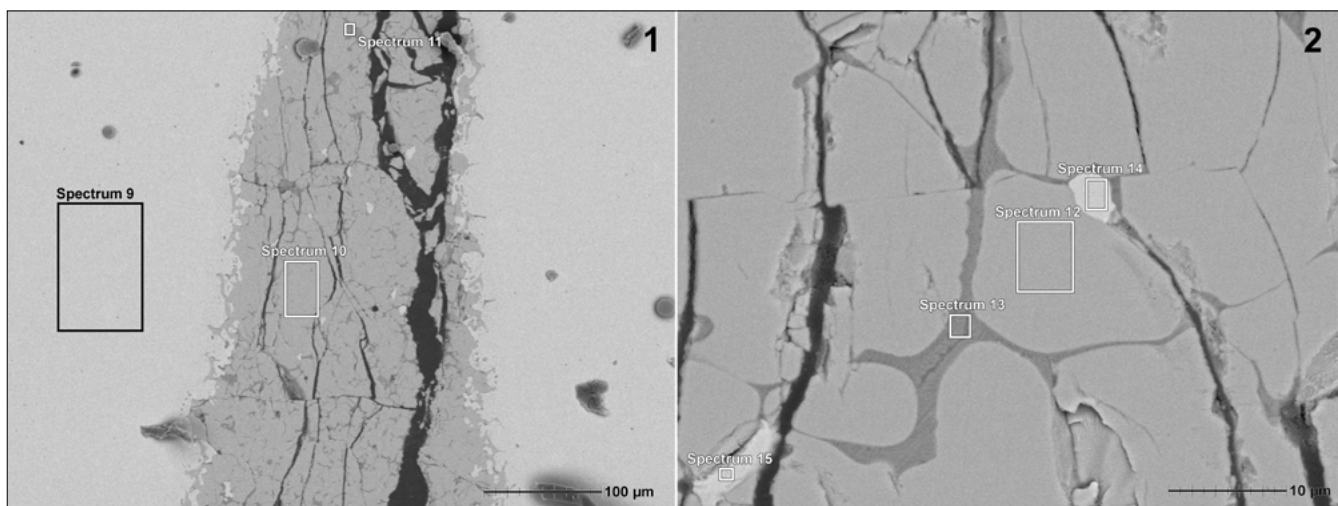


Obr. 4: Snímek vzorku 1 (svařen za použití železářské strusky) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM): 1 – část svaru; 2 – detail vměstku. Foto: D. Pavlíňák

Tab. 2: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 4) vzorku 1

Obr. 4:1	C	O	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Total
Spectrum 1	11,48	0,98			0,2						0,47	86,88	100
Spectrum 2		41,43	1,59	5,9	13,04	0,94		0,99	10,01	0,35	0,33	25,41	100
Spectrum 3		42,29	1,54	6,81	12,04	0,96		0,98	9,14	0,35		25,89	100
Spectrum 4	80,59	17,12					0,93		0,1			1,26	100

Obr. 4:2	O	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Total
Spectrum 5	31,81	1,23	2,39	4,24		0,29	3,15	0,6	0,32	0,21	55,75	100
Spectrum 6	43,31	1,52	6,21	14,09	0,99	1,06	10,89	0,42			21,5	100
Spectrum 7	41,14	1,45	5,32	12,19	0,92	0,96	9,47	0,41			28,15	100
Spectrum 8	43,28	1,5	6,15	14,19	1,03	1,13	11,05	0,26		0,48	20,92	100



Obr. 5: Snímek vzorku 2 (svařen za použití písku) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM): 1 – část svaru; 2 – detail vměstku. Foto: D. Pavlišák

Tab. 3: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 5) vzorku 2

Obr. 5:1	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe	Total
Spectrum 9	10,08					0,19			0,65	89,07	100
Spectrum 10	9,41	26,83								63,77	100
Spectrum 11		37,12	0,59	0,29	2,13	14,3	1,81	2,22	0,65	40,89	100

Obr. 5:2	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Total
Spectrum 12	9,52	26,14							0,37	63,97			100
Spectrum 13		37,91	0,81	0,22	1,93	14,64	2,07	4,43	0,63	37,36			100
Spectrum 14	12,06	5,22								75,37	3,07	4,28	100
Spectrum 15	8,71	11,45								75,45	1,23	3,17	100

Vzorek 2 (písek)

Experimentální svařování

Stejně jako ve všech následujících případech užití písku byl použit písek z lokality Bratčice u Brna (prvkové složení písku viz tab. 1). Budoucí svar byl zasypán pískem, poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 1200 °C, kapalina měla velmi nízkou tekutost, nízkou smáčivost, chovala se stabilně. Podle metalografického průzkumu bylo svařování úspěšné jen málo, cca 10 % spoje je svařeno (viz obr. 3: 2).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím písku (obr. 5: 1) charakterizuje přítomnost popraskaných vměstků s prasklinami vyplněnými lehkými prvky (černou barvou jsou pravděpodobně zachyceny zbytky diamantové lešticí pasty). Tvořeny jsou dvěma fázemi – světle šedou fází tvořenou oxidy železa (obr. 5: 2, spektrum 12) a tmavě šedou fází (obr. 5: 2, spektrum 13) s pestrým složením. Podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 3.

Vzorek 3 (písek a kamenná sůl)

Experimentální svařování

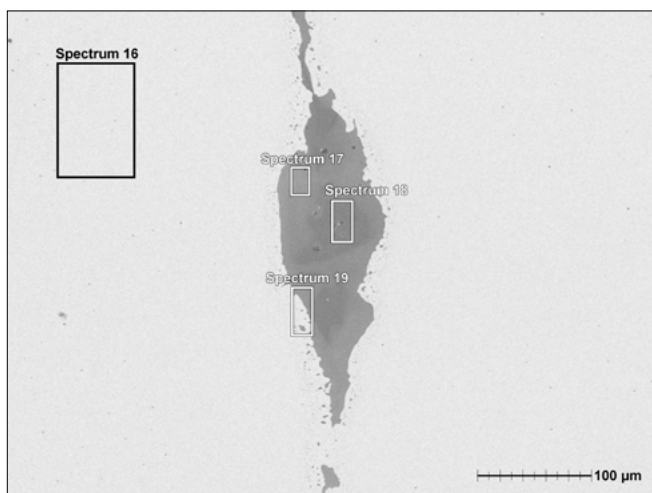
Kamenná sůl byla nejprve vyžláhána při teplotě nad 150 °C, aby se zbavila vlhkosti, a následně byl budoucí svar zasypán směsí písku a soli v poměru 1 : 1. Poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 800 °C (teplota tání čistého NaCl je 801 °C), kapalina měla dobrou tekutost (lepší než písek samostatně) i smáčivost, chovala se stabilně. Podle metalografického průzkumu bylo svařování velmi úspěšné, cca 90 % spoje je svařeno (viz obr. 3: 3).

Výsledky SEM analýzy

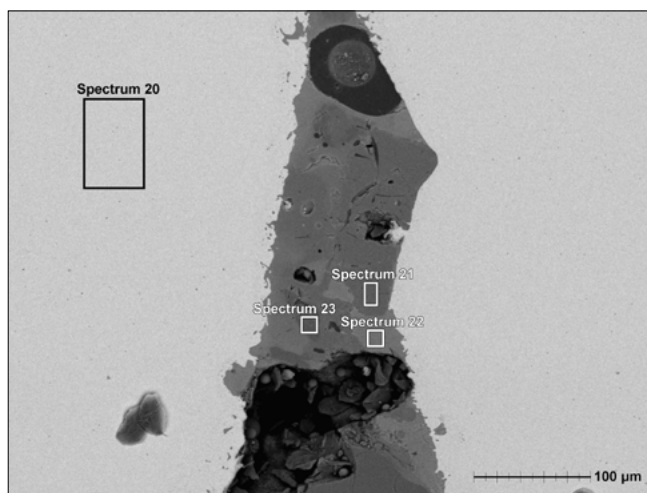
Vzorek svaru vyhotoveného s využitím směsi písku a kamenné soli charakterizuje přítomnost kompaktních vměstků (obr. 6) tvořených dvěma fázemi – světle šedou fází charakteristickou vyšším obsahem železa a stopami chloru (spektrum 17) a tmavě šedou fází (spektrum 18) s nižším obsahem železa. Podrobnější výsledky analýz jednotlivých spekter viz tab. 4.

Tab. 4: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 6) vzorku 3

Obr. 6	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Total
Spectrum 16	11,23					0,2				0,5	88,08	100
Spectrum 17		43	2,9	0,33	5,48	20,42	0,31	3,69	0,56		23,31	100
Spectrum 18		49,34	3,58		9,46	27,54		7,24			2,84	100
Spectrum 19		12,15	1,47		2,29	7,34		1,22		0,46	75,07	100



Obr. 6: Snímek vzorku 3 (svařen za použití směsi písku a kamenné soli) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavlišák



Obr. 7: Snímek vzorku 4 (svařen za použití směsi písku a draselné soli) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavlišák

Tab. 5: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 7) vzorku 4

Obr. 7	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Total
Spectrum 20	10,38										0,46	89,16	100
Spectrum 21		49,32	2,01		10,7	26,54	0,59	9,81				1,03	100
Spectrum 22		45,49	1,1	1,87	5,21	21,28	0,29	4,34	2,88	0,32		17,23	100
Spectrum 23		54,94	0,31		0,92	39,81		1,54	0,37			2,12	100

Vzorek 4 (písek a draselná sůl)

Experimentální svařování

Draselná sůl byla opět nejprve vyžehána při teplotě nad 150 °C, aby se zbavila vlhkosti a budoucí svar následně zasypán směsí písku a soli v poměru 1 : 1. Poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě okolo 800 °C (teplota tání čistého KCl je 770 °C), kapalina měla dobrou tekutost (lepší než písek samostatně) i smáčivost, chovala se stabilně. Podle metalografického průřezu bylo svařování částečně úspěšné, cca 25 % spoje je svařeno (viz obr. 3: 4).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím směsi písku a draselné soli (obr. 7) charakterizují kompaktní vměstky tvořené dvěma fázemi – tmavě šedou fází s nižším obsahem železa (spektrum 21 a 23) a světle šedá fáze (spektrum 22) s vyšším obsahem železa. Obě fáze nesou stopy chloru. Pro podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 5.

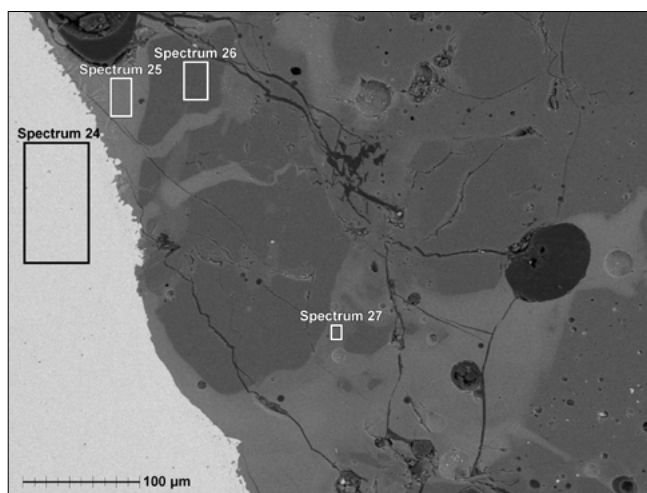
Vzorek 5 (písek a kalcinovaná soda)

Experimentální svařování

Budoucí svar byl zasypán směsí písku a sody v poměru 1 : 1 a vzorek byl ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 850 °C (teplota tání čistého Na₂CO₃ je 851 °C), kapalina měla dobrou tekutost (lepší než písek samostatně) i smáčivost, chovala se stabilně. Podle metalografického průřezu však bylo svařování neúspěšné (viz obr. 3: 5).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím směsi písku a kalcinované sody (obr. 8) charakterizuje přítomnost vměstků tvořených dvěma fázemi – tmavě šedou fází s nižším obsahem železa (spektrum 26) a fází světle šedou (spektrum 25 a 27) s vyšším obsahem železa. Oproti vzorkům 2–4 mají též obě fáze zvýšený obsah sodíku. Podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 6.



Obr. 8: Snímek vzorku 5 (svařen za použití směsi písku a kalcinované sody) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavlišák

Tab. 6: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 8) vzorku 5

Obr. 8	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Total
Spectrum 24	10,3	0,95				0,23				0,4	88,13	100
Spectrum 25		42,22	9,21	0,72	2,74	20,55	1,87	0,92	0,18		21,59	100
Spectrum 26	10,89	52,14				36,54					0,43	100
Spectrum 27		48,13	8,38	1,05	5,41	26,72	2,22	0,35	0,54		7,19	100

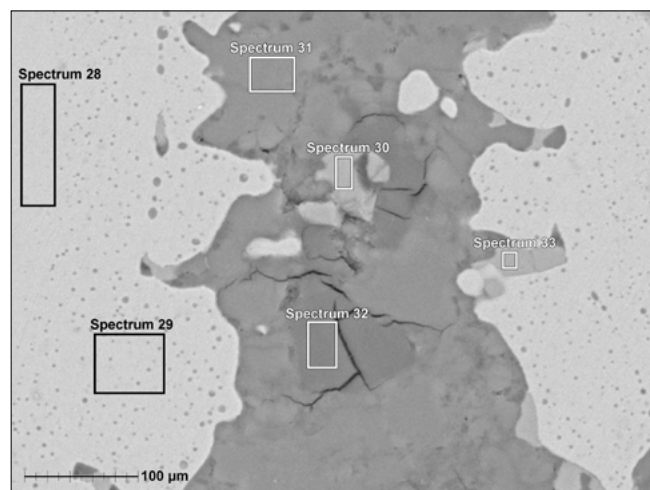
Vzorek 6 (písek a potaš)

Experimentální svařování

Budoucí svar byl zasypán směsí písku a *potáže* v poměru 1 : 1 a vzorek byl ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 900 °C (teplota tání čisté K_2CO_3 je 891 °C), kapalina měla dobrou tekutost (lepší než samotný písek) i smáčivost, chovala se stabilně. Nicméně v tomto poměru přísad se tavicí směs ukázala jako zcela neúčinná. Druhý svařovací pokus byl proveden s větším množstvím *potáže* (v poměru 2 : 1 vůči písku). Tato směs již byla zřetelně účinnější. V místě metalografického výbrusu je cca 60 % spoje svařeno (viz obr. 3: 6).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím směsi písku a *potáže* (obr. 9) charakterizují vměstky tvořené třemi fázemi – světle šedou fází (spektrum 30 a 33) s vyšším obsahem železa a dvěma fázemi s nižším obsahem železa a zvýšeným obsahem draslíku (tmavě šedá fáze, spektrum 32 a středně šedá fáze, spektrum 31). Pro podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 7.



Obr. 9: Snímek vzorku 6 (svařen za použití směsi písku a *potáže*) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavlišák

Tab. 7: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 9) vzorku 6.

Obr. 9	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe	Total
Spectrum 28	1,42				0,2	0,4		0,59	97,39	100
Spectrum 29	1,87					0,34		0,39	97,4	100
Spectrum 30	28,43	1,6			0,23	1,46	0,64	0,74	66,89	100
Spectrum 31	42,17		0,46	2,29	9,8	21,02		0,35	23,9	100
Spectrum 32	53,37			2,92	13,38	18,88	1,04		10,41	100
Spectrum 33	28,88				0,3	0,88	0,59	0,9	68,45	100

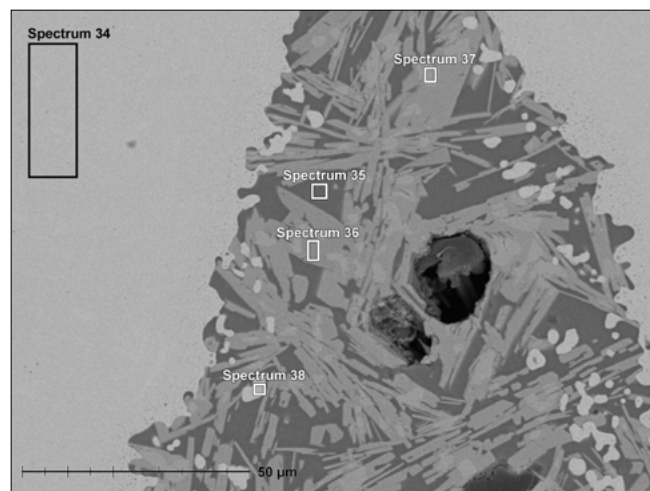
Vzorek 7 (písek a borax)

Experimentální svařování

Pro srovnání byla testována i kombinace písku a *boraxu*, která byla tradičně využívána ještě v nedávné minulosti. Budoucí svar byl zasypán směsí písku a *boraxu* v poměru 1 : 1 a vzorek byl ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo nejdříve bobtnalo (odpařování vody) a následně tálo při teplotě pod 800 °C (teplota tání čistého $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$ je 743 °C). Kapalina měla dobrou tekutost (lepší než písek samostatně) i smáčivost (nejlepší ze všech vzorků), chovala se stabilně. Podle metalografického průřezu bylo svařování úspěšné (viz obr. 3: 7).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím směsi písku a *boraxu* (obr. 10) charakterizují vměstky tvořené pravděpodobně třemi fázemi s výraznou krystalografickou strukturou. Světle a středně šedá fáze (spektrum 36 a 37) se projevuje vyšším obsahem železa, zatímco fáze tmavě šedá nižším obsahem železa a přítomností bóru (spektrum 35). Pro podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 8.



Obr. 10: Snímek vzorku 7 (svařen za použití směsi písku a *boraxu*) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavlišák

Tab. 8: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 10) vzorku 7

Obr. 10	B	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Mn	Fe	Mo	Total
Spectrum 34		12,21									0,52	87,27		100
Spectrum 35	15,21		44,1	12,3	0,29	0,72	4,26	0,29	0,91	3,55	0,47	17,4	0,49	100
Spectrum 36			32,1								0,38	67,52		100
Spectrum 37			37,25	6,44		0,37	1,86		0,35	1,42	0,47	51,82		100
Spectrum 38			35,54	6,07			1,49		0,34	1,07	0,42	55,07		100

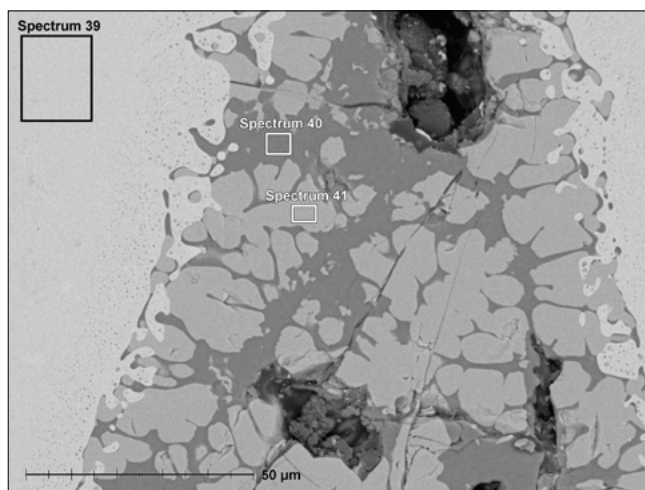
Vzorek 8 (železářská struska a kamenná sůl)

Experimentální svařování

Pro svařování byla využita stejná struska jako u experimentálně vyhotoveného vzorku č. 1 (viz tab. 1). Budoucí svar byl zasypan směsí drcené strusky a kuchyňské soli v poměru 1 : 1, přičemž sůl byla ale nejprve vyžihána při teplotě nad 150 °C, aby se zbavila vlhkosti. Poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 800 °C (teplota tání čistého NaCl je 801 °C), kapalina měla dobrou tekutost (lepší než písek samostatně) i smáčivost (lepší než samostatná struska), chovala se stabilně. Podle metalografického průzkumu však svařování úspěšné nebylo (viz obr. 3: 8).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím směsi železné strusky a kamenné soli (obr. 11) charakterizují vměstky tvořené dvěma fázemi – tmavě šedou fází s nižším obsahem železa (spektrum 40) a světle šedou fází (spektrum 41) s obsahem železa vyšším. Chlor v tomto případě nebyl detekován. Podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 9.



Obr. 11: Snímek vzorku 8 (svařen za použití směsi železářské strusky a kamenné soli) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavliňák

Tab. 9: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 11) vzorku 8

Obr. 11	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Mn	Fe	Total
Spectrum 39	12,27										0,46	87,28	100
Spectrum 40		40,8	1,08		4,92	11,62	1,97	0,13	0,81	31,47		7,2	100
Spectrum 41	5,72	25,37		0,55	0,48					0,5	0,51	66,86	100

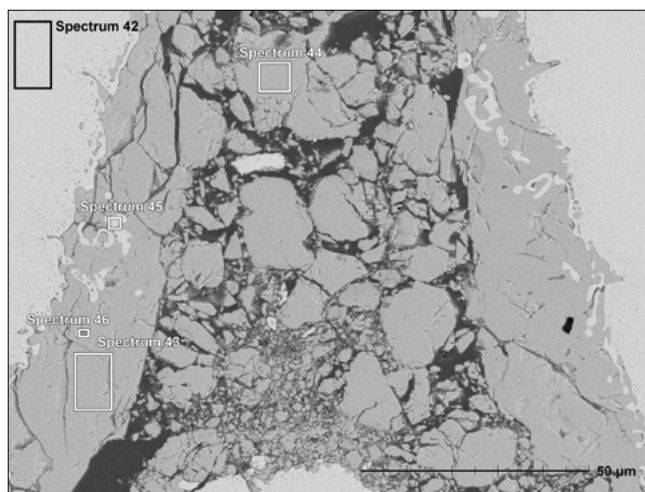
Vzorek 9 (samostatná kamenná sůl)

Experimentální svařování

Budoucí svar byl zasypan solí, která byla nejprve vyžihána při teplotě nad 150 °C, aby se zbavila vlhkosti. Poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 800 °C (teplota tání čistého NaCl je 801 °C), kapalina měla dobrou tekutost (lepší než písek samostatně) i smáčivost (lepší než samostatná struska), rychle se ale odpařovala. Při následujícím vzorkování se odříznutá část svaru rozpadla, ačkoli při odsekávání za tepla se vzorek jevil jako svařený. Svařování bylo i podle metalografického vzorku neúspěšné (viz obr. 3: 9)

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím kamenné soli (obr. 12) charakterizují vměstky tvořené jednou fází s vyšším obsahem železa (spektrum 43, 44 a 46). Chlor ani v tomto případě nebyl detekován. Pro podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 10.



Obr. 12: Snímek vzorku 9 (svařen za použití kamenné soli) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Foto: D. Pavliňák

Tab. 10: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 12) vzorku 9

Obr. 12	C	O	Si	P	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Total
Spectrum 42	11,07						0,49	88,44			100
Spectrum 43	7,31	28				1,49		63,2			100
Spectrum 44	6,35	28,62				1,51	0,41	63,11			100
Spectrum 45	12,54	3,7						78,14	3,01	2,62	100
Spectrum 46		34,11	2,49	1,24	0,63	9,56	0,48	51,49			100

Vzorek 10 (spraš)

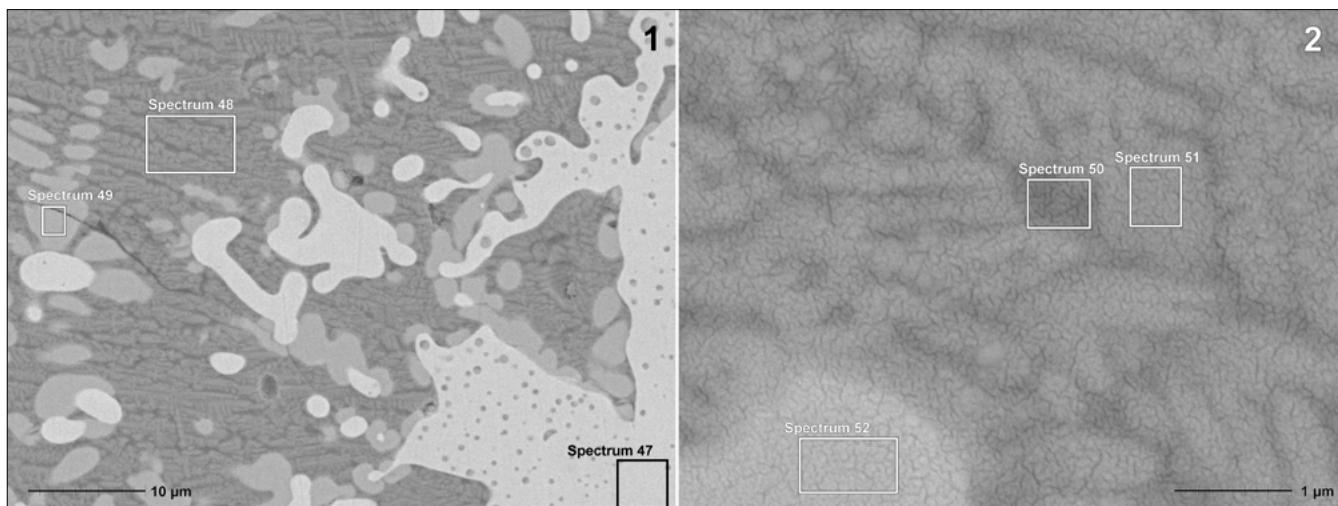
Experimentální svařování

Pro svaření byla použita spraš pravděpodobně kvartérního stáří ze zaniklé cihelny v Brně – Bosonohách (pro prvkové složení spraše viz tab. 1). Svařovaný předmět byl ponořen do tekuté suspenze spraše ve vodě a následně usušen nad ohněm. Poté byl vzorek ohřát na svařovací teplotu. Tavidlo tálo při teplotě přes 1000 °C, kapalina měla nízkou tekutost i smáčivost, chovala se stabilně. Podle metalografického průzkumu bylo svařování zcela úspěšné (viz obr. 3: 10).

Výsledky SEM analýzy

Vzorek svaru vyhotoveného s využitím spraše (obr. 13) charakterizují vměstky tvořené dvěma fázemi – světle šedou fází s vyšším obsahem železa (spektrum 49) a nižším obsahem doprovodných prvků a tmavě šedou fází (spektrum 48) s nižším obsahem železa. Podrobnější výsledky rozboru jednotlivých spekter viz tab. 11.

Pro lepší orientaci ve výše popsanych SEM měřeních byly prvkové hodnoty jednotlivých spekter přepočítány také na oxidy (tab. 12). Ze souhrnné tabulky byly vyřazeny nerelevantní přepočty kovových matic (spektra 1, 9, 16, 20, 24, 28, 29, 34, 39, 42, 47) a dutiny vyplněné lešticí pastou (spektrum 4).



Obr. 13: Snímek vzorku 10 (svařen za použití spraše) z rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM): 1 – detail vměstku; 2 – detail vměstku. Foto: D. Pavlíňák

Tab. 11: Výsledky měření jednotlivých spekter (viz také obr. 13) vzorku 10

Obr. 13:1	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Total
Spectrum 47	13,15	1,27									85,58	100
Spectrum 48		38	0,51	0,86	3,77	14,78	1,32	3,53	0,18		37,05	100
Spectrum 49	8,63	26,45			0,58	0,18			0,39	0,22	63,55	100

Obr. 13:2	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Total
Spectrum 50		38,25	0,91	0,78	5,01	15,41	1,92	4,64			0,34	32,75	100
Spectrum 51		37,37	0,64	0,8	3,82	14,67	1,47	3,85			0,37	37	100
Spectrum 52	8,85	26,49			0,77	0,49			0,34	0,24		62,82	100

DISKUZE

S ohledem na svůj rozsah a omezenou vypovídací hodnotu je nutno výsledky prezentovaného experimentu chápat pouze jako předběžné. Nicméně i přes svá omezení pokus jednoznačně potvrzuje vstupní předpoklad, že nejvhodnějším tavidlem pro kovářské svařování je směs snadno tavitelné látky s reaktivním aditivem (viz srovnání v tab. 13 a 14). Zjištění lze ilustrovat především kontrastem ve výsledcích užití směsi písku a kamenné soli (vzorek č. 3) a samotné kamenné soli (vzorek č. 9). Kamenná sůl je při nahřátí na vysoké teploty evidentně nestabilní, o čemž svědčí absence chloru ve vměstcích neúspěšně vyhotoveného svaru. Příliš dobře si ovšem nevedla ani tavidla bez aditiv. Prvková analýza ukazuje, že složení použité spraše a písku je velmi podobné

s výjimkou zvýšeného obsahu vápníku u spraše, který se ostatně na lokalitě odběru vzorku v bosonožské cihelně vizuálně projevuje výskytem vápničitých konkrécií. Výsledky samostatného užití železářské strusky a písku dopadly minimálně nepřesvědčivě (vzorek č. 1 a 2). U železářské strusky se zdá, že jako základ tavidla není zcela vhodná. Anomálií je však použití spraše (vzorek č. 10). Odlišné vlastnosti spraše coby tavidla v porovnání s chemicky velmi podobným pískem je pravděpodobně nutné přičíst její řádově nižší zrnitosti, vzhledem k jejímu eolickému původu bývá v velké části ve frakcích do cca 60 μm (Ložek et al. 2020, 150–151) a tím i snadnější tavitelnosti oproti písku.

Tab. 12: Souhrn výsledků SEM měření jednotlivých spekter přepočtených na oxidy (s výjimkou nerelevantních přepočtů spekter kovových matic a dutiny vyplněné leštící pastou)

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	FeO	Na ₂ O	Cl	Cu	Ni	B
Spektrum 2	2,8	12	30,1	2,3	1,3	15,1	0,6	0	0,5	35,3	0	0	0	0	0
Spektrum 3	0	14,5	29	2,5	1,3	14,4	0,7	0	0	37,6	0	0	0	0	0
Spektrum 5	2,2	4,8	9,7	0	0,4	4,7	1,1	0,6	0,3	76,3	0	0	0	0	0
Spektrum 6	2,8	12,8	32,9	2,5	1,4	16,6	0,8	0	0	30,2	0	0	0	0	0
Spektrum 7	2,6	10,9	28,4	2,3	1,3	14,4	0,7	0	0	39,4	0	0	0	0	0
Spektrum 8	2,7	12,7	33,1	2,6	1,5	16,9	0,5	0	0,7	29,4	0	0	0	0	0
Spektrum 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Spektrum 11	0,5	4,3	32,3	0	2,3	3,3	0	0	0,9	55,6	0,8	0	0	0	0
Spektrum 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	99,4	0	0	0	0	0
Spektrum 13	0,4	3,9	33,3	0	2,7	6,6	0	0	0,9	51,1	1,2	0	0	0	0
Spektrum 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	0	0	4,1	2,9	0
Spektrum 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95,7	0	0	3,1	1,2	0
Spektrum 17	0,6	11	46,5	0	4,7	0,8	0	0	0	31,9	4,2	0,3	0	0	0
Spektrum 18	0	19	62,7	0	9,3	0	0	0	0	3,9	5,1	0	0	0	0
Spektrum 19	0	3,6	13	0	1,2	0	0	0	0,5	80	1,6	0	0	0	0
Spektrum 21	0	21,6	60,8	0	12,6	0	0	0	0	1,4	2,9	0,6	0	0	0
Spektrum 22	3,4	10,7	49,4	0	5,7	4,4	0,6	0	0	24	1,6	0,3	0	0	0
Spektrum 23	0	1,9	92,1	0	2	0,6	0	0	0	3	0,5	0	0	0	0
Spektrum 25	1,3	5,5	46,6	0	2,4	1,4	0,3	0	0	29,4	13,2	0	0	0	0
Spektrum 26	0	0	99,3	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0
Spektrum 27	1,9	10,9	61	0	2,9	0,5	1	0	0	9,9	12,1	0	0	0	0
Spektrum 30	0	0	0,5	0	1,9	1	0	0	1	93,2	2,3	0	0	0	0
Spektrum 31	0,9	5,2	25,4	0	30,7	0	0	0	0,5	37,2	0	0	0	0	0
Spektrum 32	0	7,7	39,9	0	31,7	2	0	0	0	18,7	0	0	0	0	0
Spektrum 33	0	0	0,7	0	1,2	0,9	0	0	1,3	96	0	0	0	0	0
Spektrum 35	0,7	1,9	12,6	0,9	1,5	6,9	0	0	0,8	30,9	22,9	0	0	0	21
Spektrum 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	99,4	0	0	0	0	0
Spektrum 37	0	0,8	4,8	0	0,5	2,4	0	0	0,7	80,3	10,5	0	0	0	0
Spektrum 38	0	0	3,8	0	0,5	1,8	0	0	0,6	83,7	9,7	0	0	0	0
Spektrum 40	0	9,8	26,3	4,8	1	46,6	0	0	0	9,8	1,5	0	0	0	0
Spektrum 41	1	1	0	0	0	0,8	0	0	0,7	96,4	0	0	0	0	0
Spektrum 43	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	97,5	0	0	0	0	0
Spektrum 44	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0,6	96,8	0	0	0	0	0
Spektrum 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97,5	0	0	2,5	0	0
Spektrum 46	0	0	6	3,2	0,9	15	0	0	0,7	74,3	0	0	0	0	0
Spektrum 48	1,5	7,5	33,2	0	1,7	5,2	0,3	0	0	50	0,7	0	0	0	0
Spektrum 49	0	1,3	0,5	0	0	0	0,8	0	0	97,5	0	0	0	0	0

Tab. 13: Parametry a chování tavidel při experimentu

vzorek č.	složení tavidla	poměr složek	aplikace tavidla	tekutost tavidla	smáčivost tavidla	stabilita tavidla	nejnižší teplota tání směsi [°C]	makroskopická kvalita svaru*
1	hutnická struska		posyp	dobrá	nízká	vysoká	cca 1100	nesvařeno
2	písek		posyp	nízká	nízká	vysoká	přes cca 1200	svařeno
3	NaCl + písek	1:1	posyp	dobrá	dobrá	dobrá	cca 800	svařeno
4	KCl + písek	1:1	posyp	dobrá	dobrá	dobrá	cca 800	svařeno
5	Na ₂ CO ₃ + písek	1:1	posyp	velmi dobrá	dobrá	dobrá	cca 850	svařeno
6	K ₂ CO ₃ + písek	2:1	posyp	velmi dobrá	dobrá	dobrá	cca 900	svařeno
7	Borax + písek	1:1	posyp	velmi dobrá	velmi dobrá	vysoká	cca 800	svařeno
8	NaCl + hut. struska	1:1	posyp	velmi dobrá	dobrá	vysoká	cca 800	svařeno
9	NaCl		posyp	velmi dobrá	dobrá	nízká	cca 800	nesvařeno
10	kvartérní spraš		namočení do suspenze	nízká	nízká	vysoká	cca 1000	svařeno

*soudržnost odříznutých částí vzorku

Tab. 14: Hodnocení svarů v místě výbrusu

vzorek č.	složení tavidla	obr.	svařenost v % (odhad) v místě výbrusu
1	hutnická struska	3:1	0
2	písek	3:2	10
3	písek + NaCl	3:3	90
4	písek + KCl	3:4	25
5	písek + Na ₂ CO ₃	3:5	0
6	písek + K ₂ CO ₃	3:6	60
7	písek + borax	3:7	100
8	hut. struska + NaCl	3:8	0
9	NaCl	3:9	0
10	spraš	3:10	100

Co se týče ostatních směsí, nejlépe dopadla podle předpokladu směs písku a boraxu (vzorek č. 7). Na druhém místě se umístila směs písku a kamenné soli (vzorek č. 3) následována směsí písku a potaše (vzorek č. 6), částečný úspěch zaznamenala i směs písku a draselné soli (vzorek č. 4), horší výsledky zaznamenala směs písku a kalcinované sody (vzorek č. 5). Tyto výsledky ukazují, že jako aditiv stejně jako základů tavidel lze použít několika různých surovin, ovšem kamenná sůl a potaš v tavicí směsi významně zlepšuje její efektivitu. V prvním případě je tento fakt nejspíše důsledkem schopnosti taveniny soli rozpouštět oxidy železa. Chloridy jsou totiž v roztaveném stavu obecně vůči kovům agresivnější než soli jiných kyselin (Song 2020, 3–4). Jak naznačuje druhý případ, podobně zřejmě fungují i roztavené produkty termického rozkladu uhličitánů (zde především K₂O). Překvapivý výsledek přineslo užití spraše (vzorek č. 10), která se v průběhu vlastního svařování projevovala ne zcela ideálními vlastnostmi (nízká tekutost a smáčivost), nicméně výsledek byl alespoň v místě analyzovaného výbrusu přesto jeden z nejlepších. Vzhledem ke zvolené metodice experimentu, tzn. hodnocení podle soudržnosti odříznutých částí vzorků (svar se při odřezávání rozpadl, či nerozpadl), respektive analýzy kvality svaru v místě metalografického výbrusu, je žádoucí výsledky experimentu v budoucnu dále prověřovat. I s ohledem na metodická a kvantitativní omezení však můžeme jako neúspěšnější tavicí směs složenou z historicky dobře dostupných látek pro kovářské svařování vyhodnotit kombinaci písku a kamenné soli (vzorek č. 3), která nejenže vykazovala jedny z nejlepších vlastností, ale zároveň byly obě její složky relativně snadno dostupné ve všech relevantních historických obdobích.

Co se týče detekce zbytků tavidla ve svarech, v případě tavidel bez aditiv se ukazuje s pouhým využitím SEM EDX prakticky nemožná (tavidla půjdou jen těžko odlišit od běžných hutnických vměstků). U směsí s aditiv, která ve všech případech obsahují sodný, resp. draselný kationt, dochází nepochybně k navýšení obsahu těchto prvků oproti obsahům v původní matici, ale vzhledem k mezím detekce byl u našich měření těžko rozpoznatelný s výjimkou řádového navýšení obsahu draslíku u vzorku č. 7 (písek a potaš). Zvýšený obsah bóru u aditiva boraxu je vzhledem k nízkému protonovému číslu prvku (5) na hranici možností SEM detekce, boraxové vměstky strusky mají ovšem oproti ostatním unikátní strukturu, která

je umožňuje odlišit i krystalograficky (obr. 10). Jako poměrně nadějný se ukazuje detekovaný zbytkový obsah chloru (tento prvek se jinak na prvkovém pozadí nevyskytuje) v jedné či obou fázích vměstků u chloridových tavidel (vzorky č. 3 a č. 4). Výjimkou je v tomto pohledu vzorek č. 8, kde byla jako základ použita železářská struska. Je pravděpodobné, že absence chloru při měření je zde následkem termického rozkladu soli při vysoké svařovací teplotě a ukazuje, že použití chloridového tavidla nemusí být za všech okolností tímto způsobem detekovatelné. Celkově se ale přítomnost chloru ve vměstcích u chloridových tavidel zatím jeví jako nejslibnější. Prezentovaným způsobem od sebe sice nelze analyticky odlišit chlorid sodný a draselný, ovšem tyto soli se často v přírodě vyskytují ve směších a mají i podobné chemické a fyzikální vlastnosti (Toužín 2008, 29). Výsledky ukazují, že byla-li sůl součástí tavicích směsí v minulosti, toto aditivum může být detekovatelné prostřednictvím prvkové analýzy artefaktů někdejší kovářské produkce.

ZÁVĚR

Primárním úkolem prezentovaného experimentu bylo ověření využitelnosti různých historicky snadno dostupných tavidel a jejich směsí jako očišťovacího prostředku při kovářském svařování. Na přehnutém ocelovém prutu o tloušťce 5 mm bylo celkem vyhotoveno deset experimentálních svarů s tavidly obsahujícími 1. železářskou strusku, 2. písek, 3. směs písku a kamenné soli, 4. směs písku a draselné soli, 5. směs písku a kalcinované sody, 6. směs písku a potaše, 7. směs písku a boraxu, 8. směs strusky a kamenné soli, 9. samostatně použitá kamenná sůl a 10. spraše ve formě suspenze.

V druhé fázi byly provedeny metalografické výbrusy, které vyhodnotily hodnotu svarů a SEM EDX analýzu zbytkových vměstků ve svarech. Co se týče úspěšnosti svaření, jako nejperspektivnější se kromě směsí písku s boraxem (který je v dnešní době preferován, ale v dobách před průmyslovou revolucí byl buď těžko dostupný, nebo neznámý) ukázaly směsi písku a kamenné soli. Jako využitelná se ovšem jevila i samotná spraš, teoreticky uvažovat lze i o kombinaci písku a potaše. Výsledky SEM EDX analýzy ilustrovaly, že odlišit tavidla v podobě písku, spraše a strusky bude od běžné hutnické strusky nemožné, u aditiv potaše a sody problematické, zatímco chloridová aditiva zanechávají většinou ve vměstcích stopy zbytkového chloru. Závěrem je možno konstatovat, že kovářské svařování je možno realizovat s využitím většího množství historicky dostupných surovin a směsí coby tavidel. Úspěšné byly v našem experimentu především směsi s aditiv. Z hlediska možné detekce tavidel u historických předmětů a archeologických artefaktů jsou nadějná tavidla s chloridy, jež se projevují při mikroanalýze přítomností zbytkového chloru. U archeologizovaných předmětů bude ale nutné vyloučit možnost kontaminace vměstků chlorem z vnějšího vlivem korozních procesů.

Předložená práce vznikla za finanční podpory výzkumného programu Akademie věd České republiky Strategie AV21 s podtitulem Nová anatomie Evropy a institucionální podpory RVO: 68081758 Archeologického ústavu AV ČR, Brno.

LITERATURA

Ambrož, O. – Kubíček, J. – Kandus, B. 2001: Technologie svařování a zařízení. Ostrava: Česká svářečská společnost.

Bárta, P. 2011: Některé historické techniky zdobení kovů z pohledu řemeslníka. In: R. Ševčík, J. Příhoda (ed.): Muzea, památky a konzervace – Sborník příspěvků z konference. Brno: Masarykova univerzita, 78–80.

Ložek, V. – Cílek, V. – Lisá, L. – Bajer, A. 2020: Geodiverzita a hydrodiverzita: základy přírodních a kulturních hodnot naší krajiny, její současná proměna a možný budoucí vývoj v antropocénu. Praha: Dokořán.

Nový, L. 1974: Dějiny techniky v Československu do konce 18. století. Praha: Academia.

Pleiner, R. 1962: Staré evropské kovářství. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd.

Semerák, G. – Bohmann, K. 1977: Umělecké kovářství a zámečnictví. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

Song, X. 2020: Review on Thermophysical Properties and Corrosion Performance of Molten Salt in High Temperature Thermal Energy Storage. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 474, 1–7.

Toužín, J. 2008: Stručný přehled chemie prvků. Brno: Masarykova univerzita.

Wisniak, J. 2005: Borax, Boric acid, and Boron—From exotic to commodity. Indian Journal of Chemical Technology 12/4, 488–500.

Woods, W. G. 1994: An Introduction to Boron: History, Sources, Uses, and Chemistry. Environmental Health Perspectives 102/7, 5–11.

PATRICK BÁRTA, Archeologický ústav AV ČR, Brno, v.v.i., Čechyňská 363/19, 602 00 Brno, barta@arub.cz
MICHAL HLAVICA, Archeologický ústav AV ČR, Brno, v.v.i., Čechyňská 363/19, 602 00 Brno, hlavica@arub.cz

Adresář autorů

Mgr. Patrick Bárta

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
barta@arub.cz

Ing. Hana Grison, Ph.D.

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.
Environmentální a aplikovaná geofyzika
Boční II/1401, 141 00 Praha 4 – Spořilov
grison@ig.cas.cz

Mgr. Michal Hlavica, Ph.D.

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
hlavica@arub.cz

Mgr. Petr Holub

Národní památkový ústav
Územní odborné pracoviště v Brně
náměstí Svobody 8, 601 54 Brno
holub.petr@npu.cz

Mgr. Petr Kos

Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i.
Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno
kos@uapp.cz

RNDr. Roman Křivánek

Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i.
Oddělení informačních zdrojů a archeologie krajiny
Letenská 123/4, 118 00 Praha – Malá Strana
krivanek@arup.cas.cz

Michael Lebsak, MA

Archeologický ústav AV ČR Brno, v.v.i.
Čechyňská 363/19, 602 00 Brno
lebsak@arub.cz

MgA. Peter Majoroš

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování v Litomyšli
Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl
peter.majoroskrafcik@gmail.com

Mgr. Ondřej Merta

Technické muzeum v Brně
Purkyňova 105, 612 00 Brno
merta@technicalmuseum.cz

Mgr. Roman Mikulec

Masarykova univerzita
Filozofická fakulta
Ústav archeologie a muzeologie
Arna Nováka 1/1, 602 00 Brno
472045@mail.muni.cz

PhDr. Ing. Jaroslava Neubauerová, Ph.D.

Banické muzeum v Rožňave
Šafárikova 31, 048 01 Rožňava, Slovensko
banictvo@banmuz.sk

Mgr. Michal Přichystal

Ústav archeologické památkové péče Brno, v.v.i.
Kaloudova 1321/30, 614 00 Brno
prichystal@uapp.cz

Mgr. Dominik Talla, Ph.D.

Institut für Mineralogie und Kristallographie
Fakultät für Geowissenschaften und Astronomie
Universität Wien
Althanstraße 14 (UZA 2), A-1090 Wien, Rakousko
sutrar@volny.cz