

Eksperimentalna arheologija: poskus pridobivanja železa po železnodobnih postopkih s Štalce

Janez Rihtaršič
Andrej Bogataj
Bojan Rihtaršič

Uvod

Izkušnje preteklih poskusov pridobivanja železa po železnodobnih postopkih so še bolj poglobila občudovanje takratnih prebivalcev Selške doline. Njihovemu znanju se danes lahko le čudimo in ga morda tudi zato tako pogosto povezujemo s čarovništvom in mitologijo. Šele ob zavedanju, da so bile njihove aktivnosti tako kot danes povezane z racionalnim ter pragmatičnim vsakodnevnim delom, ki je omogočalo preživetje, se pričnemo spraševati,

kako so potekali procesi, ki so jih železarski mojstri skozi več generacij izpopolnjevali do stopnje, ki jo danes kljub mnogo obsežnejšemu vedenju s področja metalurgije le težko dosežemo. Na podlagi predmetnih ostankov (Bogataj et al. 2013) skušamo v Muzejskem društvu Železniki s sistematičnim eksperimentalnim pristopom poustvariti te ostanke in tako potrditi ali ovreči številne predpostavke o takratni železarski dejavnosti. V prispevku je tako predstavljen proces od priprave železove rude do izdelave končnega izdelka.

Ključne besede: bobovec, talilna peč, volk, železna doba, Štalca

Fužinarskih dni leta 2019, ki so potekali junija v Stari Fužini, smo se udeležili z namenom dobiti odgovore na vprašanja, ki so se nam kot radovednim otrokom porajala po lanskoletnem taljenju ter kovanju volka (Rihtaršič et al. 2018). Sicer skromen uspeh v obliki kocke 34 x 35 x 40 mm kovnega železa, ki smo ga pridobili iz polovice volka, je vzpodbudil željo po novih spoznanjih ter še boljšem izplenu v letu 2019. Tako so bili postavljeni sledeči trije pogloblitveni cilji letošnjega taljenja:

- Taljenje lokalne železove rude, imenovane bobovec.
- Vpliv velikosti peči na učinkovitost taljenja ter velikost volka.
- Zamrznitev peči za identifikacijo oblike ter pozicije volka in vrste žilindre v peči.

Potrditev spoznanj tega taljenja pa smo nato testirali s ponovnim taljenjem dva meseca kasneje na Češnjici v Železnikih.

Naj kratko pojasnimo bralcem, ki se prvič srečujejo s to snovjo, da je bobovec ruda, ki jo najdemo tudi po pobočjih od Soriške planine, Ratitovca ter Jelovice in so jo najverjetneje uporabljali v železnodobnem naselju Štalca za pridobivanje železa. Naprave za pridobivanje železa zaradi relativno nizke velikosti in posledično nižjih temperatur imenujemo peči. V njih ne dobimo tekočega železa kot v plavžih, pač pa se atomi železa spajajo v žarečo gmoto, ki jo imenujemo volk. Čeprav železa pri tem postopku dejansko ne talimo, zaradi splošne sprejetosti v prispevku za poimenovanje procesa pridobivanja železa uporabljamo izraz taljenje. Volk je

porozen in vsebuje mnogo nečistoč. Zato ga je treba večkrat segrevati ter kovati, da dobimo kompakten ter homogen kos železa. Takšen kos kovnega železa imenujemo ingot in je pripravljen, da ga nadalje prekujemo v končni izdelek. Žilindra je tekoči produkt taljenja, ki poleg ostalih elementov največkrat še vedno vsebuje delež železa, ki pa zaradi svoje krhkosti ni uporaben.

Bobovec

Bobovec smo skozi celo leto nabirali po pobočjih Ratitovca, Dražgoške gore in v okolici Kroke. Ker smo nabrali dovolj veliko količino bobovca za taljenje le v okolici Kroke, smo za letošnje taljenje uporabili prav tega (slika 1). Da bo omogočena primerjava s taljenjem iz leta 2018, kjer je bila uporabljena limonitna ruda iz rudnika Ljubilja iz Bosne, smo ga talili v peči enakih dimenzij. Tako je bila višina peči 80 cm, notranji premer ob vnožju peči 25 cm in notranji premer ob vrhu 15 cm. Limonitni rudi iz rudnika Ljubilja iz Bosne in Hercegovine silicija v obliki drobljenega kremenca nismo dodajali, medtem ko smo rudi bobovec pri vsakem polnjenju dodajali 1 g drobljenega kremenca. Enak delež kremenca smo dodajali tudi magnetitni rudi, ki jo je priskrbel organizator festivala v Stari Fužini in smo jo uporabili v večji peči. S tem preizkusom smo testirali, v kolikšni meri sta potek taljenja in rezultat odvisna od vrste rude.



Slika 1. Pri praženju bobovca se izloča vodna para (levo). Masa rude bobovec se je po praženju znižala s 30 kg na 25,8 kg ter se je obarvala rdeče in postala krhka. Praženo rudo smo nadalje drobili v možnarju in sejali na velikost premera < 4 mm (desno). Foto: S. Benedičič

Na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije so opravili kemijsko analizo rud pred praženjem in po njem (tabela 1). Ruda, najbolj bogata z železom, je bila magnetitna ruda, s katero smo dobili tudi

najtežjega volka, vendar pogoji taljenja zaradi večje peči niso bili enaki, kar je lahko vplivalo na potek in izplen taljenja.

Tabela 1: Kemijska sestava uporabljenih rud za taljenje pred in po praženju. Vir: J. Burja.

	% Ba	% As	% Zn	% Ni	% Mn	% Cr	% V	% Ti	% Ca	% K	% Al	% P	% Si	% Mg	% Fe	Bal % (O)
Bobovec	/	0,32	0,05	0,09	/	0,11	0,03	/	0,20	0,15	0,67	0,07	0,79	/	63,32	34,20
Pražen bobovec	/	0,33	0,04	0,06	/	0,11	0,02	/	0,22	0,16	0,71	0,06	0,87	/	69,15	28,27
Limonitna ruda	0,08	0,03	0,03	0,07	7,1	0,09	/	/	0,1	0,39	0,38	0,06	0,5	/	57,07	34,1
Pražena limonitna ruda	0,04	/	/	/	1,8	0,09	/	/	0,07	0,18	0,27	0,27	0,49	/	67,79	29
Magnetitna ruda	/	/	/	/	0,09	0,11	0,13	0,66	0,36	0,36	0,84	/	2	1,7	70,75	23
Pražena magnetitna ruda	/	/	/	/	0,11	0,12	0,16	0,28	0,51	0,29	0,64	/	1,2	1,2	71,49	24

Velikost peči

Da zaradi več spreminjajočih se parametrov ne bi zameglili njihovih vplivov, smo se odločili sočasno postaviti dve peči različnih velikosti. To ambiciozno odločitev je bilo mogoče izpeljati, saj so se že uigrani ekipi lanskoletnih železarjev pridružili še Stane Hajdinjak, Matjaž Jelenc ter Klemen Čufar (slika 2 zgoraj). Pri taljenju v Železnikih pa je sodeloval še Matija Benedičič (slika 2 spodaj). Ob predpostavki, da se nekoč zrak vpihovali z mehovi, ter oceni, da je samo taljenje potekalo okoli 5 ur, sta za posamezno peč morala skrbeti najmanj 2 železarja, ki sta se menjala pri vpihovanju zraka, zalaganju in vzdrževanju peči.

Pretekli taljenji, ki smo jih opravili v letih 2017 in 2018 (Rihtaršič et al. 2018), sta pokazali znatno razliko pri učinkovitosti taljenja, ko smo višino peči povečali s 60 na 80 cm. Zato smo se v letošnjem letu odločili pri eni peči ohraniti velikost 80 cm, drugo peč pa povišati na 100 cm. Na pobočju najdišča Štalca so bili najdeni številni ostanki, ki jih glede na obliko lahko povežemo z volkovi in so danes razstavljeni v Muzeju v Železnikih. Največji izmed njih je dimenzij 30 x 22 x 18 cm ter tehta 9,65 kg (slika 3). Posledično smo pri peči višine 100 cm tudi povečali notranji premer ob vznožju s 25 cm na 30 cm, medtem ko je ob vrhu peči ostal notranji premer 15 cm (slika 4 levo). S tem poskusom smo testirali, kako



Slika 2. Zgoraj taljenje v Stari Fužini: večja in manjša peč s fužinarji; od leve proti desni zgoraj: Simon Benedičič, Stane Zgaga, Matjaž Jelenc, Andrej Bogataj, Klemen Čufar; spodaj: Janez Rihtaršič, Bojan Rihtaršič, Ivan Marija Hrovatin (manjkata Stane Hajdinjak in Rudi Rejc). Foto: M. Mezek. Spodaj taljenje na Češnjici: spredaj kovaško ognjišče za segrevanje volka med procesom kovanja v ingot. V ozadju fužinarji, od leve proti desni: Rudi Rejc, Bojan Rihtaršič, Klemen Čufar, Janez Rihtaršič, Matija Benedičič, Stane Hajdinjak ter Andrej Bogataj. Foto: S. Benedičič

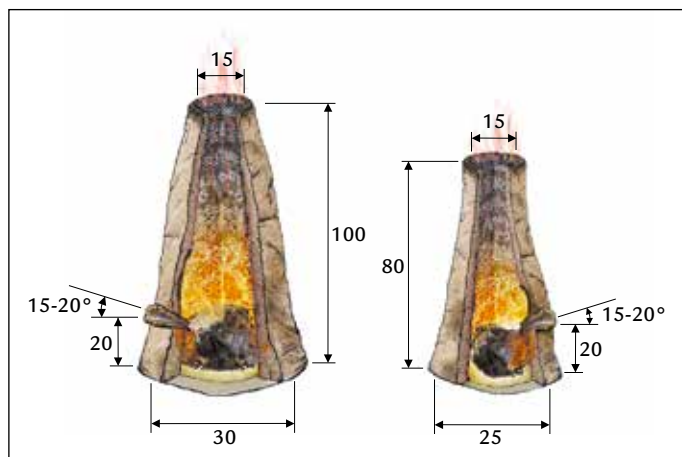
velikost peči vpliva na kapaciteto oz. na velikost samega volka.

Pri peči višine 80 cm je bila debelina stene med 5 do 8 cm, medtem ko je bila pri peči višine 100 cm debelina stene med 6 in 10 cm. Tako smo za manjšo peč porabili približno 44 dm³ gline, za večjo peč pa približno 79 dm³ gline. Predhodno smo glino že

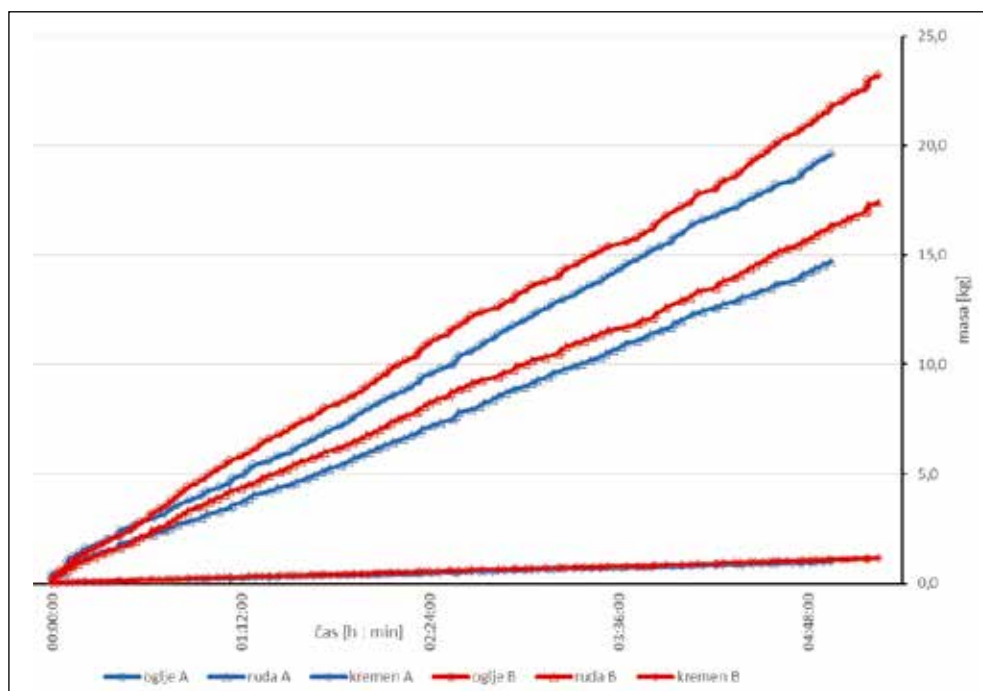
pregnetli, ob sami gradnji pa smo ji dodajali suho travo dolžine 5 do 15 cm. Ker sta obe peči prestali taljenje brez večjih razpok, sklepamo, da dolžina armaturne trave ni imela vpliva na vzdržljivost peči. Pri nižji peči s tanjšimi stenami je proti koncu taljenja ogenj prebil steno peči na mestu, ki je bilo nasproti šobi za vpih zraka (slika 4 desno). Ta po-



Slika 3. Volk z železnodobnega najdišča Štalca dimenzij 30 x 22 x 18 cm ter mase 9,65 kg. Vir in foto: A. Bogataj. Zgoraj je vidna vdolbina, ki je verjetno nastala kot posledica vpihovanja zraka. Spodaj je močno porozna struktura, kjer so v žilindri vidni sledovi odtisov neizgorelega oglja.



Slika 4. Prerez obeh peči s pozicijo šobe za vpih zraka (levo) [risba: B. Rihtaršič] in preboj ognja sredi stene manjše peči nasproti šobe za vpih zraka (desno). Foto: S. Benedičič



Slika 5. Časovni potek nalaganja rude, oglja ter kremenja v peč: A – peč višine 80 cm (modre krivulje) in B – peč višine 100 cm (rdeče krivulje). Iz enakomernega doziranja je razvidno enakomerno gorenje skozi celoten proces taljenja.

škodba ni bila kritična in se je enostavno zaprla z nanosom dodatnega sloja gline.

Pri obeh pečeh je bila spodnja stran šobe za vpihovanje zraka cca. 20 cm nad tlemi in obe šobi sta cca. 3 cm gledali v notranjost peči. Izstopni rob šobe je bil v večji peči staljen do površine prav tako staljene stene peči, medtem ko je v manjši peči notranji rob obstal (slika 7 levo).

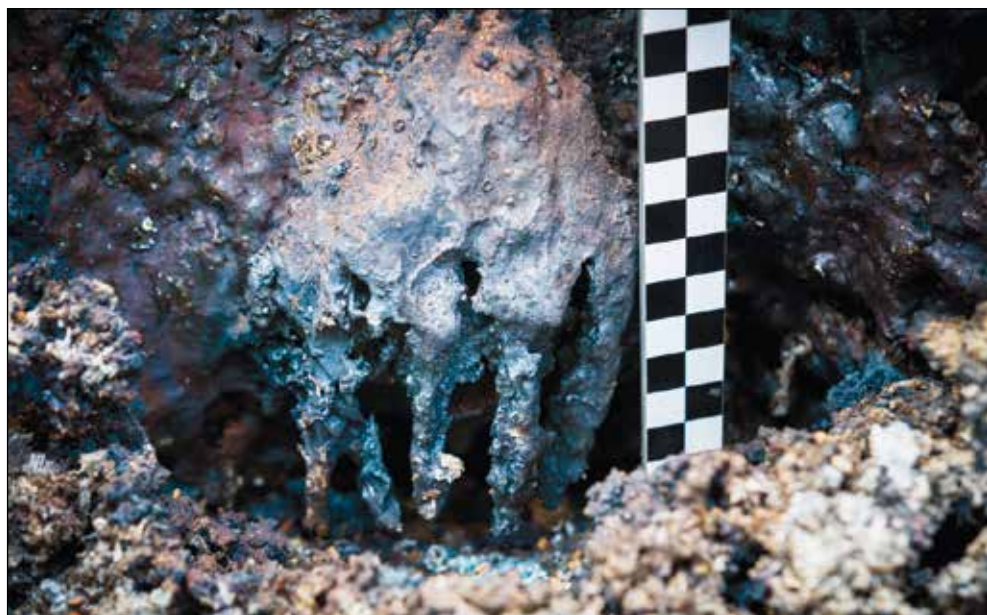
Proces taljenja je spočetka potekal hitreje v manjši peči. Vendar se je tudi večja peč hitro segrela na delovno temperaturo in je po približno pol ure taljenja porabi rudo ter oglja prehitela manjšo peč (slika 5). Po petih urah taljenja, ko smo manjšo peč prenehali zalagati, jo je preseglala za 1,5 kg pražene drobljene rude. Večjo peč smo zalagali 15 minut dlje kot manjšo in porabili celotno količino 17,4 kg pražene ter drobljene magnetitne rude, medtem ko smo v manjši peči porabili 14,7 kg pražene ter drobljene rude – bobovca.

Ob peči sta ob koncu taljenja še bili sposobni za nadaljnje zalaganje in iz tega vidika odgovora o maksimalni kapaciteti posamezne peči nismo dobili.

Zamrznitev peči

Namen zamrznitve peči, kot smo poimenovali postopek počasnega ohlajanja in kontroliranega podiranja peči v hladnem stanju, je določitev pozicije volka ter žlindre v peči. Nadalje nam omogoča identifikacijo oblike volka in tipa žlindre, ki nastaja med procesom taljenja. Kljub temu, da to pomeni odpoved spektakularnemu razdiranju peči in izveliku žarečega volka, je ta žrtev pomembna s stališča primerjave ter razumevanja najdb na Štalci. Zaradi bolj avtentične primerjave z ostanki s Štalce smo za zamrznitev določili manjšo peč višine 80 cm, kjer smo za rudo uporabili lokalno rudo – bobovec.

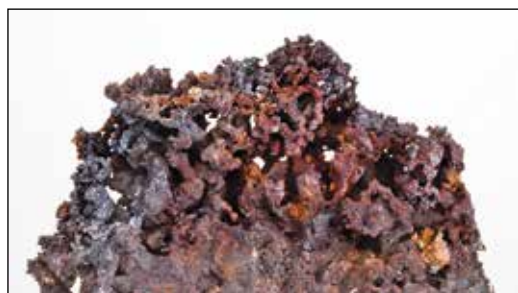
Ostanki staljene žlindre so se v največji množini nahajali med ogljem proti dnu peči, kjer so se ohladili in se držali spodnjega dela volka, ter na steni peči okoli in nad šobo za vpih zraka. Sledovi staljenih sten izginejo proti vrhu peči (slika 6 levo zgoraj). Zaradi 10- do 15-stopinjskega nagiba šobe proti dnu peči (slika 6 desno zgoraj) je žlindra tek-



Slika 6. Prerez peči nakazuje veliko toplotno obremenitev sten okoli šobe, ki povzroča njihovo taljenje (levo zgoraj). S tem, da šoba sega dobre 3 cm v notranjost peči, preprečuje izstop zraka ob steni peči in s tem tudi nekoliko zmanjša toplotno obremenjenost sten. Volk je pozicioniran tik pod šobo in leži proti sredini peči. Med volkom ter dnom je približno 7 cm velik prostor, ki je bil napolnjen z nezgorelim ogljem. Šoba ima nagib 10 do 15 stopinj proti dnu peči in je od njega na spodnjem robu oddaljena približno 20 cm (zgoraj desno). Žlindra s sten in rude teče po šobi in kaplja na volka, ki je 2 do 3 cm pod šobo (spodaj). Foto: S. Benedičič



Slika 7. Volk je lociran pod šobo (levo). Na zgornji strani volka se nahaja "koralna" struktura, ki je polkrožno razporejena okoli šobe (desno). Foto: S. Benedičič



Slika 8. Slika zgoraj: volk. Na levi strani volka so ostanki stene peči, spodaj se volk meša z ostanki oglja ter žlindre. Na vrhu ima volk polkrožno koralno strukturo premera 20 cm. Slika spodaj levo: tlorisni pogled na porozno "koralno" strukturo. Slika spodaj desno: ostanki žlindre, pomešane z ogljem. Foto: A. Bogataj

la proti izstopnemu robu šobe. Tu se je formirala v obliko kapnikov in po njih kapljala na volka (slika 6 spodaj). Če teh kapnikov ne bi sproti odstranjevali s palico skozi šobo, bi se le-ta s časom lahko zamašila in bi s tem prekinili proces taljenja. Pred ohlajanjem šoba ni bila zamašena, tako da so ti kapniki s fotografije nastali med ohlajanjem peči.

Na sliki 7 levo opazimo, da se volk drži stene peči na strani šobe, medtem ko je bilo na nasprotni strani med volkom ter steno peči oglje (slika 7 desno). Volk je imel na vrhu polkrožni greben, ki po obliki spominja na korale in je bil v enakomernem radiju oddaljen od mesta vpiha (slika 7 desno). Struktura, ki po izgledu spominja na koralni greben, se nahaja med obema črtkanima črtama. Te korale so krhke in nakazujejo proces spajanja atomov železa, preden se dokončno združijo v volku (slika 8 levo spodaj). Metalografska analiza "koralne" strukture razkriva velika zrna ferita z vključki oglja in žlindre [vir: J. Burja]. Verjetnost, da bi takšen ostanek našli na Štalci, je majhna, saj so "koralni" izrastki porozni in bi v tem obdobju izginili. Če pa so segreto gmoto takoj obdelovali, se je pri tem "koralna" struktura spojila z volkom ali pa je odpadla stran.

Čisto na dnu peči so ostanki nezgorelega oglja, kjer med ogljem ni bilo opaziti tekoče žlindre.

Ta morda zaradi višine šobe ni dosegla dna peči, ampak se je pri tvorjenju voka spuščala v prazne prostore med ogljem, kjer se je ohladila in strdila. Takšna žindra je sprijeta na spodnji strani z volkom oziroma z ostalo žindro okoli volka (slika 8 zgoraj). Takšno žindro je v večji množini možno najti tudi po pobočju Štalce (slika 8 spodaj desno).

Rezultat taljenja v Stari Fužini 2019

Medtem ko smo manjšo peč višine 80 cm (bobovec) pustili počasi ohlajati, smo večjo peč višine 100 cm (magnetitna ruda) pred razdiranjem s povečanim vpihom močno segreli (slika 9 levo). Volk smo izvlekli in ga na tnalu kovali z lesenimi kladivi (slika 9 desno). S tem smo ga nekoliko očistili zunanjih primesi ter ga nekoliko stisnili.

Kljub temu da smo volka iz večje peči pri izvleku kovali in s tem nekoliko preoblikovali, je na njem podobno kot pri volku iz "zamrznjene" peči kot posledica vpiha jasno izražena polkrožna konkavna vdolbina (slika 10 levo). Čeprav so v peči tudi ostanki žlindre, je bilo le-te bistveno manj kot v primeru manjše peči, kar pripisujemo uporabi magnetitne rude. Magnetitna ruda je tudi že pri praženju izgubila le malo mase.



Slika 9. Leva slika: segrevanje večje peči pred izvlekom volka. Desna slika: kovanje volka z lesenimi bati na tnalu. Foto: S. Benedičič



Slika 10. Leva slika: 8,35-kilogramski volk s polkrožno vdolbino na vrhu, ki je posledica smeri vpiha. Foto: A. Bogataj. Desna slika: Tudi pri večji peči je bila stena v neposredni bližini šobe in nad šobo najbolj pretaljena. Foto: S. Benedičič



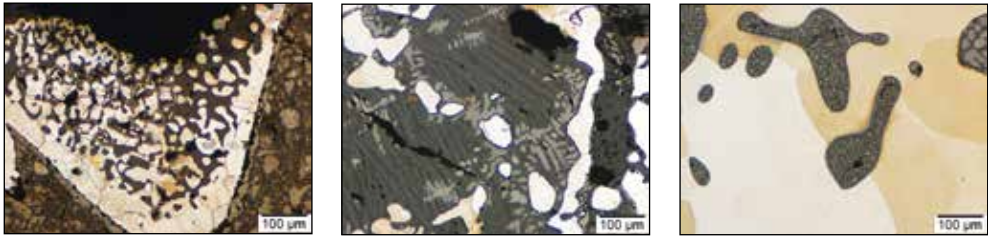
Slika 11. Volk iz limonitne rude – bobovec. Levo: mesto prereza, na sredini: prerezna površina večje polovice volka (6,10 kg), desno: prerezna površina manjše polovice volka (1,15 kg). Foto: A. Bogataj



Slika 12. Volk iz magnetitne rude. Levo: mesto prereza, na sredini: prerezna površina večje polovice volka (5 kg), desno: prerezna površina manjše polovice volka (2,35 kg). Foto: A. Bogataj

Da bi ocenili kvaliteto volkov, so jih na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije naknadno prerezali s tračno žago. Slika 11 in slika 12 prikazujeta mesto prereza ter površini prerezov. V obeh primerih smo večji kos namenili za nadaljnje kovanje, manjši kos pa shranili za arhiv. Manjkajočo vmesno rezino volka s slike 11 in slike 12 smo uporabili za metalografske analize.

Kljub uporabi različnih rud in taljenja v različno visokih pečeh je struktura obeh volkov podobna (slika 13 in slika 14). Oba imata močno heterogeno strukturo, kjer so še posebno v zgornjem delu prevladujoča feritna zrna (Fe), pojavljajo pa se tudi wüstit (FeO), fajalit (2FeO SiO_2), perlit ter v manjši meri terciarni cementit, ki se je pri ohlajanju izločil iz ferita. Prisotni so tudi žlindra ter vključki nečistoč v obliki oglja [vir: J. Burja].



Slika 13. Metalografske slike volka iz rude – bobovca: vzorec iz spodnjega dela volka (levo), vzorec iz sredine volka (srednja fotografija) in vzorec iz vrha volka (desno). Foto: J. Burja



Slika 14. Metalografske slike volka iz magnetitne rude: vzorec iz spodnjega dela volka (levo), vzorec iz sredine volka (srednja fotografija) in vzorec iz vrha volka (desno). Foto: J. Burja



Slika 15. Ingot po kovanju volka, ponovno segretega v kovaškem ognjišču. Levo: 31 x 43 x 85 mm velik in 0,61 kg težek kos iz volka iz bobovca. Desno: volk iz magnetitne rude je pri kovanju razpadel na več manjših kosov, kjer sta največja dva dimenzij 35 x 92 x 143 mm in mase 1,81 kg ter 36 x 58 x 67 mm in mase 0,56 kg. Foto: A. Bogataj

Nadaljnji preskus kvalitete volkov je njihovo kovanje v kovno železo, imenovano ingot. Pri tem procesu smo volkove ponovno segrevali v kovaških ognjiščih (slika 2 spodaj). Kot je predhodno že omenjeno, smo segrevali večja kosa. Ker se je 6,1 kg težkega kosa volka iz bobovca še vedno držala žlindra ter del stene, smo pred segrevanjem ta del odstranili in dobili 4,5 kg težkega volka. Iz njega smo po kovanju dobili 0,61 kg težak ingot (slika 15 levo). Kos za kovanje je že očiščenega volka iz magnetitne rude je tehtal 5 kg. Iz njega smo dobili dva kosa železa mase 1,81 kg ter 0,56 kg (slika 15 desno).

Proces samega kovanja ni bil najbolj uspešen, saj dobljeni ingoti v primerjavi z ingotom iz leta 2018 (Rihtaršič et al. 2018) niso tako homogeni in potrebujejo nadaljnja segrevanja ter kovanja pred kovanjem končnega izdelka. Razlog za to pripisujemo preveliki masi volkov, ki je pred kovanjem nismo zadosti segreli. Volka iz bobovca smo pred prvim kovanjem segrevali 32 min. Kovali smo ga osemkrat in vsako gretje je bilo krajše. Volka iz magnetita smo pred prvim kovanjem segrevali 38 min, kovali pa smo ga devetkrat.

Spoznanja in njihova validacija

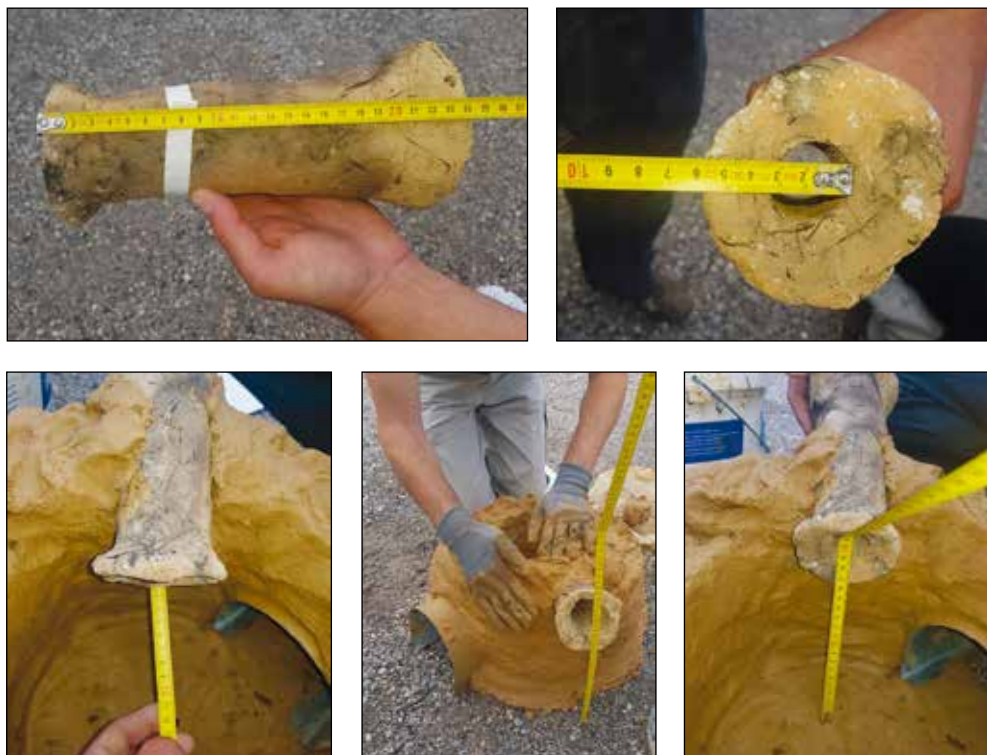
Testiranje najnovejših hipotez na podlagi spoznanj taljenja v Stari Fužini smo izvedli čez dva meseca na Češnjici v Železnikih. Za test smo zgradili peč višine 80 cm in uporabili enako, lokalno rudo bobovec kot v Stari Fužini.

Med najdbami na železnodobnem nahajališču Štalca po svoji obliki izstopa keramična najdba v obliki šobe za vpih zraka v peč (Bogataj et al. 2013). Posebnost te šobe je izstop v obliki trobente. Da bi testirali hipotezo, po kateri naj bi ta oblika preprečevala zamašitev šobe z žlindro, smo pri taljenju na Češnjici v Železnikih izdelali ter vgradili šobo takšne oblike. Šobo smo vgradili že takoj med gradnjo peči, da smo lahko natančneje določili njeno pozicijo. Najozži presek odprtine šobe je znašal 3 cm; v notranjost peči je segala 2,5 cm, njena os pa je bila pod kotom 22,6° glede na horizont (slika 16).

Čeprav je bila sama peč enakih dimenzij, čeprav

je bila uporabljena enaka ruda ter enake nastavitve puhala kot v Stari Fužini, je na Češnjici taljenje potekalo znatno hitreje (slika 17). V času taljenja 5 ur smo porabili 18,45 kg pražene rude, kar je za 3,75 kg rude več kot v enakem času v Stari Fužini. Zalagali smo jo še nadaljnjih 15 min, da smo dosegli čas nalaganj z rudo velike peči (višina 100 cm) iz Stare Fužine in dosegli končno porabo 19,2 kg. S tem smo presegli tudi količino porabljene rude iz velike peči za 1,8 kg. Nadaljnjo uro smo nalagali samo še oglje, ker smo čakali, da se sprostí nakovalo, ki je bilo ta čas v rabi za kovanje ostalih dveh volkov.

Ker sta bili razliki med 80-centimetrskima pečema v Stari Fužini ter na Češnjici v Železnikih samo v obliki ter premeru odprtine šobe in pa eventualno v oglju (drug dobavitelj), lahko sklepamo, da sta ta dva parametra močno vplivala na hitrost taljenja. Predvidevamo, da je bila temperatura v peči višja v Železnikih. To je morda tudi razlog, da se je šoba v notranjosti peči že takoj na začetku stnila in smo

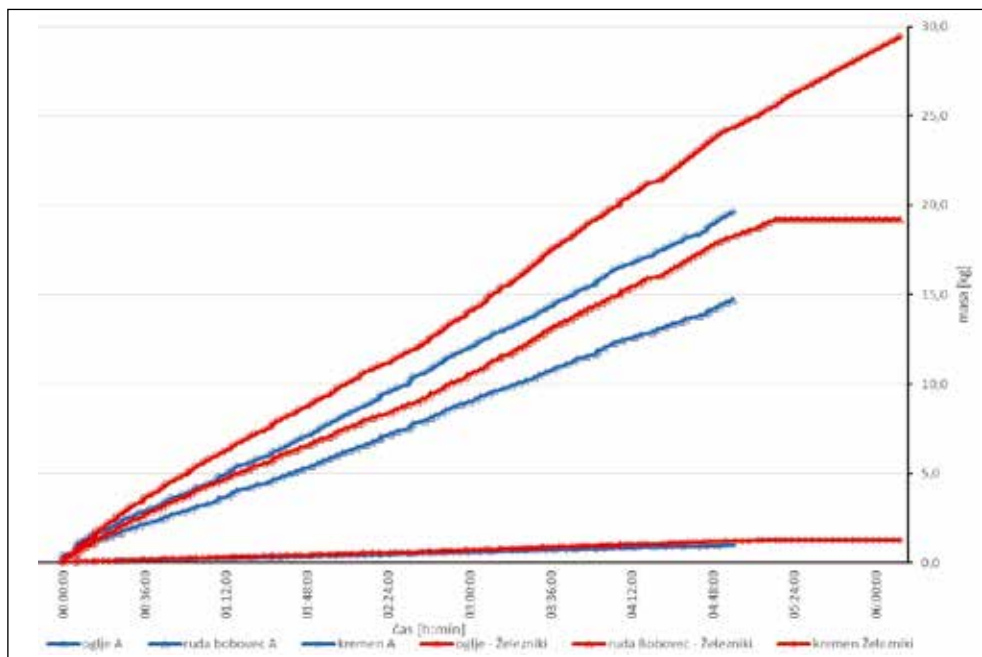


Slika 16. Spremenjena izstopna oblika šobe za vpih zraka, njene dimenzije ter njena pozicija v peči. Foto: J. Rihtaršič

tudi v tem primeru morali odstranjevati kapnike žlindre, da niso blokirali vpiha. Kljub večji porabi rude tudi pri tem taljenju volk ni zrasel do šobe, s čimer bi blokiral vpih in bi bila dosežena maksimalna velikost volka za peč takšne velikosti.

Naslednji parameter, ki smo ga testirali, je bilo kovanje volka takoj po fazi razdiranja peči. Tukaj smo po začetnem grobem čiščenju volka le-tega še vročega segrevali v kovaškem ognjišču ter nadalje kovali. Sredica volka je bila na začetku še razžarjena od taljenja, zato nam volk pri kovanju ni razpadal,

se je pa z vsakim kovanjem kljub segrevanju v kovaškem ognjišču ohlajal. Pokazala se je večja razpoka in s kovanjem smo zaključili. Dobili smo 5,5 kg teže, vendar dobro očiščenega volka (slika 18 levo). Ohlajenega volka smo s tračno žago razžagali na četrtine. Prerez dveh četrtin s slike 18 desno razkriva bolj homogeno strukturo z manj lunckerji kot v primeru volkov iz Stare Fužine. Večjo kompaktnost volka pripisujemo predvsem takojšnjemu intenzivnemu kovanju volka po izvleku iz peči, ko je sredica še zadosti segreta.



Slika 17. Časovni potek nalaganja rude, oglja ter kremenja v peč: peč višine 80 cm iz Stare Fužine (modra) in peč višine 80 cm s Češnjice v Železnikih (rdeča). Iz enakomernega doziranja je razvidno enakomerno gorenje skozi celoten proces taljenja.



Slika 18. Levo: dobro očiščen 5,5-kilogramski volk dimenzij 86 x 136 x 138 mm taljenja na Češnjici v Železnikih. Desno: prerez dveh četrtin volka taljenja na Češnjici v Železnikih. Foto: A. Bogataj.



Slika 19. Levo: Kos kovnega železa iz volka iz Stare Fužine, kjer je bila uporabljena ruda bobovec. Iz kosa mase 0,61 kg smo po 25 gretjih ter kovanjih dobili kos mase 0,19 kg. Na sredini: kos kovnega železa iz volka iz Stare Fužine, kjer je bila uporabljena ruda magnetit. Iz kosa mase 0,56 kg smo po 24 gretjih ter kovanjih dobili kos mase 0,21 kg. Desno: kos kovnega železa iz četrtine volka s Češnjice v Železnikih, kjer je bila uporabljena ruda bobovec. Iz kosa volka mase 1,11 kg smo po 31 gretjih ter kovanjih dobili kos mase 0,39 kg. Foto: A. Bogataj



Slika 20. Replika noža iz rimskega obdobja, narejena iz kovnega železa, pridobljenega iz taljenja rude bobovec. Masa noža je 0,11 kg. Foto: B. Rihtaršič

Dokončni test kakovosti pridobljenega železa iz vseh treh peči smo izvedli v kovačiji Krmelj. V skladu s pričakovanju smo morali ingot (pri ingotu iz magnetitne rude smo vzeli manjši kos) s slike 15 še nadalje segrevati ter kovati, da smo odstranili vse nečistoče ter razpoke in dobili kovno železo (slika 19). Prav tako smo segrevali četrtino volka drugega taljenja na Češnjici v Železnikih.

Če izkoristek preskusov taljenja ocenimo na podlagi razmerja mase pridobljenega kovnega železa ter porabljene pražene rude, se je ta gibal v območju do 10 %. Znatno najslabši je bil rezultat pri taljenju, kjer smo volka pustili ohladiti (zamrznjena peč), kar nakazuje velik vpliv čiščenja ter kovanja volka takoj po razdiranju peči, ko je ta še močno segret.

Dokončni dokaz uporabnosti tako pridobljenega kovnega železa je izdelava končnega izdelka. Iz kosa kovnega železa iz volka, pridobljenega na Češnjici, je kovaški mojster Jože Krmelj naredil repliko noža po vzoru rimskodobnih nožev (slika 20). Pri kova-

nju noža so se pojavljale majhne razpoke, na podlagi česar lahko sklepamo o ne najboljši kakovosti pridobljenega kovnega železa.

Zaključek

Taljenja po železnodobnih postopkih v Stari Fužini ter na Češnjici v Železnikih so bila uspešna tako z vidika rezultatov kot s stališča razumevanja najdb iz železnodobnega nahajališča Štalca nad Češnjico.

Z naknadno analizo ostankov taljenj smo identificirali večino tipov žlinder, ki jih najdemo na pobočju Štalce. Spoznanja se nanašajo predvsem na lokalno rudo bobovec, ki smo jo nabrali v bližini Krope. Tekoča žlindra in njene značilne raznovrstne strukture ter oblike se nahajajo neposredno pod volkom med ogljem ter na dnu peči. Kompaktna ploščata žlindra je nastala na dnu peči pri drugem taljenju na Češnjici, ko so bile temperature dovolj visoke, da

Priloga: taljenja in kovanje v številkah

		Stara Fužina 2018	Stara Fužina 2019	Stara Fužina 2019	Železniki 2019
Premer vznožja peči	[cm]	25	25	30	25
Premer vrha peči	[cm]	16	15	15	15
Velikost	[cm]	80	80	100	80
Poglobitev	[cm]	0	0	0	0
Višina izstopne odprtine šobe	[cm]	20 ¹	20	20	20
Kot vpiha	[°]	15	15	15	22
Masno razmerje ruda : oglje : kremen	[-]	1 : 1,3 : 0	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,3 : 0,07
Vrsta rude	[-]	limonitna ruda (Bosna)	bobovec - Kropa	magnetitna ruda	bobovec - Kropa
Sarža rude	[kg]	0,15	0,15	0,15	0,15
Pražena ruda skupaj	[kg]	8,7	14,7	17,4	19,2
Sarža oglja	[kg]	0,2	0,2	0,2	0,2
Oglje za taljenje	[kg]	12,4	19,6	23,2	29,4
Oglje skupaj	[kg]	19	29,6	34,2	36,2
Sarža kremenca	[kg]	0	0,01	0,01	0,01
Kremen skupaj	[kg]	0	0,98	1,16	1,28
Ostali dodatki	[kg]	0	0	0	0
Čas taljenja	[h:min]	04:43	05:00	05:15	06:11
Čas ogrevanja peči	[h:min]	02:45	01:20	01:49	2:25
Velikost volka	[cm]	16 x 15 x 13	34 x 23 x 202	18 x 17 x 16	8,6 x 13,6 x 13,8
Masa volka	[kg]	3,55	8,1 ²	8,35	5,5
Masa volka za kovanje ³	[kg]	1,78	4,5	5,0	1,11
Masa ingota ³	[kg]	0,38	0,19	0,21	0,39
Izkoristek pražene rude ⁴	[%]	8,7	1,6	8,5	10,1

¹ V tem primeru je bila vstopna (zunanja) odprtina šobe na višini 20 cm in je bila dejansko nižje kot v letu 2019, kar je tudi lahko vzrok za mašenje šobe z žlindro s spodnje strani.

² To so dimenzije ter masa neočiščenega volka, saj se ga držijo še žlindra in deli peči.

³ Za ingot smo vedno uporabili le del volka.

⁴ Izkoristek je izračunan na podlagi razmerja mase ingota v primerjavi z maso uporabljene pražene rude, zmanjšane na delež mase volka za kovanje ingota.

je v tekočem stanju dosegla dno. Prav tako smo pridobili značilne staljene glinene stene peči in pa porozno "penasto" žlindro. Poustvariti nam ni uspelo le nataline, ki jih najdemo na posameznih kamnih po pobočju. To daje slutiti, da so kamenje vgrajevali v peči oz. so bile peči vkopane v kamnito pobočje, s čimer so prihranili material za izdelavo peči. Ob tem se tudi odpira vprašanje, ali so na Štalci sploh izpuščali žlindro iz same peči. Značilne strukture in oblike ima tudi kovaška žlindra, ki se zbere na dnu kovaške peči, in pa sami odkruški, ki nastanejo pri čiščenju volka ter pri kovanju volka v kovno železo.

S poskusom zamrznitve peči smo dobili vpogled, kako poteka proces nastajanja volka. Spoznali smo značilne sledi, ki nam omogočajo orientacijo volka v peči. Na vrhu je vdolbina zaradi vpiha zraka, spodaj pa so vidni odtisi neizgorelega oglja. Ostanke sten peči na volku zelo verjetno nakazujejo pozicijo vpiha. Iz poskusa "zamrznitve" peči smo dobili tudi funkcionalno pojasnilo trobentaste oblike šobe za vpih zraka, vendar nam le-tega s poskusom zaradi stalitve šobe ni uspelo dokazati.

Na podlagi rezultatov smo bogatejši tudi za praktične izkušnje, ki bodo vodile k izboljšanju končnega rezultata taljenja. Kljub predhodnemu sušenju peči jo je na začetku taljenja smiselno postopno segrevati s postopnim večanjem pretoka zraka. Z vidika manjše porabe oglja in izdelave bolj kvalitetnega kovnega železa je smiselno volka takoj po taljenju močno prekovati in po možnosti razsekati na manjše kose. Ker smo na pobočju Štalce našli še čisto cele volkove kot tudi manjše kose, se postavlja vprašanje, ali so imeli skozi celoten obstoj naselbine enoten postopek ob zaključku taljenja.

Literatura:

- Bogataj F., Bogataj A., 2013. *Štalca – stara naselbina, vetrne peči in železo*. R. Rejc (ur.), *Železne niti* 10. Muzejsko društvo Železniki, str. 185–194.
- Rihtaršič J., Rihtaršič B., Bogataj A., 2018. *Prvi in drugi poskus taljenja železa, kakor so to pred 2.500 leti počeli na Štalci*. R. Rejc (ur.), *Železne niti* 15. Muzejsko društvo Železniki, str. 13–28.

Zahvala

Opisani trije poskusi tajeja po železnodobnih postopkih so uspeli v več pogledih, dobili smo večino odgovorov na zastavljena vprašanja, in kot je to običajno, so se s spoznanji porajala nova vprašanja, ki vabijo k nadaljnjemu raziskovanju. Za požrtvovalno delo se tako najprej zahvaljujemo domačim entuziastom kot ostalim širom Slovenije, ki so v dneh druženja v Stari Fužini ter Železnikih delili svoje izkušnje ter spoznanja. V tem oziru je treba izpostaviti trud glavne sile pri organizaciji dogodka v Stari Fužini g. Simona Kranjca in kolegom s Filozofske fakultete z Oddelka za arheologijo pod vodstvom doc. dr. Matije Črešnarja in Mance Vinazza. Za strokovno svetovanje ter analize rud in metalografske analize rezultatov taljenja se zahvaljujemo tudi dr. Jaku Burji z Metalurškega inštituta in g. Borisu Arzenšku za magnetitno rudo. Zahvaliti se moramo tudi kovaškemu mojstru Jožetu Krmelju, ki je z nami delil svoje bogate kovaške izkušnje in dal na razpolago tudi vso potrebno opremo. Hvala za veliko opravljeno delo Stanetu Zgagu in Simonu Benedičiču, ki sta neutrudno beležila dogodke za večnost v obliki gibajočih ter zamrznjenih slik, z uporabo katerih smo lahko opravljali analize dogodkov. Ne nazadnje smo dolžni zahvalo še Muzejskemu društvu in njegovemu predsedniku Rudiju Rejcu za materialno ter fizično podporo pri izvedbi obeh dogodkov.

Ne vedoč, da so s svojo dejavnostjo v daljni preteklosti začrtali življenja generacij za tisočletja ter ne nazadnje dali ime trenutno največjemu kraju Selške doline Železnikom, se zahvaljujemo za zanimive izzive tudi starodobnim železarjem s Štalce.