

Prvi in drugi poskus taljenja železa, kakor so to pred 2.500 leti počeli na Štalci

Janez Rihtaršič
Bojan Rihtaršič
Andrej Bogataj

Ključne besede: hrib Štalca, železova ruda, peč na volka, žindra, volk, kovno železo

V ljudskem izročilu je že stoletja znana pripoved (Hacquet, 1781, Levičnik, 1855, Globočnik, 1867), da so v Selški dolini že v davnini pridobivali železo. Najnovejša poskusna izkopavanja so to potrdila in na podlagi analize ostankov oglja umestila najdbe v 5. stoletje pred našim štetjem (Bogataj, 2014). Najdbe bratov Bogataj, kakor tudi najdbe iz poskusnih sondiranj z najdišča Štalca, si je mogoče ogledati v Muzeju Železniki (Bogataj et al., 2013). Količina najdene žlindre na pobočju hriba Štalca je bila tolikšna, da so jo v letih 1850–1862 vozili na ponovno taljenje v Železnike (Müllner, 1909). To daje slutiti, da je dejavnost železarstva na gradišču morala potekati daljše obdobje.

Vsa ta zanimiva dejstva so vzbudila občudovanje železnodobnih mojstrov pridobivanja železa do te mere, da se je skupina članov Muzejskega društva Železniki odločila ponoviti postopek taljenja železa, kot naj bi to počeli pred približno 2.500 leti na Štalci. Po prve izkušnje smo se tako maja 2015



Slika 1. Opiranje 'trebuha' peči ekipe čeških dijakov v muzejskem rezervatu Stara hut u Adamova leta 2015.



Slika 2. Izvlek volka madžarske ekipe v muzejskem rezervatu Stara hut u Adamova leta 2015.

odpravili na Festival starodobnega pridobivanja ter predelave železa v muzejskem rezervatu Stara hut u Adamova na Moravsko (slika 1 in 2). Naslednje leto, junija 2016, pa smo se kot člani ekipe Iva Cundriča po praktične izkušnje odpravili še na Festivala taljenja v Staro Fužino pri Bohinju (slika 3 in 4).

Da je postopek taljenja vse prej kot preprost, smo spoznali, ko smo bili priča več neuspehim kot uspehim poskusom pridobivanja volka, kot se imenuje kompaktna gmeta surovega železa. Vendar nas to ni odvrnilo od namere, da bi se v letih 2017 in 2018 tudi sami ne preizkusili v umetnosti pridobivanja železa na starodoben način.



Slika 3. Ivo Cundrič pri gradnji prostostoječe peči v Stari Fužini leta 2016.



Slika 4. Nizozemska ekipa pri kovanju volka v Stari Fužini leta 2016.

Gradnja peči

V primerjavi s še danes stoječim plavžem v Železnikih, ki je iz 19. stoletja, so bile železnodobne peči mnogo nižje in v njih ni nastajala železova talina, temveč železo v obliki prej omenjenega volka. To še ni bilo homogeno železo, primerno za kovanje izdelkov. Zato so domnevno še vročega, potegnjenega iz peči kovali in tako iz njega iztisnili preostale nečistoče. Postopek segrevanja ter kovanja so večkrat ponovili, da so na koncu dobili kovno železo, ki je bilo ustrezno za nadaljnjo predelavo v končne izdelke.

Kako je potekal proces predelave volka ob zatonu uporabe te tehnologije, nazorno opiše Levičnik v Kmetijskih in rokodelskih novicah: "Delali so pa tako: Plavž je vselej gorel le 24 ur, skoz ta čas so usipali od zgoraj rudo in oglje v peč, ki pa od zdolaj ni bila zamašena, kakor dandanašnji, ko se le vsako uro ali na 2 uri odmaši, ampak žlindra in tudi grodelj sta mogla ves čas iztekati, le toliko je pečnik peč zamašil, da ni presilne vročine terpel, kadar je žlindro in grodelj preč pobiral. Bila pa je notranja osnova peči tako uravnana, da je boljši del grodeljna ves v peči ostal, in se tako nakopičil v podobi velike krogle. Vsakih 24 ur je plavž ugasnil; tadaj so zid od zdolaj obtokli, 'volka' iz peči pod kladvo valili in tam ne prec obdelovali ali kovali, ampak le s pomočjo kladva na majhne kosce raztokli. Te kosce so potem še enkrat v drugem ognju stopili. Naložili so jih namreč na kraj jame, ki je bila polna ognja, in so jih dali počasi raztopiti in v jamo izteči. Kos, ki so ga zdaj iz ognja dobili, je tehtal kaka 2 centa, in so ga imenovali 'mašelj'. Tega so šele pod kladvom obdelovali in kovali, ker to je šele bilo pravo železo." (Levičnik, 1855). V nadaljevanju Levičnik dodaja: "Omenjena raba obdelovanja na plavžu in ognji se je pri naših fužinah še le pred malo leti umaknila novim napravam." (Levičnik, 1855).

Prvič, to je leta 2017, smo seveda iz previdnosti preskus taljenja opravili na domačem dvorišču v Železnikih. Andrej je že predhodno nabral in testiral glino iz okolice Železnikov. Test je pokazal, da je po sušenju najmanj spokala glina iz nahajališča pri Selcih. To glino so še v prejšnjem stoletju uporabljali za izdelavo opek (Šketa, 2010). Ker so najdbe s Štalce nakazovale, da so glini za peči morda primešali kot vezivo tudi travo, smo se odločili, da to preizkusimo in zgradimo dve peči. Eno z dodatkom trave in drugo brez dodajanja trave (slika 5). Peči smo sušili tako, da smo v njih zakurili. Preskus je nedvoumno pokazal prednosti dodajanja trave, saj je peč brez dodatkov trave med sušenjem nepopravljivo spokala (slika 5 desno).

Ostanki staljenih sten peči s Štalce vsebujejo tudi kremenova zrna (slika 6), za katera domnevamo, da so jih dodajali v glino pri izdelavi temperaturno naj-



Slika 5. Armirana peč z dodatkom trave iz leta 2017 (levo) in ne-armirana peč iz leta 2017 (desno).



Slika 6. Presek ostanka stene peči s Štalce. Na levi strani fotografije so ostanki staljene stene notranje strani peči. Po preseku so opazni kamenčki kremenca, ki so jih lahko dodajali glini ali pa jih je glina vsebovala že sama.

bolj obremenjenih delov peči. Peči, ki smo jo v letu 2018 zgradili v Stari Fužini, smo v šobo in v steno okoli šobe vtrli drobljen kremen. To nam je kasneje na podlagi prisotnosti kremena na volku omogočilo določiti orientacijo volka v peči, ne moremo pa trditi, da je pripomogel k večji obstojnosti same peči.

Odločili smo se zgraditi prostostoječo peč brez poglobljenega dna in enojno odprtino za prisilno vpihavanje zraka. Peč bi lahko bila z notranje ter z zunanje strani tudi obložena s peščenjaki (slika 7, levo) ali vkopana v hrib (slika 7, desno). Vsaka izmed naštetih izvedb peči je prav tako lahko izvedena z ravnim ali poglobljenim dnom za odtok žlindre in z eno ali več odprtinami za prisilno vpihovanje zraka.

Dimenzije peči smo ocenili na podlagi najdb žlindre oz. volkov s Štalce (Bogataj et al., 2013). Tako smo v obeh poskusih predpostavili premer peči ob vznožju na 25 cm, ob vrhu pa na premer 15 cm. Ker smo pri prvem taljenju leta 2017 dobili poroznega in krhkega volka, ki je pri prvem kovanju razpadel na manjše koščke, ter malo ostankov tekoče žlindre, smo predvidevali, da so bile dosežene temperature v peči prenizke. Tako smo z višine peči 60 cm v letu 2018 prešli na višino peči 80 cm. Razlika v višini peči se je pozitivno odrazila že pri intenzivnejšem vleku skozi peč v teku njenega sušenja in ogrevanja. Stene peči so bile v obeh poskusih debele med 7 in 9 cm ter so nastajale tako, da smo od spodaj navzgor dodajali po plasteh svaljke gline in



Slika 7. Primer peči, ki je z zunanje strani spodaj obložena s peščenjaki – Stara Fužina, 2018 (levo) in primer peči, ki je vkopana v hrib in s poglobljenim dnom za odtok žlindre – Stara hut, 2015 (desno).



Slika 8. Bojan Rihtaršič pri izgradnji peči. Lesena čepa se po sušenju odstraniti, pri čemer spodnji služi za čiščenje peči in izpuščanje žlindre, v izpraznjen prostor zgornjega pa se vstavi šoba.

jih zgladili v steno (slika 8). Ob dnu peči smo pustili odprtino za ogrevanje in čiščenje peči, lahko pa tudi za iztok žlindre. Približno 20 cm od tal pa smo naredili odprtino za vpihovanje zraka. Nekatere peči imajo namesto dveh ločenih odprtin eno večjo, v katero ob morebitnem zaprtju vgradijo šobo. Ob razdiranju skozi to odprtino izvlečejo volka in peč eventualno uporabijo tudi za naslednje taljenje (slika 7, desno).

Šobe, za katere domnevamo, da so jih uporabili pri pridobivanju železa na Štalci, so imele odprtino, veliko med 2 in 3 cm (slika 9). Šoba, ki smo jo izdelali za taljenje, je imela odprtino cca. 2,5 cm. Glini za šobo smo poleg trave primešali že omenjeni zdrobljeni kremen (slika 10). Kot smo videli na Češkem, šobe sušimo na palici, ki jo premažemo s prstjo, da je šobo po sušenju mogoče odstraniti. Prav tako so na Češkem šobe vgradili tako, da je segala nekaj cm v peč in imela nagib proti dnu. To so naredili zato, da se prepreči, da bi zrak šel samo ob steni peči.

Izkušnje nas učijo, da je šoba priporočljivo sneti



Slika 9. Fotografija najdene šobe s Štalce.



Slika 10. Andrej Bogataj pri izdelavi šobe.



Slika 11. Pozicija šobe v notranjosti peči.



Slika 12. Nastavek z odprtino za opazovanje notranjosti peči.



Slika 13. Ekipa iz Stare Fužine pri vpihovanju zraka v peč z dvema ročnima mehovoma.



Slika 14. Kaplja žlindre ali staljene stene peči na zgornji strani odprtine šobe (levo), brbotanje taline na spodnji strani šobe (na sredini) in spojena kaplja z zgornje strani in taline s spodnje strani (desno). Foto: Stane Zgaga

s palice ali vsaj premakniti, še predno se do konca posuši. Prav tako ni smiselno, da šoba sega pregloboko v peč, saj se med procesom taljenja tali, ovira pa tudi spuščanje materiala po peči. Talijo pa se tudi stene peči in odmik šobe od stene peči preprečuje, da bi se zaradi tega le-ta zamašila. Pri drugem poskusu taljenja leta 2018 je šoba segala cca. 2 cm v notranjost peči (slika 11).

Konstantno opazovanje dogajanja pred šobo v peči nam je v letu 2018 omogočila opazovalna odprtina, ki je bila skupaj z dovodom zraka s strani pritrjena na šobo. Skozi steklo smo lahko opazovali notranjost peči (slika 12). Takšno opazovanje so lahko izvajali tudi v pradavnini, saj z mehovi verjetno niso segali v notranjost peči, in so tako lahko vizualno spremljali dogajanje v peči na mestu vpiha (slika 13). Opazovanje je razkrilo, da je žlindra, ki je zapirala šobo, najprej prihajala z zgornje strani (slika 14, levo). Ko se je žlindre dovolj nabralo, je bilo s spodnje strani opaziti brbotanje (slika 14, na sredini). V določenih trenutkih se je žlindra s spodnje in zgornje strani tudi spojila (slika 14, desno). Kadar je žlindra zamašila šobo, smo jo z železno palico odstranjevali, dokler je bilo to mogoče. Ko je to postalo neučinkovito, je bil postopek taljenja končan.

Postopek taljenja

Naslednji dan smo pred začetkom taljenja pričeli z ogrevanjem peči na delovno temperaturo. Najprej smo v peči malo manj kot dve uri kurili drva, nakar

smo peč do vrha nasuli z ogljem in tako nadalje segrevali peč še dodatno uro. Oglje smo pripravili tako, da smo ga drobili na mreži dimenzij 30 x 30 mm (slika 15) in ga nato presejali na rešetku dimenzij 14 x 14 mm. S tem smo odstranili prah in manjše delce. Pravšnja velikost oglja je potrebna za doseganje optimalnega segrevanja rude, hkrati pa omogoča pretok zraka skozi peč.

Za obe taljeni smo uporabili isto rudo (limonit), ki prihaja iz rudnika Ljubija iz Bosne in vsebuje cca. 52 % železa, 5,8 % silicija in 5,1 % mangana (vir: Simon Kranjc).



Slika 15. Andrej Bogataj pri drobljenju oglja.



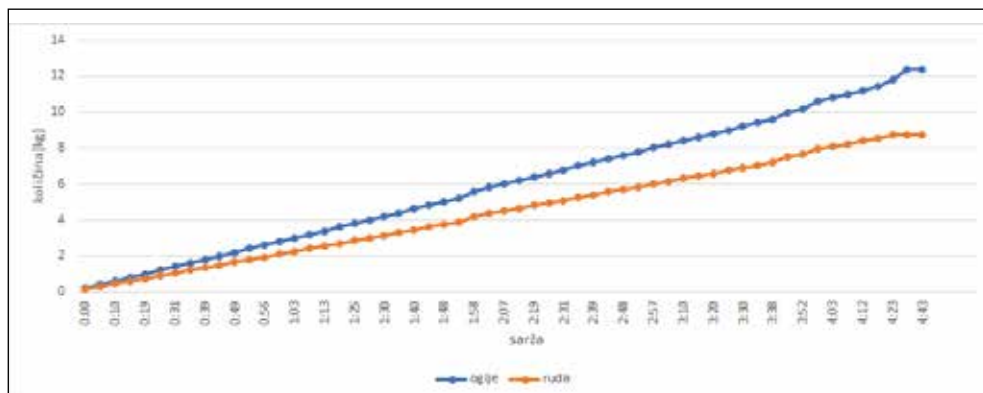
Slika 16. Praženje rude (levo), drobljenje pražene rude v možnarju (na sredini) in drobljen kremen (desno).

Pri prvem poskusu leta 2017 smo rudo predhodno tudi pražili (slika 16, levo), medtem ko smo leta 2018 že dobili praženo. Praženje je proces segrevanja rude na odprtem ognjišču. S tem smo ji odstranili del primesi in vodo, ki je bila vezana v rudi. Po praženju je ostalo cca. 63 % prvotne mase rude. Praženo rudo smo nadalje v možnarju drobili na velikost, manjšo od 5 mm (slika 16, na sredini). Tako, kot so razlike v izvedbi posameznih aktivnostih verjetno obstajale v davnini, smo tudi dandanes priča različnim načinom drobljenja; to je lahko na kamnih ali z uporabo kladiv na nakovalih ali z uporabo možnarja kakor v našem primeru. Nadalje smo pri prvem taljenju leta 2017 dodajali drobljen kremen, ki ga pri drugem taljenju leta 2018 nismo dodajali, saj že sama ruda vsebuje velik delež silicija, ki vpliva na viskoznost žlindre (slika 16, desno).

Pri prvem taljenju leta 2017 smo iskali pravo raz-

merje med rudo, ogljem ter kremenom. Začeli smo z razmerjem med rudo in ogljem 1 : 6. Med potekom taljenja smo to razmerje dvakrat znižali, najprej na 1 : 3 in nato na 1 : 1,2. Na podlagi te izkušnje smo pri drugem poskusu v letu 2018 začeli ter ves čas taljenja vzdrževali razmerje 1 : 1,3. Tako je eno polnjenje vsebovalo 150 g drobljene pražene rude ter 200 g drobljenega oglja. Pri polnjenju smo najprej dodali oglje in nanj posuli še rudo, pri čemer smo skupno porabili za taljenje 8,7 kg rude ter 12,4 kg oglja. Skupni čas samega taljenja je znašal 4 h in 43 min, pri čemer je gorenje potekalo enakomerno (slika 17).

Med taljenjem smo peč odprli (prebodli), da bi iz nje spuščali tekočo žlindro, kar pa ni bilo zelo uspešno, saj je bila viskozna kakor gost med (slika 18, levo). Taljenje smo končali, ko smo skozi odprtino za opazovanje notranjosti peči opazili njeno ohlajanje, na koncu šobe je bilo videti tudi žlindro, ki je



Slika 17. Časovni potek in kumulativna poraba rude ter oglja.

mašila šobo, zato je bilo tudi vpihavanje zraka onemogočeno. Pred odpiranjem peči smo vpih prestavili v odprtino na dnu, vendar tudi s tem ukrepom nismo izboljšali vleka skozi peč. Tudi predhodne izkušnje so nas naučile, da s prestavljanjem mesta

vpiha povzročimo nastanek dveh ali več manjših volkov. Ker je bila peč grajena za enkratno uporabo, smo jo razdrli, iz peči potegnili volka in po rahlem 'čiščenju' z lesenim kladivom dobili volka, kot ga nakazuje puščica na sliki 18 desno.



Slika 18. Izpuščanje tekoče žilindre (levo) in razdrta peč z volkom (desno).

Tabela 1. Primerjalna tabela dimenzij peči ter procesov pri prvem in drugem poskusu taljenja.

	Enota	Železniki 2017	Stara Fužina 2018
Premer vzožja peči	[cm]	25,00	25,00
Premer vrha peči	[cm]	15,00	16,00
Višina	[cm]	60,00	80,00
Poglobitev	[cm]	0,00	0,00
Masno razmerje ruda : oglje : kremen	[-]	1 : 5,6 : 0,2 1 : 2,9 : 0,08 1 : 1,2 : 0,03	1 : 1,3 : 0
Šarža rude	[kg]	0,08 0,08 0,20	0,15
Pražena ruda skupaj	[kg]	8,00	8,70
Šarža oglja	[kg]	0,45 0,23 0,23	0,20
Oglje za taljenje	[kg]	14,40	12,40
Oglje skupaj	[kg]	22,00	19,00
Kremen skupaj	[kg]	0,50	0,00
Čas taljenja	[h:min]	06:36	04:43
Čas ogrevanja peči	[h:min]	01:55	02:45
Velikost volka	[cm]	-	16 x 15 x 13
Masa volka	[kg]	1,77	3,55

Analiza volka in žindre

Zaradi podrobne analize volka nismo sklenili kovati takoj, saj bi nam žindra odpadla z njega in ne bi prišli do podatkov o postavitvi in poziciji volka v peči. Volk je bil v enem kosu, in sicer po prvotnem odstranjevanju žindre premera od 13 do 16 cm ter mase 3,55 kg (slika 19).

Pod mestom, kjer se je vpihoval zrak v peč, so na volku vidni rdeči ostanki stene peči (slika 20). Nad tem mestom oziroma nad šobo je bilo taljenje sten peči zaradi visoke temperature najbolj intenzivno. Pri žaganju preko sredine volka je ta del volka odpadel (slika 21).

Tudi volk iz leta 2017 je bil pozicioniran ob šobi za vpihovanje zraka, pri čemer so ostanki staljene



Slika 19. Masa volka pred žaganjem je znašala 3,55 kg.



Slika 20. Rdeča barva predstavlja ostanke stene peči na volku.



Slika 21. Prezrez volka preko sredine nakazuje njegovo porozno strukturo.

stene peči vidni v obliki porozne žilindre na njegovi levi strani (slika 21). Volk je bil močno porozen in se je pri žaganju razletel na številne manjše koščke (slika 22).

Metalografska analiza obeh volkov razkriva nju heterogeno strukturo. Podobno, kot v nadaljevanju prikazujejo metalografske slike kovnega železa (slika 23 in slika 24), imajo posamezna področja po prerezu različno vsebnost ogljika, in imajo posledično različno strukturo.

Notranja stena peči nad šobo je bila staljena (slika 25). Krhke in lahke ostanke taline sten je ravno tako

moč najti po pobočju železnodobnega najdišča Štalca (slika 26). Po pobočju je moč najti tudi številne ostanke tekoče žilindre (slika 27). Ali so jo izpuščali iz peči ali je nastala v njeni notranjosti, je še odprto vprašanje. Mi smo jo pri drugem taljenju (slika 28) našli manj kot pri prvem taljenju leta 2017.

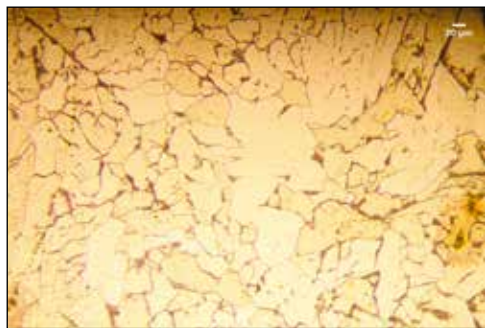
Izvedena je bila tudi primerjava vsebnosti kovin v volku in v tekoči žilindri iz obeh poskusov taljenja. Oba volka in tekoči žilindri smo nadalje primerjali z volkom ter tekočo žilindro, najdenima na pobočju Štalca. Analiza je bila opravljena z XRF inštrumentom Niton XL3t Gold+. Elementna analiza žal ne



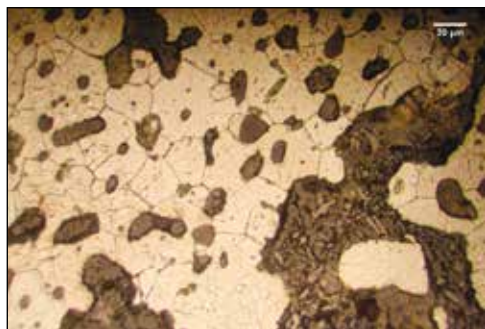
Slika 21. Porozen volk iz leta 2017. Foto: Aleksander Čufar.



Slika 22. Pri žaganju se je volk razletel, zato je bil prerez izveden na manjših kosih.



Slika 23. Metalografska analiza kovnega železa iz volka, pridobljenega pri taljenju 2018 v Stari Fužini, nakazuje področja, kjer so prevladujoča zrna železa (ferita) z malo perlita na kristalnih mejah (levo) in področja s prevladujočo perlitno strukturo ter feritom na kristalnih mejah (desno). Foto: Barbara Bertoncelej



Slika 24. Metalografska analiza kovnega železa iz volka, pridobljenega pri taljenju 2017 v Železnikih. Leva slika nakazuje področje, kjer je prevladujoča feritna struktura s številnimi vključki žilindre. Desna slika nakazuje področja s prevladujočo perlitno strukturo, na meji z žilindro pa je prišlo do razogličenja in se nahaja ferit. Foto: Barbara Bertoncelej



Slika 25. Ostanke staljene stene peči iz leta 2018.



Slika 26. Ostanke, podobni staljenim stenam peči so najdeni tudi na pobočju hriba Štalca.

omogoča detekcije vsebnosti ogljika ter kisika, ki sta dva izmed bistvenih elementov pri analizi jekla/žlindre, zato je dejanska vsebnost posameznega elementa nižja, kot so podane vrednosti v tabeli. Relativna primerjava obeh volkov iz let 2017 in 2018 razkriva višjo vsebnost železa in manjšo vsebnost

silicija v drugem poskusu. Eksaktna primerjava z volkovi in žlindro s Štalce ni možna, saj za taljenje leta 2017 in 2018 nismo uporabili lokalne rude (bobovec), so pa rezultati analize taljenja iz leta 2018, kjer nismo dodajali drobljenega kremenca, bližje rezultatom analize železnodobnega volka ter žlindre.



Slika 27. Ostanki tekoče žlindre s pobočja hriba Štalca.

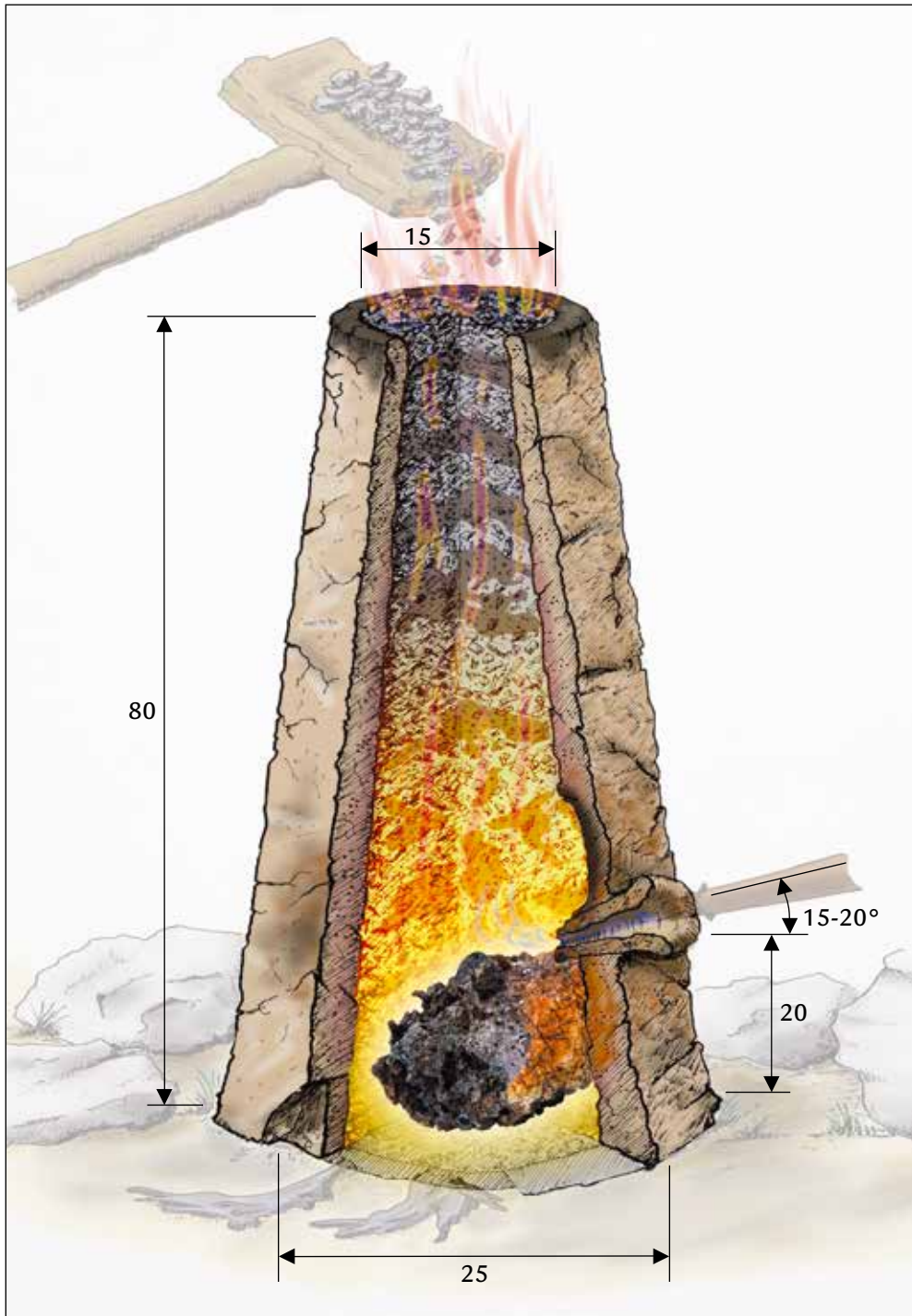


Slika 28. Tekoča žlindra, ki smo jo odstranili iz peči pri taljenju v letu 2018.

Tabela 2. Kemična analiza relativne vsebnosti posameznega kemijskega elementa v volku in tekoči žlindri. Kemični elementi z manjšimi deleži od 0,01 % so izpuščeni. Dejanske absolutne vrednosti posameznih elementov so nižje in so deloma vezani kot oksidi, zato se podane vrednosti lahko uporabijo le za medsebojno relativno primerjavo [vir: Jernej Trojar].

Kemijski element	Delež	Volk			Tekoča žlindra		
		*Štalca 500 pr. n. št.	Poskus 2017	Poskus 2018	Štalca 500 pr. n. št.	Poskus 2017	Poskus 2018
Fe	%	99,313	82,032	95,709	78,500	69,662	60,717
Si	%	0,144	11,054	1,442	11,660	20,527	26,092
Al	%	/	3,277	1,649	9,314	6,460	6,317
P	%	0,155	0,211	0,025	0,130	0,119	0,143
Mn	%	/	2,777	0,076	0,099	2,413	5,009

* Podatki so iz razstavljenega volka, najdenega na Štalci. Razstavljen je v arheološki vitrini Štalca (št. 18) v muzeju Železniki.



Skica preseka peči z nakazano pozicijo volka iz drugega poskusa taljenja leta 2018.

Predelava volka v kovno železo

Ker je struktura volka porozna in nehomogena ter vsebuje žilindro in oglje, ga je treba nadalje segreti in kovati, da postane uporabno, tj. kovno železo. Volka smo segrevali v talilni peči. Dokazov o obstoju talilnih ognjišč na Štalci še nismo našli, zato smo ga zgradili po zgledu, ki smo ga videli v Stari fužini leta 2016. Talilno ognjišče je zgrajeno iz gline v obliki ledvičke, pri čemer je stena z odprtino za vpih nekoliko višja, da nudi zaščito mehu ter osebi, ki vpihuje zrak (slika 29). Da bi zaščitili temperaturno najbolj izpostavljene dele peči, smo v dno



Slika 29. Talilno ognjišče med segrevanjem volka. Foto: Stane Zgaga



Slika 30. Talilno ognjišče z ostanki taline na dnu in po steni, v kateri je vgrajena šoba za vpih zraka. Foto: Stane Zgaga

peči in v steno z vpihom vgradili ploščate kamne, ki smo jih našli na pobočju Štalce. Predel stene nad vpihom je temperaturno najbolj obremenjen in tam nameščeni kamen je med segrevanjem počil. Visoke temperature so poleg taljenja volka povzročile tudi taljenje šobe in stene okoli šobe, kot je prikazano na sliki 30.



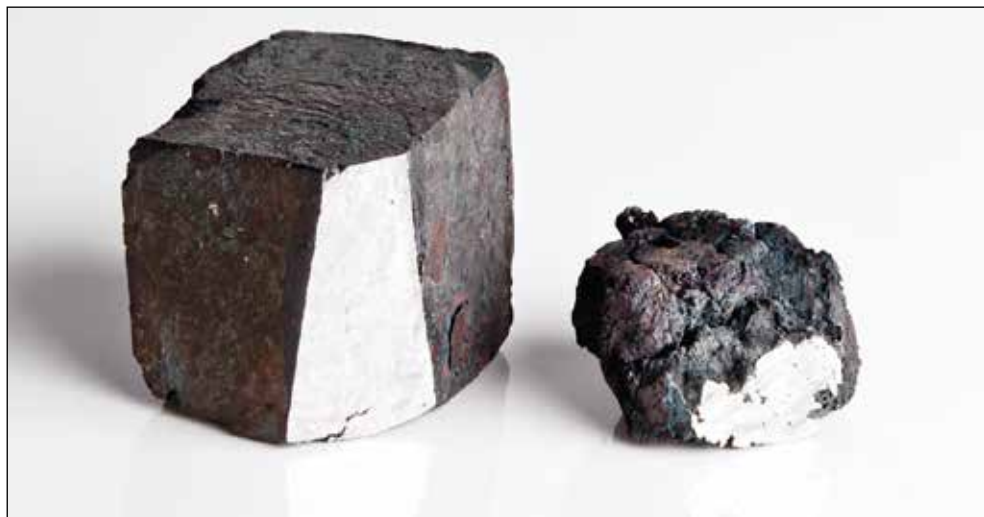
Slika 31. Izvlek segretega volka iz talilne peči. Foto: Stane Zgaga



Slika 32. Kovanje volka na tnalu. Foto: Stane Zgaga



Slika 33. Kovanje volka na nakovalu. Foto: Stane Zgaga



Slika 34. Kovno železo (ingot) iz volka, pridobljenega pri taljenju leta 2018 v Stari Fužini (levo) in porozen kos iz volka, pridobljenega pri taljenju leta 2017 v Železnikih.

Čas segrevanja volka smo med posameznimi segrevanji skrajševali (slika 31). Najprej iz začetnih 12 minut na 5 minut in na koncu na 2 minuti. To smo storili, ker je bil volk vedno manjši in bi se lahko preveč segrel ter pričel iskriti (razpadati). Od 10 ciklov segrevanja ter kovanja smo prvih šest kovanj izvedli na lesenem tnalu, da se volk med kovanjem ne bi prehitro ohladil in zaradi trdote nakovala razletel (slika 32). Pri zadnjih štirih kovanjih na nakovalu (slika 33) pa smo dobili obliko kompaktne železne kocke dimenzij 34 x 35 x 40 mm ter mase 380 g (slika 34, levo). Sledilo je še kovanje manjšega volka iz leta 2017, ki pa je bil preveč porozen in ga nam ni uspelo skovati v kompaktno kocko (slika 34, desno). Tako smo dobili krhko in porozno gmoto dimenzij 20 x 26 x 30 mm ter mase 59 g, ki ni ustrezna za nadaljnje kovanje v končni izdelek.

Zaključek

Primerjava obeh poskusov taljenja v letu 2017 in 2018 podpira domnevo, da so bili najdeni volki na pobočju hriba Štalca zelo verjetno pridobljeni v pečeh, višjih od 60 cm. Ker se žilindra nahaja na pobočju severozahodne strani hriba, je prav tako

verjetno, da so uporabljali tip peči, ki je bila vkopana v hrib. Eksperimenta sta potrdila ustreznost lokalne glinice za izgradnjo peči, katere lastnosti so izboljševali z dodatkom slame. Uspešna izdelava kovnega železa najbolje potrjuje ustreznost opisanih postopkov taljenja rude in nadaljnje predelave volka v kovno železo.

Da bi preprečili prehitro zamašitev pretoka zraka skozi peč in posledično dobili večjega volka, bomo v bodoče izvedli eksperiment s pečo s poglobljenim dnom. S tem bomo skušali odgovoriti na vprašanje, ali so dobljene oblike tekoče žilindre nastale znotraj peči ali so jo dobili pri preobodu peči. V naslednjih eksperimentih bomo tako skušali določiti optimalno količino vpiha s končnim ciljem pridobiti kvalitetnega volka z uporabo ročno gnanih mehov in kot vhodno surovino uporabiti v okolici nabrano rudo bobovec.

Z eksperimentalnim pristopom smo skušali odgovoriti na vprašanja o načinu taljenja, ki so ga izvajali železnodobni predhodniki na pobočju hriba Štalca. Dokončnih odgovorov seveda ne moremo dati, lahko pa ugotovitve dajo večjo ali manjšo težo posameznim domnevam, s čimer upamo, da smo prispevali kamenček k mozaiku razumevanja umetnosti pridobivanja železa pred dobrima dvema tisočletjema.

Zahvala

Nabiranje rude v obliki bobovca po okoliških hribovjih je zelo zamudno opravilo in neveščemu očesu se pogosto zgodi, da je izkupiček boren. Da smo imeli na razpolago dovolj rude za učenje, tako gre zahvala g. Simonu Kranjcu, ki nam je v okviru fužinarskih dni v Stari Fužini priskrbel rudo in bil z nami pripravljen deliti izkušnje. Z dragocenimi napotki v skrivnostnem svetu mojstrov pridobivanja železa po pradednih postopkih so nas usmerjali tudi udeleženci festivalov taljenja v muzejskem rezervatu Stara hut u Adamova na Češkem in v Stari Fužini. Pri tem smo še posebno hvaležni g. Ivu Cundriču,

ki nas je vzel v uk kot člane njegove ekipe v letu 2016. Neprecenljivi so bili tudi napotki občasnega sopotnika na železodobnih poteh g. Ivana Marije Hrovatina ter znanstvene razlage prof. Jakoba Lamuta. Pri analizi rezultatov pa sta s kemičnimi analizami in metalografskimi posnetki pomagala risati zemljevid spoznanj še Jernej Trojar in dr. Barbara Bertonec iz podjetja Domel. Celoten proces od taljenja rude do kovnega železa je za večnost posnel in uredil Stane Zgaga.

Ne nazadnje gre zahvala še vsem številnim neimenovanim prijateljem, ki so nas pri našem učenju na različne načine podprli, predvsem pa našim družinam za razumevanje in potrpežljivost.

Literatura:

- Bogataj F., 2014. *Štalca, halštatska naselbina*. R. Rejc (ur.), *Železne niti 11*. Muzejsko društvo Železniki, str. 127–131.
- Bogataj F., Bogataj, A., 2013. *Štalca – stara naselbina, vetrne peči in železo*. R. Rejc (ur.), *Železne niti 10*. Muzejsko društvo Železniki, str. 185–194.
- Hacquet, 1781. *Oryctographia Carniolica oder Physikalische Erdbeschreibung des Herzogthums Krain, Istrien, und zum Theil der benachbarten Länder. Zweyter Theil*. Leipzig. str. 137.
- Levičnik J., 1855. *Železniki na Kranjskem*. Kmetijske in rokodelske novice, letnik 13, številka 9 (URN:NBN:SI:DOC-OBF2W-Z2U from <http://www.dlib.si>), str. 35.
- Globočnik, A., 1867. *Der Berg- und Hammerswerksort Eisnern*. Ljubljana. (prevod) Jože Dolenc, PAN Dražgoše, 1999. Str. 15.
- Šketa M., 2010. *Josip Peternefj (13.3.1896 – 25.9.1936), Naprednjak iz Cerknega, posestnik v Selcih 67, rojeni raziskovalec in nesojeni izumitelj*. P. Pegam (ur.), *Železne niti 7*. Muzejsko društvo Železniki, str. 173–248.
- Müllner, A., 1909. *Geschichte des Eisens in Krain, Görz und Istrien von der Urzeit bis zum Anfange des XIX. Jahrh.* Wien – Leipzig. Stran 215. Vir: prevod Renata Demšar za Muzej Železniki 1972. Str. 15.