

Eksperimentalna arheologija

Pridobivanje železa

po železnodobnih

postopkih s Štalce

Drugi pregledni članek

Janez Rihtaršič
Andrej Bogataj
Bojan Rihtaršič
Klemen Čufar

Uvod

Pričujoči prispevek je nadaljevanje preglednega članka iz leta 2019 (Rihtaršič et al., 2019) in povzema spoznanja o vplivih na uspešnost taljenje železa v "železnodobnih" pečeh. Spoznanja so plod sedmih eksperimentalnih taljenj izvedenih v letih 2020, 2021 in 2022. Pregledni članek iz leta 2019 podaja tudi razlage posameznih izrazov in postopke, ki jih v tem članku ne ponavljamo. V

tem prispevku bomo podrobneje poročali o vplivih granulacije uporabljene rude, izvedbe peči z jamo za žlindro in peči z dnom v obliki sklede, o vplivu velikosti pretoka vpihanega zraka in optimizaciji procesa taljenja ter kovanja volka. S taljenjem avgusta leta 2022 na Soriški planini pa smo testirali kombinacijo ugotovitev posameznih predhodnih taljenj.

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

Poskus taljenja z različnima granulacijama drobljene pražene rude

Da bi raziskali vpliv granulacije rude na izkoristek taljenja, smo praženo rudo pri drobljenju ločevali na granulacijo rude velikosti zrn premera do 1,6 mm in na velikost zrn premera od 1,6 mm do 4 mm. Uporabljena ruda je bil v obeh pečeh bobovec, nabran v okolici Kroke. Dimenzije so bile določene z velikostjo rež obeh uporabljenih sit. Razlog za test je bil pragmatičen, saj drobljenje v zelo fin prah zahteva veliko časa in energije, po drugi strani pa je škoda zavreči prah, ki v vsakem primeru nastane ob drobljenju v možnarju. V ta namen smo leta 2020 v

okviru taljenja na Češnjici v Železnikih zgradili dve identični peči velikosti 80 cm in notranjega premera ob vznožju peči 25 cm ter ob vrhu peči 15 cm. Zalaganje drobljene rude vedno poteka po zalaganju oglja, in sicer na sredino ter ne po celem prerezu vrhnje odprtine peči.

Opazna razlika se pojavi že pri določitvi načina doziranja rude, saj smo za 150 g težko saržo morali pri fini granulaciji rude (premer zrn do 1,6 mm) uporabiti le 3/4 volumna, kot ga je bilo potrebno za bolj grobo granulacijo (premer zrn od 1,6 mm do 4 mm). Ko smo uporabljali rudo granulacije premera zrn od 0 do 4 mm, so se v odvisnosti od deleža posamezne granulacije v sarži pokazala odstopanja mase tudi do $\pm 15\%$.



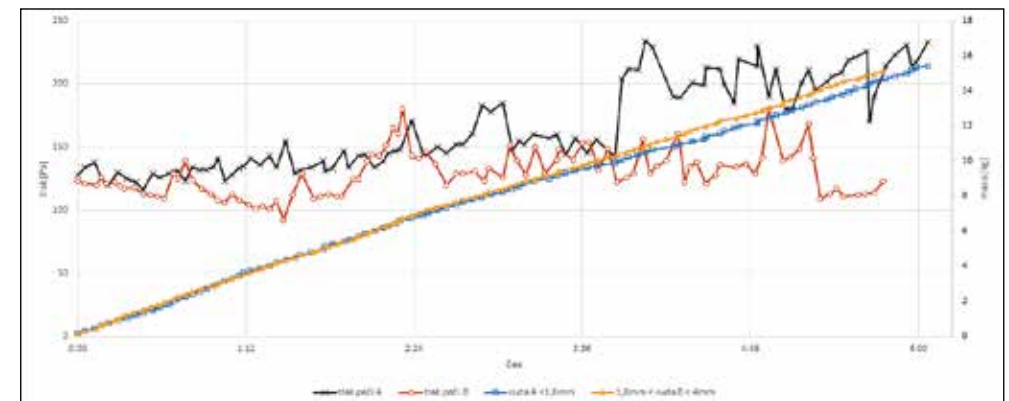
Slika 1. Zrna drobljene, pražene rude granulacije <1,6 mm in granulacije zrn od 1,6 mm do 4 mm.
Foto: Bojan Rihtaršič



Zalaganje peči z rudo.
Foto: Simon Benedičič

Hitrost taljenja in s tem poraba rude je v peči A, kjer je bila uporabljena ruda z manjšo granulacijo (< 1,6 mm), nekoliko zaostajala za hitrostjo taljenja v peči B. Zato smo po 3 urah in 53 minutah nekoliko povečali hitrost vpihovanja zraka, kar se je odrazilo pri povišanem tlaku. Kljub temu pa je hitrost taljenja v peči A še naprej zaostajala. Mašenje šobe z žilindro oz. število čiščenj šobe je bilo v obeh pečeh približno enako in enakomerno porazdeljeno ter tako ni vplivalo na hitrost taljenja.

Izplen taljenja je bil v obeh pečeh približno enak 19,9 % za rudo granulacije < 1,6 mm in 23,1 % za rudo granulacije med 1,6 mm in 4 mm. Volkova sta se razlikovala po obliki, saj je volk manjše granulacije rude razpadel na več manjših kosov. Po poroznosti prereza sta si bila volkova podobna in podoben je bil tudi izkoristek kovanja volka v ingot. Tako je za rudo manjše granulacije izkoristek od pražene rude do ingota znašal 8,6 % in 8,3 % za rudo večje granulacije.



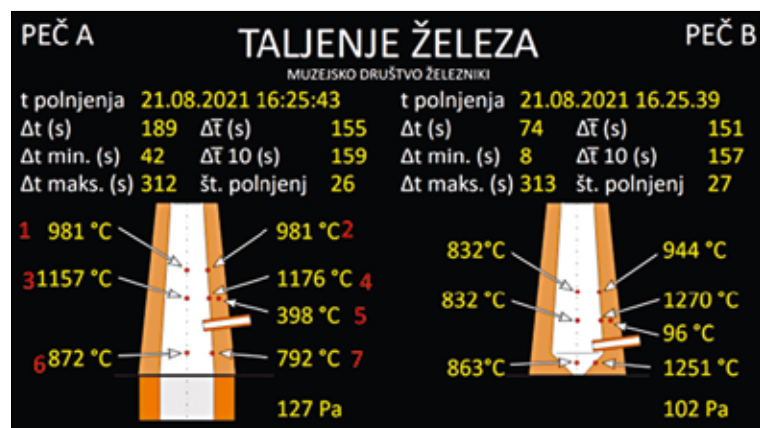
Slika 2. Statični tlak na zunanji strani šobe in hitrost taljenja oz. poraba rude v odvisnosti od časa.



Slika 3. Polovica volka iz rude granulacije < 1,6 mm in ingota iz odrezane polovice volka (levo) in volk iz rude granulacije med 1,6 mm in 4 mm ter ingot iz odrezanega konca (desno).

Iz rezultatov lahko sklepamo, da ni bistvene razlike med granulacijo pražene rude premera zrn < 1,6 mm in granulacijo pražene rude premera zrn med 1,6 mm in 4 mm. Najbolj opazna razlika je bila v količini ostanka žlindre v peči, in sicer pri fini rudi je bilo 5,3 kg ostanka, pri bolj grobi rudi pa 10 kg. Zato smo pri naslednjih taljenjih uporabili celotno rudo, ki nastane med drobljenjem pražene rude v možnarju.

Leta 2022 smo pri taljenju na Soriški planini spremenili način drobljenja, kar je imelo za posledico nekoliko bolj fino granulacijo zrn rude, ki je bila v povprečju bližje granulaciji premera < 1,6 mm. Da bi izboljšali kvaliteto volka na spodnjem robu, kjer so običajno večji ostanki oglja in nečistoč, smo za prve štiri sarže dodali kovaško škajo oz. okujino, ki je nastala pri predhodnem kovanju volka v ingot ter koščke železa premera 3 mm in dolžine 4 do 5 mm, narezane iz palice za armiranje betona. Sledov tankih lusk okujine in nekoliko večjih koščkov železa po taljenju ni bilo zaznati ne na končnem volku, ne drugje v peči. Dodatno smo nastavili hitrost vpiha zraka v peč na 3 m/s in dosegli nekoliko višje temperature, saj je bilo tudi vizualno oglje razžarjeno skoraj do vrha peči. Proti pričakovanjem pa je bil volk pri izvleku iz peči manj kompakten in je pri intenzivnem začetnem kovanju z železnimi kladivi takoj razpadel na tri manjše kose. Izkoristek taljenja je bil slabši (11,4 %), delež žlindre pa je bil večji (12,6 kg).



Slika 4. Shematski prikaz peči A s poglobljenim dnom (leva peč) in peči B z dnom v obliki sklede (desna peč). Merilna mesta temperatur so označena z rdečimi številkami od 1 do 7 in so enaka za obe peči. Vir: Klemen Čufar

Poskus taljenja s pečo s poglobljenim dnom in s skledastim dnom ter s spuščeno šobo

Pri peči s poglobljenim dnom žlindra ne zalije volka, temveč odteka v jamo za žlindro (s slike 4), v primeru peči s skledastim dnom in s spuščeno šobo je prostora okoli volka manj in tega žlindra zalije (s slike 4).

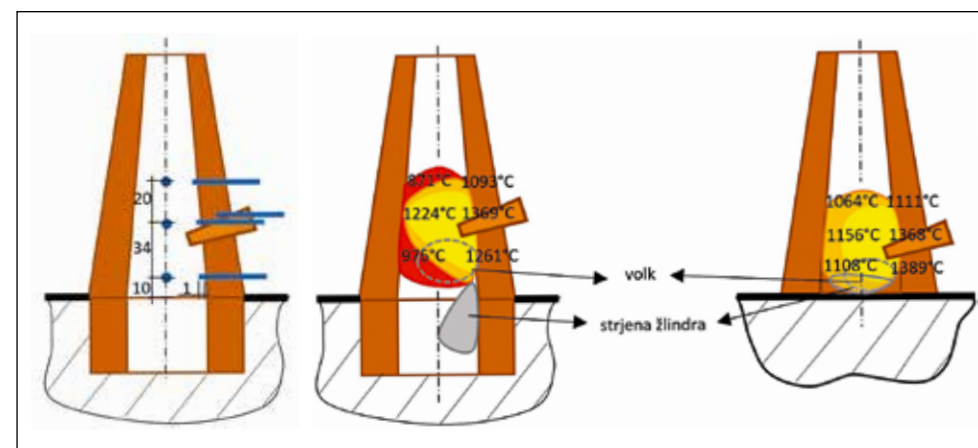
Med železnodobnimi pečmi lahko najdemo izvedbe z jamo za žlindro, kjer je žlindra odtekla v poglobljen prostor proti dnu peči in izvedbe peči z iztekom za žlindro (Črešnar et al., 2017). Da bi preverili vpliv žlindre na rast in kvaliteto volka, smo leta 2021 pri taljenju v peči brez jame za žlindro dodatno naredili še skledasto posteljico in postavili vpil šobe nižje, da bi bil volk med taljenjem kar najbolj potopljen v žlindro. Tako je bilo središče notranjega roba šobe le 10 cm nad tlemi, medtem ko je pri volku z jaškom za žlindro ostala šoba na višini 20 cm od ravnine tal. Žlindre med procesom taljenja nismo spuščali iz peči, saj se v nobeni izmed peči ni mašila šoba zaradi žlindre ali volka. Uporabljena ruda je bil v obeh pečeh bobovec, nabran v okolici Kroke.

Dodatno smo s termočleni tipa K merili temperaturo po višini peči, in sicer na treh višinah v ravnini šobe ter na enakih višinah v ravnini pravokotno na ravnino šobe, kot prikazujejo rdeče točke



Slika 5. Prikaz vgradnje termočlena v steno peči. Foto: Simon Benedičič

na sliki 4. Termočleni so približno 1 cm gledali v notranjost peči (slika 5), medtem ko je bil dodatni termočlen nameščen v sredino stene peči nad šobo. Tekom taljenja so se nekateri termočleni stopili. Najvišja temperatura je bila izmerjena tik nad šobo (merilno mesto št. 4) in je padala tako proti vrhu kot proti dnu peči. V odvisnosti od merilnega mesta so se temperature gibale med 700 °C in 1389 °C. Dosežene temperature so bile v obeh pečeh približno enake, so pa bile zaznane razlike v doseženih višinah temperatur glede na merilno mesto. Najvišje temperature so bile dosežene v peči z dnom v obliki sklede že po prvi uri taljenja, medtem ko so bile pri peči z jamo za žlindro dosežene šele v tretji uri taljenja. Prav tako je bila naj-



Slika 6. Prikaz pozicij termičnih senzorjev in največjih izmerjenih temperatur s posameznim senzorjem; z rumeno je označeno področje najvišjih temperatur (od 1200 °C do 1400 °C), z oranžno je označeno področje srednjih temperatur (od 1000 °C do 1200 °C) in z rdečo je označeno področje najnižjih temperatur (od 800 °C do 1000 °C). Volk se v obeh primerih tvori tik pod šobo (črtkano siva črta). Žlindra v primeru peči z jamo za žlindro odteče naprej od volka proti dnu (sivo polje), medtem ko se v peči z dnom v obliki sklede zbira okoli volka, ki je vanjo delno potopljen.



Slika 7. Polovici volka s sredinski prerezom iz peči z dnom v ravnini tal (zgoraj) in iz peči s poglobljenim dnom (spodaj). Foto: Andrej Bogataj



Slika 8. Ostanek tekoče žlindre na dnu jaška za žlindro, ki očiščen razkriva podobo konja v galopu. Konica na desni strani jame za žlindo ponazarja smer vpiha zraka. Foto: Andrej Bogataj

ve od pražene rude do ingota 21,8 % za volka iz peči z jamo za žlindro in 14,6 % za volka iz peči s skledastim dnom. Ta rezultat je botroval končni odločitvi, da v nadaljevanju delamo eksperimente z uporabo peči z jamo za žlindro.

Tudi pri kasnejšem poskusu taljenja na Soriški planini leta 2022 smo prav tako izvedli peč z jamo za žlindro. Tu smo zaradi povečanega vpiha dosegli še nekoliko višje temperature in tekoča žlindra je dosegla dno jaška ter bila enakomerno porazdeljena med neizgorelim ogljem po celotnem volumnu jaška.

Vpliv povečevanja pretoka vpihanega zraka na hitrost in učinkovitost taljenja

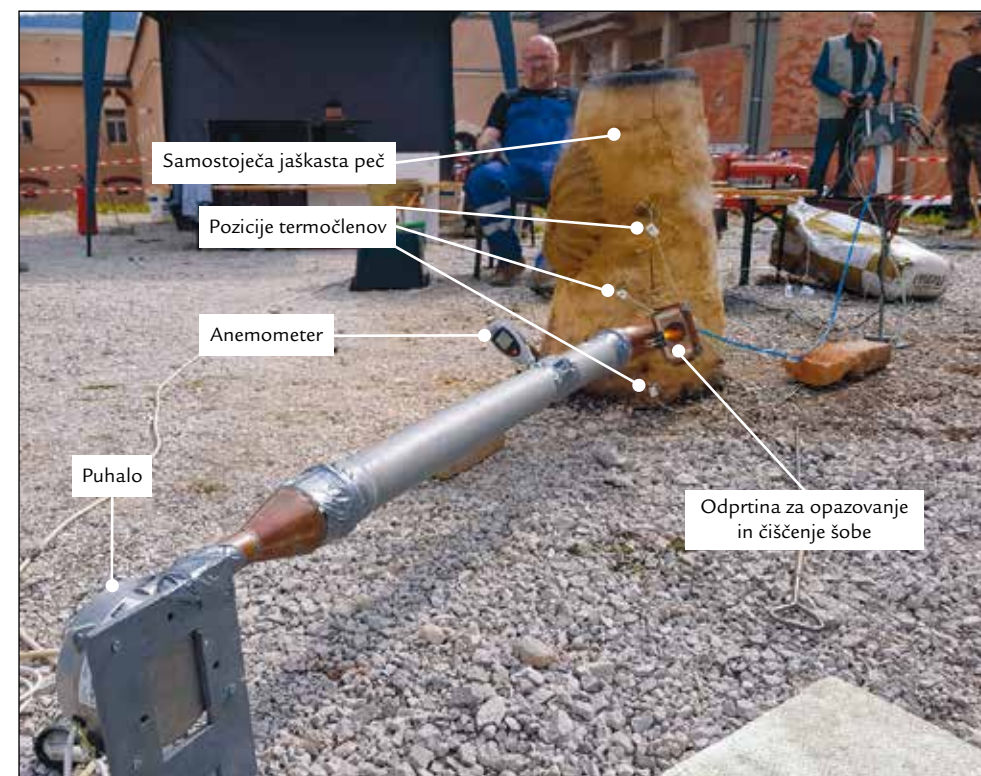
Namen postopnega zviševanja pretoka zraka je bil preveriti, kako količina vpihanega zraka vpliva na samo hitrost taljenja. V primeru, da imamo konstantne pogoje in da ne pride do zamašitve šobe, je čas med dvema zalaganjema oglja, rude in kremenca približno enak. En vsip v peč določene količine oglja, rude in kremenca poimenujemo tudi z izrazom sarža. Vpliv na daljši čas med dvema saržama ima ob začetku taljenja tudi začetna temperatura same peči, zato jo moramo segreti vedno enako dolgo in enako intenzivno.

Hitrost zraka merimo z instrumentom anemometrom tipa VOLCRAFT AN-10 v cevi premera 70 mm. Do sedaj smo se pri vseh poskusih držali hitrosti pretoka zraka 2,5 m/s. Seveda pa hitrost niha in je

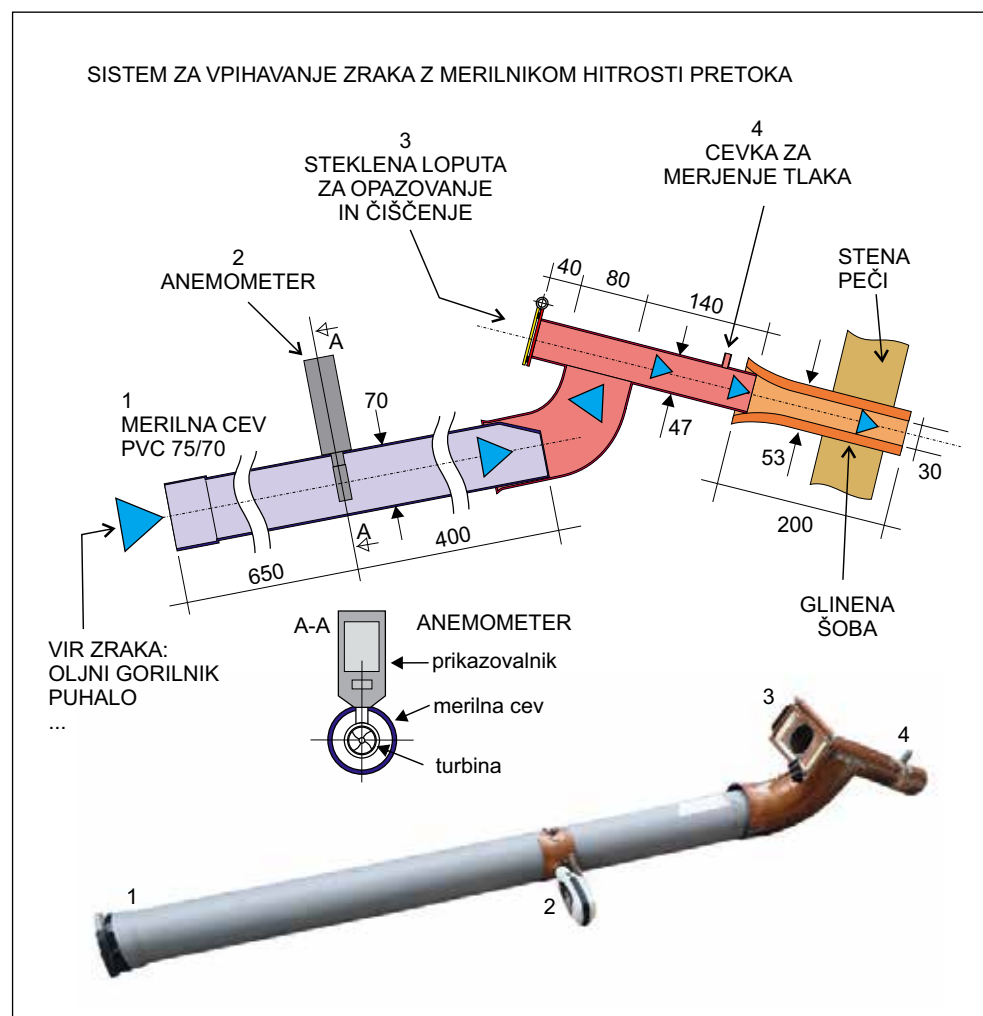
odvisna od tlačnih sprememb skozi peč.

Hitrost vpiha zraka smo v okviru eksperimenta vsako uro povečevali za 0,25 m/s od začetnih 2,5 m/s do končnih 3,5 m/s. Čas med dvema saržama se je znatno zmanjšal pri prvih dveh povečanih hitrosti, in sicer z začetnih 2 min 31 s na 2 min 13 s pri hitrosti zraka 2,75 m/s ter na 2 min 2 s pri hitrosti 3 m/s. Pri naslednjem povečanju hitrosti na 3,25 m/s ni bilo znatnega skrajšanja povprečnega časa med zaporednimi saržami (1 min 59 s), pri povečanju hitrosti vpiha zadnjo uro taljenja do končnih 3,5 m/s se je povprečni čas med saržami celo malenkost podaljšal na 2 min 4 s. Zaradi povečevanja hitrosti zraka je tudi statični tlak nekoliko naraščal in je znašal med 100 in 350 Pa. Tlak smo merili s senzorjem Sensirion SDP810-500 Pa.

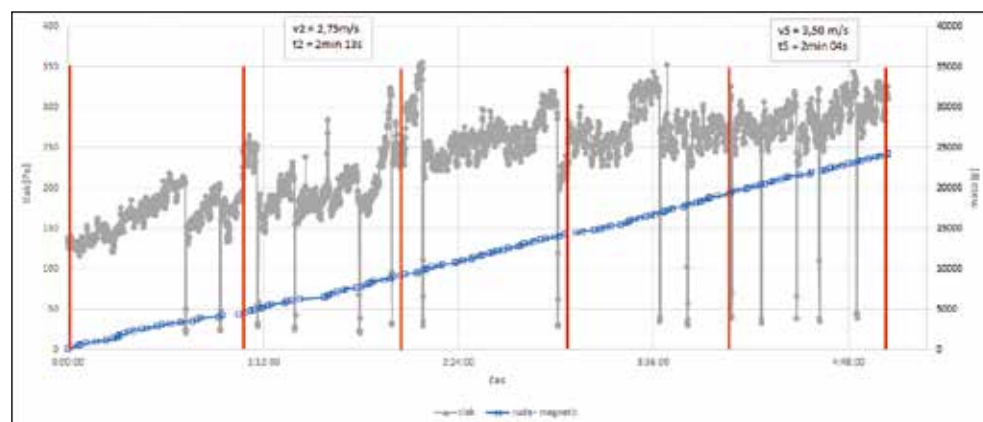
Na podlagi eksperimenta se je izkazalo, da je za to velikost peči in te velikosti sarž ter granulacije rude, oglja, kremenca kot najbolj učinkovita hitrost vpiha zraka okoli 3 m/s, oz. pretok 693 L/min. Povprečni



Slika 9. Puhalo, zračni kanal z merilnikom hitrosti zraka in kukalom za spremljanje dogajanja v peči, ki sočasno služi kot odprtina za čiščenje šobe. Foto: Simon Benedičič



Slika 10. Sistem za vpihovanje zraka z merilnikom hitrosti in odprtino za opazovanje in čiščenje. Vir: Andrej Bogataj



Slika 11. Statični tlak na zunanji strani šobe in hitrost taljenja oz. skupna poraba rude v odvisnosti od časa.

čas med dvema saržama je znašal 2 min in 10 s. Za večjo ponovljivost taljenja bo potrebno v prihodnje določiti čas ogrevanja peči in nastaviti hitrost zraka oz. pretoka od začetka na optimalno vrednost.

To ugotovitev smo želeli preveriti in potrditi pri poskusu taljenja na Soriški planini leta 2022 in že od začetka nastavili hitrost vpiha zraka na 3 m/s. Povprečni čas med dvema saržama je znašal 2 min 18 s. Med zalaganjem peči smo opazili povečano število iskric v plamenu na vrhu peči, ki jih pripisujemo izogrevanju zrn železa, na podlagi česar sklepamo, da je velik pretok zraka in dimnih plinov s seboj odnesel tudi najbolj fina zrna drobljene rude.

Optimizacija procesa izvleka in kovanja volka

Na podlagi poskusa "zamrznitve" peči tj. ohlaiditve peči in njeno postopno podiranje, ki smo ga izvedli v Stari Fužini leta 2019, poznamo lokacijo tvorjenja volka (Rihtaršič et. al, 2019, str. 101). Ta je po višini tik pod šobo, in sicer nekoliko zamaknjen iz sredine v smeri proti šobi ter se običajno drži stene. V primeru uporabe dveh šob, ki sta zamaknjeni po obodu, obstaja možnost nastanka dveh ločenih volkov. Da ne izgublamo časa pri izvleku volka in s tem njegovega ohlajanja, sedaj peč na višini šobe po obodu zasekamo in zgornji del peči poderemo v enem kosu. Sledi izvek in kovanje volka.

Najprej uporabimo večja lesena kladiva, ki jih kmalu zamenjamo za manjša vendar težja kovinska kladiva. Kovanje je že od začetka silovito in hitro. Zato je priporočljivo, da še vročega volka kujejo dva do trije kovači, ki se pri udarcih izmenjujejo. Prav tako je priporočljivo, da volka med kovanjem držimo z dvojimi kleščami, kar zmanjšuje tveganje padca volka z nakovala in pa omogoča lažje ter hitreše obračanje med procesom kovanja.

Čeprav dosedanje najdbe volkov iz železnodobne Štalce ne potrjujejo njihove takojšnje nadaljnje obdelave, je smotno še vročega takoj kovati. S tem delno iztisnemo nečistoče in dosežemo bolj

homogeno ter manj porozno strukturo. Porozna struktura, ki smo jo dobili pri nekovanem volku, zelo spominja na strukturo najdenih železnodobnih volkov s sledovi oglja na spodnji strani in vdolbino zaradi vpiha na zgornji. Struktura takoj po izvleku kovanega volka je opazno manj porozna in ni videti značilnih odtisov neizgorelega oglja.

Končni rezultat takojšnjega kovanja je manjši in lažji volk, vendar s tem znatno zmanjšamo število potrebnih nadaljnjih segrevanj in kovanj v kovaškem ognjišču, kjer dobimo končno kovno železo. Ta proces sam zase predstavlja enako zahteven izziv kot samo taljenje. Na podlagi najdbe volka iz železnodobne naselbine Štalca predpostavljamo, da so znali pridobivati nekovane volkove premera 30 cm ali celo več (Rihtaršič et al. 2019, str. 99), vendar ostaja skrivnost, kako so rešili izziv ponovnega enakomernega segrevanja te relativno velike gmote surovega železa, da so jih prekovali v kovno železo ali ingot. Pri tem so morali še posebej paziti, da na izpostavljenih zunanjih površinah ni prihajalo do pregrevanja in posledično iskrenja ter s tem izgub pridobljenega železa med taljenjem. Da bi volka pred kovanjem v kovno železo čim bolj enakomerne segreti, smo polovico volka iz Tržiča še enkrat prerezali na četrтинke mase 1403 g in 1492 g. Prvo gretje je običajno nekoliko daljše, potem pa se čas ponovnega segrevanja po vsakem kovanju zmanjšuje.

Izkoristek kovanja ingota iz volka je znašal 65 %, medtem ko je celokupni izkoristek predelave zdrobljene pražene rude v ingot dosegel 18 %.

Končni preizkus kakovosti ingota pridobljenega iz četrтинke volka iz taljenja v Tržiču, je bilo njegovo kovanje v uporabni izdelek. Kovaški mojster Timotej Kruška ga je v okviru taljenja na Soriški planini prekoval v železnodobno plavutasto sekuro. Kovaško kurišče je bilo postavljeno na tleh in zrak je kovaški mojster dovajal ročno z mehomo. Železo se je dobro preoblikovalo in po kovanju je ostalo 91 % mase ingota, vendar so pri kovanju težavo predstavljale mikro razpoke, ki so ostale od porozne strukture volka in so onemogočale izdelavo natančnih detajlov. Tako izziv izdelave kvalitetnega kovnega železa ostaja še odprt.



Slika 12. Taljenje v Tržiču – sekanje peči po obodu na višini šobe (zgoraj) in podiranje peči (spodaj).
Foto: Simon Benedičič



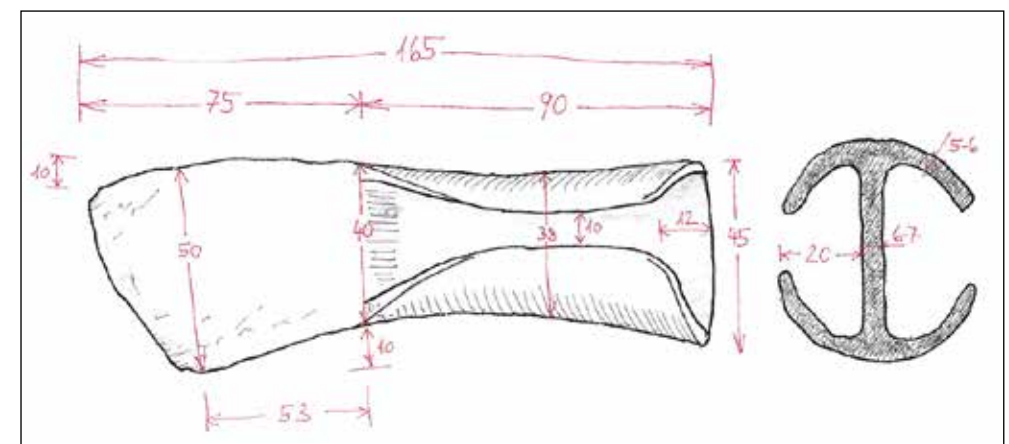
Slika 13. Taljenje v Tržiču – izvlek žarečega volka iz peči, kjer od njega kaplja tekoča žilindra (zgoraj). Kovanje na nakovalu najprej poteka z večjimi lesenimi kladivi (na sredini) in nato sledi še močno kovanje s kovinskimi kladivi (levo spodaj). Volk je po kovanju že delno preoblikovan v "štruco" z ravnimi stranicami (desno spodaj). Foto: Simon Benedičič



Slika 14. Prerez volka s taljenja v Stari Fužini leta 2019 brez kovanja po taljenju izkazuje močno porozno strukturo z vključki neizgorelega oglja na spodnji strani (levo) in prerez volka močno kovanega takoj po izvleku iz peči v Tržiču leta 2022 (desno). Prerez kovanega volka iz Tržiča je manj porozen in je po izgledu med surovim volkom ter ingotom. Foto: Andrej Bogataj



Slika 15. Podolgovati ingot z zaključkom v konico (m = 901 g) in pravokotni ingot (m = 984 g) skovana iz četrtink volka iz Tržiča. Foto: Bojan Rihtaršič



Slika 16. Skica železnodobne plavutaste sekire in njena replika (m = 895 g) skovana iz pravokotnega ingota (m = 984 g). Skica in foto: Bojan Rihtaršič

Zaključek

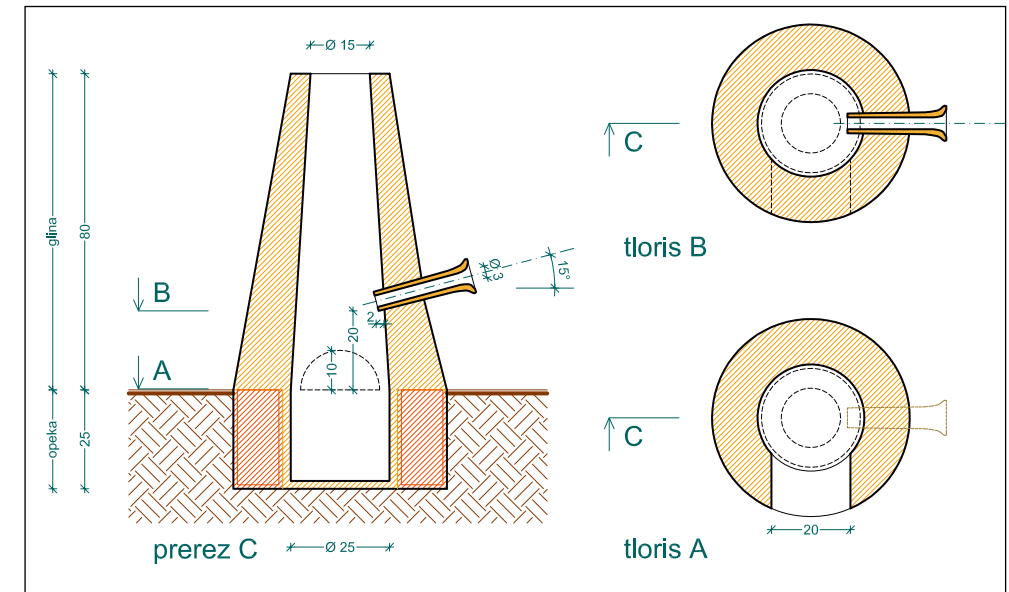
Zgoraj predstavljeni rezultati poskusov podajajo nekatera nova spoznanja o skrivnostih večšine taljenja železnodobnih predhodnikov. Fina granulacija drobljene rude ob ustreznem vpihu ni problematična. Peč z jamo za žlindre se je izkazala kot nekoliko bolj učinkovita od peči na izpust žlindre. Povečevanje hitrosti vpiha na 3 m/s od začetka taljenja je negativno vplivalo na kvaliteto in količino pridobljenega volka. Na podlagi tega rezultata sklepamo, da smo presegli optimalno hitrost vpiha zraka za takšne dimenzije peči in za uporabljeno granulacijo rude.

Kljub sistematičnemu pristopu k izvedbi poskusov, pa se pri samih izvedbah vedno pojavijo tudi nepredvidljivi dogodki, kot so vremenski pojavi, njihova v lastnostih uporabljenih surovin in v vplivih vsakokratnih izboljšav, ki posledično predstavljajo odstopanja od predhodnih taljenj in je zato določen raztros pri rezultatih potrebno vzeti v zakup. S številom ponovitev se statistično zmanjšuje nezupanje v pridobljene rezultate, zato je kot priloga dodana tudi pregledna tabela taljenja in kovanja v številkah, ki je nadaljevanje tabele iz predhodnega preglednega članka (Rihtaršič et. al, 2019). Iz pregledne tabele je z rastočim številom preizkusov kljub občasnim "zdrsom" mogoče zaznati trend izboljšanja izkoristka ter kvalitete pridobljenih volkov in ingotov.

Priloga: Eksperimentalna peč "Štalca"

Da bi dosegli čim bolj kontrolirane pogoje taljenja in zmanjšali vpliv morebitnih spremenljivk, smo se odločili za fiksiranje določenih postopkov in dimenzij peči in tako standardizirali eksperimentalno železnodobno peč imenovano "Štalca". Ime je dobila po železnodobni naselbini, ki je vir navdih za vso to početje.

Sušenje peči z majhnim ognjem lahko poteka že med samo gradnjo peči, kar je odvisno predvsem od njene stabilnosti. Da peč segrejemo na delovno temperaturo, se peč pred taljenjem najprej segreva 1 uro z lesom, nato pa še 1 uro z ogljem. Med ogrevanjem peči je potrebno zagotoviti vpih skozi servisno odprtino v ravnini tal, da les in večji kosi oglja čisto pogorijo. Šele po nalaganju peči z drobljenim in sejanim ogljem prestavimo vpih skozi šobo. Oglje pred taljenjem drobimo na rešetki z odprtiniami 30×30 mm. Prah oz. delce do velikosti premera 10 mm odstranimo s sejanjem. Pred začetkom taljenja naložimo oglje do vrha peči in nato dodamo prvo plast rude. Saržo oglja, rude in kremena dodajamo tako, da je peč ves čas napolnjena do vrha. Taljenje poteka 5 ur. Ko prenehamo z zalaganjem z rudo in ogljem, povečamo intenzivnost vpiha zraka, da oglje v peči pogori do nivoja šobe. Če pri tem opazimo iskrenje železa, se intenzivnost vpiha zraka nekoliko zniža. Peč podremo in izvlečemo volka ter ga hitro in silovito kujemo, da iztisnemo nečistoče.



Slika 17. Dimenzije eksperimentalne železnodobne peči "Štalca". Vir: Bojan Rihtaršič



Slika 18. Taljenje na Jesenicah leta 2020. Z leve proti desni: Stane Zgaga, Andrej Bogataj, Klemen Čufar, Matjaž Jelenc, Stane Hajdinjak, Bojan Rihtaršič, Janez Rihtaršič. Na sliki manjka fotograf Simon Benedičič.



Slika 19. Taljenje v Železnikih leta 2020. Peči s simbolom keltskih konj. Z leve proti desni zgoraj: Matjaž Jelenc, Klemen Čufar, Bojan Rihtaršič, Andrej Bogataj, Rudi Rejc, Stane Hajdinjak, Janez Rihtaršič. Spodaj: Mohor Jelenc, Matija Benedičič. Foto: Simon Benedičič



Slika 20. Taljenje v Železnikih leta 2021. Peči s simbolom beneškega leva in freisinškega medveda. Z leve proti desni zgoraj: Simon Benedičič, Klemen Čufar, Stane Hajdinjak, Matjaž Jelenc, Andrej Bogataj, Martin Rihtaršič, Marko, Rudi Rejc, Bojan Rihtaršič. Spodaj: Janez Rihtaršič, Matija Benedičič in Mohor Jelenc.



Slika 21. Taljenje v Trziču leta 2022. Peč s simbolom amonita. Z leve proti desni: Simon Benedičič, Klemen Čufar, Stane Hajdinjak, Andrej Bogataj, Matjaž Jelenc, Janez Rihtaršič in Bojan Rihtaršič.



Slika 22. Taljenje na Soriški planini leta 2022. Peč z logom hotela Lajnar ter padalcem, kolesarjem in smučarjem. Z leve proti desni: Rudi Rejc, Andrej Bogataj, Matjaž Jelenc, Stane Hajdinjak, Klemen Čufar, Janez Rihtaršič, Bojan Rihtaršič in Simon Benedičič.

Priloga: taljenje in kovanje v številkah

		Jesenice 2020	Železniki 2020-A	Železniki 2020-B	Železniki 2021-A	Železniki 2021-B	Tržič 2022	Soriška planina 2022
premer vznožja peči	[cm]	25	25	25	25	25	25	25
premer vrha peči	[cm]	15	15	15	15	15	15	15
velikost	[cm]	80	80	80	80	80	80	80
poglobitev	[cm]	0	0	0	25	0	25	25
masno razmerje ruda : oglje : kremen	[-]	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,3 : 0,07	1 : 1,2 : 0,06	1 : 1 : 0,06
ruda	[-]	magnetitna ruda < 4 mm	bobovec - Kropa < 1,6 mm	bobovec - Kropa 1,6-4 mm	bobovec - Kropa < 4 mm	bobovec - Kropa < 4 mm	magnetitna ruda < 4 mm	magnetitna ruda < 4 mm
sarža rude	[kg]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17 ± 0,01	0,20 ± 0,01
pražena ruda skupaj	[kg]	15,45	15,6	15,15	13,2	12,0	23,2	23,4
sarža oglja	[kg]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20 ± 0,02	0,20 ± 0,02
oglje za taljenje	[kg]	20,6	20,8	20,2	26,25	21,6	28,6	23,4
oglje skupaj	[kg]	50	42	42	30,9	26,3	34,8	40,9
sarža kremenca	[kg]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
kremen skupaj	[kg]	1,03	1,04	1,01	1,25	1,03	1,43	1,21
ostali dodatki	[kg]	0	0	0	0	0	0	4 x 0,2 okujine
čas taljenja	[h:min]	05:00	06:10	05:51	05:21	05:04	05:02	04:40
čas ogrevanja peči	[h:min]	03:00	02:45:00 20 min z ogljem do vrha	02:52:00 12 min z ogljem do vrha	30 min z ogljem do vrha	30 min z ogljem do vrha	45 min z lesom 9 min z ogljem do vrha	51 min z ogljem do vrha
povprečna hitrost vpiha zraka	[m/s]	2,51	2,45	2,48	2,5 do 3	2,5 do 4,0	2,5 do 3,5	3,0
povprečni pretok zraka	[dm ³ / min]	579,6	565,7	572,6	635,0	750,4	692,7	692,7
povprečni tlačni upor	[Pa]	150	165	129	150 do 300	150 do 300	100 do 350	100 do 370
povprečni čas med polnjenjem	[min:s]	2 min 56 s	3 min 33 s	3 min 29 s	2 min 27 s	2 min 58 s	2 min 10 s	2 min 18 s
velikost volka	[cm]	10×13,9×19,5	7×10×16 3,5×5×7 4×8×8 3×4,5×7,5	5×19×24	10×11×15,5	5×9×21,5	7×12×17	23×19×2,5 12×9×2 10,5×5,5×1,5

		Jesenice 2020	Železniki 2020-A	Železniki 2020-B	Železniki 2021-A	Železniki 2021-B	Tržič 2022	Soriška planina 2022
masa volka	[kg]	5,8	2,16 0,3 0,4 (0,379) 0,25	3,5	4,3	2,84	6,25	2,04 0,47 0,15
izkoristek taljenja * (od pražene rude do volka)	[%]	37,5	19,9	23,1	32,6	23,7	27,0	11,4
masa ingota	[kg]		0,41	0,57	1,23	0,54	1,89	0,26
izkoristek pražene rude	[%]		8,6	8,3	21,8	14,6	17,6	6,3

* Masa volkov in posledično izračunani izkoristek je bil pri taljenju na Jesenicah viši, ker smo volka pri izvleku kovali rahlo in z lesenimi kladivi ter se ga je tako še držal večji delež žlindre. Učinkovitost posameznega taljenja se bolje določi na podlagi nadaljnega kovanja volka v ingot.

Literatura

Rihtaršič, J., Bogataj, A., Rihtaršič, B. *Eksperimentalna arheologija: poskus pridobivanja železa po železnodobnih postopkih s Štalce*. V: *Železne niti 16*. Muzejsko društvo Železniki, 2019, str. 95-110.

Črešnar, M., Vinazza, M., Burja, J. *Nove arheološke raziskave na Cvingerju pri Dolenjskih Toplicah in njihov doprinos k poznavanju železarstva v jugovzhodni Sloveniji v starejši železni dobi*. V: *Arheo 34*. Slovensko arheološko društvo, 2017, str. 79-93.

