

IZVJEŠĆE

o eksperimentalnim procesima izrade peći

i taljenju željezne rude

Renesansni festival 2019., Koprivnica, 23. - 26. kolovoz 2018.



Ovo Izvješće napravljeno je za potrebe istraživačkog znanstvenog projekta TransFER kojeg financira Hrvatska zaklada za znanost, a provodi se u Institutu za arheologiju

Sastavio:

Ivan Valent

Koprivnica, 8. veljače 2019.

UVOD

U razdoblju od 23. do 26. kolovoza 2018. godine, na prostoru kasnosrednjovjekovne/ranonovovjekovne koprivničke utvrde, održano je 13. izdanje *Renesansnog festivala*. Manifestacija se održava u organizaciji Turističke zajednice grada Koprivnice, a tijekom posljednjih nekoliko godina program festivala obogaćen je promoviranjem jedne glavne teme, poput koprive, srednjovjekovne glazbe, pivarstvo i sl., dok je glavna tema Renesansnog festivala 2018. godine bila *Tajne željeza*. Iz tog je razloga festival pružio izvanrednu priliku da se posjetiteljima predstave dosadašnji rezultati projekta Hrvatske zaklade za znanost, *TransFER* (IP-06-2016-5047) pod nazivom *Proizvodnja željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku: stvaranje i transfer znanja, tehnologija i roba*. Budući da djelatnici Muzeja grada Koprivnice Robert Čimin i Ivan Valent sudjeluju na projektu kao vanjski suradnici, a Muzej grada Koprivnice je po prvi puta na Renesansnom festivalu sudjelovao kao partner, u dogovoru s voditeljicom projekta, dr.sc. Tajanom Sekelj Ivančan s Instituta za arheologiju, odlučeno je da se projekt prezentira kroz provođenje eksperimentalnih arheoloških procesa vezanih uz izradu peći za taljenje željezne rude i sam proces taljenja koji se u njima odvijao. To je ujedno bila i prilika da se samostalno primjene iskustva stečena sudjelovanjima na 9. i 10. izdanju radionice tehnika taljenje željezne rude na kojima su članovi projektnog tima sudjelovali tijekom 2017. i 2018. godine u mjestu Stará huť u Adamova, u Republici Češkoj.¹

U provođenju arheoloških eksperimentalnih procesa vezanih uz izradu peći i taljenja željezne rude na Renesansnom festivalu 2018. godine, uz voditeljicu projekta dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan, vanjske suradnici projekta, djelatnike Muzeja grada Koprivnice Roberta Čimina i Ivana Valenta, sudionice projekta, djelatnice Instituta za arheologiju, Tenu Karavidović i dr. sc. Katarinu Botić te doktoranda Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Tomislava Brenka sudjelovali su i arheolog Mario Bodružić, student diplomskog studija arheologije na Filozofskom fakultetu u Zagrebu Ilija Cikač, djelatnici Muzeja grada Koprivnice Saša Hrenić, Maša Zamljačanec i Vesna Peršić Kovač te Ivan Zvijerac, Ana Čimin, Antonija Čimin i Tea Lukanec.

¹ 9. radionica tehnika taljenja željezne rude (9. workshop starého železářství / 9th workshop old ironmongery) održavala se u razdoblju od 24. do 28. svibnja 2017. i na njoj su sudjelovali voditeljica projekta dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan i vanjski suradnik projekta Ivan Marija Hrovatin (Tajana Sekelj Ivančan: Izvješće o sudjelovanju na radionici tehnika taljenja željezne rude - 9. workshop starého železářství / 9th workshop old ironmongery – Stará huť, Adamov, Brno (Češka), Zagreb, 5. lipnja 2017., dostupno na: http://transfer.iarh.hr/images/Izvje%C5%A1%C4%87e_Brno_Adamov.pdf (8.2.2019.).

10. radionica tehnika taljenja željezne rude pod nazivom *Historic and Prehistoric Iron Smelting*, održavala se u razdoblju od 23. do 25. svibnja 2018. a na njoj su sudjelovali vanjski suradnici projekta Robert Čimin i Ivan Valent (Ivan Valent: Izvješće o studijskom putovanju i sudjelovanju na radionici eksperimentalnog taljenja željezne rude, Stará huť u Adamov, Republika Češka, 23. – 25. svibanj 2018., Koprivnica, 7. veljače 2019.).

SIROVINE

Organizator je za potrebe eksperimentalnih procesa osigurao ograđeni prostor te osnovne sirovine - glinu, pijesak, suho sijeno, drva, drveni ugljen i željeznu rudu (Slika 1). Glina za izradu peći nabavljena je s eksploatacijskog polja Gušćerovec kod Križevaca. Radi se o siltozna glini žutosmeđe boje.² Pijesak je dovezen s nepoznate lokacije, no radilo se o pijesku granulacije 0-4 mm. Budući da na prostoru Podravine zbog intenzivne poljoprivredne obrade tla nije moguće sakupiti barsku rudu koja je korištena u pećima za taljenje željezne rude koje su arheološki istražene na prostoru Podravine, za potrebe taljenja na Renesansnom festivalu korišten je koncentrat sitne rude iz rudnika Omarska koji se nalazi pored Prijedora, Republika Bosna i Hercegovina (Slika 2).³ Iako je za sušenje peći potrebno koristiti suha drva, a preporuča se bukva, korišteno je polusuho drvo oraha i suho šiblje. Drveni je ugljen dopremljen u vrećama težine 10 kg, a suho sijeno u obliku bale.



Slike 1. i 2. Korištene sirovine (glina, pijesak, voda, željezna ruda, drveni ugljen)

² Zahvaljujem gospodinu Goranu Staziću iz tvrtke "Radnik" Križevci na ustupljenom podatku

³ Kemijski sastav rude sadržavao je: Fe (50,69%), Fe₂O₃ (72,49%), SiO₂ (10,56%), Mn (2,1%), MnO (2,71%), Al₂O₃ (1,4%), CaO (0,33%), MgO (0,27%), LOI (11,06%), Feo (0,18%), H₂O (13,72%), Druge - S, P, Na₂O, K₂O, Zn, Co, Pb, F (1,18%).

TIPOVI PEĆI

Tijekom Renesansnog festivala 2018. godine eksperimentalno su građene 4 peći za taljenje željezne rude. Dvije su bile tzv. *talioničke peći na istek*, (Peći 1 i 3) (Slika 3), a dvije tzv. *jamske talioničke peći s nataloženom zgurom* (Peći 2 i 4) (Slika 4).⁴ Taljenje je provedeno na talioničkim pećima na istek, a vremenski su uvjeti nažalost onemogućili završetak procesa izrade peći i taljenje na primjerima jamskih talioničkih peći s nataloženom zgurom. U nastavku će svaka od peći biti zasebno obrađena, od početka njene izgradnje do završetka procesa taljenja, odnosno do faze u kojoj je on prekinut. Također, za svaku će peć biti navedena i opažanja vezana uz segmente procesa te interpretacija rezultata.



Slika 3. Peći 1 i 3 – talioničke peći na istek



Slika 4. Peći 2 i 4 – jamske talioničke peći s nataloženom zgurom

U završnom djelu Izvješća biti će prezentiran i proces eksperimentalnog iskopavanja peći s koji je proveden nekoliko dana nakon završetka Renesansnog festivala, 31. kolovoza. Uz navedeno biti će prezentirani i rezultati obrade materijala prikupljenog tom prilikom.

⁴ PLAINER, Radomir. *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*, Archeologický ústav AV ČR, Praha, 2000., 258, Fig. 67; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Predindustrijska obrada željeza: pokazatelji talioničke djelatnosti na primjeru arheoloških nalazišta u Podravini, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XV, br. 29, 2016., 120

TALIONIČKI PROCESI

PEĆ 1 - talionička peć na istek

Četvrtak, 23.8.2018.

Izgradnja i sušenje peći

Izgradnja Peći 1 započela je u četvrtak, 23.8. u 11:00 sati. Na početku se na blagoj padini iskopala jamica za ložište promjera 50 cm, dubine 8 cm. Stjenke jamice bile su okomito odrezane, a okolni prostor oko jamice, širine 10 cm, očišćen je od trave kako bi se na njemu mogla podići stjenka peći (Slika 5). To je značilo da će nam donji promjer ložišta peći iznositi 50 cm. Nakon što se jamica i okolni prostor navlažio s vodom započelo se s podizanjem stjenke peći (Slika 6).



Slike 5, 6. Jamica Peći 1 i njeno zamazivanje dna

Omjer sirovina u smjesi koja se miješala u drvenom koritu iznosio je 5 lopata gline i pola lopate pijeska, a suho sijeno i voda koje su povezivali sastojka i omogućavali njihovo sljublivanje dodavali su se prema okvirnoj procjeni. Nakon miješanja smjese i oblikovanja valjkastih segmenata (Slika 7) krenulo se s izgradnjom stjenke peći. Odlučeno je da će širina stjenke iznositi 6 cm, koliko je iznosila i zabilježena širina stjenki arheološki istraženih peći. Jednim koritom smjese podigla se stjenka peći čija je visina iznosila 10 cm (mjereno na vanjskoj strani stjenke peći), s time da je na prednjoj strani peći predviđen otvor za umetanje vrata. Tijekom izgradnje primijećeno kako se stjenka peći počela slijegati i da njena širina pri dnu ne iznosi više 6 cm, već malo više od 10 cm. Razlog tome bila je činjenica da se u prvu smjesa gline, pijeska i suhog sijena dodala prevelika količina vode. Tijekom pripreme drugog korita smjese dodala se manja količina vode te je ona bila kompaktnije. Unatoč tome slijeganje se nije moglo spriječiti te je odlučeno da se postepeno s vanjske strane uklanja dio stjenke koji je sjedao. Kako bi se taj proces probao zaustaviti zapaljena je manja vatra unutar ložišta peći kako bi se

unutrašnja stjenka i rub malo zapekli te na taj način usporili, tj. zaustavili slijeganje peći (Slika 8). Visina peći u tom je trenutku iznosila 20 cm (utrošena su dva korita smjese).



Slike 7, 8. Izgradnja Peći 1 i učvršćivanje njene stjenke

Nakon uklanjanja ostataka gara iz dna ložišta peći nastavilo se podizati stjenku do 40 cm visine (izmjereno na prednjoj vanjskoj strani) i tada smo ponovno u ložištu zapalili manju vatru kako bi očvrstnuli stjenke. Prije paljenja zaglađene su unutrašnja i vanjska strana stjenke, a u spoju peći sa tlom izrađen je obruč od gline. Uklanjanjem gara nastavljena je izgradnja do visine od 60 cm i tada je postupak paljenja vatre ponovljen. Završetak izgradnje peći bio je oko 19 sati (utrošeno je 8 sati za njeno podizanje), njena je visina na vanjskoj stjenki iznosila 75 cm, dok je u unutrašnjosti ona iznosila 83 cm (podsjećam, dno ložišta bilo je 8 cm ukopano u zemlju). Po završetku izgradnje započelo se sa sušenjem peći. Prvo je zapaljena vatra ispred otvora predviđenog za umetanje "vrata" koja se zatim preselila u ložište. Sušenje peći nastavljeno je ubacivanjem dugačkih komada drva kroz gornji otvor ložišta. Paralelno sa sušenjem odvijali su se i popravci vanjske stjenke. (Slike 9-10). Proces je prekinut u 21:30. U tom je trenutku temperatura na dnu ložišta, izmjerena kroz otvor, iznosila 1021°C, a na gornjem otvoru 622°C.



Slike 9, 10. Sušenje Peći 1 i zamazivanje pukotina na vanjskoj stjenki

Petak, 24.8.2018.

Sušenje i zagrijavanje peći te proces taljenja

Oko 9:00 sati započelo se s reparacijom peći (popravkom raspucanih dijelova stjenke) i loženjem vatre kako bi zagrijali peć. Oko 10:00 sati izgradila su se vrata uz pomoć valjkastih segmenata smjese gline, pijeska i suhog sijena u koja je umetnuta sapnica koja je dan ranije izrađena i do tada je već bila dobro osušena (Slika 11). Prije početka zagrijavanja peći, do 11:00 sati su se u peć kroz gornji otvor ložišta ubacivali dugački komadi drva kako bi se peć dodatno osušila. Nakon namještanja mjeha ispred peći, u 11:20 sati započelo se s upuhivanjem zraka u peć uz postepeno dodavanje drvenog ugljena kako bi se peć zagrijala (Slika 12). U tom je trenutku temperatura unutar dna ložišta, izmjerena kroz sapnicu, iznosila 394°C, dok je temperatura na vrhu otvora ložišta iznosila 211°C. U 12:30 temperatura unutar dna ložišta iznosila je 967°C a na vrhu 424°C. U 13:00 sati temperatura na dnu ložišta iznosila je 1033°C, a na vrhu 504°C.



Slike 11, 12. Izgradanja vrata Peći 1 i zagrijavanje peći drvenim ugljenom

Zagrijavanje peći obavljalo se do 13:30 sati kada se započelo s ubacivanjem smjese drvenog ugljena i željezne rude (Slika 13-14). Odlučeno je da će omjer ugljena i rude biti 1:1 te da će se peć puniti sa 13 kg rude. Proces taljenja odvijao se do 17:00 sati. Do 17:35 u peć je ubacivan samo drveni ugljen, uz nastavak upuhivanja zraka kroz mjeh u pravilnim intervalima od 2,5 sekunde. Do tada je tijekom cijelog procesa zagrijavanja peći i taljenja iskorišteno nešto manje od 40 kg drvenog ugljena. Prestankom ubacivanja drvenog ugljena nastavljeno je upuhivanje zraka u peć kako bi se ugljen reducirao i proces taljenja priveo kraju (Slika 15). U 18:30 započelo se s otvaranjem peći, a u 18:40 cijeli je proces bio završen (Slike 16 - 25).



Slike 13, 14. Taljenje u Peći 1



Slika 15. Redukcija ugljena u Peći 1



Slika 16. Čišćenje okoliša oko Peći 1 prije njenog otvaranja



Slika 17. „Tapanje“ otvora na dnu Peći 1



Slika 18. Izlazak zgure iz Peći 1



Slike 19, 20. Otvaranje vrata Peći 1



Slika 21. Izvlačenje užarenog ugljena iz Peći 1



Slika 22. Izvlačenje bloom-a iz peći



Slike 23, 24. Oblikovanje dobivenog komada spužvastog željeza



Slika 25. Sabijanje komada spužvastog željeza i izbacivanje nečistoća

Rezultati

Rezultat taljenja bila su dva komada *blooma*, što znači da je dobiven osnovni i sekundarni *bloom* (Slika 26). Ovaj podatak ukazuje na činjenicu da zrak u peć, uz pomoć mjeha, tijekom procesa taljenja, nije jednakomjerno upuhivan. Također, proces redukcije prilikom kojeg su se dva komada možda i mogla povezati nije proveden do kraja. Uz navedeno, prilikom otvaranja peći uočeno je da je otvor vrata premali da se *master bloom* izvadi iz ložišta. Iz tog je razloga peć djelomično srušena kako bi se proizvod izvukao van na daljnju obradu (Slika 27).



Slika 26. „Master“ *bloom* i sekundarni *bloom*



Slika 27. Rušenje Peći 1 i izvlačenje *blooma*

Prilikom oblikovanja komada spužvastog željeza (*bloom*), prvo uz pomoć drvenih, a kasnije i metalnih batova, proizvod je smanjen i od njega je otpalo nekoliko manjih komada tako da je njegova težina na kraju iznosila 1,254 kg. Nakon završetka procesa taljenja uzeti su i uzorci zgure. Njena je težina iznosila 5,132 kg.

PEĆ 2 - jamska talionička peći s nataloženom zgurom

Četvrtak, 23.8.2018.

Početak izgradnje peći

Početak izgradnje Peći 2 bilo je iskopavanja jame čija je širina iznosila 40 cm, a dubina 30 cm (Slika 28). Budući da je tijekom dana većina vremena bila usmjerena na izgradnju Peći 1 izgradnja Peći 2 započela je tek oko 19 sati. Prvi je red valjkastih segmenata postavljen na travnatu podlogu kako bio peć, nakon završenog procesa taljenja, bilo lakše ukloniti da se izvuče proizvod. Odlučeno je da se prilikom izgradnje Peći 2 neće paliti vatra u sklopu jame kako bi se učvrstila njena stjenka nego će se peć pokušati podići na način da se stjenka prirodnim putem suši i tada postepeno nadograđuje. Iz tog je razloga do kraja večeri podignuto 15 cm visine peći i ostavljena je da se suši do narednog dana (Slika 29). Prilikom njene izgradnje korištena je smjesa gline, suhog sijena, pijeska i vode, kao i u slučaju Peći 1.⁵



Slika 28. Početak kopanja jamice za Peć 2



Slika 29. Peć 2 na kraju dana

Petak, 24.8.2018.

Završetak izgradnje peći i njeno sušenje

Izgradnja Peći 2 nastavljena je oko 10:30 sati. Podignuta su tri reda "valjkastih segmenata" smjese i ostavljeni su sa da se presuše do 11:30 sati. Potom su ponovno izgrađena tri reda. U tom je trenutku visina vanjske stjenke peći iznosila 40 cm, dok je njena visina na unutrašnjem dijelu iznosila 60 cm. Promjer otvora na vrhu ložišta iznosio je 16 cm. Sapnica se nalazila na visini od 3-5 cm od tla. Peć je ostavljena da se prirodno suši do narednog dana kada će se nastaviti njeno sušenje, no uz pomoć suhog drveta. Nakon toga će uslijediti zagrijavanje peći, te naposljetku taljenje željezne rude.

⁵ U početku je bilo dogovoreno da će se u smjesu za izgradnju Peći 2 miješati i pljeva, no na prilikom pripreme smjese ona nije umiješana. Odlučeno je kako će se Peć 2 ipak izgraditi bez pljeve, no da će se pljeva koristiti u smjesi prilikom izgradnje Peći 4, koja će također biti *jamska peć s nataloženom zgurom*.

Subota, 25.8.2018.

Sušenje peći, zagrijavanje i taljenje

Početak sušenja peći započeo je u 13:05 budući da se dotad radilo na sušenju Peći 3 i izgradnji Peći 4. Sušenje je započeto ubacivanjem gotovog žara unutar jamice peći, u kombinaciji sa suhim komadima drveta (Slika 30). To je rađeno do popunjenja jamice. U 16:20 sati zamijećeno je kako je peć ugrijana na vanjskoj stjenki, no nije u potpunosti suha. U tome je trenutku izmjerena temperatura unutar peći koja je iznosila 75°C. Nastavljeno je sušenje peći uz dodavanje drveta u kombinaciji s gotovim ugljenom, a u 17:45 započelo se i sa povremenim upuhivanjem zraka u peć kako bi se raspirila vatra te peć osušila do kraja. U tome trenutku peć nije bila u potpunosti suha no bila je jednolično topla.



Slika 30. Sušenje Peći 2



Slika 31. Žar u Peći 2

U 18:30 sati peć je suha i započinje se s intenzivnijim loženjem vatre kako bi se zagrijala do temperature taljenja. Koristi se žar s ognjišta i dodaje se drveni ugljen, uz upuhivanje zraka uz pomoć mjeha, u intervalima od 6 sekundi. U 18:40 zamijećeno je da se ugljen u ložištu zažario samo s jedne strane - nasuprot sapnici. Situacija je dokumentirana i odlučeno je da se kontinuirano prevrće ugljen kako bi se zažario unutar cijelog ložišta (Slika 31). U tom se trenutku on nalazi 15 cm ispod razine sapnice. Nažalost, situacija se ne mijenja te se postavlja pitanje na kojem mjestu i na kojoj visini stjenke treba stajati sapnica. Ubacivanje ugljena u kombinaciji sa žarom, uz upuhivanje zraka se nastavlja te u 19:20 sati razina ugljena je 5 cm ispod razine sapnice. U tom je trenutku zamijećeno i jače žarenje ugljena unutar šire zapremnine ložišta. U 19:40 sati cjelokupna zapremnina ložišta je užarena iako je primjetno da je strana na kojoj se nalazi sapnica nešto manje užarena. Razlog tome je

bolji protok zraka te činjenica da je ugljen bliži protoku zraka iz sapnice koji se vidljivo raspršuje kroz kupolu peći. U 19:57 sati pukao je mjuh i zamijenjen je mjuhonom nešto manje zapremnine.⁶

U 20:30 sati zamijećeno je izlaženje plavičastih jezičaca vatre kroz gornji otvor ložišta. Do tada se kontinuirano u ložište ubacuje drveni ugljen. U trenutku kada dovoljno sagori, prije ubacivanja nove količine, plamen postaje crvenkasto-žut (Slika 32). Razina ugljena unutar ložišta sad je 15 cm ispod gornjeg otvora. Utrošena količina drvenog ugljena do ovog trenutka iznosi 10 kg. Intervali upuhivanja zraka iznose 4 sekunde. Ugljen se ubacuje svakih 15 minuta.



Slika 32. Crvenkasto-žuti plamen izlazi iz Peći 2



Slika 33. Tanjenje u Peći 2

U 21:10 započinje se s taljenjem (Slika 33). U ložište se ubacuje ruda i drvenu ugljen u omjeru 1:1, u iznosu od 500 grama. Iz ložišta peći se u trenutku upuhivanja zraka izdiže plavičasti plamen, no ponekad on zna sukljati i iz sapnice. Kada se u ložište ubacuje nova količina smjese plamen ne izlazi prilikom upuhivanja zraka, no nakon nekoliko minuta on ponovno počinje izlaziti. Istovremeno s probijanjem plamena kroz smjesu smjesa se unutar ložišta spušta i tada se ubacuje nova smjesa ugljena i rude. Intervali ubacivanja su između 6 i 10 minuta. U 21:48 sati peć počinje pucati na vanjskoj stjenki i na tim se mjestima zamazuje žitkom glinom. U 22:00 sata počinje padati kiša, no punjenje peći se nastavlja do 22:35 kada se odlučuje da će se stati s ubacivanjem smjese ugljena i rude jer se intenzitet kiše pojačao. Do tog je trenutka u peć ubačeno 4 kg rude i 4 kg drvenog ugljena. Iako se prestalo s ubacivanjem smjese odlučeno je da se bez obzira na okolnosti nastavi s ubacivanjem drvenog ugljena kako bi se pokušao provesti proces redukcije. To je rađeno do 23:10 sati kada vremenski uvjeti više nisu dozvoljavali nikakve radnje i temperatura unutar ložišta je počela padati. Proces je tada obustavljen. Ugljen u ložištu se nataložio do razine od 10 do 15 cm ispod gornjeg otvora ložišta.

⁶ Dužina prvog mjeha iznosila je 1,2 metra dok je dužina novog mjeha iznosila 1 metar.

PEĆ 3 - talionička peć na istek

Petak, 24.8.2018.

Izgradnja peći

Pripreme za izgradnju Peći 3 započele su u 11:20 sati. Prvo se na blagoj padini očistila površina promjera 50 cm od trave i zamazana je glinom. Odlučeno je da ova peć neće biti djelomično ukopana u padinu kako bi se vidjelo koliko i na koji način postojanje jamice utječe na proces taljenja (Slika 34). Nakon što je donja površina zamazana glinom započelo se s izgradnjom stjenke peći. Odlučeno je da će se graditi unutar prostora od očišćenih 50 cm, te da će unutrašnji prostor ložišta zauzimati promjer od 35 cm, dok će stjenke peći iznositi 6 cm. Kao i u slučaju Peći 1 odlučeno je da će se nakon izgradnje stjenke visine 15 – 20 cm unutar ložišta peći paliti vatra kako bi se unutrašnja stjenka peći zapekla i malo očvrsnula, iz razloga da ne sjeda. Kako bi se dodatno osigurala stabilnost stjenke pazilo se s omjerom vode kako smjesa ne bi bila mekana. Kao i u slučaju Peći 1 korišten je omjer 5 lopata gline i pola lopate pijeska, uz proizvoljan omjer suhog sijena. Prvo paljenje vatre, tj. učvršćenje stjenke, provedeno je kada je dosegnuta visina peći od 20 cm (Slika 35). Taj je postupak ponovljen na visini od 40 (visina stražnje stane peći), tj. 45 cm (visina prednje strane peći),⁷ te ponovno na visini od 50 cm (stražnja strana). U 20:23 sati visina peći na prednjoj strani kod vrata iznosila je 62 cm, tj. 56 cm na stražnjoj strani. Debljina stjenke peći u tome je trenutku iznosila 5 cm, a promjer gornjeg djela ložišta bio je 17 cm. U ovom se trenutku peć se ponovno suši i time se završava proces izgradnje Peći 3 za taj dan.



Slika 34. Zamazivanje baze ložišta Peći 3



Slika 35. Učvršćivanje stjenke Peći 3

⁷ Razlika je uvjetovana nagibom terena na kojem je peć podizana.

Subota, 25.8.2018.

Završetak izgradnje peći, sušenje, zagrijavanje i taljenje

Dan je započeo nastavkom izgradnje Peći 3 i zamazivanjem ispucanih dijelova njene vanjske stjenke koji su se pojavili tijekom prirodnog sušenja peći preko noći. Visina Peći 1 iznosila je (u unutrašnjosti) 83 cm, no odlučeno je da visina Peći 3 bude nešto niža kako bi se vidjelo na koji način visina peći, tj. visina ložišta, utječe na procese taljenja. Završna visina Peći 3 tako je iznosila 72 cm (na prednjoj strani pod „vrata“), tj. 67 cm na stražnjoj strani. Promjer otvora ložišta na vrhu iznosio je 14 cm, a debljina na otvoru iznosila je 5,5 cm.



Slika 37. Sušenje otvora „vrata“ Peći 3



Slika 38. Izgradnja „vrata“ Peći 3

Nakon početnog sušenja otvora peći (Slika 37) (koje je potrajalo kraće jer je peć prethodnog dana već u nekoliko navrata sušena uz pomoć vatre u ložištu zbog potreba učvršćivanja stjenki) u 10:45 sati započelo se sa izgradnjom vrata i uglavljanjem sapnice koja je napravljena prethodnog dana i dotad je već bila dobro presušena (Slika 38). Proces je završen oko 11 sati te se nastavilo sa sušenjem peći korištenjem dugih komada drva koji su se ubacivali kroz gornji otvor ložišta. Sušenje je, kao i u slučaju Peći 1, regulirano uz pomoć malog otvora na dnu vrata kojim se regulirao dovod zraka u ložište na način da se u ložištu održava spora, tzv. *lamilarna*, vatra (Slika 39). Proces sušenja trajao je do 13:45 sati kada je peć u potpunosti bila suha i spremna za zagrijavanje. U 14:00 sati stražnja je strana peći, do visine vrata, obložena slojem zemlje kako bi se kompenzirao gubitak topline kroz stjenke na donjem djelu ložišta gdje se postiže najviša temperatura (Slika 40).



Slika 39. Sušenje peći 3



Slika 40. Oblaganje Peći 3 zemljom i zagrijavanje

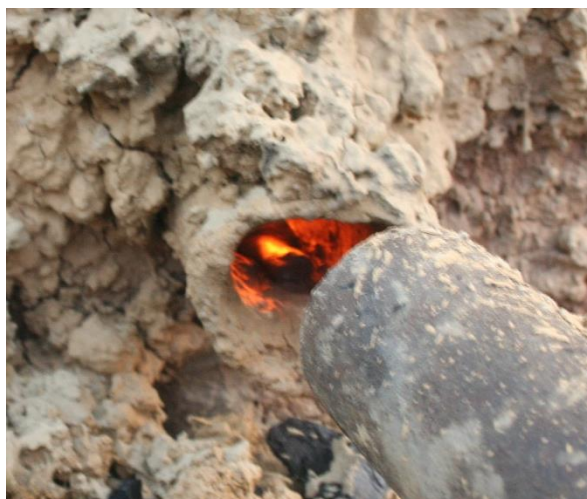
Zagrijavanje peći, koje se odvijalo uz pomoć dodavanja drvenog ugljena (Slika 40) čija je temperatura raspirivana kontinuiranim upuhivanjem zraka kroz mijeh, odvijalo se do 15:00 sati kada je započeo proces taljenja. Omjer rude i drvenog ugljena ponovno je bio 1:1, u identičnim količinama kao i u slučaju Peći 1, 500 grama od svakoga. Predviđeno je da će se u peć ubaciti 13 kg rude.

Do 16:10 ubačeno je 3 kg rude i ista količina drvenog ugljena. U tom se trenutku na rub sapnice u unutrašnjosti ložišta počela loviti tekuća zgura koja je uz pomoć drvenog štapića odstranjena. Također, u tom je trenutku izmjerena i temperatura unutar ložišta koja je iznosila 1335°C. U 16:32 sati, nakon ubačenih 4,5 kg rude ponovno je izmjerena temperatura unutar ložišta koja je sada iznosila 1388°C (Slika 41-42).



Slike 41, 42. Peć 3 tijekom taljenja. Vidljivi popravci stjenke žitkom glinom

Nakon što je u oko 19 sati ubačena zadnja mjerica mješavine rude i ugljena u peć u 19:20 sati primijećeno je da iz sapnice počinje izlaziti užarena zgura (Slika 43). Iako do tog trenutka nije do kraja proveden postupak taljenja, ali ni redukcija, volumen peći je bio zapunjen. Iz tog je razloga odlučeno da se će se peć otvarati u tom trenutku.⁸ Prilikom otvaranja vrata (Slike 44-47) dio konstrukcije peći se urušio (Slika 46), no to nije utjecalo na rezultat.



Slika 43. Izlaženje tekuće zgure kroz sapnicu



Slike 44, 45. Otvaranje otvora na dnu Peći 3 i početak otvaranja vrata peći

⁸ Još je jedan razlog uvjetovao ranije otvaranje peći. Bila je to činjenica da se polako spuštao mrak i posjetiteljima Renesansnog festivala je trebalo predočiti rezultat taljenja. Budući da je ovaj eksperimentalan proces podjednako rađen u znanstvene, kao i u prezentacijske svrhe, u ovom je slučaju, na želju organizatora, bilo potrebno prednost dati prezentaciji.



Slika 46. Završetak otvaranja „vrata“ Peći 3. Stjenka (konstrukcija) peći se urušava



Slika 47. Rušenje konstrukcije Peći 3 da se izvuče *bloom*



Slike 48, 49. Odvajanje komada spužvastog željeza od „vrata“ peći

Produkt je bio jedan *bloom* koji se zalijepio za „vrata“ peći (Slika 48-49). Nakon odvajanja krenulo se s njegovim oblikovanjem tijekom kojeg se razlomio na dva komada. Veći je komad odmah prenesen u kovačku radionicu (Slika 50) kao bi ga se, uz pomoć dodatnog zagrijavanja pokušalo dalje oblikovati, tj. dodatno iz njega izbaciti nečistoće koje je još uvijek sadržavao. Nažalost, zbog tehničkih se problema u kovačkoj peći nije mogla postići dovoljno velika temperatura te je postupak prekinut.



Slika 50. Komad spužvastog željeza dobiven iz Peći 3 u kovačkoj radionici

Rezultati:

Rezultat tanjenja bio je jedan komad spužvastog željeza koji se tijekom procesa taljenja zalijepio za vrata. Budući da je peć ranije otvarana nije proveden postupak redukcije. Uslijed otvaranja peć je zbog nedovoljne količine pijeska u smjesi gline popucala (Slike 46 – 49).

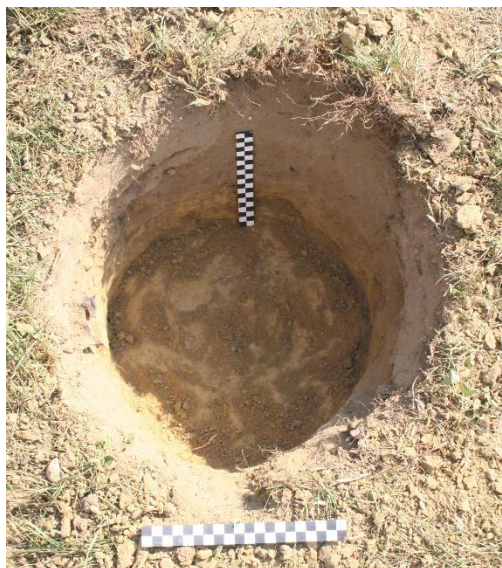
Prilikom oblikovanja komada spužvastog željeza (*bloom*), prvo uz pomoć drvenih, a kasnije i metalnih batova, proizvod se razdvojio na dva djela. Veći je dio upućen na daljnji obradu kod kovača, a težina manjeg komada iznosila je 2,117 kg. Nakon završetka procesa taljenja uzeti su i uzorci zgure iz peći i zgure koja se odvojila od proizvoda prilikom njegova oblikovanja. Njena je ukupna težina iznosila 3,173 kg

PEĆ 4 - jamska talionička peći s nataloženom zgurom

Petak, 24.8.2018.

Izgradnja peći

Peć 4 se počinje graditi oko 15:00 sati. Smjesa za izgradnju ove peći je izmijenjena, tj. prilagođena. Za bazu smjese uzima se 5 lopata gline, koristi se $\frac{1}{4}$ lopate pijeska i mješavina sijena i slame u omjeru 70% sijena : 30% slame. Prije podizanja stjenke iskopana je jama promjera 40 cm, kao i u slučaju Peći 2 (Slika 51). Od navedene je smjese bilo moguće podići strukturu peći visine 5 cm, čija je debljina stjenke iznosila 6 cm. Vrijeme potrebno jednoj osobi kako bi podigla tu strukturu jest 10 minuta. Vrijeme potrebno jednoj osobi kako bi pomiješala opisanu smjesu jest 20 minuta. Prilikom izgradnje ove peći zamijećeno je kako kombinacija slame i suhog sijena pridonosi lakšem oblikovanju valjkastih segmenata kojima se izgrađuje stjenka peći. U 20:50 sati izgradnja peći je obustavljena jer je pala noć. Vlaga u zraku je prevelika i to utječe na prirodno sušenje peći. Dosegnuta visina nadzemnog djela peći iznosi u tom trenutku 32 cm, dok njena ukupna visina iznosi 47 cm (jamski je dio peći plići nego što je bio u slučaju Peći 2 jer se radilo o izuzetno tvrdoj glinastoj podlozi). Debljina stjenke iznosi 5-6 cm, kako na kojem djelu, dok joj je vanjski promjer 42-43 cm.



Slika 51. Iskopana jamica Peći 4



Slika 52. Izgradnja peći 4

Subota, 25.8.2018.

Tijekom noći se uslijed djelovanja vlage, koja je utjecala na sušenje peći, oblik peći malo izmijenio i ona je poprimila bubrežast oblik. Razlog tome je činjenica da je peć sušena prirodnim putem, bez paljenja vatre u dnu ložišta, tj. u jamici. Nastavak izgradnje peći bio je u 14:00 sati. Njena se visina tijekom posljednjih sat vremena izgradnje podigla za 15-20 cm. Vanjski promjer gornjeg otvora ložišta iznosio je 22 cm, a unutrašnji 14 – 15 cm. Debljina stjenke iznosila je 7 cm. Izgradnja je završena u 15:45 sati i tada se započelo sa sušenjem stjenke (Slika 53).



Slika 53. Paralelno sušenje Peći 2 i Peći 4

Sušenje peći

Sušenje peći odvijalo se na način da se u jamicu ubacivao užareni ugljen s ognjišta, uz dodatak sitnog suhog drveta koje se ubacivalo svakih 30 minuta. Simultano je upuhivan zrak uz pomoć mjeha. U 16:20 sati peć se počinje zagrijavati na vanjskoj stjenici. U 17:30 sati ona je još uvijek vlažna, no vidljiv je napredak u njenom sušenju. U 18:30 peć se i dalje suši.

Peć je pokisla uslijed kiše koja je započela padati oko 22 sata i tada se prestalo s njenim sušenjem. Prostor je napušten iza 23 sata.

ISKOPAVANJE, 31.8.2018.

Nekoliko dana nakon provedenog procesa taljenja pristupilo se arheološkom iskopavanju ostataka peći.⁹ Paralelno su se dokumentirale Peći 2 i 4, te Peći 1 i 3, budući da se radilo o pećima istog tipa. Ovom simulacijom arheoloških iskopavanja željelo se usporediti rezultate provedenog eksperimenta s ostacima peći koje su pronađene tijekom arheoloških istraživanja na nekoliko lokaliteta u Podravini. Peći 2 i 4 obrađene su prve (Slika 54).



Slika 54. Peći 2 (desno) i 4 (lijevo) – jamske talioničke peći s nataloženom zgurom

Peći 2 i 4

Budući da u Peći 4 nije ni započeo proces taljenja ona je obrađena prva. Očišćen je okolni prostor i je peć dokumentirana. Nakon dokumentacije uspjelo ju se cjelovitu odvojiti od zemlje kako bi ju se sačuvalo.

Nakon čišćenja okolnog prostora oko Peći 2 prionulo se izradi njenog presjeka. Peć je prepiljena po pola uz pomoć ručne pile za željezo (Slika 55). Na mjestu gdje se nalazi sapnica tijekom nedovršenog procesa taljenja, na podlozi od drvenog ugljena, nakupila se tvorevina pomiješanog djelomično rastaljene željezne rude i zgure (Slika 56). Ona je bila slijepljena sa djelom sapnice koji se nalazio unutar ložišta. Nakon što je opisani konglomerat očišćen pristupilo se njegovoj dokumentaciji (Slika 57). Nakon dokumentacije druga polovica peći je rastavljena, no sačuvan je produkt nedovršenog taljenja. Jamica peći bila je zapunjena drvenim ugljenom koji je na mjestima, čak i nakon gotovo tjedan dana, još uvijek bio užaren! Ugljen je uklonjen iz jamice (Slika 58) i ona je nakon dokumentacije zatrpana.

⁹ U istraživanju su sudjelovali dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan s Instituta za arheologiju, djelatnici Muzeja grada Koprivnice, mr.sc. Robert Čimin i Ivan Valent te Ivan Zvijerac iz Torčeca. Istraživanju se pristupilo na način kao što bi se pristupilo i svakom drugom arheološkom iskopavanju: vođene su bilješke, prikupljani su uzorci i izrađena je foto-dokumentacija. Po završetku iskopavanja na isti se način pristupilo i obradi materijala.



Slike 55, 56. Izrada presjeka Peći 2. U unutrašnjosti vidljivi komadi rude koja se nije rastalila



Slike 57, 58. Dokumentacija Peći 2

Peći 1 i 3

Prije početka dokumentacije uklonjeni su urušeni ostaci Peći 1 i 3 kako bi se okolni prostor i same konstrukcije peći mogli očistiti i pripremiti za fotografiranje (Slika 59,60). Nakon otvaranja peći i oblikovanja grumena *blooma*, još za vrijeme Renesansnog festivala, prikupljeni su svi uzorci (ostaci zgure koji su istekli iz peći, zgura koja je preostala na dnu ložišta nakon taljenja, zgura koja je uklonjena oblikovanjem grumena, dobiveni komadi spužvastog željeza).¹⁰ Nakon primarnog uklanjanja stjenka peći prikupljeni su površinski ostaci zgure unutar ložišta peći koji su bili pomiješani s ostacima drvenog ugljena.

¹⁰ Prikupljeni su uzorci u Muzeju grada Koprivnice dokumentirani i izvagani.



Slike 59, 60. Peći 1 (lijevo) i 3 (desno) na početku čišćenja

Prilikom primarne dokumentacije izmjerena je debljina stjenki peći i njenih dijelova kako bi se utvrdilo na koji su način poteškoće prilikom izgradnje peći (meka smjesa gline prilikom početka izgradnje Peći 1) i njihova rješenja, utjecale na strukturu peći. Utvrđeno je kako je debljina stjenke Peći 1 pri dnu iznosila 20 cm, na 12 cm visine iznosila je 16 cm, srednji dio peći bio je 10 – 12 cm debljine, dok je njena debljina pri vrhu iznosila 8 cm, a na otvoru 5 cm. Također, utvrđeno je kako se najniži dio stjenke Peći 1 nije u potpunosti zapekao s vanjske strane, kao što je to bilo u slučaju s Peći 3, što je rezultat velike debljine stjenke. Promatrajući stjenku Peći 3 ona je bila ravnomjerno zapečena kroz cijeli presjek. Njena debljina nije varirala, što je bilo vidljivo i tijekom njene izgradnje.



Slika 61. Ložište Peći 1 s ostacima ugljena i gara



Slika 62. Očišćeno ložište Peći 3

Postepenim čišćenjem unutrašnjosti peći definirala su se ložišta peći (Slike 61-62) u kojima su preostali tragovi gara i ostaci zgure. Nakon njihova uklanjanja u Peći 1 uočeni su *in situ* ostaci zgure na mjestu njenog ispuštanja prije samog otvaranja peći i ostaci tzv. čipkaste zgure koja se tijekom procesa taljenja nakupila uz stjenku i na dnu ložišta. U središnjem je djelu ložišta bilo vidljivo mjesto na kojem se taložilo željezo (Slika 63). Ispred ložišta druge peći nisu zamijećeni ostaci zgure koja je ispuštana kroz otvor pri dnu vrata no zamijećeni su ostaci tzv. čipkaste zgure na dnu ložišta i mjesto gdje se taložio i stvarao grumen željeza (Slika 64).



Slika 63. Ostaci čipkaste zgure i zapečeno dno ložišta Peći 1



Slika 64. Ostaci čipkaste zgure i zapečeno dno ložišta Peći 3

Potom se pristupilo izradi presjeka obiju peći. Kod Peći 1 presjek je rađen nakon uklanjanja ostataka stjenke (Slika 65) dok je izrada presjeka Peći 3 započela u trenutku kada je stjenka peći i dalje stajala (Slika 66). U obje su peći, ispod zapečenog dna ložišta utvrđeni slojevi zemlje na koju je utjecala temperatura u peći tijekom taljenja. Debljina zapečenog sloja u Peći 3 iznosila je 1,5 cm. Ispod njega nalazio se sloj crne zemlje debljine 1,5 cm, podno kojeg je utvrđen sloj sivo zapečene zemlje debljine 4 mm. Unutrašnji promjer Peći 3 na početku taljenja iznosio je 35 cm, vanjski 50 cm. Kod Peći 3 prilikom čišćenja bilo je moguće i definirati prostor ispred peći na koju je utjecala toplina iz peći te proces vađenja proizvoda nakon taljenja. Utvrđeno je kako je temperatura utjecala na prostor širine 60 cm ispred vrata peći, gdje se vadio komad spužvastog željezna. Dužina tog prostora, zajedno s vanjskim promjerom peći iznosila je 90 cm. Iz navedenog je utvrđeno kako je okolni prostor ispred peći u dužini od 40 i širini od 60 cm bio pod utjecajem procesa taljenja (Slika 67). Nakon završnog uklanjanja stjenki peći u prostoru su preostale dvije manje jamice (Slika 68).



Slika 65. Presjek dna Peći 1



Slika 66. Presjek dna Peći 3



Slika 67. Okolni prostor Peći 3 na kojeg je utjecala temperatura taljenja i vađenja komada spužvastog željeza



Slika 68. Ostaci dna Peći 1 (lijevo) i Peći 3 (desno)

OBRADA PRIKUPLJENIH UZORAKA

Kako su tijekom imitiranja arheoloških iskopavanja provedenih nad našim pećima prikupljeni razni uzorci pristupilo se njihovoj obradi. Utvrđeno je da se nalazi poput dijelova stjenki peći, ulomci sapnica te različiti oblici zgure koji se pronalaze tijekom istraživanja arheoloških lokaliteta s talioničkom djelatnošću u Podravini, prikupljeni i nakon provedenog eksperimentalnog taljenja. Najistaknutiji primjer su komadi tzv. čipkaste zgure koji ostaju sačuvani na dnima peći, često slijepljeni za njene stjenke (Slika 69), ili komadi zgure koja je ispuštana iz peći prilikom njenog otvaranja (Slika 70).¹¹



Slika 69. Ostaci čipkaste zgure iz Peći 1

Slika 70. Talionička zgura koja je potekla iz Peći 1

Osim komada zgure prepoznati su i ostaci valjkastih glinenih segmenata kojima je građena stjenka peći (Slika 71-72). Promatrajući ulomke zgure prikupljene tijekom arheoloških istraživanja vidljivo je da se u pojedinima ne nalaze ostaci ugljena već samo prazne šupljine. Ta činjenica ukazuje da je proces taljenja u potpunosti proveden i sav je ugljen kojim je peć punjena izgorio, odnosno reduciran je. Prilikom obrade uzoraka prikupljenih na Renesansnom festivalu zamijećeno je nekoliko komada zgure iz Peći 1 i 3 u kojima su preostali nereducirani komadi ugljena (Slika 73-74). Iako su postupkom taljenja na Renesansnom festivalu dobiveni komadi spužvastog željeza¹² ovih nekoliko komada zgure ukazuje na činjenicu da je za potpunu finalizaciju procesa taljenja bilo potrebno još malo vremena.

¹¹ T. SEKELJ IVANČAN. Talionička djelatnost u okolini Molva...43, Sl. 2,3.

¹² Težina dobivenog komada željeza iz Peći 1 iznosila je 1254g, a težina komada željeza iz Peći 3 iznosila je 2117g (ovo je težina bez najvećeg komada željeza koji je upućen na daljnju kovačku obradu). Ostaci troske i željeza iz Peći 1 koji su se odvojili od spužvastog željeza prilikom oblikovanja i udaranja iznosili su 2208 g, a kod Peći 3 1049g. Zgura prikupljena iz Peći 1 imala je težinu 2924g, a iz Peći 3 2124 g.



Slike 71, 72. Ostaci valjkastih segmenata gline s otiscima prstiju



Slike 73, 74. Nereducirani komadići ugljena unutar komada zgure iz Peći 1

ANALIZA I ZAKLJUČAK

Tijekom eksperimentalne izrade tzv. talioničkih peći na istek i procesa taljenja koji se u njima odvijao tijekom Renesansnog festivala 2018. godine primijenjena su dosadašnja saznanja o načinu izrade i funkcioniranju peći proizišla iz arheoloških istraživanja nekoliko lokaliteta na prostoru Podravine. Cilj eksperimenta bio je utvrditi s kojim su se sve problemima tijekom procesa taljenja majstori suočavali te pokušati provesti uspješno taljenje u pećima na istek te jamskim pećima s nataloženom zgurom. Taljenje je provedeno u talioničkim pećima na istek (Peći 1 i 3) dok su vremenski uvjeti, nažalost, zaustavili i onemogućili provedbu taljenja u jamskim pećima s nataloženom zgurom

Talioničke peći na istek (Peći 1 i 3)

Uočeno je da je za izradu peći od izuzetne važnosti dobra priprema smjese gline i pijeska te optimalan omjer vode kako bi se smjesa mogla modelirati. Ukoliko se barem jednom segmentu smjese odredi premali ili preveliki omjer dolazi do poteškoća u izgradnji same konstrukcije peći, kao što je to bio slučaj s Peći 1. Tom prilikom je moguće, da se peć pod pritiskom vlastite težine, zbog prevelike koncentracije vode u strukturi, počinje slijegati. Također, moguće je da se, kao u slučaju Peći 3, zbog neujednačenog (ili premalog) omjera pijeska u smjesi peć nakon gubljenja stabilnosti (otvaranje vrata) djelomično uruši. Nadalje, utvrđeno je kako ukopano ložište (kakva su i nalažena na arheološkim lokalitetima) pridonosi nivelaciji blage kosine padine na koju je peć smještena. Ona ujedno i omogućava dobar smještaj komada željeza koji je u nastajanju u zaštićenom središnjem djelu ložišta kako bi se kvalitetno mogao formirati. Istovremeno ona sprečava veću koncentraciju troske, ali i željeza, na najosjetljivijem dijelu peći – vratima. Djelomično ukopavanje omogućuje proizvodu koji nastaje, i zguri koja ga okružuje, da se oni tijekom taljenja nalaze u jamici unutar koje željezo "pliva" u tekućoj troski koja ga štiti od atmosferilija.

Uz rudu, najvažniji segment taljenja je drveni ugljen kojeg je potrebno dovoljno usitniti kako se tijekom taljenja ne bi pojavili "džepovi" praznine u ložištu, kao što se nekoliko puta dogodilo tijekom taljenja Peći 3, iako je prethodno ugljen bio usitnjen. Ukoliko se oni pojave ruda i ugljen naglo padaju unutar ložišta i proces taljenja se ne provodi kvalitetno. On se ubrzava što dovodi do činjenice da se željezo ne tali postepeno te većina rude odlazi u zguru. Rezultat je gubitak rude koja bi se vezala u *bloom* te povećana količina troske koja zapunjava ložište.

Tijekom zagrijavanja, a naročito tijekom taljenja, upuhivanje zraka u peć izuzetno je važan segment procesa. Osoba koja upuhuje zrak uz pomoć mijeha zadužena je za ravnomjeran dovod potrebnog zraka u ložište i tempo upuhivanja što direktno utječe na sam proces taljenja koji se u peći događa, što ju čini najvažnijim sudionikom taljenja. Kontinuirano upuhivanje tijekom zagrijavanja peći također je bitno kako bi se stvorili optimalni uvjeti za početak taljenja. Tijekom samog taljenja bitno je oštro upuhivanje u intervalima kako bi se u najdonjem djelu ložišta, gdje se željezo skuplja,

održavala temperatura potrebna za odvijanje procesa taljenja, te kako bi zrak ravnomjerno mogao cirkulirati kroz cijelu peć, omogućavajući smjesi ugljena i rude da polagano sjeda prema dnu ložišta. Ukoliko to nije tako, i proces upuhivanja zraka tijekom taljenja se ne provodi u pravilnim intervalima, doći će do stvaranja sekundarnog komada spužvastog željeza, kao u slučaju Peći 1. Također, ukoliko se proces redukcije ne provede do kraja u dobivenom će komadu spužvastog željeza ostati prostori zapunjeni ugljenom koji se nije reducirao, kao što je to bio slučaj sa Peći 3. Budući da tijekom čitavog procesa taljenja peć preko stjenki gubi dio temperature, nju je, ukoliko se radi o tzv. samostojećoj peći na istek, potrebno kompenzirati zasipavanjem zemlje uz vanjsku stjenku donjeg djela peći, kao što je učinjeno u slučaju Peći 3.

Oblik i veličina ložišta u direktnoj su vezi s količinom rude koja se u nju ubacuje. Ako je volumen peći veći potrebno je daleko više rude kako bi se popunio njen kapacitet i stvorio dobar komad željeza, no ukoliko se u peć ubaci premala količina rude grumen koji će nastati na dnu ložišta neće biti dovoljno konzistentan. Ukoliko je količina rude koja se ubacuje u peć prevelika ložište će se zapuniti i tekuća će se troska pri kraju procesa početi nakupljati na/u sapnici prije završnog procesa redukcije ugljena, kao što je bio slučaj s Peći 3. Pravovremenim otvaranjem peći postiže se željena konzistencija spužvastog željeza i maksimalno iskorištavanje korištenih sirovina.

Nakon vađenja komada spužvastog željeza presudnu ulogu u njegovom oblikovanju i uklanjanju nečistoća s površine grumena ima iskustvo. Važno je dobro procijeniti jačinu udaranja drvenim batom kako bi se grumen sabio i kako u njemu ne bi nastale pukotine. Ukoliko se upotrijebi preveliki pritisak na netom izvađeni komad spužvastog željeza on se neće sabiti već će početi pucati što će se potencirati u trenutku kada će se s njegove vanjske površine uklanjati nečistoće. U tom će trenutku komad puknuti i razdvojiti se na manje dijelove, kao što je bio slučaj s komadom spužvastog željeza iz Peći 3.

Razmatrajući proces taljenja željezne rude, predradnje koje mu prethode te poteškoće koje tijekom njegova provođenja nastaju omogućuje nam da shvatimo složenost cjelokupnog postupka. Uočljivo je kako je za uspješno taljenje potrebno značajno iskustvo budući da tijekom cjelokupnog procesa, od izgradnje peći do oblikovanja komada spužvastog željeza (*bloom*), može doći do brojnih poteškoća. S obzirom na veliki broj poznatih arheoloških lokaliteta na kojima je zabilježena talionička djelatnost očito je da je, zbog prirodnih mogućnosti, taljenje željezne rude bila izuzetno značajna gospodarska djelatnost na prostoru Podravine u razdoblju od kasne antike do kraja kasnog srednjeg vijeka. S obzirom na navedene činjenice može se pretpostaviti da se vještina taljenja prenosila kroz generacije.