

## EKSPERIMENTALNA IZRADA PEĆI ZA TALJENJE ŽELJEZNE RUDE - PROCESI, PROBLEMI, RJEŠENJA

### EXPERIMENTAL PRODUCTION OF IRON ORE MELTING FURNACES – PROCESSES, PROBLEMS, SOLUTIONS

Ivan VALENT

Muzej grada Koprivnice

e-mail: ivalent@muzej-koprivnica.hr

Primljeno / Received: 7. 10. 2018.

Prihvaćeno / Accepted: 23. 11. 2018.

Izvorni znanstveni rad

Original scientific paper

UDK / UDC: 902.01(497.525Podravina)

66.041.456-032.41

#### SAŽETAK

*Od 2008. se godine na prostoru Podravine provode istraživanja vezana uz peći za taljenje željezne rude koja su početkom 2017. godine rezultirala pokretanjem projekta Hrvatske zaklade za znanost, TransFER, koji je usredotočen na istraživanje proizvodnje željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku.*

*U uvodnom će djelu rada ukratko biti predstavljena dosadašnja saznanja o temi, dok će u središnjem dijelu, na temelju provedenih eksperimentalnih istraživanja, biti predstavljen cjelokupan proces izgradnje talioničke peći, od prikupljanja osnovnih sirovina do samog dizanja peći, njenog sušenja, zagrijavanja te naposljetku sam proces taljenja. Uz opis procesa i analizu problema s kojima su se majstori susretali prilikom izrade i procesa taljenja, predstavljaju se rezultati dobiveni tijekom dvaju eksperimentalnih taljenja te stečena iskustva.*

**Ključne riječi:** Podravina, peći, željezna ruda, eksperimentalna arheologija

**Key words:** Podravina, furnaces, iron ore, experimental archeology

#### UVOD

Istraživanje peći za taljenje željezne rude na prostoru Podravine započelo je zaštitnim arheološkim iskopavanjem lokaliteta Virje - Volarski Breg 2008. godine. U narednim je godinama navedeni, ali i susjedni položaj Virje - Sušine, istraživani u nekoliko navrata,<sup>1</sup> a tijekom 2016. i 2017. godine istraživani

<sup>1</sup> SEKELJ IVANČAN, Tajana. Arheološka istraživanja ranosrednjovjekovne radionice za preradu željezne rudače na lokalitetu Virje-Volarski breg, *Anali Instituta za arheologiju* V, Zagreb, 2009., 65-70; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Talionička djelatnost u okolici Molva u ranom srednjem vijeku, u: *Zbornik radova sa znanstvenog skupa Molve – ljudi, selo i okoliš u dugom trajanju (1658.-2008.) u povodu 350-te obljetnice osnivanja današnjeg sela Molve*, *Bibliotheca ScientiaeMolvensis*, knjiga 2, (ur. Kolar, Mario i Petrić, Hrvoje), Molve, 2010.a., 30-45; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Rezultati istraživanja nalazišta Virje-Volarski breg u 2010. godini, *Anali Instituta za arheologiju* VII, Zagreb, 2010.b., 50-53; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Nastavak arheoloških istraživanja na položajima Volarski breg i Sušine kraj Virja u 2012. godini, *Anali Instituta za arheologiju* IX, Zagreb, 2013., 48-54; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Pregled dosadašnjih arheoloških istraživanja na lokalitetu Virje – Volarski breg/Sušine, *Podravski zbornik* 40, Koprivnica, 2014.a., 159-166; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Četvrta sezona arheoloških istraživanja nalazišta Virje-Volarski breg-Sušine, *Anali Instituta za arheologiju* X, Zagreb, 2014.b., 99-103; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Predindustrijska obrada željeza. Pokazatelji talioničke djelatnosti na primjeru arheoloških nalazišta u Podravini, *Podravina, časopis za multidisciplinarna istraživanja*, vol 15, br. 29, Koprivnica, 2016., 118-125; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Ranosrednjovjekovni objekt na Sušinama u Virju, *Cris: Časopis Povijesnog društva Križevci*, Vol. XIX, No 1, 2017. 115-128; SEKELJ IVANČAN, Tajana, MUŠIĆ, Branko. Geofizička i arheološka istraživanja na nalazištu Virje – talioničkoj radionici iz vremena kasne antike i ranog srednjeg vijeka, *Starohrvatska prosvjeta* III. ser.- sv. 41, Split, 2014., 177-183; SEKELJ IVANČAN, Tajana. Arheološki ostaci triju naselja na Sušinama u Virju, *Anali Instituta za arheologiju* XI, Zagreb, 2015., 50-53;; SEKELJ IVANČAN, Tajana, KARAVIDOVIĆ, Tena. Tkalački stan iz

je i lokalitet Hlebine - Velike Hlebine,<sup>2</sup> na kojem su također već ranije, tijekom dugogodišnjih sustavnih terenskih pregleda, zabilježene peći za taljenje željezne rude.<sup>3</sup> Temeljem navedenih rezultata, početkom 2017. godine, započelo je provođenje znanstveno-istraživačkog projekta *TransFER (IP-06-2016-5047) »Proizvodnja željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku: stvaranje i transfer znanja, tehnologija i roba«*,<sup>4</sup> pod vodstvom dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan iz Instituta za arheologiju, financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost. Tijekom prve godine projekta na temelju sustavnih terenskih pregleda i reambulacije terena,<sup>5</sup> izrađena je baza podataka zasad poznatih lokaliteta s metalurškom djelatnošću na prostoru Podravine, a objavljeni su i zasad poznati arheološki lokaliteti na kojima je, temeljem površinskih nalaza lomljene troske, ulomaka sapnica i stijenki peći, utvrđena talionička djelatnost, koju se na prostoru Podravine može pratiti od mlađeg željeznog doba do kasnog srednjeg vijeka.<sup>6</sup> U tom su razdoblju obavljena i terenska istraživanja kojima je cilj bio utvrditi porijeklo željezne rude i resursa potrebnih u samom procesu taljenja,<sup>7</sup> a novim su ciljanim arheološkim radovima prethodila magnetska istraživanja većih površina na pojedinim lokalitetima koji su prepoznati kao potencijalna mjesta na kojima se obavljao ovaj zahtjevan proces.<sup>8</sup> Dodatno su, tijekom prve, ali i druge godine trajanja projekta, sudionici projekta sudjelovali su na 9. i 10. izdanju »workshop starého železářství / workshop old ironmongery«, radionici održanoj u mjestu Stará huť u Adamovu, u organizaciji Technické muzeum v Brně<sup>9</sup> gdje su prikupljali znanja i iskustva vezana uz izradu peći za taljenje željezne rude (tip tzv. talioničke peći na istek)<sup>10</sup> te sam proces taljenja.

Budući da je jedan od bitnih segmenata samog projekta i njegova prezentacija, iskustva prikupljena na spomenutim radionicama prezentirana su tijekom javnih predavanja,<sup>11</sup> a demonstracija i provjera

Virja, Prilozi Instituta za arheologiju 33, Zagreb, 2016., 171-235. VALENT, Ivan, ZVIJERAC, Ivan, SEKELJ IVANČAN, Tajana. 2017, Topografija arheoloških lokaliteta s talioničkom djelatnošću na prostoru Podravine, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XVI, br. 32, 16-17.

<sup>2</sup> SEKELJ IVANČAN, Tajana, VALENT, Ivan. 2017, Ostaci talioničke radionice na lokalitetu Hlebine-Velike Hlebine, *Annales Instituti Archaeologici*, XIV, Zagreb, 73-76.

<sup>3</sup> ALEČKOVIĆ, Miralem, Noviji arheološki nalazi u Hlebinama i užoj okolici, *Hlebine u srcu, Hlebinski almanah*, Vol. 2, 1996, 16-17.

<sup>4</sup> Projekt je započeo 1. ožujka 2017. godine i traje do 28. veljače 2021. godine. <http://transfer.iarh.hr/index.php/hr/> (13.11.2018.)

<sup>5</sup> KRZNAR, Siniša. Izvješće o pregledu kartografskih izvora te rekognosciranju indikativnih toponima na prostoru Podravine, Zagreb, siječanj 2018., dostupno na: [http://transfer.iarh.hr/images/Izvje%C5%A1%C4%87e%20Toponimi%20Podravina\\_4.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Izvje%C5%A1%C4%87e%20Toponimi%20Podravina_4.pdf); TKALČEC, Tatjana. Izvješće o pregledu zračnih snimaka i rekognosciranju izabranih položaja na prostoru koprivničke Podravine, Zagreb, prosinac 2017., dostupno na: <http://transfer.iarh.hr/images/Izvje%C5%A1%C4%87e%20Zracne%20Podravina.pdf>; VALENT, Ivan. Izvješće o provedenim rekognosciranjima i reambulaciji arheoloških lokaliteta s metalurškim značajkama na prostoru Podravine, Koprivnica, 22.2.2018., dostupno na: [http://transfer.iarh.hr/images/Valent%20Ivan\\_Izvje%C5%A1%C4%87e\\_1-426.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Valent%20Ivan_Izvje%C5%A1%C4%87e_1-426.pdf).

<sup>6</sup> VALENT, Ivan, ZVIJERAC, Ivan, SEKELJ IVANČAN, Tajana. 2017, Topografija arheoloških lokaliteta s talioničkom djelatnošću na prostoru Podravine, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XVI, br. 32, 5-25.

<sup>7</sup> [http://transfer.iarh.hr/images/Brenko%20Tomislav\\_1.%20Okrugli%20stol\\_27.03.2018..pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Brenko%20Tomislav_1.%20Okrugli%20stol_27.03.2018..pdf) (13.11.2018.)

<sup>8</sup> [http://transfer.iarh.hr/images/Music\\_Branko\\_1.%20Okrugli%20stol\\_27.03.2018..pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Music_Branko_1.%20Okrugli%20stol_27.03.2018..pdf) (13.11.2018.)

<sup>9</sup> <http://transfer.iarh.hr/index.php/hr/rezultati/38-radionice> (13.11.2018.); TAJANA SEKELJ Ivančan. Izvješće o sudjelovanju na radionici tehnike 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](http://transfer.iarh.hr/images/Izvje%C5%A1%C4%87e_Brno_Adamov.pdf); [http://www.muzej-koprivnica.hr/studijsko-putovanje-u-staru-hut-kod-brna/\(13.11.2018.\)](http://www.muzej-koprivnica.hr/studijsko-putovanje-u-staru-hut-kod-brna/(13.11.2018.))

<sup>10</sup> Pleiner Radomir. *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*, Archeologický ústav AV ČR, Praha, 2000, 258, Fig. 67, desno; 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.

<sup>11</sup> [http://transfer.iarh.hr/images/Sekelj%20Ivančan\\_1.%20Okrugli%20stol\\_27.03.2018..pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Sekelj%20Ivančan_1.%20Okrugli%20stol_27.03.2018..pdf) (13.11.2018.); <http://www.muzej-koprivnica.hr/3-dani-muzeja-grada-koprivnice/> (13.11.2018.)



Slika 1a: Peći 1 nakon uklanjanja stijenki peći, prije početka čišćenja (snimila T. Sekelj Ivančan)



Slika 1b: Druga peć (Peć 3) nakon uklanjanja stijenki peći, prije početka čišćenja (snimila T. Sekelj Ivančan)

prikupljenih znanja prezentirana je na Renesansnom festivalu u Koprivnici 2018. godine.<sup>12</sup> U ovom će radu biti prezentirani i analizirani rezultati i zaključci prikupljeni tijekom eksperimentalnih procesa održanih u sklopu Renesansnog festivala 2018.<sup>13</sup>

### PRIPREMNI PROCESI

Osnovni preduvjet za funkcioniranje peći za taljenje željezne rude i sam proces taljenja jest dostupnost sirovina. Osnovna sirovina jest željezna ruda, a na prostoru Podravine je utvrđeno da je zahvaljujući fluvijalno-pedološkim karakteristikama prostora u prirodi nastajala barska ruda, limonit.<sup>14</sup> Budući da se ruda iz prirode u svojoj osnovnoj formi ne može direktno ubacivati u peć, nju je prije samog

<sup>12</sup> U provođenju arheoloških eksperimentalnih procesa vezanih uz izradu peći i taljenja željezne rude održanih na Renesansnom festivalu 2018. godine, u razdoblju od 23. do 26. kolovoza, sudjelovali su voditeljica projekta TransFER, dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan (Institut za arheologiju, Zagreb), djelatnici Muzeja grada Koprivnice Robert Čimin, Ivan Valent, Saša Hrenić, Maša Zamlijačanec i Vesna Peršić Kovač, djelatnici Instituta za arheologiju, Tena Karavidović i dr. sc. Katarina Botić, doktorand Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Tomislav Brenko, arheolog Mario Bodružić, student diplomskog studija arheologije na Filozofskom fakultetu u Zagrebu Ilija Cikač, Ivan Zvijerac, Ana Čimin, Antonija Čimin i Tea Lukanec. [http://www.muzej-koprivnica.hr/tajne-zeljeza-na-renesansnom-festivalu/\(13.11.2018.\)](http://www.muzej-koprivnica.hr/tajne-zeljeza-na-renesansnom-festivalu/(13.11.2018.)); [http://www.muzej-koprivnica.hr/iskopane-peci-za-taljenje-zeljezne-rudace-s-renesansnog-festivala/\(13.11.2018.\)](http://www.muzej-koprivnica.hr/iskopane-peci-za-taljenje-zeljezne-rudace-s-renesansnog-festivala/(13.11.2018.))

<sup>13</sup> Tijekom Renesansnog festivala 2018. godine eksperimentalno su građene 4 peći za taljenje željezne rude. Dvije su bile tzv. *talioničke peći na istek*, a dvije tzv. *jamske talioničke peći s nataloženom zgurom* (R. PLEINER, *Iron in Archaeology* 258, Fig. 67; SEKELJ IVANČAN, T. *Predindustrijska obrada.* 120). 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. Iz tog će razloga u radu biti prikazani rezultati prikupljeni tijekom procesa izrade i taljenja talioničkih peći na istek.

<sup>14</sup> I. VALENT, I. ZVIJERAC, T. SEKELJ IVANČAN. *Topografija...* 11, 21.

procesa taljenja potrebno pržiti na otvorenoj vatri. Najjednostavniji postupak jest da se slaže konstrukcija od naizmjenično posloženih slojeva tanjeg granja i rude koji se potom zapale. Temperatura koju takva vatra postiže, zavisno o suhoći drveta, iznosi oko 600 - 800 °C, što je dovoljno da bi se ruda prepržila. Razlog prženja jest činjenica da barska ruda u sebi sadrži dosta vlage koja se na taj način izvlači iz rude. Tim se procesom izvlači i dio nečistoća iz rude, a i jednostavnije ju je kasnije usitniti budući da se tijekom procesa taljenja ona u peć ubacuje u sitnim granulama radi lakšeg taljenja.<sup>15</sup>

Drugi bitan segment jest dostupnost ostalih resursa, prvenstveno gline koja je potrebna za izgradnju samih peći. S obzirom da ju je u prirodi, pa tako i na prostoru Podravine, dosta jednostavno prikupiti, čini se da položaj smještaja peći za taljenje željezne rude nije toliko ovisio o njoj koliko o dostupnosti same rude. No, da bi se glina mogla oblikovati, potrebno je u blizini imati izvor vode. Nadalje, prilikom izrade peći, samu je glinu potrebno miješati sa zrcima pijeska kako bi joj se povećala temperaturna otpornost. Razlog tome jest činjenica da kvarc, tj. kvarcni pijesak (SiO<sub>2</sub>) može izdržati nagle promjene temperature, pa stijenka ne popuca,<sup>16</sup> što je prilikom podizanja temperature u pećima za taljenje željezne rude izuzetno bitno. Najjednostavniji način prikupljanja pijeska su ponovno manji ili veći vodotoci. Iz navedenog je razumljivo iz kojeg su razloga položaji talioničkih peći smješteni u blizini vodotoka.<sup>17</sup>

Treći segment procesa taljenja jest gorivo. Eksperimentalnim taljenjima u Češkoj, ali i na Renesansnom festivalu, utvrđeno je kako je potrebno do 40 kg drvenog ugljena za jedno taljenje.<sup>18</sup> Količina utrošenog ugljena ovisi o volumenu peći, ali djelomično i o vještini majstora.<sup>19</sup> Drveni se ugljen u peć ubacuje tijekom njenog zagrijavanja i procesa taljenja. Razlog njegova korištenja je činjenica da daje veliku toplinu koja je potrebna da bi se željezna ruda rastalila. Osim toga, izgaranjem drvenog ugljena nastaje ugljikov monoksid koji se veže na kisik iz oksida željeza i na taj se način dobiva spužvasto željezo i ugljikov dioksid. Budući da dio željeza tijekom procesa i dalje ostaje vezan uz kisik on se, zajedno s drugim nečistoćama u rudi, iz peći ispušta u obliku tekuće zgure/troske.<sup>20</sup>

## IZRADA PEĆI ZA TALJENJE ŽELJEZNE RUDE

Prilikom izrade peći, kao što je već i navedeno, potrebno je osigurati osnovne resurse. Prilikom arheoloških istraživanja na prostoru Podravine, ali i drugdje u Europi, utvrđeno je kako se talioničke peći pojavljuju u parovima,<sup>21</sup> što je značilo da je prilikom pripreme osnovnih sirovina i resursa bilo potrebno znati kolika je količina gline potrebna da bi se jedna peć izgradila, kao što je bilo potrebno i

<sup>15</sup> Budući da na prostoru Podravine nije moguće više sakupiti barsku rudu je je njeno nastajanje u prirodi onemogućeno intenzivnom poljoprivrednom obradom tla za potrebe taljenja na Renesansnom festivalu korišten je koncentrat sitne rude iz rudnika Omarska koji se nalazi pored Prijedora, Republika Bosna i Hercegovina. Ruda je nabavljena posredstvom Turističke zajednice grada Koprivnice i na tome im se ovim putem srdačno zahvaljujem. Kemijski sastav rude sadržavao je: Fe (50,69%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (72,49%), SiO<sub>2</sub> (10,56%), Mn (2,1%), MnO (2,71%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,4%), CaO (0,33%), MgO (0,27%), LOI (11,06%), Feo (0,18%), H<sub>2</sub>O (13,72%), Druge - S, P, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Zn, Co, Pb, F (1,18%).

<sup>16</sup> KVARC, u: Hrvatska enciklopedija, Broj 6 (Kn-Mak), Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb 2004., 245

<sup>17</sup> I. VALENT, I. ZVIJERAC, T. SEKELJ IVANČAN. Topografija...21.

<sup>18</sup> Ova količina ugljena zasniva se na dimenzijama, tj. volumenu peći - za prosjek se uzima blago stožasta konstrukcija talioničke peći na istek s unutrašnji promjerom dna ložišta od 30-35 cm, visinom ložišta od 85 cm i unutrašnjim promjerom otvora ložišta na vrhu peći od 15 cm.

<sup>19</sup> Ukoliko su u procesu sušenja peći korištenja suha drva i majstor je tijekom procesa uspio održavati laminarnu vatru u peći je ostale veća količina drvenog ugljena koja se posredno stvorila tijekom njenog sušenja.

<sup>20</sup> Zahvaljujem kolegi Ondřeju Merti iz Technické muzeum v Brně i njegovom kolegi Dominiku na savjetima prilikom sudjelovanja na »10. workshop starého železářství / workshop old ironmongery«, radionici održanoj u mjestu Stará huť u Adamovu u razdoblju od 23. do 25. svibnja 2018. godine.

<sup>21</sup> SEKELJ IVANČAN, Tajana. Arheološka istraživanja ranosrednjovjekovne radionice za preradu željezne rudače na lokalitetu Virje-Volarski breg, *Annales Instituti Archaeologici*, V, Zagreb, 2009., 70; SEKELJ IVANČAN, Tajana, VALENT, Ivan. Ostaci talioničke radionice na lokalitetu Hlebine-Velike Hlebine, *Annales Instituti Archaeologici*, XIV, Zagreb, 2017., 75-76.

osigurati dovoljnu količinu rude za jedan ili više procesa taljenja koji su se unutar peći odvijali.<sup>22</sup> Budući da je glina uzimana iz prirode, prilikom eksperimentalnih procesa na Renesansnom festivalu 2018. godine<sup>23</sup> korištena je siltozna glina žutosmeđe boje koja se danas vadi na eksploatacijskom polju Gušćerovec kod Križevaca.<sup>24</sup>

Prilikom odabira položaja na kojem će biti izgrađene peći odabrana je blaga padina budući da je tijekom sustavnih terenskih pregleda i arheoloških iskopavanja zaključeno da su peći bile pozicionirane na blagim padinama brežuljaka, tj. pri njihovom dnu.<sup>25</sup> Tijekom iskopavanja uočeno je kako su i peći bile blago ukopane u padinu, tj. tlo<sup>26</sup> te je stoga ložište Peć 1 ukopano 8 cm u tlo. Kako bi utvrdili pogodnosti (ili nedostatke) blagog ukopavanja ložišta peći (jamice), izgradnja druge peći na istek<sup>27</sup> odvijala se na način da su stijenke podizane na ravnoj površini tla. Njihovi promjeri bili su različiti - u slučaju Peći 1 promjer jamice iznosio je 50 cm i oko nje se potom, na vanjskoj površini, na kojoj je prethodno uklonjena trava, podizala stijenka peći, dok je u slučaju druge peći unutrašnji promjer ložišta iznosio 35 cm oko kojeg se podizala stijenka, također na prethodno očišćenoj površini.<sup>28</sup> S obzirom na dosadašnja arheološka istraživanja, odlučeno je da će se graditi tip tzv. talioničkih peći na istek. Prije samog početka izgradnje stijenki obiju peći donja je zemljana površina namazana tankim slojem gline. Omjer korištene gline i pijeska iznosio je 5:1, odnosno na pet lopata gline dodana je jedna lopata pijeska.<sup>29</sup> Najjednostavniji način izgradnje stijenke je izrada malih valjkastih glinenih segmenata koji se potom nadograđuju jedan na drugi i međusobno povezuju, pri čemu je potrebno paziti na zamazivanje pukotina i oblikovanje unutrašnje i vanjske površine stijenke. Iz navedene je količine smjese moguće izgraditi stijenku peći visine 10 cm. Količina vode koja se dodaje na opisanu smjesu, kako bi se ona mogla modelirati, veoma je bitna u samom procesu izgradnje stijenki peći. Naime, ukoliko se umiješa previše vode tada glina postaje premekana i tijekom dizanja konstrukcije ložišta može doći do slijeganja same strukture. Upravo se to dogodilo tijekom izgradnje Peći 1. Iako je na početku izgradnje Peći 1 određeno da će širina njene stijenke iznositi 8 cm, postepeno se pod težinom novih nanosa premekane smjese gline njena stijenka širila te ju je bilo potrebno sužavati.<sup>30</sup> Suprotno tome, ukoliko je glina pre-

<sup>22</sup> Talioničke peći na izljev funkcionirale na način da su na prednjem djelu imale vrata kroz koja se produkt *spužvastog željeza (bloom)* nakon procesa taljenja izvlačio van te je peć nakon upotrebe bila čišćena i već je idući dan, uz obavljene popravke, ponovno mogla biti korištena. Pretpostavlja se da su takve samostojeće peći korištene i na prostoru Podravine (GOMORI, Janos. *The Archaeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and Early Arpad period*, Sopron, 2000, 242, 157. kep) te su takve i rekonstruirane prilikom ovdje opisanih procesa.

<sup>23</sup> Izgradnja peći i taljenje željezne rude na Renesansnom festivalu 2018. godine odvijala se tijekom tri dana. Peć 1 građena je tijekom četvrtak, 23. kolovoza, a taljenje u njoj je provedeno 24. kolovoza. Izgradnja Peći 2 odvijala tijekom 24. kolovoza, a proces taljenja 25. kolovoza.

<sup>24</sup> Zahvaljujem gospodinu Goranu Staziću iz tvrtke »Radnik« Križevci na ustupljenom podatku.

<sup>25</sup> T. SEKELJ IVANČAN, I. VALENT. *Ostaci... 73*; I. VALENT, I. ZVIJERAC, T. SEKELJ IVANČAN. *Topografija...21*.

<sup>26</sup> T. SEKELJ IVANČAN. *Arheološka istraživanja...66,67*; T. SEKELJ IVANČAN, I. VALENT. *Ostaci...74-75*.

<sup>27</sup> Prilikom eksperimentalnog taljenja na Renesansnom festivalu Peć 1 i 3 bile su tip peći na istek dok su peći 2 i 4 bile tip jamskih peći. U ovom će radu stoga Peći 1 označavati kao Peć 1 dok će se Peći 3 označavati kao druga peć budući da se samo njih dvije i predstavljaju.

<sup>28</sup> Promjer peći rađen je dogovorno, na temelju prosječnih zabilježenih promjera peći istraženih prigodom arheoloških iskopavanja lokaliteta Virje-Volarski breg i Hlebine - Velike Hlebine. T. SEKELJ IVANČAN. *Arheološka istraživanja...66,67*; T. SEKELJ IVANČAN, I. VALENT. *Ostaci...74-75*

<sup>29</sup> Omjer je izrađen na temelju postepenog dodavanja pijeska u navedenu količinu gline na temelju iskustva prikupljenog na radionici eksperimentalnog taljenja željezne rude »*Historic and prehistoric iron smelting and processing*« koja se, u vremenu od 23. do 25. svibnja, održavala u mjestu Stará huť u Adamova u Republici Češkoj. Kao pijesak je korišten građevinski pijesak granulacije 0-4 mm.

<sup>30</sup> Razlog tome je bila premokra glina koja je korištena u početnom djelu procesa. U trenutku kada se uočio problem bilo je već prekasno da se peć sruši i iz nova počne raditi budući da se smatralo da bi se izgubilo previše vremena i peć se ne bi taj dan uspjela izgraditi. Iz tog je razloga izgradnja Peći 1 trajala 8 sati, od 11 do 19 sati.



**Slika 2:** Ložite Peći 1 prije uklanjanja ostataka gara (snimila T. Sekelj Ivančan)

tvrdra nije ju moguće modelirati. Omjeri u smjesi pri izgradnji druge peći su korigirani te je njena širina, od dna do vrha iznosila 6 cm.<sup>31</sup>

Tijekom podizanja Peći 1, uočeno je kako bi se proces slijeganja mogao zaustaviti loženjem manje vatre na dnu ložišta. Vatra, odnosno žar je nakon nekog vremena uklonjen te je nastavljeno s podizanjem stijenki ložišta. Na taj je način učvršćena unutrašnja površina stijenke te se slijeganje zaustavilo jer je sam proces je ponavljan u prosjeku svakih 10 - 15 cm do završetka izgradnje ljevkastog ložišta peći, čija je ukupna visina iznosila 70 - 75 cm vanjskoj, odnosno 80 - 85 cm na unutrašnjoj stijenci.<sup>32</sup> Promjer otvora Peći 1 iznosio je 15cm.

Pri podizanju stijenki druge peći, kako bi se izbjeglo slijeganje strukture, omjer vode i smjese pijeska i gline je izmijenjen, te je ložište građeno od znatno tvrđe smjese. Pretpostavljalo se da, zbog korištenja dobrog omjera, neće biti potrebno dodatno ložiti vatru na dnu ložišta pri izgradnji i učvršćivati stijenk u peći blagim zagrijavanjem kako bi se ona podigla do svoje pune visine. No, uočeno je da iako je smjesa bila mnogo kompaktnija, visina strukture peći nije mogla

podržavati vlastitu težinu te se smjesa ponovno pomalo počela slijegati. Konačna visina druge peći iznosila je 67 na stražnjem, tj. 72 cm na prednjem djelu, a unutrašnji gornji promjer otvora iznosio je 14 cm. Analizirajući razloge opisanog slijeganja stijenki i uspoređujući ih s iskustvom dobivenim u Češkoj, valja napomenuti kako je glina korištena na radionici u mjestu Stará hut' znatno kvalitetnija te da je to bila glina koja se nalazi u primarnim nalazištima u dubljim slojevima zemljine kore, dok je glina koju smo mi koristili bila nedovoljne kakvoće i u sebi je sadržavala komadiće šljunka i zemlje, što su karakteristike sekundarnih nalazišta gline lošije kvalitete.<sup>33</sup>

Nakon opisa svih postupaka izgradnje peći i problema s kojima smo se susretali, valja istaknuti da se kod talioničkih peći na istek mora voditi računa i o vratima peći unutar kojih se u središnjem djelu nalazi sapnica,<sup>34</sup> a na donjem dijelu, u dodiru s tlom, otvor za regulaciju zraka i ispuštanje viška talio-

<sup>31</sup> Na posljednjem je dijelu stijenka druge peći bila blago sužen i iznosila je 5,5 cm. Razlog tome bilo je jednostavnije oblikovanje zadnjeg segmenta ložišta peći koji je u funkciji dimnjaka.

<sup>32</sup> Razlika u visini stijenke peći uvjetovana je položajem peći na padini. Budući da je prednja strana peći bila na nižem djelu njena je visina bila viša. Na taj je način kompenzirana padina. Ista je situacija i sa unutrašnjom stijenk.

<sup>33</sup> Iako nam se navedena interpretacija čini najlogičnijom, budući da se radi o eksperimentalnom procesu, u narednom će se postupku eksperimentalne izrade peći za taljenje željezne rude ponovno pokušati izraditi peć iz iste gline no uz upotrebu manjeg omjera vode kako bi se navedena pretpostavka potvrdila ili opovrgnula.

<sup>34</sup> Sapnica/puhalica/utor za upuhivanje zraka. Izrađuje se iz gline bez primjesa pijeska. Služi za upuhivanje zraka u peć pomoću mijeha. Jedini je dio peći kroz koju se tijekom taljenja može vidjeti kako napreduje sam proces taljenja u unutrašnjosti ložišta, odnosno što se u peći događa. Izrađuje se na kružnom drvenom štapu i prije same ugradnje u vrata peći sapnica mora biti potpuno suha kako se uslijed sušenja i zagrijavanja peći ne bi skvrčila ili pukla. Na vanjskom je djelu najčešće proširena zbog šire površine upuhivanja zraka mijehom dok se prema kraju sužuje kako bi se postiglo veće, brže i usmjerenije upuhivanje zraka i održavanje optimal-



**Slika 3:** Dno ložišta Peći 1 s ostacima ohlađene troske na mjestu izljeva i komadićima čipkaste zgure zaostalima na dnu peći (snimila T. Sekelj Ivančan)

ničke zgure iz peći.<sup>35</sup> »Izgradnja vrata« peći odvija se u dva navrata. Odmah pri početnom podizanju stijenki ložišta predviđa se položaj vrata i na to se mjesto stavlja veći kamen ili drveni panj oko kojeg se tada gradi konstrukcija peći. U tom trenutku taj umetak služi kao potporanj konstrukciji koja se izgrađuje do potrebne visine, a nakon završetka izgradnje čitavog ložišta on se miče, a na njegovo se mjesto tijekom postupka sušenja peći umeću vrata. Prije same ugradnje vrata, luk otvora se zaglađuje kako bi se buduća vrata, tijekom otvaranja na završetku procesa taljenja, lakše mogla odvojiti od ostale stijenke ložišta i ukloniti. Konačan proizvod procesa taljenja, spužvasto željezo, tako postaje lakše dostupno i lakše ga je izvaditi iz peći, a da se ne naruši njena struktura, kako bi se peć ponovno mogla upotrebljavati.

## SUŠENJE PEĆI

Nakonšto je peć izgrađena potrebno ju je dobro osušiti i to loženjem manje vatre na mjestu otvora budućih vratiju kako bi se okvir otvora posušio. U idućem se koraku vatra seli na prostor ložišta čime se njegova površina stvrdnjuje kako bi dno peći (ložište) izdržalo visoke temperature koje će nastajati u peći tijekom procesa taljenja. Nakon što je luk otvora budućih vratiju suh<sup>36</sup> uglavljuju se vrata sa sapnicom.<sup>37</sup> Sušenje peći odvija se sada polaganim izgaranjem dugačkih komada tanjeg drva (vrhovine) koji se kroz gornji otvor ubacuju u peć. Strujanje zraka odvija se uz pomoć manjeg otvora na dnu vrata peći, a pritom je sapnica zatvorena na način da se u njoj, gotovo do kraja, nalazi komad drveta koji ju drži stabilnom i podupire ju iznutra, kako u slučaju neopreznog ubacivanja drveta ne bi pukla. Za svaku

ne temperature u peći.

<sup>35</sup> Taj otvor tijekom zagrijavanja peći služi kao dovod zraka budući da je otvor na sapnici zatvoren. Njime se regulira količina kisika koja ulazi u peć tijekom njenog sušenja. Na početku zagrijavanja peći on se zatvara a tijekom procesa taljenja ponovno se otvara ukoliko postoji potreba za ispuštanjem viška talioničke zgure (nečistoća) iz peći tijekom procesa taljenja kako se peć ne bi zagušila, tj. kako veće količine zgure unutar pojedinih tipova rude ne bi onečistile konačan proizvod.

<sup>36</sup> Smatra se da je okvir vrata suh u trenutku kada širina suhog dijela stijenke peći oko otvora vrata iznosi barem 1-1,5 cm. Sam se proces sušenja i njegov napredak na peći uočava diskoloracijom stijenke peći koja postaje svjetlija.

<sup>37</sup> Proces izgradnje vrata može se odvijati na dva načina. U prvom se površina vrata gradi na način kako se gradi i cjelokupna peć, uz pomoć komada gline koji se lijepe jedan s drugim, a da se pritom ostavlja utor za zrak i ispuštanje viška talioničke zgure i istovremeno se uglavljuje sapnica. Drugi način je da se vrata se rade iz jednog komada gline, prema mjeri za njih predviđenom otvoru i pritom se ostavljaju rupe za sapnicu i utor za zrak i ispust zgure. Okolni se prostor između okvira i vrata zamazuje glinom da bi se zatvorile pukotine.

je peć vrijeme sušenja individualno,<sup>38</sup> a ono ovisi o debljini stijenki i volumenu peći, te suhoći drva koja se koriste.<sup>39</sup> Sušenje peći karakterizira se njenom svjetlijom diskoloracijom. Tijekom procesa sušenja peći na njoj će se vanjskoj stijenci javljati pukotine koje se tijekom sušenja, zagrijavanja i taljenja zamazuju žitkom glinom ili lesom.<sup>40</sup> U procesu sušenja bitno je da vatra u peći nije prejak buduća da će to pospješiti njeno pucanje koje je kod svake peći neminovno. Njena se jačina kontrolira količinom suhog drveta koje se ubacuje kroz gornji otvor peći te otvorom za zrak koji se nalazi na dnu vrata. Tim se malim otvorom na dnu vrata regulira količina kisika koja ulazi u peć, a time i jačina vatre te se na taj način postiže efekt dimnjaka.<sup>41</sup> Vatra tijekom zagrijavanja mora biti postojana, tzv. lijena, tj. laminarna vatra.

### ZAGRIJAVANJE PEĆI

U trenutku kada je peć u potpunosti suha postepeno se počinje zagrijavati drvenim ugljenom.<sup>42</sup> U tom se trenutku u peć neprestano počinje upuhivati zrak mijehom<sup>43</sup> kako bi se u nju dovela dovoljna količina kisika.<sup>44</sup> Ciljana temperatura bila je oko 1400°C. Kad je u pitanju zagrijavanje peći, ne postoji vremenski okvir koliko je vremena potrebno da bi se peć zagrijala do temperature taljenja.<sup>45</sup> Svaka se peć ponaša drugačije, no bitno ju je zagrijavati postepeno. Ona je spremna za taljenje u trenutku kada iz nje počinju izlaziti plinovi koji su vidljivi u obliku izmaglice koja se izdiže kroz otvor. Peć 1 se zagrijavala do 14 sati (ukupno 3 sata) kada je zapo-



Slika 4: Dno ložišta druge peći nakon uklanjanja gara (snimio I. Valent)

<sup>38</sup> U obzir su uzimane i peći izrađivane na radionicama u Češkoj.

<sup>39</sup> Budući da su na Renesansnom festivalu obje peći izgrađene dan ranije nego što se u njima odvio proces taljenja imale su dovoljno vremena da se posuše.

<sup>40</sup> Zamazivanje glinom je moguće tijekom cijelog procesa sušenja, zagrijavanja i taljenja, no ovisi o osobnom pragu podnošenja topline budući da se glina u tankim slojevima razmazuje unutar pukotina stijenke peći u kojoj se postižu visoke temperature. Zamazivanje žitkom glinom, ili bolje žitkim lesom (budući da zbog vlastitih svojstava bolje podnosi visoke temperature) najčešće se radi na prostoru vrata koja su najosjetljiviji ali i najtopliji dio peći. Iz tog razloga njih tijekom taljenja nije moguće zamazivati već na pukotine zabacivati žitku smjesu gline/lesa, poput majstora zidara kada žbuka zid.

<sup>41</sup> Strujanje toplog zraka prema gore kojim se cijela peć suši

<sup>42</sup> U tom se trenutku u peći već nalazi dio ugljena koji je preostao od procesa sušenja. Bitno je da su prije početka zagrijavanja svi komadi drva u peći izgorjeli, tj. pretvorili se u drveni ugljen.

<sup>43</sup> Mijeh ne smije direktno biti povezan sa sapnicom budući da će upuh mijeha u sebe uvući topli zrak iz peći i na taj se način, budući da je izrađen od organskih materijala (kože), zapaliti.

<sup>44</sup> Zagrijavanje se radi postepenim ubacivanjem usitnjenog drvenog ugljena kako se peć ne bi ohladila budući da je drveni ugljen koji ulazi u peć na vanjskoj temperaturi, no on se upuhivanjem zraka zagrijava.

<sup>45</sup> Početna temperatura zagrijavanja Peći 1 iznosila je 394°C na otvoru sapnice, a na vrhu peći 211°C. Zagrijavanje peći započelo je u 11 sati. U 12:30 je temperatura kroz otvor sapnice iznosila 967°C, a na vrhu peći 424°C. Pola sata kasnije temperatura kroz otvor sapnice iznosila je 1033°C, na vrhu 504°C.



čeo proces taljenja.<sup>46</sup> Zagrijavanje druge peći narednog dana trajalo je dosta kraće, 1 sat i 15 minuta.<sup>47</sup>

### TALJENJE ŽELJEZNE RUDE

Prilikom taljenja željezne rude odlučeno je da će se u obje peći ubaciti 13 kg rude. Punjenje peći rudom i drvenim ugljenom odvijalo se u omjeru 1:1 i to na način da se ubacivalo  $\frac{1}{2}$  kg ugljena<sup>48</sup> na  $\frac{1}{2}$  kg rude.<sup>49</sup> Prilikom punjenja peći važno je da je ona kontinuirano do vrha zapunjena te da se zrak u peć upuhuje u ravnomjernih intervalima.<sup>50</sup> Početak taljenja Peći 1 bio je u 14 sati, a s ubacivanjem rude se završilo u 17 sati. Proces ubacivanja rude kod druge peći trajao je nešto dulje, u razdoblju od 15:00 do 19:20 sati. Prilikom taljenja u drugoj peći, nakon otprilike jednog sata, i ubačene mješavine ugljena i rude težine do 6 kg temperatura u peći iznosila je 1335°C (izmjereno kroz sapnicu). Pola sata kasnije, nakon ubačenih 9 kg smje-



Slika 5: Presjek dna Peći 1 (snimila T. Sekelj Ivančan)



Slika 6: Presjek dna druge peći (snimila T. Sekelj Ivančan)

<sup>46</sup> Kraj zagrijavanja peći i početak procesa taljenja određen je odlukom da se u peći postigla dovoljno visoka temperatura. Razlog zbog kojeg nije nastavljeno mjerenje temperature bile su tehničke poteškoće s pirometrom (pokvario se) tako da se daljnji proces taljenja odvijao bez provjeravanja temperature uz pomoć instrumenta već se temperatura provjeravala na temelju iskustava sakupljenih na radionicama u mjestu Stará huť - kod optimalne temperature taljenja boja u peći mora biti narančasto-bjelkasta. Ako je narančasta nije postignuta dovoljna temperatura. Takođe, sama svjetlost u peći ponaša se kao sunce tako da kada se u nju pogleda potrebno je da Vas zaslijepi. To je, prema prenesenom iskustvu, optimalna temperatura taljenja.

<sup>47</sup> Volomen druge peći bio je puno manji od Peći 1 i njene su stijenke bile puno tanje - to je razlog razlike u vremenu zagrijavanja.

<sup>48</sup> Tijekom ubacivanja drvenog ugljena bitno je da su komadi koji se ubacuju usitnjeni kako se unutar ložišta ne bi napravili »džepovi« praznog prostora koji onemogućuju kontinuirani proces taljenja. Ukoliko dođe do pojave »džepa« proces taljenja se u jednom segmentu ubrzava budući da smjesa ugljena i rude naglo sjeda u ložištu a tada je peć ponovno potrebno nadopuniti novom smjesom. Na taj način ugljen koj je sjeo unutar »džepa« nema dovoljno vremena da se reducira i da se ugljikov monoksid veže na željezne okside iz rude već većina rude bude neiskorištena i pretvara se u tekuću trosku. Tijekom taljenja druge peći, unatoč usitnjavanju ugljena, dogodila se upravo ova situacija. No, budući da se radilo o manjem »džepu« on nije značajno utjecao na konačan rezultat taljenja.

<sup>49</sup> Na temelju prikupljenih iskustava uočeno je da je ovaj omjer rude i drvenog ugljena najoptimalniji.

<sup>50</sup> Preporuka je da se zrak upuhuje u intervalima od 3 sekunde, no ukoliko se time ne postiže dovoljna temperatura intervale treba smanjiti na 2,5 ili čak 2 sekunde. Brzina upuhivanja zraka utječe na izgaranje ugljena uz pomoć kojeg se tali ruda. Upusi moraju biti oštri i Ukoliko je taj interval prebrz ugljen će izgorjeti, a ruda neće postići dovoljnu temperaturu da se stali. Ukoliko je interval preširok ugljen neće biti dovoljno vruć da rastali rudu i odvoji željezo od nečistoća. U tom će slučaju dio željeza iz rude ostati neiskorišten. Promjena u temperaturi uslijed mijenjanja razmaka intervala upuhivanja, ali isve druge intervencije na peći, vidljive su s odmakom od otprilike 15 minuta.



Slika 7: Ostaci plitkih jamica na mjestima peći (snimila T. Sekelj Ivančan)

se temperatura je iznosila 1388°C.<sup>51</sup> Tijekom procesa taljenja izuzetno je bitno provjeravati što se u peći događa.<sup>52</sup> Razloga tome je moguće nakupljanje tekuće zgure na sapnici i njeno djelomično začepljenje tijekom ubacivanja smjese rude i ugljena, koje tada onemogućuje danji proces i taljenje postaje neuspješno.<sup>53</sup> U tom segmentu bitnu ulogu igra upuhivanje zraka kroz sapnicu koje, ako je rađeno pravilno, ne dozvoljava ovu pojavu. S druge strane, znak da je proces taljenja pri kraju upravo je nakupljanje tekuće zgure na sapnici. Uz održavanje temperature, u samostojećoj je peći, kakve su nalažene na prostoru Podravine i kakve su izrađivane na Renesansnom festivalu, bitno kompenzirati gubitak topline koji se događa kroz stijenke. Kod peći koje su gotovo u potpunosti ukopane u padinu, poput onih izrađivanih na radionici u Češkoj,<sup>54</sup> gubitak temperature kroz stijenke je nezamjetan budući da su one s tri strane okružene padinom. U slučaju samostojećih peći potrebno je stoga kompenzirati gubitak topline nasipavanjem zemlje na vanjsku stijenku peći, kao što je to bio slučaj s drugom peći.<sup>55</sup>

Nakon što se u peć ubacila predviđena količina rude pomiješana s drvenim ugljenom, u nastavku se, narednih 30 minuta, ubacuje samo drveni ugljen kako bi se posljednja ubačena ruda mogla staliti. Proces upuhivanja zraka odvija se i nadalje u istim intervalima u tom razdoblju, kao i nakon prestanka ubacivanja ugljena, budući da se tada odvija posljednji stadij redukcije rude i ugljena koji se nalazi u dnu peći. U tom dijelu postupka bitno je ugljen, koji se taloži na stražnjoj strani stijenke, zbog samog procesa upuhivanja, ravnomjerno raspoređivati unutar peći kako produkt spužvastog željeza ne bi ostao nepokriven, tj. kako se zgura koja okružuje konačan proizvod ne bi počela hladiti i na taj se način ponovno vezala za njega.

## OTVARANJE PEĆI

Nakon završetka cjelokupnog procesa taljenja konačan se proizvod vadi iz peći.<sup>56</sup> Nakon micanja mijeha probija se otvor na dnu vrata kako bi talionička zgura koja se tijekom taljenja nakupljala na dnu

<sup>51</sup> Nažalost, novi pirometar koji je toga dana bio nabavljen nije bio predviđen za mjerenje toliko visokih temperatura. Taljenje je nastavljeno bez mjerenja temperature kao i prethodnog dana.

<sup>52</sup> Provjera stanja peći vrši se pogledom u peć kroz sapnicu.

<sup>53</sup> Ukoliko dođe do početka začepljenja sapnice taj je proces moguće zaustaviti njenim čišćenjem uz pomoć drvenog štapića, kao što je to u učinjeno u dva navrata tijekom taljenja u drugoj peći.

<sup>54</sup> Radi se o mađarskim pećima 10. i 11. stoljeća koje su ukopane u stijenke uzvišenja - tip 4 po Gomoriju (J. GOMORI, The Archaeometallurgical sites...242.)

<sup>55</sup> Tijekom taljenja Peći 1 zaključeno je da taj proces nije potrebno raditi budući da je debljina stijenke peći na dnu ložišta bila dvostruka od predviđene -16 cm.

<sup>56</sup> Uvjetovani programom Renesansnog festivala i velikim brojem posjetitelja, na završetku talioničkog procesa obaju peći moralo se podlijeći pojedinim ustupcima. Iz tog su razloga obje peći otvarane prije nego što je

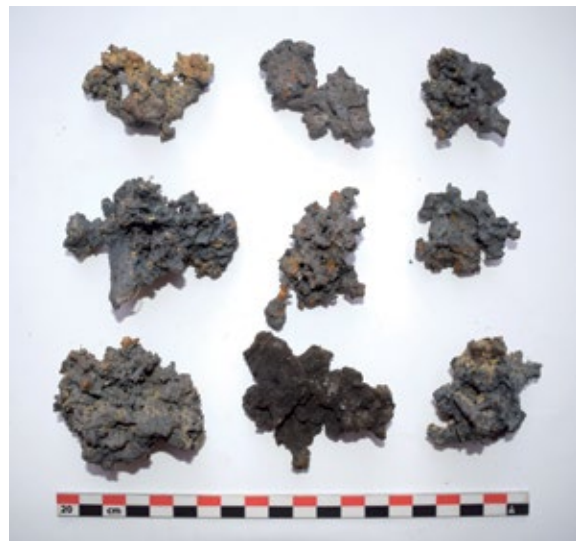
ložišta<sup>57</sup> istekla iz peći.<sup>58</sup> Nakon toga uklanjaju se vrata te izvlači preostali ugljen kako bi konačan produkt taljenja (komad željeza - *bloom*) koji leži na dnu ložišta bio dostupan. Njega je odmah nakon vađenja potrebno drvenim čekićem oblikovati u kružni/ovalni grumen kako bi se još dodatno istisnula preostala troska i komad postao kompaktni. Pritom je važno da u grumen ne nastanu pukotine budući da će tijekom uklanjanja nečistoća, uz pomoć drvenog i metalnog čekića, s njegove vanjske površine on popucati. Nakon što su uklonjene nečistoće nakupljene na njegovoj vanjskoj površini, prije nego što se počne hladiti, oblikovani grumen spužvastog željeza (*bloom*) djelomično se raskoli metalnim čekićem kako bi se utvrdila njegova kvaliteta.<sup>59</sup>

Kako se u slučaju Peći 1 radilo o većem volumenu ložišta, odnosno većem prostoru u kojem se formirao *bloom* predviđena dimenzija otvora vrata bila je nedostatna da se kroz njega izvuče konačan proizvod te je bilo potrebno srušiti dio konstrukcije peći kako bi se dobiveno željezo izvuklo van. Nakon uklanjanja djela konstrukcije uočeno je da se ono nalazilo u središnjem djelu peći i imalo je ovalno-plosnati oblik. Nakon otvaranja vrata druge peći njena je stijenka, na mjestima pukotina, popucala te se i njena konstrukcija urušila. U njoj je konačan proizvod bio spojen sa stijenkom vratiju te ga je bilo potrebno odvojiti od njih kako bi ga se moglo dalje oblikovati.

Nakon oblikovanja i primarnog uklanjanja nečistoća spužvastog željeza iz Peći 1 njegovi su komadi nakon hlađenja prikupljeni i pohranjeni dok je veći komad iz druge peći upućen na daljnju obradu kod kovača.<sup>60</sup>



**Slika 8a:** Stijenka peći SJ 56 s lokaliteta Virje-Volarski breg s ostacima »čipkaste« zgure (snimila T. Sekelj Ivančan)



**Slika 8b:** Ostaci »čipkaste« zgure prikupljeni iz Peći 1 tijekom taljenja na Renesansnom festivalu 2018. (snimio I. Valent)

cjelokupan proces taljenja u njima završio. U slučaju Peći 1 otvaranje je vršeno u trenutku kada je peć do pola još bila zapunjena ugljenom koji je ubacivan nakon smijese ugljena i rude. Otvaranje druge peći započelo je još i ranije, u trenutku kada se u peć još uvijek ubacivao ugljen kojim se peć puni nakon što je završen proces ubacivanja smjese ugljena i rude.

<sup>57</sup> Prilikom procesa taljenja tekuća zgura koja okružuje komad spužvastog željeza služi i kao njegova zaštita

<sup>58</sup> Budući da je na Renesansnom festivalu korištena visoko kvalitetna ruda jako je malo zgure poteklo iz peći na kraju procesa. Arheološkim je iskopavanjima utvrđeno da je tijekom taljenja barske rude otvor na dnu vrata nekoliko puta otvaran kako bi se ispuštao višak zgure koji se nalazio unutar peći (T. SEKELJ IVANČAN. Preindustrijska...120.)

<sup>59</sup> Oba grumena željeza dobivena tijekom taljenja na Renesansnom festivalu 2018. godine su se uslijed provjeravanja kvalitete razdvojila na nekoliko manjih dijelova.

<sup>60</sup> Budući da se komad željeza dobiven iz druge peći već bio ohladio potrebno ga je bilo ponovno zagrijati kako bi se iz njega nastavile uklanjati nečistoće i u konačnici ga se pokušalo oblikovati u poluproizvod. Nažalost, već je na samom početku procesa majstor kovač uočio kako na pokretnoj kovačkoj peći na kojoj je radio neće moći postići dovoljnu temperaturu. Iz navedenog je razloga proces obustavljen, no dogovoreno je kako će



**Slika 9:** Komadi talioničke zgure koji nastaju ispuštanjem zgure iz peći (snimio I. Valent)



**Slika 10a:** Valjkasti glineni segmenti s tragovima prstiju iz Peći 1 (snimio I. Valent)

ste zgure koja se tijekom procesa taljenja nakupila uz stijenku i na dnu ložišta. U središnjem je djelu ložišta bilo vidljivo mjesto na kojem se taložilo željezo (Slika 3). Ispred ložišta druge peći nisu zamijećeni ostaci zgure koja je ispuštena kroz otvor pri dnu vratiju no zamijećeni su ostaci tzv. čipkaste zgure na dnu ložišta i mjesto gdje se taložio i stvarao grumen željeza (Slika 4).

Potom se pristupilo izradi presjeka obiju peći. Kod Peći 1 presjek je rađen nakon uklanjanja ostataka stijenke (Slika 5) dok je u drugoj je peći izrada presjeka započela u trenutku kada je stijenka peći i dalje stajala (Slika 6). U obje su peći, ispod zapečenog dna ložišta utvrđeni slojevi zemlje na koju je utjecala temperatura u peći tijekom taljenja. Debljina zapečenog dna druge peći iznosila je 1,5 cm. Ispod nje

se u narednom razdoblju organizirati radionica u njegovoj kovačkoj radnji na kojoj će se nastaviti oblikovanje dobivenog komada željeza.

<sup>61</sup> 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, prikupljeni su uzorci i izrađena je foto-dokumentacija. Po završetku iskopavanja na isti se način pristupilo i obradi materijala.

<sup>62</sup> Prikupljeni su uzorci u Muzeju grada Koprivnice dokumentirani i izvagani.

## REZULTATI TALJENJA I ARHEOLOŠKA ISKOPAVANJA PEĆI

Nekoliko dana nakon provedenog procesa taljenja pristupilo se arheološkom iskopavanju ostataka peći.<sup>61</sup> Urušeni ostaci obiju peći uklonjeni su kako bi se okolni prostor i same konstrukcije peći mogli očistiti i pripremiti za fotografiranje (Slika 1a,b). Nakon otvaranja peći i oblikovanja grumena 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).<sup>62</sup> Naime, ovom simulacijom arheoloških iskopavanja željelo se usporediti rezultate provedenog eksperimenta s ostacima peći koje su pronađene tijekom arheoloških istraživanja na nekoliko lokaliteta u Podravini.

Postepenim čišćenjem unutrašnjosti peći definirala su se ložišta (Slika 2) u kojima su preostali tragovi gara. Nakon njihova uklanjanja u Peći 1 uočeni su ostaci zgure na mjestu njenog ispuštanja prije samog otvaranja peći i ostaci tzv. čipka-



**Slika 10b:** Valjkasti glineni segment prikupljen iz SJ 56 s lokaliteta Virje - Volarski breg (Snimila T. Sekelj Ivančan)

valjkastih glinenih segmenata kojima je građena stijenka peći (Slika 10a,b). Promatrajući ulomak tzv. čipkaste zgure (Slika 8a) vidljivo je da se u njemu 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 u kojima su preostali nereducirani komadi ugljena (Slika 11). Iako su postupkom taljenja na Renesansnom festivalu dobiveni komadi spužvastog željeza<sup>2</sup> ovih nekoliko komada zgure ukazuje na činjenicu da je za potpunu finalizaciju procesa taljenja bilo potrebno još malo vremena.

## 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.

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 samoj konstrukciji peći. Tom prilikom je moguće, kao

nalazio se sloj crne zemlje debljine 1,5 cm, podno kojeg je utvrđen sloj sivo zapečene zemlje debljine 4 mm. Unutrašnji promjer druge peći na početku taljenja iznosio je 35 cm, vanjski 50 cm. Širina prostora ispred peći na koju je utjecala toplina iz peći, uključujući i prostor ispred vrata peći gdje se vadio komad spužvastog željeza iznosila 60 cm, a dužina, zajedno s vanjskim promjerom peći, 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. Nakon završnog uklanjanja stijenki peći u prostoru su preostale samo dvije manje jamice (Slika 7).

## 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 stijenki 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 stijenke (Slika 8a,b), ili komadi zgure koja je ispuštana iz peći prilikom njenog otvaranja (Slika 9).<sup>1</sup> Osim komada zgure prepoznati su i ostaci

<sup>1</sup> T. SEKELJ IVANČAN. Talionička djelatnost u okolici Molva...43, Sl. 2,3.

<sup>2</sup> Težina dobivenog komada željeza iz Peći 1 iznosila je 1254g, a težina komada željeza iz druge peći 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 druge peći 1049g. Zgura prikupljena iz Peći 1 imala je težinu 2924g, a iz druge peći 2124 g.

u slučaju Peći 1, da se peć pod pritiskom vlastite težine, zbog prevelike koncentracije vode u strukturi, počinje slijegati. Također, moguće je da se, kao u slučaju druge peći, 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. Na taj se način 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.

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. Budući da tijekom čitavog procesa taljenja peć preko stijenki gubi dio temperature, nju je, ukoliko se radi o tzv. samostojećoj peći na istek, potrebno kompenzirati zasipavanjem zemlje uz vanjsku stijenku donjeg djela peći.

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. 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.

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 *blooma*, 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.



**Slika 11:** Ulomak troske sa neizgorenim komadićima ugljena iz Peći 1 (snimio I. Valent)

## LITERATURA

1. ALEČKOVIĆ, Miralem, Noviji arheološki nalazi u Hlebinama i užoj okolici, *Hlebine u srcu, Hlebinski almanah*, Vol. 2, 1996, 13–18.
2. GOMORI, Janos. *The Archaeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and Early Arpad period*, Sopron, 2000.
3. KRZMAR, Siniša. Izvješće o pregledu kartografskih izvora te rekognosciranju indikativnih toponima na prostoru Podravine, Zagreb, siječanj 2018., dostupno na: [http://transfer.iarh.hr/images/Izvj%C5%A1%C4%87e%20Toponimi%20Podravina\\_4.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Izvj%C5%A1%C4%87e%20Toponimi%20Podravina_4.pdf)
4. KVARC, u: Hrvatska enciklopedija, Broj 6 (Kn-Mak), Leksikografski zavod Miroslav Križža, Zagreb 2004., 245.
5. PLAINER, Radomir. *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*, Archeologický ústav AV ČR, Praha, 2000.
6. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Arheološka istraživanja ranosrednjovjekovne radionice za preradu željezne rudače na lokalitetu Virje-Volarski breg, *Annales Instituti Archaeologici*, V, Zagreb, 2009., 65-70.
7. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Talionička djelatnost u okolici Molva u ranom srednjem vijeku, in: *Zbornik radova sa znanstvenog skupa Molve – ljudi, selo i okoliš u dugom trajanju (1658.-2008.) u povodu 350-te obljetnice osnivanja današnjeg sela Molve*, Kolar M., Petrić H. (eds.), Molve, 2010. 30–45.
8. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Rezultati istraživanja nalazišta Virje-Volarski breg u 2010. godini, *Annales Instituti Archaeologici*, VII, Zagreb, 2011a, 50-53.
9. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Virje – Volarski breg, rani srednji vijek, 8.–9. st. Naselje i talionička djelatnost, in: Čimin, R. 2011, *Zaštitna arheologija višeslojnih nalazišta: Virje – Volarski breg (2008., 2010.) i Delovi – Grede 1 (1982.)*, katalog izložbe, Koprivnica, 2011b, 18–21.
10. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Nastavak arheoloških istraživanja na položajima Volarski breg i Sušine kraj Virja u 2012. godini, *Annales Instituti Archaeologici*, IX, Zagreb, 2013., 48-54.
11. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Pregled dosadašnjih arheoloških istraživanja na lokalitetu Virje – Volarski breg/ Sušine, *Podravski zbornik* 40, Koprivnica, 2014a, 159-166.
12. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Četvrta sezona arheoloških istraživanja nalazišta Virje-Volarski breg-Sušine, *Annales Instituti Archaeologici*, X, Zagreb, 2014b, 99-103.
13. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Arheološki ostaci triju naselja na Sušinama u Virju, *Annales Instituti Archaeologici*, XI, Zagreb, 2015., 50-53.
14. 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., 118–125.
15. SEKELJ IVANČAN, Tajana. Ranosrednjovjekovni objekt na Sušinama u Virju, *Cris: Časopis Povijesnog društva Križevci*, Vol. XIX, No 1, 2017. 115-128.
16. TAJANA SEKELJ Ivančan. Izvješće o sudjelovanju na radionici tehnike 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/Izvj%C5%A1%C4%87e\\_Brno\\_Adamov.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Izvj%C5%A1%C4%87e_Brno_Adamov.pdf)
17. SEKELJ IVANČAN, Tajana, KARAVIDOVIĆ, Tena. Tkalčki stan iz Virja, *Prilozi Instituta za arheologiju* 33, Zagreb, 2016., 171-235.
18. SEKELJ IVANČAN, Tajana, MARKOVIĆ, Tamara. The primary processing of iron in the Drava river basin during the Late Antiquity and Early Middle Ages - the source of raw materials, in: *Archeotechnology studies: Raw material exploitation from prehistory to the Middle Ages*, S. Vitezović, D. Antonović (eds.), Belgrade, 2017., 143-160.
19. SEKELJ IVANČAN, Tajana, MUŠIĆ, Branko. Geofizička i arheološka istraživanja na nalazištu Virje – talioničkoj radionici iz vremena kasne antike i ranog srednjeg vijeka, *Starohrvatska prosvjeta* Vol. III, br. 41, Split, 2014., 177-183.
20. SEKELJ IVANČAN, Tajana, VALENT, Ivan. Ostaci talioničke radionice na lokalitetu Hlebine-Velike Hlebine, *Annales Instituti Archaeologici*, XIV, Zagreb, 2017., 73-76.
21. TKALČEC, Tatjana. Izvješće o pregledu zračnih snimaka i rekognosciranju izabranih položaja na prostoru koprivničke Podravine, Zagreb, prosinac 2017., dostupno na: <http://transfer.iarh.hr/images/Izvj%C5%A1%C4%87e%20Zracne%20Podravina.pdf>

22. VALENT, Ivan. Izvješće o provedenim rekognosciranjima i reambulaciji arheoloških lokaliteta s metalurškim značajkama na prostoru Podravine, Koprivnica, 22.2.2018., dostupno na: [http://transfer.iarh.hr/images/Valent%20Ivan\\_Izvije%C5%A1%C4%87e\\_1-426.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Valent%20Ivan_Izvije%C5%A1%C4%87e_1-426.pdf)
23. VALENT, Ivan, ZVIJERAC, Ivan, SEKELJ IVANČAN, Tajana. 2017, Topografija arheoloških lokaliteta s talioničkom djelatnošću na prostoru Podravine, *Podravina, Časopis za multidisciplinarna istraživanja*, Vol. XVI, br. 32, 5-25.

## WEB IZVORI

1. <http://transfer.iarh.hr/index.php/hr/> (13.11.2018.)
2. [http://transfer.iarh.hr/images/Brenko%20Tomislav\\_1.%20Okrugli%20stol\\_27.03.2018..pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Brenko%20Tomislav_1.%20Okrugli%20stol_27.03.2018..pdf) (13.11.2018.)
3. [http://transfer.iarh.hr/images/Music\\_Branko\\_1.%20Okrugli%20stol\\_27.03.2018..pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Music_Branko_1.%20Okrugli%20stol_27.03.2018..pdf) (13.11.2018.)
4. [http://transfer.iarh.hr/images/poster\\_dan\\_Dweb.pdf](http://transfer.iarh.hr/images/poster_dan_Dweb.pdf) (13.11.2018.)
5. <http://transfer.iarh.hr/index.php/hr/rezultati/38-radionice> (13.11.2018.)
6. [http://transfer.iarh.hr/images/Sekelj%20Ivancan\\_1.%20Okrugli%20stol\\_27.03.2018..pdf](http://transfer.iarh.hr/images/Sekelj%20Ivancan_1.%20Okrugli%20stol_27.03.2018..pdf) (13.11.2018.)
7. <http://www.muzej-koprivnica.hr/studijsko-putovanje-u-staru-hut-kod-brna/>(13.11.2018.)
8. <http://www.muzej-koprivnica.hr/3-dani-muzeja-grad-a-koprivnice/>(13.11.2018.)
9. <http://www.muzej-koprivnica.hr/tajne-zeljeza-na-renesansnom-festivalu/>(13.11.2018.)
10. <http://www.muzej-koprivnica.hr/iskopane-peci-za-taljenje-zeljezne-rudace-s-renesansnog-festivala/> (13.11.2018.)

## SUMMARY

Research of iron ore melting has been conducted in the area of Podravina since 2008, which in 2017 resulted in development of the project of the Croatian association for science, TransFER, focused on research of iron production along the Drava river in the antique period and in the Middle Ages. Introductory part of the paper briefly presents current cognition regarding the area of research, whereas the central part, based on conducted experimental research, outlines the overall process of constructing the ore melting furnace, starting with collection of the basic raw material to erecting the furnace, its drying, warming up and the administration of the melting process. Along with description of the process and analysis of the problem that craftsmen were confronted with during production procedure, the paper also presents results and experience gained within two experimental melting procedures.