

Eksperimentalno taljenje željezne rude i razgradnja korištene talioničke peći

Sekelj Ivančan, Tajana

Source / Izvornik: **Annales Instituti Archaeologici, 2018, XIV, 154 - 160**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:291:110465>

Rights / Prava: [Attribution 3.0 Unported](#)/[Imenovanje 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



INSTITUT ZA
ARHEOLOGIJU

Repository / Repozitorij:

[RIARH - Repository of the Institute of archaeology](#)





Annales

Instituti

Archaeologici

XIV - 2018

Godišnjak

*Instituta za
arheologiju*

Nakladnik/Publisher

INSTITUT ZA ARHEOLOGIJU
INSTITUTE OF ARCHAEOLOGY

Adresa uredništva/Editor's office address

Institut za arheologiju/Institute of Archaeology
HR-10000 Zagreb, Ulica Ljudevita Gaja 32
Telefon/phone 385 (0) 1 6150250
fax 385 (0) 1 6055806
e-mail: iarh@iarh.hr
http://www.iarh.hr

Glavni i odgovorni urednik/Editor in chief

Marko Dizdar

Izvršna urednica/Desk editor

Katarina Botić

Tehnička urednica/Technical editor

Katarina Botić

Uredništvo/Editorial board

Katarina Botić, Ana Konestra, Andreja Kudelić, Asja Tonc, Marina Ugarković

Izdavački savjet/Editorial committee

Vlasta Begović, Marko Dizdar, Dunja Glogović, Snježana Karavanić, Goranka Lipovac Vrkljan, Branka Migotti, Kornelija Minchreiter, Ante Rendić Miočević, Tajana Sekelj Ivančan, Tihomila Težak Gregl, Željko Tomičić, Ante Uglešić

Lektura/Language editor

Renata Draženović (hrvatski jezik/Croatian)

Dizajn/Design

REBER DESIGN

Korektura/Proofreaders

Katarina Botić

Računalni slog/Layout

Hrvoje Jambrek

©Institute of archaeology, Zagreb 2018.

Annales Instituti Archaeologici uključeni su u indeks/
Annales Instituti Archaeologici are included in the index:
Clarivate Analytics services - Emerging Sources Citation Index

Ovaj rad licenciran je pod Creative Commons Attribution By 4.0 međunarodnom licencom /
This work is licenced under a Creative Commons Attribution By 4.0 International Licence



SADRŽAJ

Arheološka istraživanja

- 9 **Siniša Krznar**
 Andrea Rimpf
- Rezultati istraživanja lokaliteta Ilok – Krstbajer
- 13 **Anita Rapan-Papeša**
 Andrea Rimpf
 Marko Dizdar
- Rezultati zaštitnih istraživanja kasnoavarskog groblja Šarengrad – Klopare 2017. godine
- 20 **Marko Dizdar**
- Rezultati istraživanja nalazišta Sotin – Zmajevac u Hrvatskome Podunavlju
- 28 **Daria Ložnjak Dizdar**
 Marko Dizdar
 Gorana Kušić
- Sotin – Srednje polje – Istraživanje višeslojnoga nalazišta u Podunavlju 2017.
- 34 **Tomislav Hršak**
 Tino Leleković
 Marko Dizdar
- Preliminarni rezultati arheološkoga istraživanja u Batini 2017. godine
- 40 **Katarina Botić**
 Kornelija Minichreiter
- Slavonski Brod – Galovo, arheološka istraživanja 2017.
- 46 **Daria Ložnjak Dizdar**
 Marko Dizdar
 Marija Mihaljević
- Dolina – Glavičice – Istraživanje groblja pod tumulima s kraja kasnoga brončanog doba
- 51 **Saša Kovačević**
- Arheološka istraživanja lokaliteta Nova Bukovica – Sjenjak tijekom 2017.
- 54 **Juraj Belaj**
- Prva arheološka istraživanja lokaliteta Stari grad u Pakracu godine 2017.

CONTENTS

Archaeological Excavations

- 9 **Siniša Krznar**
 Andrea Rimpf
- Research results from Ilok – Krstbajer site*
- 13 **Anita Rapan-Papeša**
 Andrea Rimpf
 Marko Dizdar
- Results of the rescue excavation on the Late Avar cemetery on the site Šarengrad – Klopare in 2017*
- 20 **Marko Dizdar**
- Research results of the Sotin – Zmajevac Site in the Croatian Danube Region*
- 28 **Daria Ložnjak Dizdar**
 Marko Dizdar
 Gorana Kušić
- Sotin – Srednje polje – Research of multilayer site in the Danube Region in 2017*
- 34 **Tomislav Hršak**
 Tino Leleković
 Marko Dizdar
- Preliminary results of archaeological research in Batina in 2017*
- 40 **Katarina Botić**
 Kornelija Minichreiter
- Slavonski Brod – Galovo, archaeological research in 2017*
- 46 **Daria Ložnjak Dizdar**
 Marko Dizdar
 Marija Mihaljević
- Dolina – Glavičice – Research of the tumulus cemetery from the end of the Late Bronze Age*
- 51 **Saša Kovačević**
- Archaeological research of Nova Bukovica – Sjenjak site during 2017*
- 54 **Juraj Belaj**
- First archaeological excavations of the Stari Grad site in Pakrac in 2017*

- | | |
|---|---|
| <p>61 Marko Dizdar</p> <p>Rezultati istraživanja groblja latenske kulture Zvonimirovo – Veliko polje u 2017. godini</p> | <p>61 Marko Dizdar</p> <p><i>Research results of the La Tène culture cemetery at Zvonimirovo – Veliko polje in 2017</i></p> |
| <p>65 Tajana Sekelj Ivančan</p> <p>Nastavak istraživanja talioničke radionice i naselja na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine</p> | <p>65 Tajana Sekelj Ivančan</p> <p><i>Continuation of excavation at the smelting workshop and settlement at the site of Hlebine – Velike Hlebine</i></p> |
| <p>72 Saša Kovačević</p> <p>Arheološko istraživanje prapovijesnog lokaliteta Jalžabet – Bistričak u 2017. godini i Kamp Hrvatska projekta „Iron-Age-Danube“ INTERREG DTP</p> | <p>72 Saša Kovačević</p> <p><i>Archaeological research of prehistoric Jalžabet – Bistričak site in 2017 and Camp Croatia of the project “Iron-Age-Danube” INTERREG DTP</i></p> |
| <p>76 Saša Kovačević</p> <p>Arheološka istraživanja prapovijesnog lokaliteta Jalžabet – Carev jarek, sezona 2017.</p> | <p>76 Saša Kovačević</p> <p><i>Archaeological research of prehistoric site Jalžabet – Carev jarek, season 2017</i></p> |
| <p>80 Branko Mušič
Tatjana Tkalčec
Barbara Horn
Igor Medarić
Petra Basar</p> <p>Geofizička istraživanja na arheološkome nalazištu Osijek Vojakovački – Mihalj u 2017. godini</p> | <p>80 Branko Mušič
Tatjana Tkalčec
Barbara Horn
Igor Medarić
Petra Basar</p> <p><i>Geophysical research at Osijek Vojakovački – Mihalj site in 2017</i></p> |
| <p>88 Tatjana Tkalčec</p> <p>Nastavak arheološko-konzervatorskih radova na kuli burga Vrbovca u Klenovcu Humskom 2017. godine</p> | <p>88 Tatjana Tkalčec</p> <p><i>Continuation of archaeological and conservation works on the keep of the Vrbovec Castle in Klenovec Humski in 2017</i></p> |
| <p>92 Tatjana Tkalčec</p> <p>Sondažna arheološka istraživanja oko Kule Zrinski i Dvora Patačić u središnjem gradskom parku u Vrbovcu 2017. godine</p> | <p>92 Tatjana Tkalčec</p> <p><i>Probe archaeological excavations around the Zrinski Tower and Patačić Palace in the central town park in Vrbovec in 2017</i></p> |
| <p>110 Juraj Belaj
Sebastijan Stingl</p> <p>Arheološka istraživanja crkve Sv. Martina u Prozorju 2017. godine</p> | <p>110 Juraj Belaj
Sebastijan Stingl</p> <p><i>Archaeological research of the St. Martin's Church in Prozorje in 2017</i></p> |
| <p>115 Ana Konestra
Enrico Cirelli
Bartul Šiljeg
Gaetano Benčić</p> <p>Istraživanje bedema, crkvenoga sklopa i kasnoantičkih pregradnji na lokalitetu Stancija Blek (Tar) u 2017. godini</p> | <p>115 Ana Konestra
Enrico Cirelli
Bartul Šiljeg
Gaetano Benčić</p> <p><i>Research of the fortifications, church complex and Late Antique re-adaptations on the Stancija Blek (Tar) site in 2017</i></p> |

121 Ana Konestra
Fabian Welc
Anita Dugonjić
Paula Androić Gračanin
Nera Šegvić
Kamil Rabięga

Terenski pregledi, geofizička i sondažna istraživanja projekta „Arheološka topografija otoka Raba“ u 2017. godini

121 Ana Konestra
Fabian Welc
Anita Dugonjić
Paula Androić Gračanin
Nera Šegvić
Kamil Rabięga

Field reconnaissance, geophysical survey and trial excavations within the project “Archaeological topography of the island of Rab” in 2017

127 Kristina Jelinčić Vučković
Emmanuel Botte

Arheološko istraživanje na lokalitetu Novo Selo Bunje na otoku Braču, 2017. godine

127 Kristina Jelinčić Vučković
Emmanuel Botte

Archaeological excavation on the Novo Selo Bunje site on the island of Brač, 2017

136 Marina Ugarković
Ivančica Schrunk
Vlasta Begović
Marinko Petrić

Arheološka istraživanja rimske vile u uvali Soline na otoku Sveti Klement (Pakleni otoci, Hvar), lipanj 2017. godine

136 Marina Ugarković
Ivančica Schrunk
Vlasta Begović
Marinko Petrić

Archaeological research of a Roman villa in Soline Bay on the island of St. Clement (Pakleni Islands, Hvar) in June 2017

Terenski pregledi

142 Ivan Valent
Siniša Krznar
Tatjana Tkalčec
Tajana Sekelj Ivančan

Terenski pregled koprivničke i đurđevačke Podravine

142 Ivan Valent
Siniša Krznar
Tatjana Tkalčec
Tajana Sekelj Ivančan

Field survey of the Koprivnica and Đurđevac part of the River Drava Basin

148 Ana Konestra
Vedrana Glavaš
Asja Tonc
Paula Androić Gračanin
Nera Šegvić

Kulturni krajolik Velebita – Terenski pregledi na području Podvelebitskoga primorja u 2017. godini

148 Ana Konestra
Vedrana Glavaš
Asja Tonc
Paula Androić Gračanin
Nera Šegvić

Cultural landscape of the Velebit – Field surveys of the Sub-Velebit coast in 2017

Eksperimentalna arheologija

154 Tajana Sekelj Ivančan

Eksperimentalno taljenje željezne rude i razgradnja korištene talioničke peći

Experimental Archaeology

154 Tajana Sekelj Ivančan

Experimental smelting of iron ore and dismantling of the utilized smelting furnace

Ostala znanstvena djelatnost Instituta za arheologiju

162-173

Additional scientific activity of the Institute

162-173

Eksperimentalna arheologija
Experimental Archaeology

Eksperimentalno taljenje željezne rude i razgradnja korištene talioničke peći

Experimental smelting of iron ore and dismantling of the utilized smelting furnace

Tajana Sekelj Ivančan

Primljeno/Received: 19. 02. 2018.
Prihvaćeno/Accepted: 20. 04. 2018.

Tijekom 2017. godine članovi projektnog tima TransFER sudjelovali su na devetoj radionici tehnike taljenja željezne rude održanoj u mjestu Stará huť u Adamovu kraj Brna u Češkoj Republici. Osnovni cilj bio je bolje razumijevanje pitanja proizvodnje željeza i što točnije interpretacije do sada istraženih nalaza povezanih s taljenjem željezne rude u različitim arheološkim razdobljima na prostoru Podravine.

U prvom dijelu radionice težište je bilo na edukaciji polaznika o svim etapama dobivanja željeza iz rude kao i boljem razumijevanju popratnih aktivnosti, dok je u drugom dijelu težište bilo na aktivnom sudjelovanju u čitavom postupku taljenja u talioničkoj peći. Na inicijativu članova projekta TransFER na kraju se pristupilo razgradnji talioničke peći u kojoj je obavljen eksperiment. U provedenim istraživanjima, koja su simulirala arheološka iskopavanja, cilj je bio definiranje i prepoznavanje svih slojeva njene izrade i popravaka te usporedba dobivenih rezultata s nalazišnim situacijama na arheološkim lokalitetima Podravine.

Ključne riječi: eksperimentalna arheologija, taljenje željezne rude, razgradnja peći
Key words: experimental archaeology, smelting iron ore, furnace dismantling

U okviru provedenih aktivnosti na znanstveno-istraživačkom projektu TransFER – **Proizvodnja željeza uz rijeku Dravu u antici i srednjem vijeku: stvaranje i transfer znanja, tehnologija i roba** (<http://transfer.iarh.hr/index.php/hr/>) članovi projektnog tima (T. Sekelj Ivančan i I. M. Hrovatin) sudjelovali su tijekom svibnja 2017. godine na devetoj radionici tehnike taljenja željezne rude održanoj u mjestu Stará huť u Adamovu kraj Brna u Češkoj Republici (9. workshop starého železářství / 9th workshop old ironmongery). Radionicu je organizirao Tehnički muzej iz Brna (Technické muzeum v Brně), a samo sudjelovanje članova projekta TransFER, kojeg financira Hrvatska zaklada za znanost a odvija se u Institutu za arheologiju, imalo je za cilj bolje razumijevanje pitanja proizvodnje željeza i što točnije interpretacije do sada istraženih nalaza vezanih uz taljenje željezne rude u različitim arheološkim razdobljima na prostoru Podravine.

Sudjelovanje u radu radionice, koja je trajala od 24. do 28. svibnja, može se podijeliti u dva dijela. U prvom dijelu težište je bilo na edukaciji, koja je uključivala sve etape dobivanja željeza iz rude kao i razne popratne aktivnosti, dok je u drugom dijelu težište bilo na aktivnom sudjelovanju u čitavom postupku taljenja u talioničkoj peći. Kako se radionica održava već nekoliko godina na istom mjestu, prvoga dana zatečena je situacija ukazivala na to da će peći koje su korištene u ranijim godinama biti potrebno reparirati. Naime, peći tijekom godine nisu bile ni pod kakvim zaštitim pokrivalom i bile su direktno izložene raznim atmosferijama. Riječ je o dva tipa talio-

ničkih peći, s jedne strane njih četiri koje se nalaze u nizu, smještene na način da su ukopane u padinu okolnog uzvišenja (sl. 1), a s druge strane jedna samostojeća peć. Četiri peći u nizu bile su istog tipa, tzv. mađarske peći 10. i 11. stoljeća s otvorom za „vrata“ na prednjoj strani (tip 4 po Gömöriju: Gömöri 2000: 242, kúp. 157: 4), dok je drugi tip peći bila samostojeća jamska talionička peć, također s otvorom na prednjoj strani (tip 2 po Gömöriju: Gömöri 2000: 242, kúp. 157: 2) (sl. 2).

Najprije se taljenje željezne rude odvijalo u četirima ugrađenim pećima, istovremeno, ali s različitim vrstom željezne rude. U prvu se peć umetala ruda magnetit poddijetlom iz Želehovice (Češka) (sl. 3a), u peć br. 3 umetala se pržena ruda siderit iz regije južna Boca (Slovačka) (sl. 3b), dok se u peći br. 2 i 4 umetala ruda getit/limonit iz mjesta Olomučany u regiji Blonsko (Češka) (sl. 3c). Siderit je bio veoma usitnjen, gotovo u prahu, dok su magnetit i getit bili nešto veće granulacije (0,5/1–2 cm). Kao rezultat taljenja trebao se dobiti komad tzv. spužvastog željeza, *bloom*, no iz peći br. 1 i 3 nisu izašli dobri komadi *blooma*. Naime, pri naknadnoj doradi dobivenog željeza, tj. pri udaranju čekićima u dobiveni produkt taljenja, on nije ostao kompaktan, te je zaključeno da taljenje nije bilo u potpunosti uspješno. Razlog tomu mogao bi biti slab dovod zraka u ložište peći tijekom samog postupka, što znači da možda nije bila dovoljno visoka temperatura te sagorijevanje rude i ugljena nije bilo provedeno u potpunosti.

Još je jedna peć bila ugrađena u stijenke uzvišenja (peć br. 6), smještena podalje od niza od četiriju peći,



Sl. 1 Talioničke peći ukopane u padinu okolnog uzvišenja u mjestu Stará huť u Adamovu kraj Brna (snimila: T. Sekelj Ivančan)

Fig. 1 Smelting furnaces dug into the slopes of a nearby height in the settlement of Stará huť at Adamov near Brno (photo: T. Sekelj Ivančan)



Sl. 2 Samostojeća talionička peć u mjestu Stará huť u Adamovu kraj Brna (snimila: T. Sekelj Ivančan)

Fig. 2 A free-standing smelting furnace at Stará huť in Adamov near Brno (photo: T. Sekelj Ivančan)

u koju je umetana ruda, tzv. *bog iron ore* podrijetlom iz mjesta Terem u okolici Debrecena (Mađarska). Ta je ruda, čini se, nastala u sličnom prirodnom, močvarnom okruženju kao pretpostavljena sirovina koja se koristila i u slivu rijeke Drave. No i ovdje rezultat nije bio u potpunosti zadovoljavajući zbog velike količine zgure: tijekom postupka najmanje je tri puta ispuštena znatna količina tekuće troske.

Kao zaključak svih provedenih postupaka istaknuto je da je najbolji rezultat dobiven u pećima u koje je umetana ruda getit iz kojih je kao produkt čitavog postupka dobiven veći komad *blooma*, tj. komad spužvastog željeza.

Tijekom dva dana provedena su dva postupka taljenja u samostojećoj jamskoj peći. U peć se umetala ruda getit/limonit iz mjesta Olomučany koji se u ranije provedenim postupcima pokazao kao najbolja sirovina. U drugom taljenju u ovoj samostojećoj peći, kad je bila dovoljno zagrijana, počela se u ložište stavljati mješavina rude i ugljena, u jednakom omjeru – ukupno 15 kg rude i 15 kg ugljena. Tijekom samog postupka taljenja u nekoliko je navrata ispuštena tekuća zgura, a na kraju su porušena vrata kako bi se moglo doći do *blooma*. Kao rezultat ovog postupka dobiven je komad spužvastog željeza – *bloom* težine 3 kg, dva puta sječen radi provjere kakvoće spužvastog željeza. Tijekom taljenja, pri samom kraju postupka, mjerena je temperatura vanjske strane stijenke peći,¹ zatim na gornjem otvoru ljevkastog dijela peći, kod vrata i u unutrašnjosti ložišta nakon otvaranja vrata, kao i temperatura tekuće zgure nakon ispuštanja iz samog ložišta (sl. 4a, 4b).

Nakon prvog, edukativnog dijela radionice, pristupilo se aktivnom sudjelovanju u pripremi i procesu taljenja željezne rude, s ciljem dobivanja spužvastog željeza u već korištenoj i repariranoj peći, kao i mjerenja temperature u unutrašnjosti ložišta peći kako bi rezultati bili uspoređeni s onima u ranije izvedenim postupcima taljenja.

1 Nešto viša temperatura od 538°C i 780°C izmjerena je u pukotinama nastalima na stijenci peći (sl. 4a).



Sl. 3 Tri vrste željezne rude korištene u eksperimentalnim taljenjima za vrijeme trajanja radionice: a) magnetit podrijetlom iz Želehovice (Češka); b) siderit iz regije južna Boca (Slovačka); c) getit iz mjesta Olomučany u regiji Blonsko (Češka) (snimila: T. Sekelj Ivančan)

Fig. 3 Three types of iron ore utilized in the experimental smelting during the workshop: a) magnetite from Želehovice (Czechia); b) siderite from the region of southern Boca (Slovakia); c) goethite from Olomučany in the Blonsko region (Czechia) (photo: T. Sekelj Ivančan)

Najprije se na obližnjem prostoru, gdje je bio već ranije izrađen drveni ugljen, pripremila dovoljna količina (tri vreće) preko metalne rešetke usitnjenog ugljena za jedno taljenje. Potom je odabrana samostojeća peć kao mjesto eksperimenta jer je ona po izgledu bila najbliža pretpostavljenim pećima istraženima na području Podravine, prvenstveno onima na Volarskome bregu, datiranim u rani srednji vijek (Sekelj Ivančan 2009; 2010; 2014).

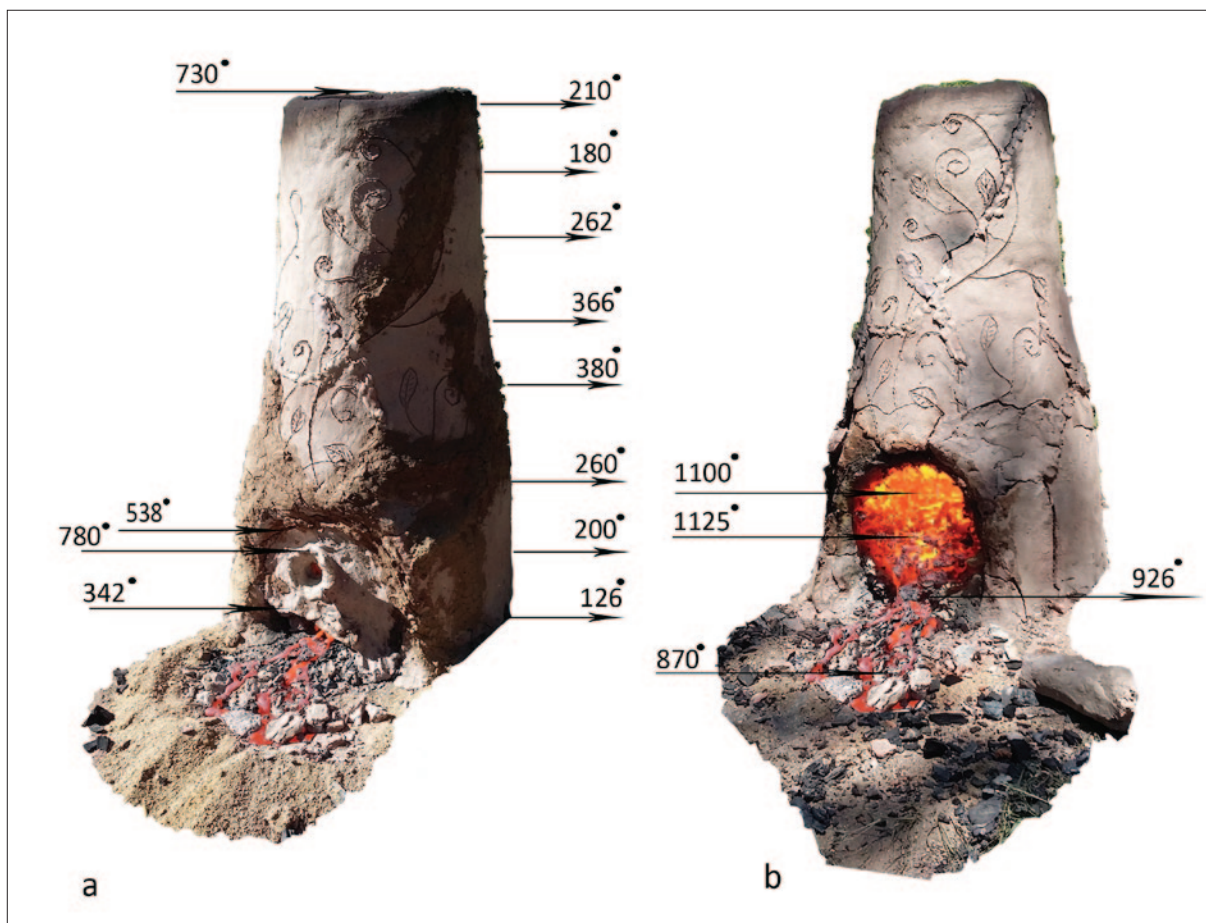
Čitav postupak započeo je u ranim jutarnjim satima repariranjem ranije korištene samostojeće peći. Najprije su sama peć i okolni prostor dobro očišćeni i fotografirani. Zatim se pristupilo ispunjavanju pukotina na ljevkastim stijenkama peći koje su nastale u ranijim procesima taljenja. Pukotine su ispunjene glinovitom smeđom zemljom koja se, pomiješana s vodom, pokazala najboljom smjesom za punjenje vanjskih pukotina nastalih prilikom ranijih paljenja. Kako je peć bila već dosta oštećena, bilo ju je potrebno dodatno obložiti istom smjesom s unutarnje strane. Ta obloga napravljena je u donjem dijelu ložišta peći gdje se stvara najviša temperatura, a sezala je otprilike do polovice ljevkaste stijenke, dok su u gornjem dijelu istom smjesom ispunjene sve ranije nastale pukotine na plaštu peći, što se činilo dostatnim jer se u gornjim ljevkastim dijelovima ložišta ne postiže toliko visoka temperatura. Oko 11 sati izgradnja unutrašnjeg dijela ložišta i popravak stijenki su bili zgotovljeni te se pristupilo paljenju vatre na dnu ložišta kako bi se nadodana obloga donjeg dijela ložišta dobro prosušila. Potom je uslijedilo sušenje otvora peći na način da se zapalilo nekoliko grančica i nešto većih daščica drva u rupi otvora kako bi se sam luk otvora brže prosušio. Gotovo u isto vrijeme stavljanje su i dugačke, tanke šibe u ljevcasti dio peći kako bi se i gornji dio stijenke peći dobro osušio. Nakon nekog vremena, kad se lijep otvora dovoljno prosušio, uslijedilo je zatvaranje otvora peći glinom, tzv. „vrata“ peći. To se gradilo na način da se na hodnu površinu ulaza (u dodiru s tlom) smjestio jedan veći kamen oko kojeg se stavljala glina. Nakon uklanjanja kamena, u „vratima“ je formiran otvor, koji će kasnije poslužiti za odvod tekuće zgure. Iznad tog otvora, negdje u središtu budućih „vrata“, formiralo se mjesto za sapnicu. Sapnica je ranije napravljena tako da se kaolinska glina omotala oko drvenog kolca i prosušila. U konačnici se otvor do kraja zatvorio, a u njegovu središtu se nalazila jedna sapnica. Time je peć bila u potpunosti zatvorena. Gradnja vrata odvijala se tijekom sagorijevanja dugačkih tankih grana visine veće od samog

ljevkastog ložišta, kako bi se stijenke peći čitavo vrijeme ravnomjerno sušile.

U 12,30 započelo se s punjenjem peći drvenim ugljenom do samog vrha ljevkaste stijenke peći. Drveni ugljen je samostalno izgarao i zagrijavao peć, dok je otvor za zguru bio čitavo to vrijeme zatvoren. U isto je vrijeme izvađeno drvo oko kojeg je bila omotana glina sapnice, a na mjesto otvora, kroz sapnicu položen je mijeh kojim se odmah u peć počeo dovoditi zrak radi boljeg sagorijevanja drvenog ugljena i što jačeg zagrijavanja peći. Prva mješavina rude getit/limonit iz mjesta Olomučany i ugljena stavljena je nakon otprilike sat vremena, nakon što je procijenjeno da je peć dovoljno zagrijana. Omjeri su u ovom postupku bili nešto izmijenjeni u odnosu na ranija taljenja te je na pola kg ugljena stavljanje $\frac{3}{4}$ kg rude. Ubacivanje takve mješavine ponavljalo se svaki puta u trenutku kad se na vrhu ljevkastog dijela do tada umetnuta mješavina lagano spustila prema dnu peći, a što se događa uslijed sagorijevanja ugljena. Obavljeno je četrnaest punjenja u trajanju oko 3 sata, te je ukupno umetnuto 10 kg rude i 7 kg drvenog ugljena. U tom trenutku izmjerena temperatura u ložištu peći iznosila je oko 900°C. Nakon toga, nastavilo se s umetanjem samog drvenog ugljena u ljevkastu peć, u trajanju od otprilike jedan sat, odnosno količinski je umetnuto drvenog ugljena otprilike za čitavu visinu ljevkastog dijela ložišta, te se čekalo da sav ugljen skoro do kraja izgori. Čitavo vrijeme u unutrašnjost peći upuhivan je zrak pomoću mijeha – od zagrijavanja zatvorene peći pa sve dok ugljen nije gotovo sav izgorio. Kako se radilo o popravljanju peći, tijekom cijelog procesa taljenja ljevkaste su stijenke peći na nekim mjestima pucale i bilo ih je potrebno tako zagrijane krpati, kako ne bi probijala vatra, odnosno gubila se željena toplina tijekom samog procesa taljenja.

Peć se otvarala nešto ranije od uobičajenog, dok još nije u potpunosti izgorio sav drveni ugljen, oko 17 h. Prije i tijekom otvaranja peći mjerena je temperatura na više mjesta: kroz sapnicu u još zatvorenom ložištu, gdje je iznosila oko 1300°C; kroz otvor nakon uklanjanja „vrata“, gdje je iznosila 1100°C; dok je zgura koja je istekla kroz rupu odvoda imala temperaturu 800°C. Kao rezultat provedenog postupka dobiven je *bloom* težine oko 2 kg i 150 g (2150 g), no dorada nije obavljena do kraja jer nije bio kompaktan, možda zbog preranog otvaranja peći.

Kako je samostojeća peć višestruko paljena i svaki puta reparirana, kao i činjenica da je bila izgrađena na



Sl. 4 Izmjerene vrijednosti temperature vanjske strane stijenke peći tijekom eksperimentalnog taljenja (snimila i izmjerila: T. Sekelj Ivančan; pripremila: K. Turkalj)

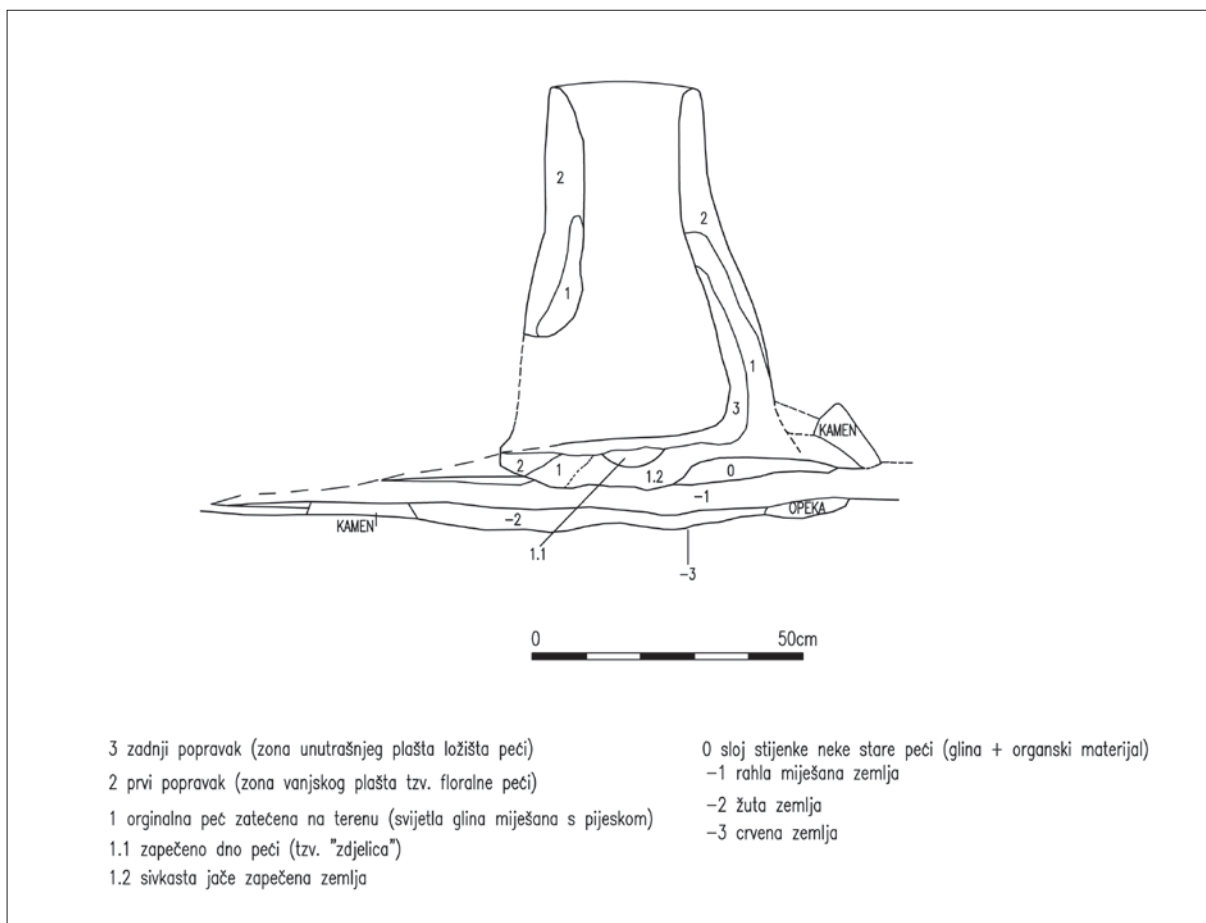
Fig. 4 Measured temperatures of the outer side of the furnace during the experimental smelting (photo and measured by: T. Sekelj Ivančan; prepared by: K. Turkalj)

mjestu gdje su u prethodnim godinama bile izgrađene neke druge peći, na inicijativu članova projekta TransFER, pristupilo se razgradnji talioničke peći u kojoj je obavljeno taljenje. Osnovni cilj je bio definiranje i prepoznavanje svih slojeva njene izrade i popravaka te usporedba dobivenih rezultata s nalazišnim situacijama na arheološkim lokalitetima Podravine. Poduzeta su istraživanja na način postepenog rušenja peći te dokumentiranja svih slojeva i postupaka (sl. 5).

Kao podloga razgrađene peći poslužio je kamen i opeka, nepravilno poslagani i nivelirani uz pomoć žute gline (sl. 5: -2). Ta je podloga ležala na sloju crvenkaste gline (sl. 5: -3). Opisani ostaci dio su aktivnosti koje su se provodile u radionici tijekom ranijih godina. Naime, isto je mjesto korišteno od 2003. godine za razne postupke vezane uz pripremu ili taljenje rude, ali i za neke druge tipove peći. Tako se na poziciji naše peći u razdoblju od 2007. do 2010. godine nalazila od opeka zidana krušna peć, čije ostatke prepoznajemo upravo u ostacima poslagane opeke i kamena nivelirane žutom glinom.² Pokoji očuvani kamen, naročito oni ispred i ispod ulaza razgrađivane peći, moguće je vezati uz ranije talioničke peći koje su u donjem dijelu imale pravokutan oblik ložišta, a koje su ovdje podignute 2003., 2004., najvjerojatnije uz onu izgrađenu 2006. godine. Pri izgradnji krušne peći, ranije oblikovano pravokutno ložište je ispunjeno i zagrađeno većim kame-

njem te je taj prostor poslužio kao kompaktna podloga za buduću krušnu peć. Na tom prvom uočnom sloju koji je moguće vezati uz podizanje krušne peći (sl. 5: -2), ležao je sloj rahle zemlje, tamnosive do crne boje, miješane sa zapečenim prahom (sl. 5: -1). Taj tamnosivo-crni sloj protezao se duž čitave površine na kojoj se krušna peć rasprostirala, a moguće ga je vezati uz njenu razgradnju nakon 2010. godine te čišćenje i pripremu ovog prostora za neke druge konstrukcije. Na sloju miješane rahle zemlje (sl. 5: -1) ležao je sloj gline koja je u sebi imali organske primjese (sl. 5: 0). Ta zapečena glina s organskim primjesama, odnosno ostatak neke stare peći, rasprostirala se samo u jednom manjem dijelu, od većeg kamena pa do sredine ložišta. Prema vertikalnoj stratigrafiji zapečena stijenska peći u kojoj je ugrađen organski materijal trebala bi biti građena kasnije od vremena egzistiranja i uklanjanja krušne peći, što znači da bi se sloj 0 mogao vezati najranije uz peć izgrađenu 2011. godine. Ta je manja peć, u čijim je stijenka moguće prepoznati neke primjese, bila bez vrata i simulirala je latensku talioničku peć. Aktivnosti iz 2013. godine nisu prepoznate, a u 2014. godini čini se da ih na toj poziciji nije niti bilo. Originalna, pak, zapečena stijenska peći zatečena 2017. godine na terenu (sl. 5: 1) kompaktna je svijetla glina s nešto pijeska. Oko sredine ložišta peći, unutar debele stijenke, nalazilo se iznimno jako zapečeno dno peći, tzv. „zdzjelica“ (jako zapečeno zdjelica dno ložišta peći) (sl. 5: 1.1; 6), koja leži na sivkasto-jače zapečenoj zemlji (sl. 5: 1.2). Kako se vanjski plašt stijenske peći u jednom dijelu koso spušta prema kamenu, čini se da se ove ostatke može vezati uz peć s antropomorfnim

² Za podatke i fotografije dobivene na uvid zahvaljujem organizatoru radionice Mgr. Ondřej Merta iz Technické muzeum v Brně. Fotografije su nastale 1995. godine te od 2003. do 2017. godine. Autor fotografija: Martin Barak.



Sl. 5 Skica presjeka slojeva peći tijekom razgradnje (crtež: I. M. Hrovatin; pripremila: K. Turkalj)

Fig. 5 Sketch of the cross-sections of the strata of the furnace during dismantling (drawing: I. M. Hrovatin; prepared by: K. Turkalj)

likom izgrađenu 2016. godine kada je u dodiru s hodnom površinom na vanjski plašt peći postavljena kosa stijenska napravljena od istog materijala kao i čitava peć. No, osnovna stijenska građena od svijetle gline pomiješane s pijeskom čini se da je ostatak peći izgrađene 2015. godine, premda to prema uočenim slojevima nije moguće sa sigurnošću zaključiti. Nad svim time, u unutrašnjosti ložišta peći prepoznat je glineni premaz dna (sl. 5: 3), tj. naša reparacija. Na vanjskoj pak strani bila je vidljiva još jedna reparacija, tzv. floralna peć (sl. 5: 2). Ta je peć izgrađena na originalnoj zapečenoj stijenci (sl. 5: 1) zatečenoj pri dolasku na teren 2017. godine i u njoj su u prva dva dana trajanja radionice obavljena dva eksperimentalna taljenja prije zadnjeg, našeg popravka i taljenja, odnosno same razgradnje peći.

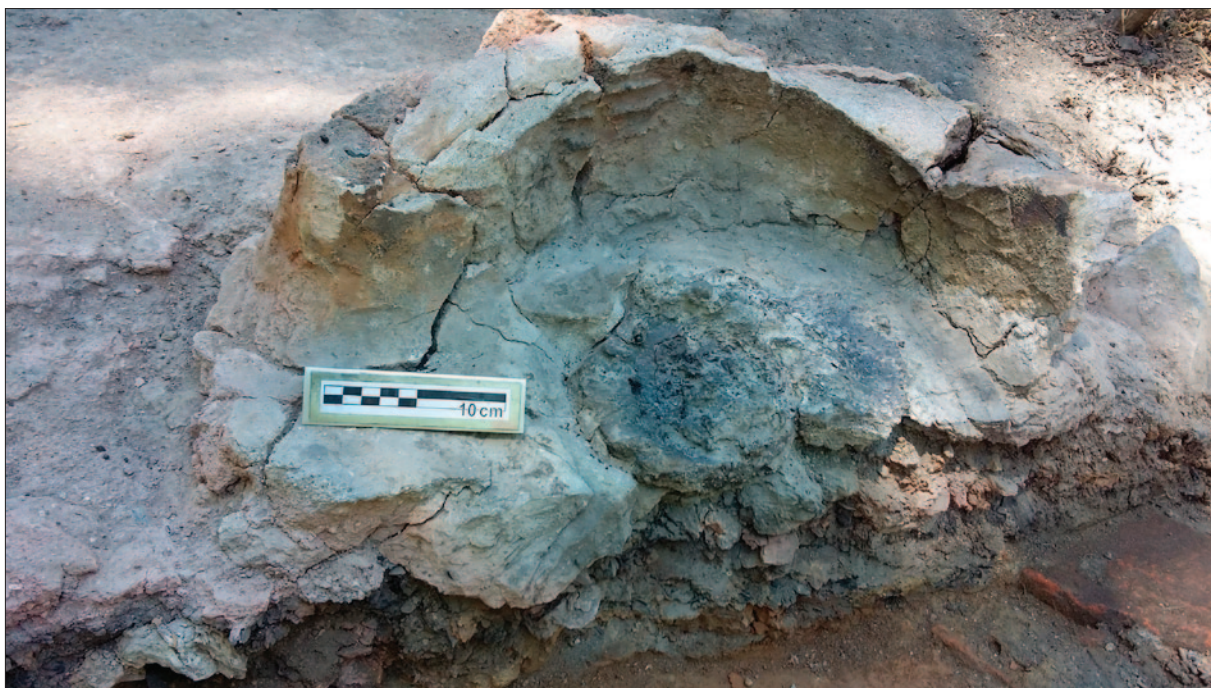
Razgradnja ostataka peći i poliranje istražene površine tlocrtno je pokazalo da se izvan vanjskog plašta, sa stražnje strane peći, proteže zapečena zemlja u širini od oko 20 do 25 cm. Polukružno oko tog zapečenog tla, u širini i do 40 cm, tlo je bilo izrazito crne boje od ugljena koji se s te stražnje strane umetao u ljevkastu peć.

U provedenim istraživanjima koja su simulirala arheološka iskopavanja prepoznata je, dakle, originalna peć koja je zatečena pri dolasku (sl. 5: 1). Ona je reparirana u tzv. floralnu peć (sl. 5: 2) u kojoj su obavljena dva procesa taljenja (sl. 5: 1.1). Nakon toga ponovno se pristupilo repariranju stijenci peći (sl. 5: 3), odnosno zamijećen je novi sloj zapečene gline u unutrašnjosti ložišta, sloj koji

je prekrpio tzv. „zdjelicu“ formiranu u ranijem taljenju (ili dvama taljenjima). Slojevi ispod razgrađivane peći (sl. 5: 0, -1, -2, -3) dio su ranijih aktivnosti za koje se može samo pretpostaviti uz koju su talioničku ili neki drugu peć vezani, no čini se da je jasno prepoznata podloga izgrađena za krušnu peć, a moguće je da je u nekom trenutku ovo mjesto poslužilo i za neke druge aktivnosti, primjerice prženje rude.

ZAKLJUČAK

Sudjelovanje članova projektnog tima TransFER u radionici taljenja željezne rude u Češkoj, osim edukacije i aktivnog taljenja željezne rude u pećima, imalo je za cilj i usporedbu različitih dobivenih rezultata. Tako valja izdvojiti mjerenja temperature u unutrašnjosti talioničkih peći u dva različita postupka taljenja. Prilikom otvaranja otvora/„vrata“, neposredno prije vađenja komada spužvastog željeza, temperatura je u drugom taljenju iznosila u dva mjerenja oko 1100°C (prvo mjerenje: 1100°C; drugo mjerenje: 1125°C), kao i na istom mjestu u trećem taljenju: 1100°C. Tekuća zgura, koja je u trenutku otvaranja peći istekla iz ložišta, imala je neposredno kod otvora temperaturu od 926°C, a nešto dalje niz kanalić 870°C, dok je temperatura tekuće zgure u trećem taljenju, dalje niz kanalić, iznosila 800°C. Usporedba temperature ukazuje na približno iste vrijednosti s time da je u trećem taljenju mjerena temperatura kroz sapnicu, u još zatvorenom ložištu peći, gdje je iznosila 1300°C. Iako nedostaje mjerenje zatvorenog, unutrašnjeg dijela ložišta peći u



Sl. 6 Jako zapečeno zdjelica dno ložišta peći, tzv. „zdjelica“ (snimila: T. Sekelj Ivančan)

Fig. 6 The highly fired bowl-shaped bottom of the firebox of the furnace, the so-called "bowl" (photo: T. Sekelj Ivančan)

drugom taljenju, čini se da je temperatura bila jednaka ili nešto viša. Naime, prilikom razgradnje samostojeće peći, ispod posljednjeg sloja popravka (sl. 5: 3) uočeno je jako zapečeno zdjelica dno ložišta peći, tzv. „zdjelica“ (sl. 5: 1.1). „Zdjelica“ je zasigurno rezultat taljenja u tzv. floralnoj peći (sl. 5: 2) jer je bila sastavni dio njene stijenke. Ta tvorevina može s jedne strane ukazivati na postignutu višu temperaturu u ložištu tzv. floralne peći uslijed koje se dno na kojem je „plivalo“ užareno spužvasto željezo jače zapeklo. S druge strane, moguće je to rezultat duljine samog postupka taljenja, odnosno postupak taljenja u zatvorenoj peći nakon završetka umetanja mješavine rude i ugljena je mogao biti dugotrajniji pri čemu je mogla biti čak i približno ista temperatura, ali je izgaranje trajalo duže vremenski razdoblje, uslijed čega se dno također moglo zapeći. Na dnu ložišta posljednje reparacije (sl. 5: 3) takve tvorevine nije bilo jer se tom prilikom čitav postupak taljenja ubrzao te ili nije postignuta dovoljno visoka temperatura da se dno zapeče ili samo taljenje nije dovoljno dugo trajalo da bi se dno zapeklo. Podsjećamo da je u posljednjem taljenju u unutrašnjosti ložišta izmjereno 1300°C, a tzv. „zdjelice“ nije bilo, što znači da je, ukoliko se vezemo na prvu mogućnost, u tzv. floralnoj peći temperatura trebala biti viša od potonje. Ukoliko se vezemo na drugu pretpostavku, valja naglasiti da je sam postupak u posljednjem taljenju vremenski bio skraćeno te da je kao rezultat dobiven produkt spužvastog željeza u kojem je bilo još dosta zgure i nije ga se moglo dodatno oblikovati. Iako ostaju otvorene obje mogućnosti uslijed kojih je moglo doći do stvaranja tzv. „zdjelice“, ono što dodatno

upotpunjuje naše spoznaje jest da su identična zapečena zdjelica dno, tzv. „zdjelice“, bila pronađena i na arheološkim lokalitetima Podravine, na Volarskom bregu u Virju i Velikim Hlebinama u Hlebinama (Sekelj Ivančan 2009: 66–67; Sekelj Ivančan, Valent 2017: 74–75).

I zatečena tlocrtna situacija, nakon razgradnje ostataka samostojeće peći i poliranja istražene površine, pokazala je neke sličnosti s podravskim pećima. Najuočljivija je bila zapečena zemlja u širini od oko 20 do 25 cm koja se protezala uokolo vanjskog plašta ložišta peći, što je rezultat visoke temperature postignute u talioničkim pećima. Osim toga, uočljivo je bilo i tlo izrazito crne boje, koje se polukružno protezalo u širini i do 40 cm oko tog zapečenog tla, sa stražnje strane peći, što se veže uz mjesto s kojeg se u peć umetao drveni ugljen. Gotovo identična nalazišna situacija zamijećena je i kod arheološki istraženih talioničkih peći na oba ranije spomenuta podavska lokaliteta.

Sudjelovanje na radionici u okviru znanstveno-istraživačkog projekta TransFER, polučilo je veoma dobre rezultate, kako one u edukacijskom smislu, tako i one u aktivnom taljenju u samostojećoj jamskoj peći. Dodatno su dobiveni veoma dobri rezultati pri simuliranju arheoloških istraživanja provedenih na samostojećoj peći, nakon obavljenog čitavog postupka taljenja. Sve aktivnosti značajno su pridonijele boljem razumijevanju postupaka vezanih uz obradu željezne rude općenito, a naročito povezivanju polučениh rezultata tijekom razgradnje korištene peći s onima vezanim uz arheološke lokalitete Podravine.

Literatura

- Gömöri, J. 2000, *The archaeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and early Árpád period. Register of industrial archaeological sites in Hungary I. Ironworking*, Sopron.
- Sekelj Ivančan, T. 2009, Arheološka istraživanja ranosrednjovjekovne radionice za preradu željezne rudače na lokalitetu Virje-Volarski breg, *Anali Instituta za arheologiju*, Vol. V, 65–70.
- Sekelj Ivančan, T. 2010, Talionička djelatnost u okolici Molva u ranom srednjem vijeku, in: *Molve – ljudi, selo i okoliš u dugom trajanju: U povodu 350. godišnjice prvog spomena današnjeg sela Molve (1658.–2008.)*, Zbornik radova sa znanstvenog skupa Molve, 27. rujna 2008., Kolar M., Petrić H. (eds.), Molve, 30–45.
- Sekelj Ivančan, T. 2014, Pregled dosadašnjih arheoloških istraživanja na lokalitetu Virje–Volarski breg/Sušine, *Podravski zbornik*, Vol. 40, 158–166.
- Sekelj Ivančan, T., Valent, I. 2017, Ostaci talioničke radionice na lokalitetu Hlebine – Velike Hlebine, *Anali Instituta za arheologiju*, Vol. XIII, 73–76.

Summary

In 2017, members of the project team TransFER participated in the ninth workshop of techniques of smelting iron ore held in Stará hut at Adamov near Brno in Czechia (Figs. 1–2). The main objective was a better understanding of questions related to the production of iron along with an exact as possible interpretation of the finds discovered to the present that are related to the smelting of iron ore in various archaeological periods in the Podravina region (Croatian Drava River basin).

In the first part of the workshop, the focus was on education, which included all the stages of obtaining iron from ore (Fig. 3), as well as various accompanying activities, while in the second part, the focus was on active participation in the entire process of smelting in a furnace, along with recording all the procedures carried out (Fig. 4). At the initiative of members of the TransFER project, at the end the disassembly was performed of the smelting furnace in which the experiment was carried out.

In this research that simulated archaeological excavation, the basic aim was to define and recognize all the layers of its construction and repairs (Fig. 5). In this manner, the original furnace that was found upon arrival could be recognized (Fig. 5: 1) (built in 2015 or 2016). This year it was made into a so-called bloom furnace (Fig. 5: 2) in which two processes of smelting were carried out (Fig. 5: 1.1). Afterwards, the walls of the furnace were again repaired (Fig. 5: 3), followed by experimental smelting by members of the TransFER project. The layer of this latest repair was noted in the interior of the firebox of the furnace, covering the so-called “bowl” (the highly fired bowl-shaped bottom of the furnace firebox) (Fig. 5: 1.1) formed in earlier smelting (or two smeltings) (Fig. 5: 2). The strata below the dismantled furnace (Fig. 5: 0, -1, -2, -3) represent earlier activities that can only be hypothesized to be connected to the smelting furnace, but it appears that a base made for a bread oven is clearly recognizable, and it is possible that at some point this place was also used for other activities, such as roasting ore.

The second objective was to compare the results obtained with situations at archaeological sites in Podravina, where parallels in the ground plan can be drawn after polishing the surface where the furnace was located, and the fact that at the center of the firebox, at the bottom, there was a bowl-shaped formation of the so-called “bowl” (Fig. 6), such as was noted for smelting furnaces at Volarski breg at Virje and Velike Hlebine at Hlebine.