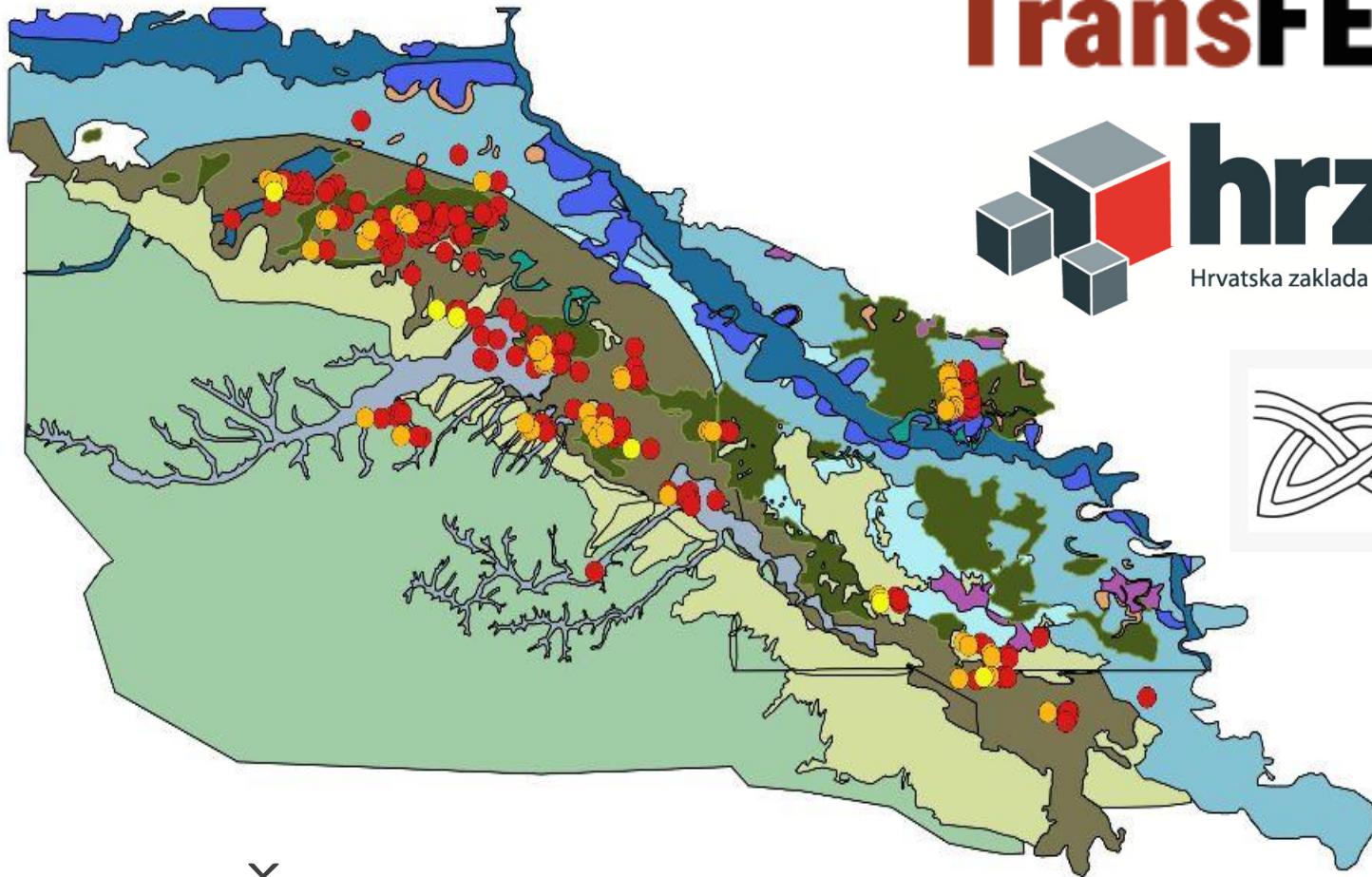
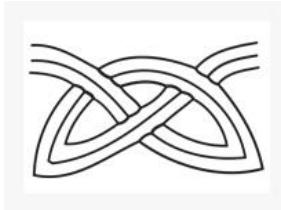


TransFER



Robert Čimin



M U Z E J
G R A D A
K O P R I V N I C E

Institut za arheologiju, Zagreb
27. ožujka 2019.

HISTORIC AND PREHISTORIC IRON SMELTING AND PROCESSING

Stará hut' u Adamova / Czech Republic

23rd to 25th of May 2018

Preliminary program:

23rd May (Wednesday)

- construction of furnaces / iron smelting

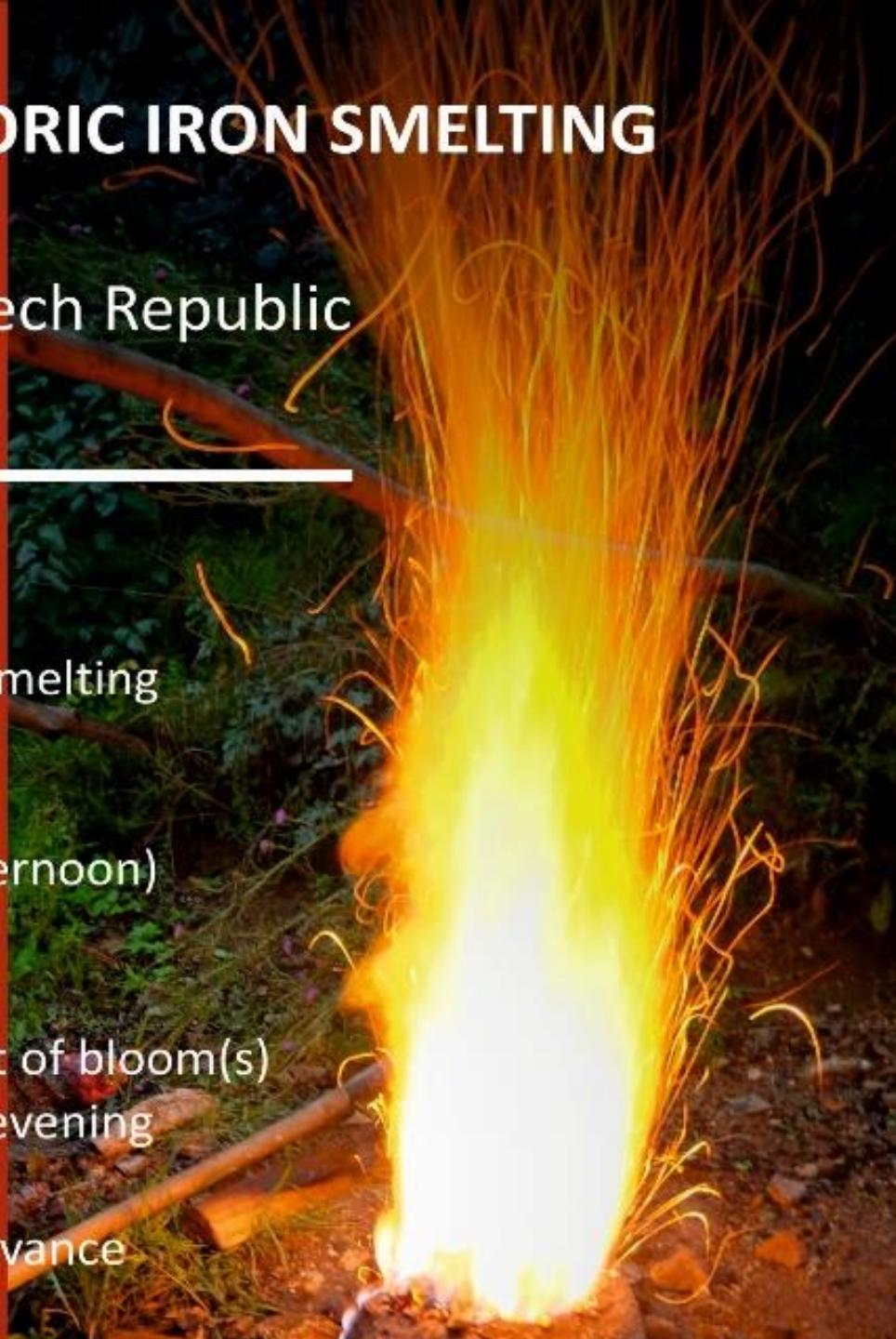
24th May (Thursday)

- iron smelting / lectures (late afternoon)

25th May (Friday)

- iron smelting / smithy treatment of bloom(s)
- party around a fire place in the evening

Charcoal pile will be prepared in advance
and burned during the event.



Stará huť u Adamovu (Češka)

23. – 25. svibanj 2018.

- svrha sudjelovanja: prikupljanje iskustva vezana uz izradu peći za taljenje željezne rude, odnosno upoznati i svladati čitav proces i tehnologiju taljenja
- izrada peći djelomično ukopane u padinu uzvišenja s otvorom za "vrata" na prednjoj strani, tj. mađarske peći 10. i 11. st. (tip 4 // Gomori)
- vrata služe kako se cijelokupna peć ne bi morala rušiti da se proizvod izvadi van
- višekratna uporaba s popravcima
- jedan otvor za upuhivanje zraka – sapnica na vratima
- izgradnja peći u parovima - jedna osoba istovremeno može opsluživati dvije peći + 2 mjeha
- priprema rude – prženje ($600 - 800 ^\circ\text{C}$) na otvorenoj vatri // nečistoće

Peć 1

-
- na padini su bila 4 ranija položaja peći koji se sekundarno koriste za nove peći
 - ranije pripremljena jedna samostojeća peć - četvrtasta baza s ljevkastim suženjem prema vrhu, visina 85 cm, širina unutrašnje stjenke otvora 15 cm, širina stjenke 5-6 cm, širina ložišta 30 cm
 - ukopano dno – zadržavanje zgure koja čuva i formira *bloom*, sprečava ljepljenje na stijenku



Peć 1 – popravak / dogradnja

- priprema smjese za izradu peći - glina, pjesak i suha trava
- popravljanje postojeće peći – ispiranje prljavštine, zamazivanje unutrašnje stjenke, predviđeni prostor za vrata, dogradnja peći prema otvoru...



Peć 1 – vrata i sapnica

-
- vrata - unaprijed pripremljen otvor za sapnicu i izljev tekuće zgure, mogućnost mijenjanja sapnica u slučaju pucanja
 - sapnica - stožasti štap oko kojeg se aplicira čista glina, dužine 20 cm
 - sušenje na suncu i pokraj vatre, jako važan element u kasnijem postupku radi smanjenja rizika od pucanja i nakupljanja zgure na njen otvor



Peć 1 - sušenje

- pucanje stjenke peći - uobičajena pojava
- početak sušenja - otvor za vrata, sprečavanje ljepljenja za stjenku i kasnije lakše odvajanje vrata prilikom vađenja *blooma*
- pomicanje vatre na ložište / dno – diskoloracija otvora + umetanje vrata i sapnice
- pečaćeње vrata glinom i sapnice štapom
- polagano sušenje dodavanjem dugih suhih grana kroz gornji otvor i kontrolu zraka koji cirkulira u peći - efekt dimnjaka
- tzv. "lijena vatra" utječe na karbonizaciju drva čime se postiže ekonomizacija - kasnija manja potrošnja ugljena





- faze sušenja peći

Peć 1 – zagrijavanje

- postupno dodavanje ugljena mjerice 0,625 kg
- potreba za stalnim, jednomjernim i oštrim upuhivanjem zraka pomoću mjeha
- postepeno zapunjavanje do vrha otvora ugljenom i zagrijavanje do optimalne temperature taljenja
- ne postoji vremenski okvir u kojem se peć mora zagrijati
- nije dozvoljeno sekundarno korištenje ugljena iz druge peći jer se dodaju i nečistoće koje se lijepe za stjenku i sapnicu peći!
- tijekom 3 sata ubaćene su 42 mjerice ugljena čime je za potrebe zagrijavanja peći ukupno utrošeno 28,25 kg drvenog ugljena



Peć 1 - taljenje

-
- usitnjena lokalna ruda getit / limonit iz Olmučany (Blonsko, Češka)
 - omjer rude i ugljena 1:1 - po cca 0,5 kg svakog materijala
 - upuhivanje zraka u ravnomjernim intervalima od tzv. „brze 3 sekunde”
 - boja u ložištu narančasto-bijela - vrlo zasljepljujuća (poput sunca)
 - zamazivanje pukotina stjenke peći i vrata žitkim lesom radi boljih svojstava



Peć 1 - taljenje

-
- za 45 min - za ubačenih 5 kg rude i 5,75 kg ugljena temperatura ložišta iznosila je $1355,6^{\circ}\text{C}$
 - za 85 min - za ubačenih 8,5 kg rude i 9,75 kg ugljena temperatura ložišta iznosila je $1446,3^{\circ}\text{C}$
 - za 125 min - završetak punjenja rudom
 - za 135 min - završetak punjenja ugljenom
 - za 180 min - završetak taljenja / redukcija ugljena
 - u tom trenutku temperatura peći na otvoru 420°C , a temperatura u dnu ložišta $1439,3^{\circ}\text{C}$



Peć 1 – kraj procesa

1. čišćenje okoliša peći
2. priprema poluge (kamen + šipka) za *bloom*
3. otvaranje otvora na dnu vrata - tapkanje // višak
4. pažljivo otvaranje vrata i njegovo uklanjanje
5. brzo izvlačenje užarenog ugljena s dna peći
6. podizanje *blooma* iz ložišta na principu poluge
7. izvlačenje *blooma* s hvataljkama na postolje
8. primarno oblikovanje / sabijanje drv. batovima
9. dorada *blooma* željeznim batovima
10. provjera kvalitete proizvoda kalačem



Peć 1 – otvaranje



- za 3,5 sata taljenja korišteno 15 kg željezne rude // *bloom* težine 3,2 kg



Peć 1 – oblikovanje bloom-a



- za 3,5 sata taljenja korišteno 15 kg željezne rude // *bloom* težine 3,2 kg

Peć 2 – 25.5.2018.

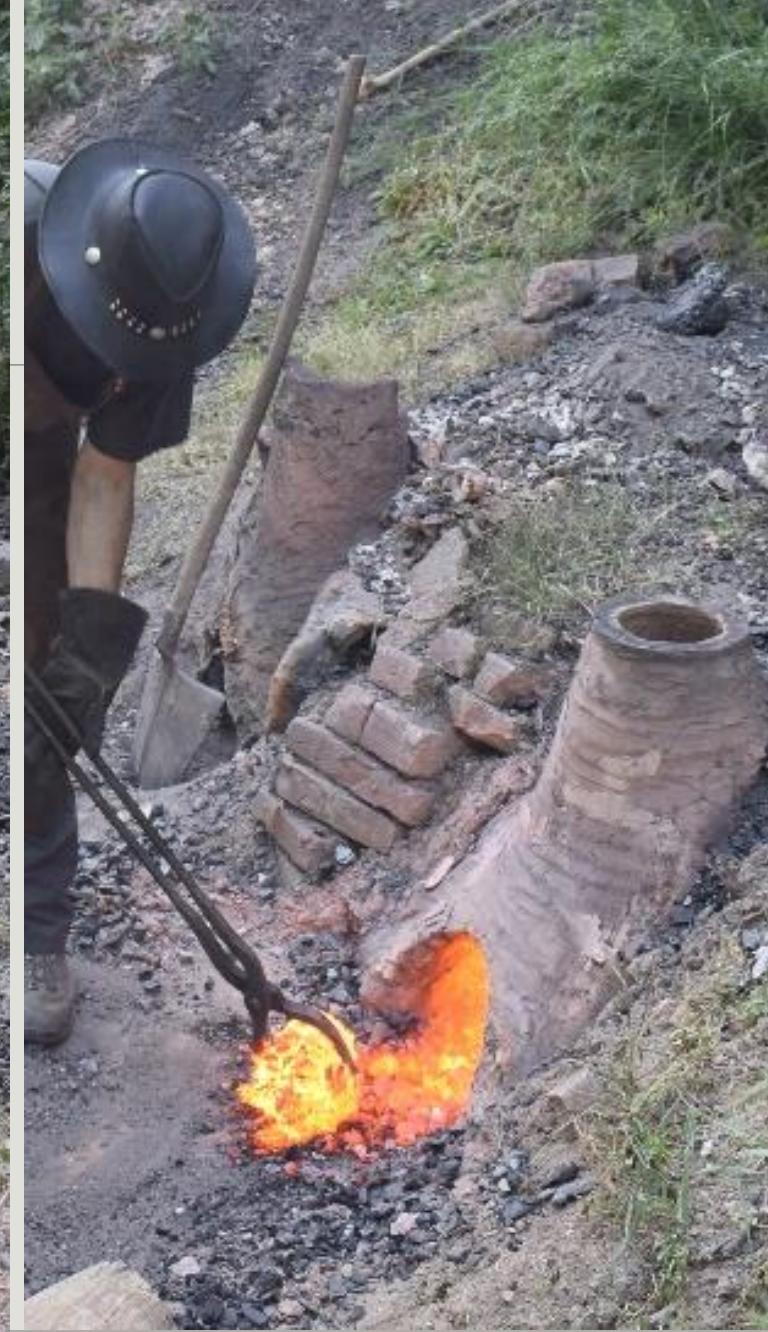
- isti postupak, ali samostalna izvedba
- rano ujutro popravak peći koja je oko 11:00 bila osušena i započelo se s njenim zagrijavanjem
- prije zagrijavanja drvenim ugljenom temperatura na otvora bila je 598°C , a u ložištu 902°C
- u 14:15 započinje se s ubacivanjem drvenog ugljena i željezne rude s temperaturom u ložištu 1420°C
- do 17:05 ubačeno 15 kg rude i toliko ugljena, a narednih 0:30 sati samo drveni ugljen / redukcija
- peć je otvarana kada je razina ugljena na visini vrha otvora vrata
- ukupan proces taljenja trajao je nešto dulje nego prethodnog dana - 4 sata
- konačan rezultat bio je uspješniji - *bloom* težine oko 4,1 kg



- sušenje i punjenje peći ugljenom



- otvaranje peći



- polugom se odvaja *bloom* i klještima vadi van



- oblikovanje *blooma* i kontrola kvalitete



- rezultat - kvalitetan *bloom* težine cca 4 kg

Druge aktivnosti - vapnenica

- kupolastog oblika sa zidanim okvirom - rešetka za pepeo + prefurnij
- kamen (moravski kras) se slaže u kupolastu konstrukciju - svod
- vrh kupole se zatvara zemljom debljine 10-15 cm
- bukva – balvani dužine 1 m
- za 48 sati se dobiva 40 % mase vapna u odnosu na težinu kamena
- u procesu se dobiva živo vapno - vodom prelazi u gašeno vapno
- u Hrvatskoj je danas izrada vapnenica najraširenija na prostoru Istre (rijeka Raša)



Druge aktivnosti – vuglenica

- ugljenica / vuglenica tipa karbunica
- drveni balvani slažu se u krug u dvije ili tri razine, okomito oko središnjeg utora kroz koji pali, a kasnije se balvani slažu u koso tako da na kraju cijela konstrukcija ima oblik kupole ili stošca - češki miliř
- konstrukcija se pokriva vlažnom travom na koju dolazi zemlja pomiješana s ugljenastim prahom i otvaraju se rupe za dim
- 6 m^3 bukve sagorijeva punih 5 dana, a iskoristivost ugljena je 55 % mase drveta = 400 kg ugljena
- otvaranje vuglenice i odvajanje većih komada ugljena - postupak hlađenja
- usitnjavanje većih komada drvenog ugljena kroz rešetku 5 x 5 cm
- skladištenje u papirnate vreće po 10 kg



- vuglenica 4. dan



- otvaranje vuglenice

Druge aktivnosti – kovanje

- proces kovanja, tj. zavarivanja i spajanja triju komada željeza, koji su proizašli iz jednog taljenja, no nisu bili spojeni u jedan *bloom*





TOP MANIFESTACIJA

Najveća „srednjovjekovna“ manifestacija u Hrvatskoj

Renesansni festival



TURISTIČKA ZAJEDNICA



Glavna tema

Tajne željeza

25.-26. 8. 2018.

Hungary-Croatia
Cross-border Co-operation Programme

Interreg

Partner

MUZEJ
GRADA
KOPRIVNICE



HRVATSKA
Prva Život

Ministarstvo turizma
REPUBLIKA HRVATSKA

CROATIA
Croatian National Travel Board

e PODRAVINA.HR
PODRAVINA | PODRINA NA ŠKAMO

PBZ
BANKA BOSNA & HERZEGOVINA d.d.

ERSTE BANKA

HGK
1 6 3 2
Hrvatski gospodarski klub

NOA
SMART UP YOUR LIFE

KTC
Radio
Slijeme

podravnica i prigotri

CROATIA INSURANCE

outdoor
akzent!

Automobil
LONCAR d.o.o.



Grad Koprivnica



Zagorje
Koprivničko-križevačka



Tajne željeza, Koprivnica

23. – 26. kolovoza 2018.

- svrha sudjelovanja: primjena iskustva stečena sudjelovanjima na 9. i 10. izdanju radionice tehnika taljenje željezne rude 2017. i 2018. u mjestu Stará huť u Adamovu (Češka)
- Muzej grada Koprivnice: partner manifestacije i nositelj središnje teme
- sudionici:
 - dr. sc. Tajana Sekelj Ivančan, IARH;
 - Robert Čimin i Ivan Valent, MGK;
 - Saša Hrenić, Maša Zamljačanec i Vesna Peršić Kovač, MGK;
 - Ivan Zvijerac, Društvo za povjesnice i starine Torčec;
 - Tena Karavidović i dr. sc. Katarina Botić, IARH;
 - Tomislav Brenko, RGN;
 - Mario Bodružić i Ilija Cikač, arheolozi;
 - Ana Čimin, Antonija Čimin i Tea Lukanc, članovi obitelji.

Sirovine

- u ograđenom prostoru organizator je osigurao osnovne sirovine:
 1. glina - eksploatacijsko polje Gušćerovec kod Križevaca (Radnik d.d.)
 2. pjesak - granulacija 0-4 mm (lokalna)
 3. suho sijeno - jedna bala
 4. drvo - bukva, orah i suho šiblje
 5. drveni ugljen - vreće od 10 kg
 6. željezna ruda - koncentrat sitne rude iz rudnika Omarska kod Prijedora (Bosna i Hercegovina)

Sirovina



Tipovi peći

- dvije tzv. *talioničke peći na istek* (Peć 1 i 3)
- dvije tzv. *jamske talioničke peći s nataloženom zgurom* (Peć 2 i 4)



Peć 1 - dan 1.

-
- za 8 sati podizanja njena visina na vanjskoj stjenki iznosila je 75 cm, a u unutrašnjosti 83 cm (dno ložišta 8 cm ukopano u zemlju)
 - još 2,5 sati sušenja peći i popravci vanjske stjenke
 - temperatura na dnu ložišta iznosila 1021°C , a na otvoru 622°C





Peć 1 - dan 2.

-
- popravak, sušenje i zagrijavanje peći - potrebno 4,5 sati
 - temperatura na dnu ložišta iznosila je 1033°C , a na vrhu 504°C
 - smjesa drvenog ugljena i željezne rude - omjer 1:1 // 13 kg rude
 - punjenje peći smjesom 3,5 sati, potom ubacivanje ugljena dodatnih 0,5 sati i na kraju redukcija ugljena još 1 sat - ukupno proces od 5 sati
 - tijekom procesa zagrijavanja peći i taljenja korišteno cca 40 kg ugljena



Peć 1 - otvaranje peći



Peć 1 - otvaranje peći



Peć 1 - otvaranje peći





Peć 1 - rezultati

- dva komada *blooma* - osnovni i sekundarni (odvajanje)
 1. zrak u peć uz pomoć mjeha tijekom taljenja nije jednakomjerno upuhivan
 2. proces redukcije ugljena nije dovršen jer su se mogli povezati
- otvor vrata bio je premalen za vađenje *blooma* iz ložišta pa je peć srušena kako bi se *bloom* izvukao van
- presnažnim sabijanjem drvenih i metalnih batova proizvod je smanjen i od njega je otpalo više komada - težina *blooma* od 1,254 kg
- uzeti uzorci zgure težine 5,132 kg



Peć 2 - *jamska peć s nataloženom zgurom*

- iskopana jamica širine 40 cm i dubina 30 cm
- podizanje peći kojoj se stjenka suši postupno prirodnim putem - 2 puna dana i 2 noći
- visina vanjske stjenke 40 cm, visina unutrašnjosti 60 cm, promjer otvora 16 cm, a sapnica na visini od 3-5 cm od tla
- završno sušenje uz dodavanje suhih grana i upuhivanjem od 6 sekundi
- kroz 2,5 sata loženja ugljenom je 15 cm ispod gornjeg otvora, utrošeno je 10 kg, intervali od 4 sekunde, a ugljen se ubacuje svakih 15 minuta
- u sljedećih 1,5 sati u taljenju ubačeno 4 kg rude i 4 kg drvenog ugljena
- proces je obustavljen radi jake kiše u 23:10 sati !



Peć 3 – dan 1.

- neukopana, na blagoj padini gdje dolaze vrata
- postupno dizanje po 20 cm i paljenje vatre radi sušenja
- podignuta do 60 cm visine + zapaljena



Peć 3 – dan 2.

-
- podignuta do 72 cm visine, promjer otvora 14 cm, debljina stjenke 5,5 cm
 - sušenje i zagrijavanje sporom „*lamilarnom*” vatrom
 - stražnja strana obložena slojem zemlje radi sprečavanja gubitka topline



Peć 3 – dan 2.

- taljenje kao u Peći 1 s 13 kg rude u omjeru 1:1 s ugljenom
- za 1:10 sati ubačeno po 3 kg rude i ugljena – temp. ložišta 1335°C
- za 1:30 sati ubačeno po 4,5 kg rude i ugljena – temp. ložišta 1388°C
- za 6:20 sati ubačeno 13 kg rude i 3 kg ugljena – curenje zgure kroz sapnicu



Peć 3 – otvaranje



Peć 3 – rezultati

- komad spužvastog željeza koji se tijekom procesa taljenja zalijepio za vrata
- radi ranijeg otvaranja nije proveden postupak redukcije ugljena
- zbog nedovoljne količine pijeska u smjesi gline pec je popucala
- pri oblikovanju *bloom* uz pomoć batova razdvojio se na dva djela
- veći dio je upućen kovaču, a manji je težio 2,117 kg
- ukupna težina prikupljene zgure iznosila je 3,173 kg



Peć 4 - *jamska peć s nataloženom zgurom*

- iskopana je jama promjera 40 cm, dubina 15 cm, ukupna visina 72 cm
- postupno sušenje preko čitavoe noći, čitavog dana i paljenjem vatre
- navečer je jaka kiša prekinula sušenje i početak procesa taljenja



Arheološko iskopavanje – Peć 2 i 4.

- usporedba s ostacima peći pronađenim na arheološkim istraživanjima na nekoliko lokaliteta u Podravini - provedeno 6 dana od radionice
- Peć 4 - dokumentirana i cjelovito odvojena od zemlje (Zbirka Zvijerac)
- Peć 2 - presjek ručnom pilom za željezo, dokumentacija; jamica peći je bila zapunjena ugljenom koji je još uvijek bio užaren!





Arheološko iskopavanje – Peć 1 i 3

- ostaci tzv. čipkaste zgure uz stjenku i na dnu ložišta
- ispod zapečenog dna ložišta utvrđeni su slojevi zemlje na koju je utjecala temperatura u peći tijekom taljenja
- Peć 3 - predprostor na koji je utjecala temperatura od 60 cm



Peć 1



Peć 3



Uzorci

-
- prikupljene stjenke peći, ulomci sapnica i različiti oblici zgure (čipkasta i tekuća, te zgura sa šupljinama - proces taljenja u potpunosti proveden



Zaključci

- 1. cilj eksperimenta - utvrditi s kojim su se sve problemima tijekom procesa taljenja ljudi suočavali
- 2. cilj eksperimenta - provesti uspješno taljenje u pećima na istek te jamskim pećima s nataloženom zgurom
- taljenje je provedeno u talioničkim pećima na istek (Peći 1 i 3), a vremenski uvjeti su onemogućili taljenje u jamskim pećima s nataloženom zgurom (Peći 2 i 4)
- jamica - omogućava dobar smještaj *bloom* u nastajanju u zaštićenom središnjem djelu ložišta kako bi se kvalitetno mogao formirati; sprečava veću koncentraciju zgure na vratima; *bloom* pliva u zdjeli tekuće zgure
- drveni ugljen - ravnomjerno usitniti radi sprečavanja "džepova" u ložištu, ruda se ne tali postepeno te većina odlazi u zguru i zapunjava prostor ložišta; potrebno je pri kraju ostaviti vremena njegovoј redukciji!

Zaključci

- zrak - upuhivanje mjehom je važan segment procesa, ravnomjeran dovod zraka u ložište, u taljenju važno je oštro upuhivanje u brzim intervalima radi održavanja visoke temperature; spriječiti stvaranje sekundarnog *bloom*
- ložište - oblik i veličina u izravnoj vezi s količinom rude koja se u nju ubacuje; previše rude će zapuniti ložište i tekuća zgura će se pri kraju procesa taljenja nakupljati oko sapnice prije procesa redukcije ugljena
- oblikovanje *bloom* - ISKUSTVO!!!; važno dobro procijeniti silinu jačinu udaranja batovima kako bi se sabio i ne bi nastale pukotine; preveliki pritisak dovodi do pucanja gdje se komad razdvaja na manje dijelove
- izuzetno zahtjevan proces kod kojeg su se određene vještine taljenja prenosile kroz generacije i zadržale tijekom čitavog srednjeg vijeka

