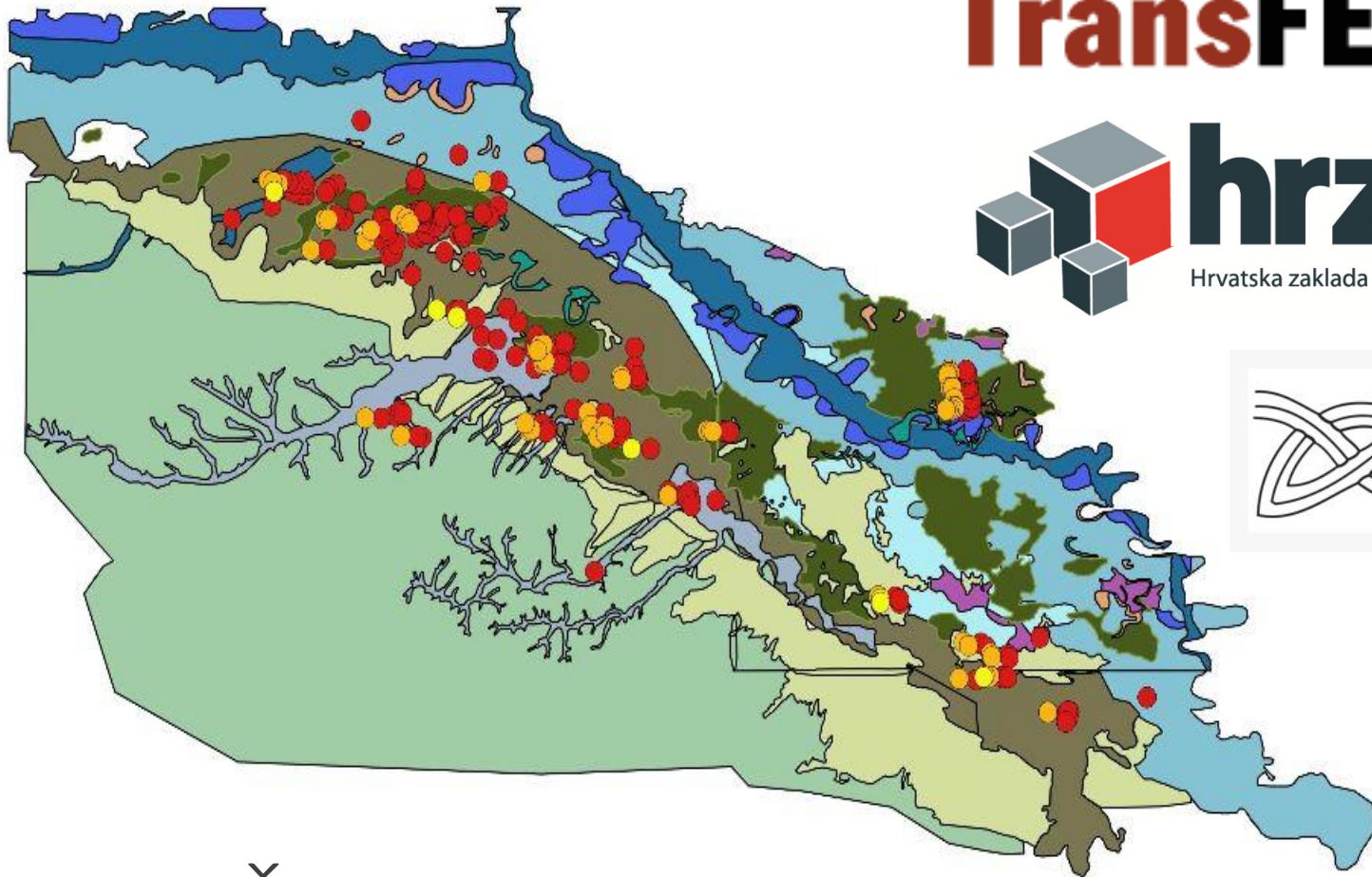
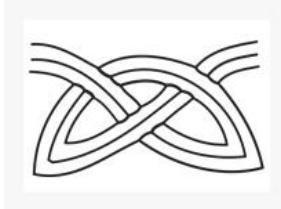


# TransFER



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**

23<sup>rd</sup> to 25<sup>th</sup> of May 2018

---

Preliminary program:

23<sup>rd</sup> May (Wednesday)

- construction of furnaces / iron smelting

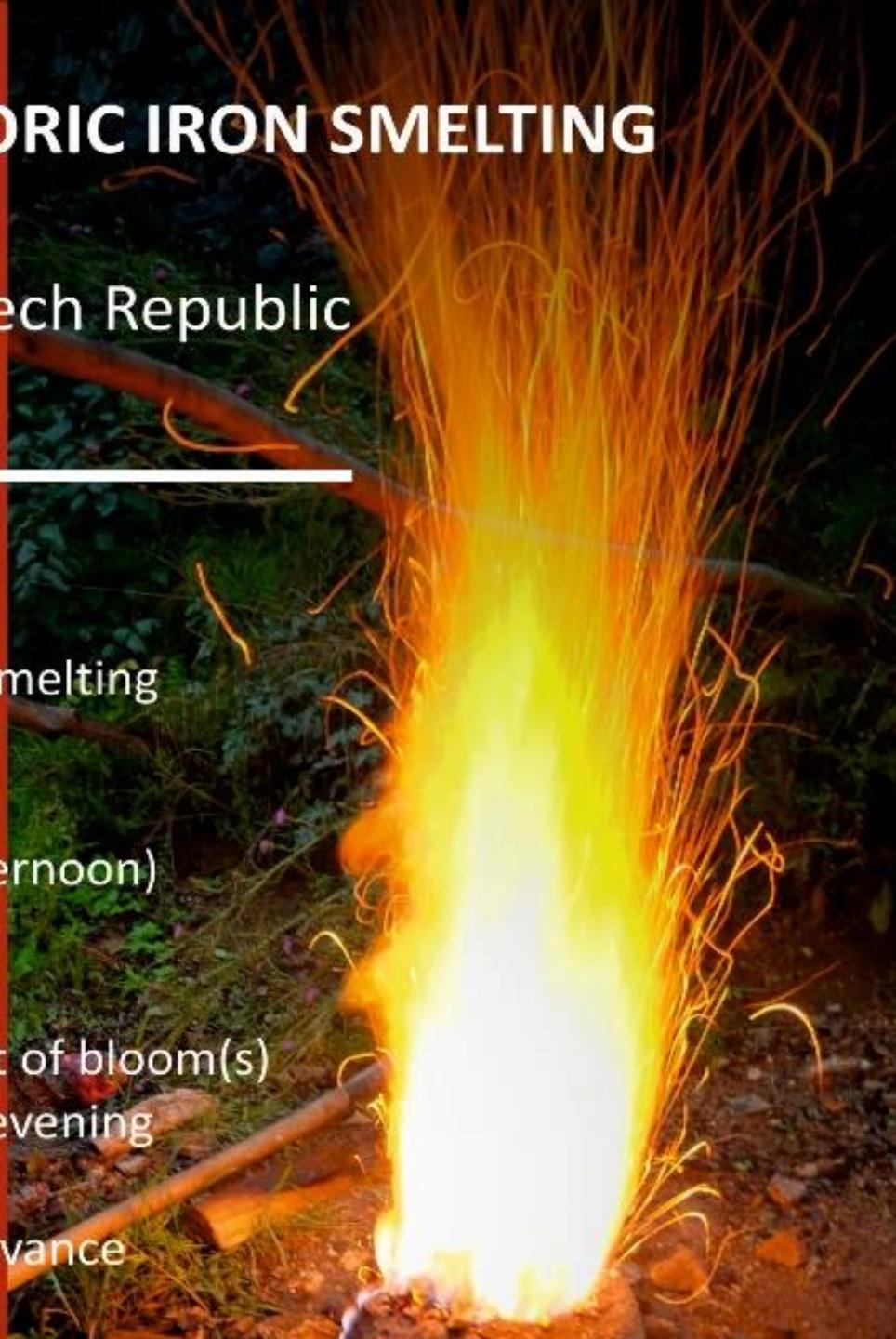
24<sup>th</sup> May (Thursday)

- iron smelting / lectures (late afternoon)

25<sup>th</sup> 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  $420^{\circ}\text{C}$ , 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.

---

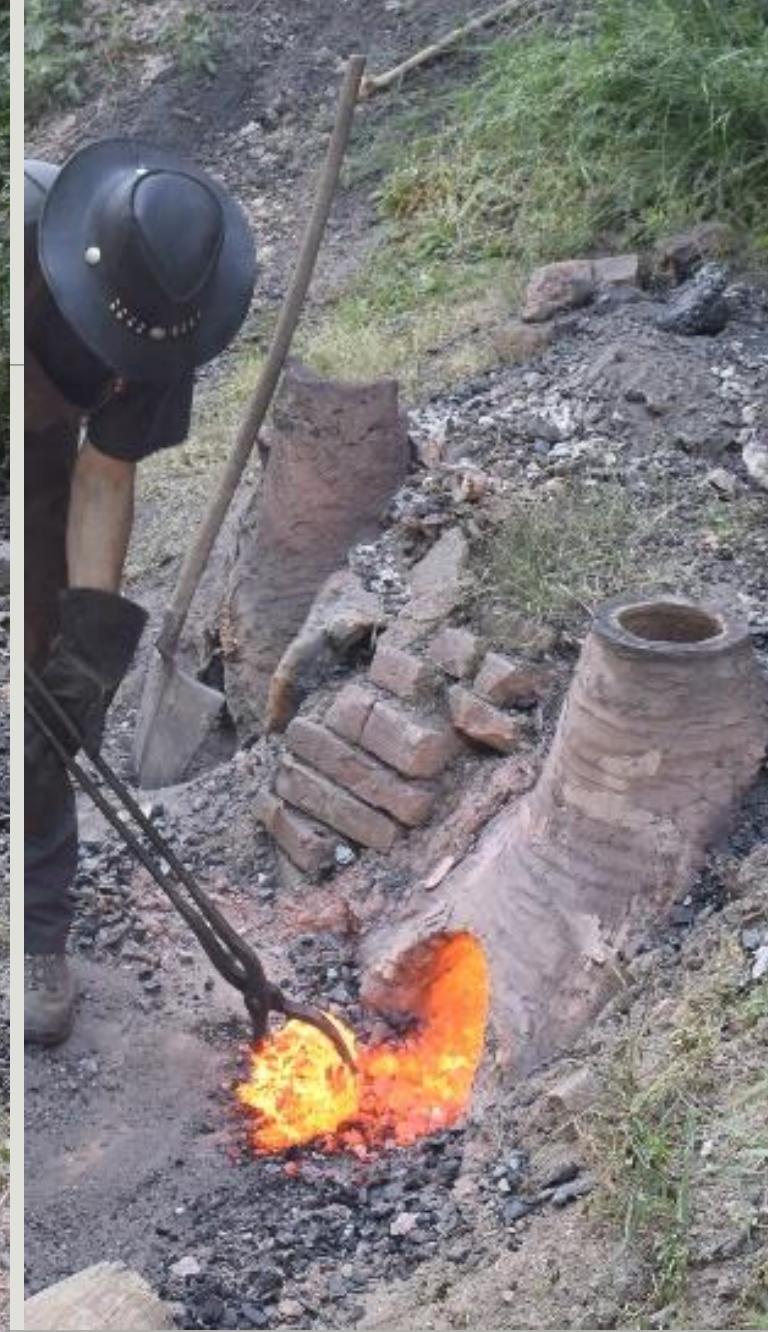
- isti postupak, ali samostalna izvedba
- rano ujutro popravak peći koja je oko 11:00 bila osušena i započelo se s njenim zagrijavanjem
- prije zagrijavanja drvenim ugljenom temperatura na otvora bila je  $598^{\circ}\text{C}$ , a u ložištu  $902^{\circ}\text{C}$
- u 14:15 započinje se s ubacivanjem drvenog ugljena i željezne rude s temperaturom u ložištu  $1420^{\circ}\text{C}$
- 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
- $6 \text{ m}^3$  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*





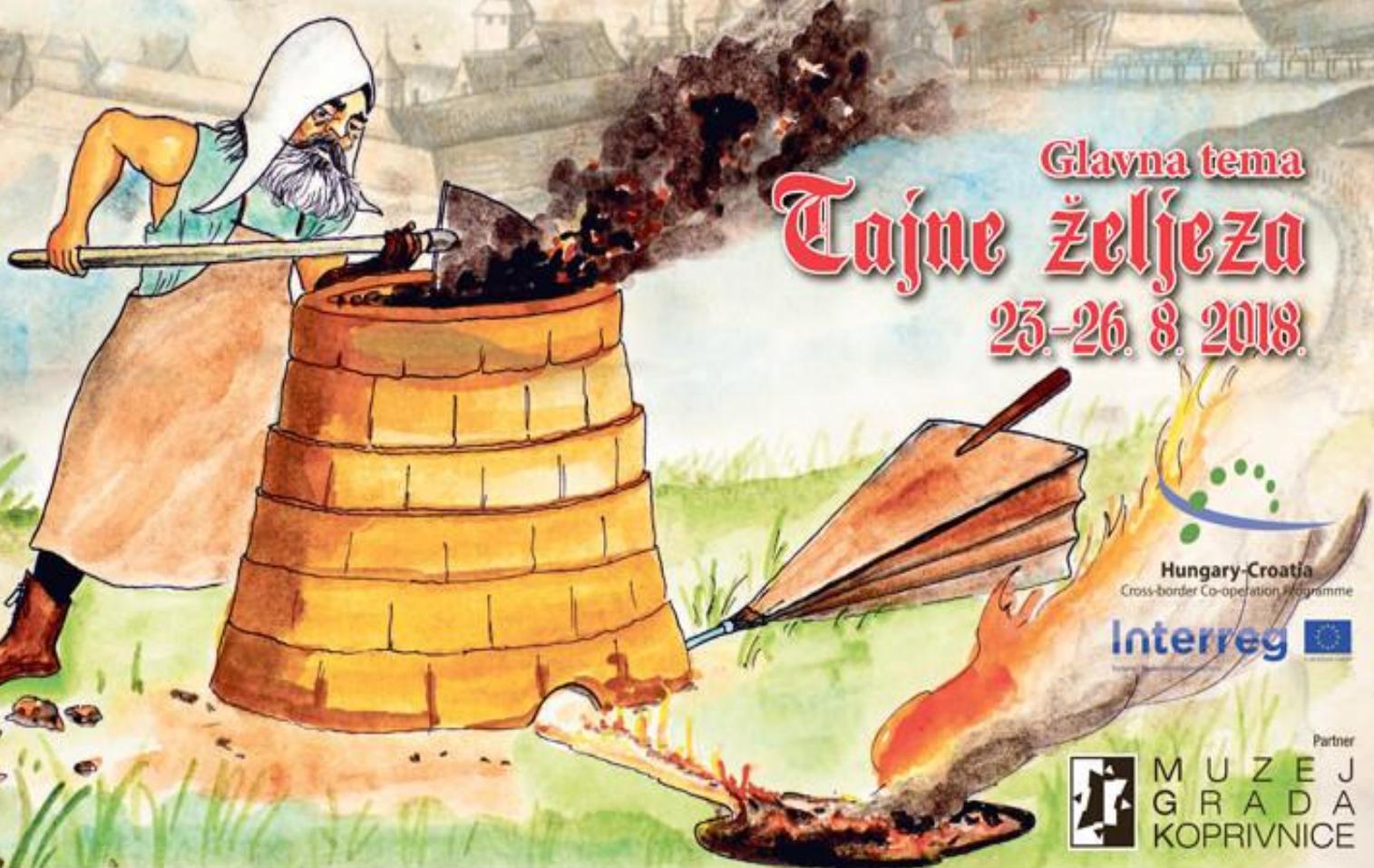
TOP MANIFESTACIJA

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 HRVATSKA d.d. Zagreb

ERSTE BANKA

HGK  
1 6 3 2

Radio  
Slijeme

NOA  
SMART UP YOUR LIFE

KTC

podravnica i prigotri  
CROATIA INSURANCE

outdoor  
akzent!  
Automobil  
LONCAR d.o.o.



# 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  $1021^{\circ}\text{C}$ , a na otvoru  $622^{\circ}\text{C}$





# Peć 1 - dan 2.

- 
- popravak, sušenje i zagrijavanje peći - potrebno 4,5 sati
  - temperatura na dnu ložišta iznosila je  $1033^{\circ}\text{C}$ , a na vrhu  $504^{\circ}\text{C}$
  - 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  $1335^{\circ}\text{C}$
  - za 1:30 sati ubačeno po 4,5 kg rude i ugljena – temp. ložišta  $1388^{\circ}\text{C}$
  - 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

