

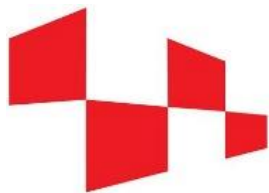
REKONSTRUKCIJA POSTUPKA PRŽENJA RUDE : eksperimentalni pristup

Tena Karavidović
Institut za arheologiju, Zagreb

Aktuelna interdisciplinarna istraživanja tehnologije u arheologiji Jugoistočne Evrope

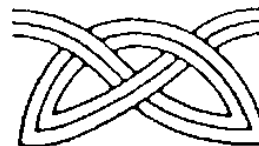
Skup Sekcije za arheometriju, arheotehnologiju, geoarheologiju i eksperimentalnu arheologiju Srpskog arheološkog društva,

Beograd, 28. veljače 2020.



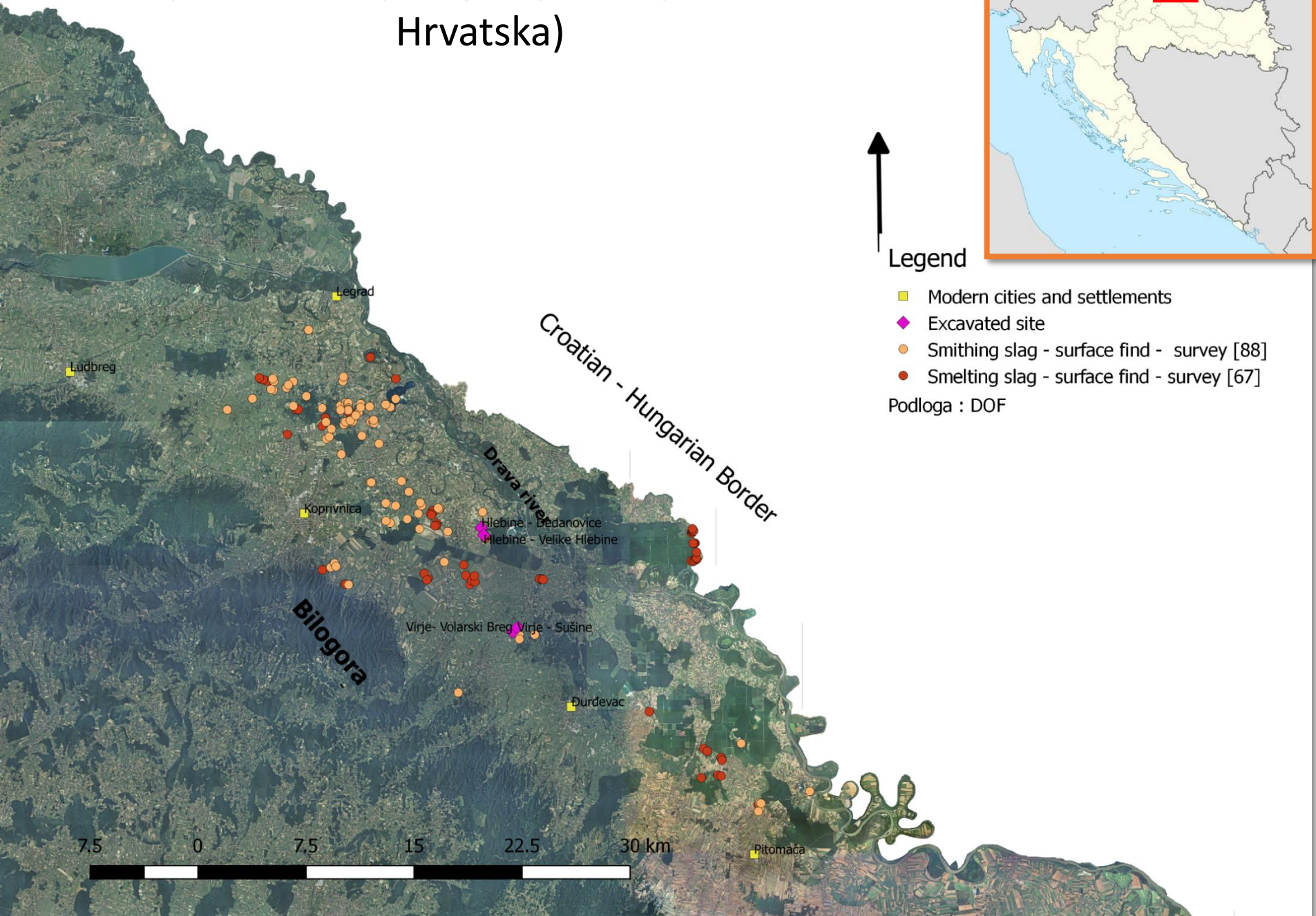
HRZZ

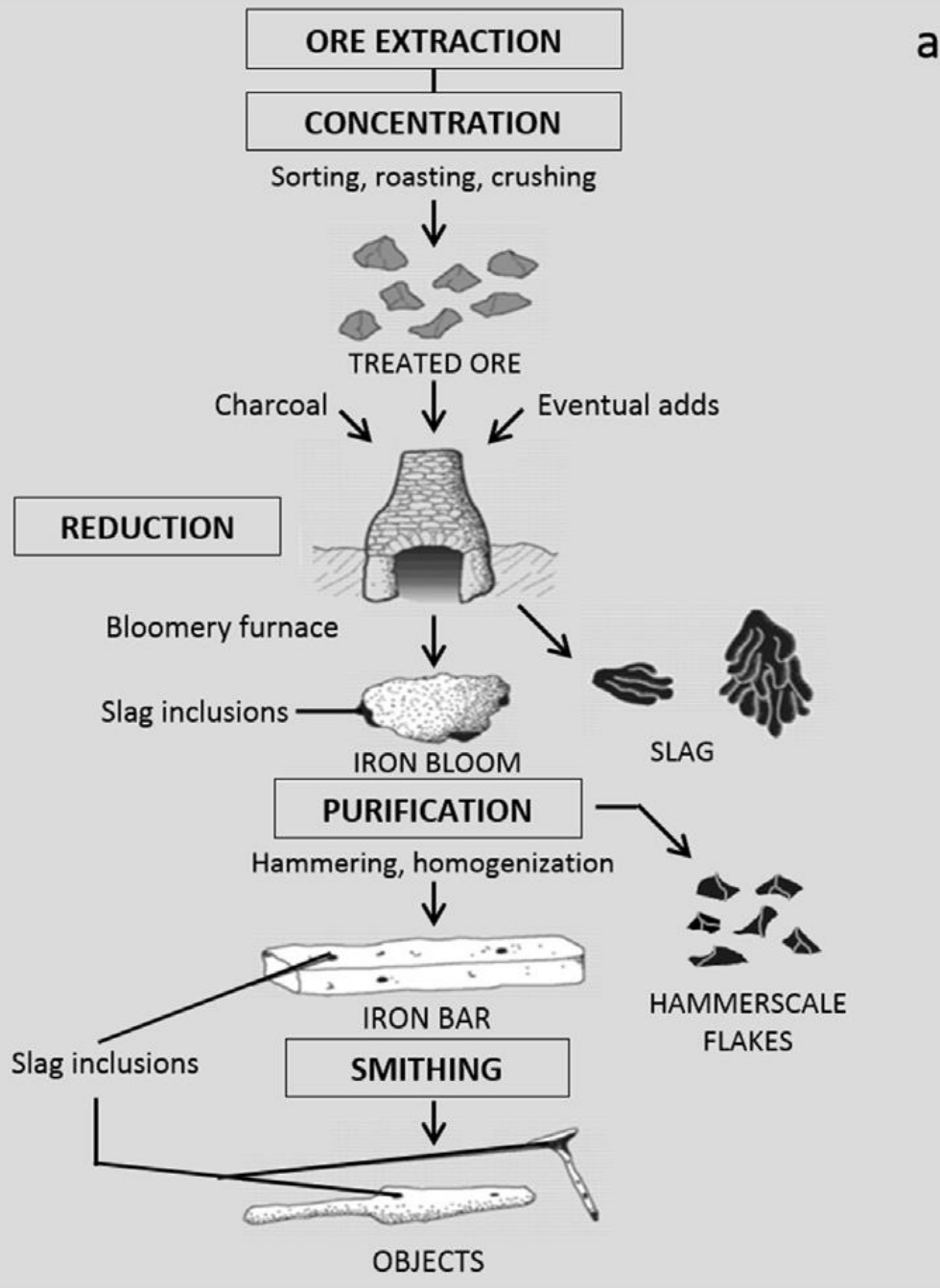
Hrvatska zaklada
za znanost



TransFER

Područje istraživanja – gornji sliv rijeke Drave (SZ Hrvatska)





1. Nabava sirovine

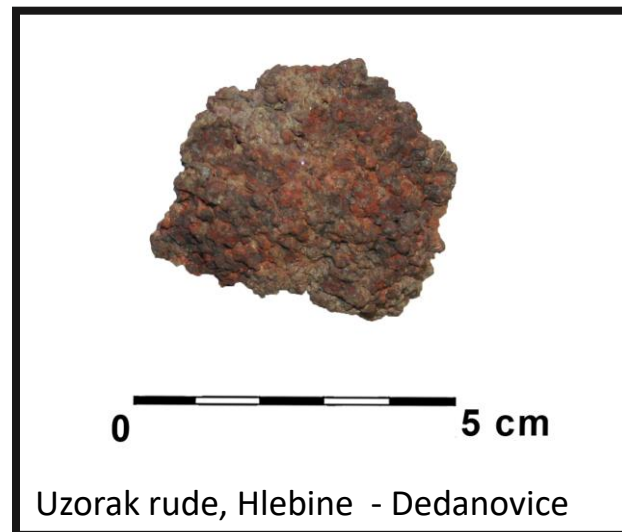
2. Priprema i obogaćivanje sirovina

3. Taljenje /direktni proces/redukcija

4. Post – redukcija / sinteriranje / konsolidacija / primarno kovanje

5. Sekundarno kovanje/ izrada predmeta

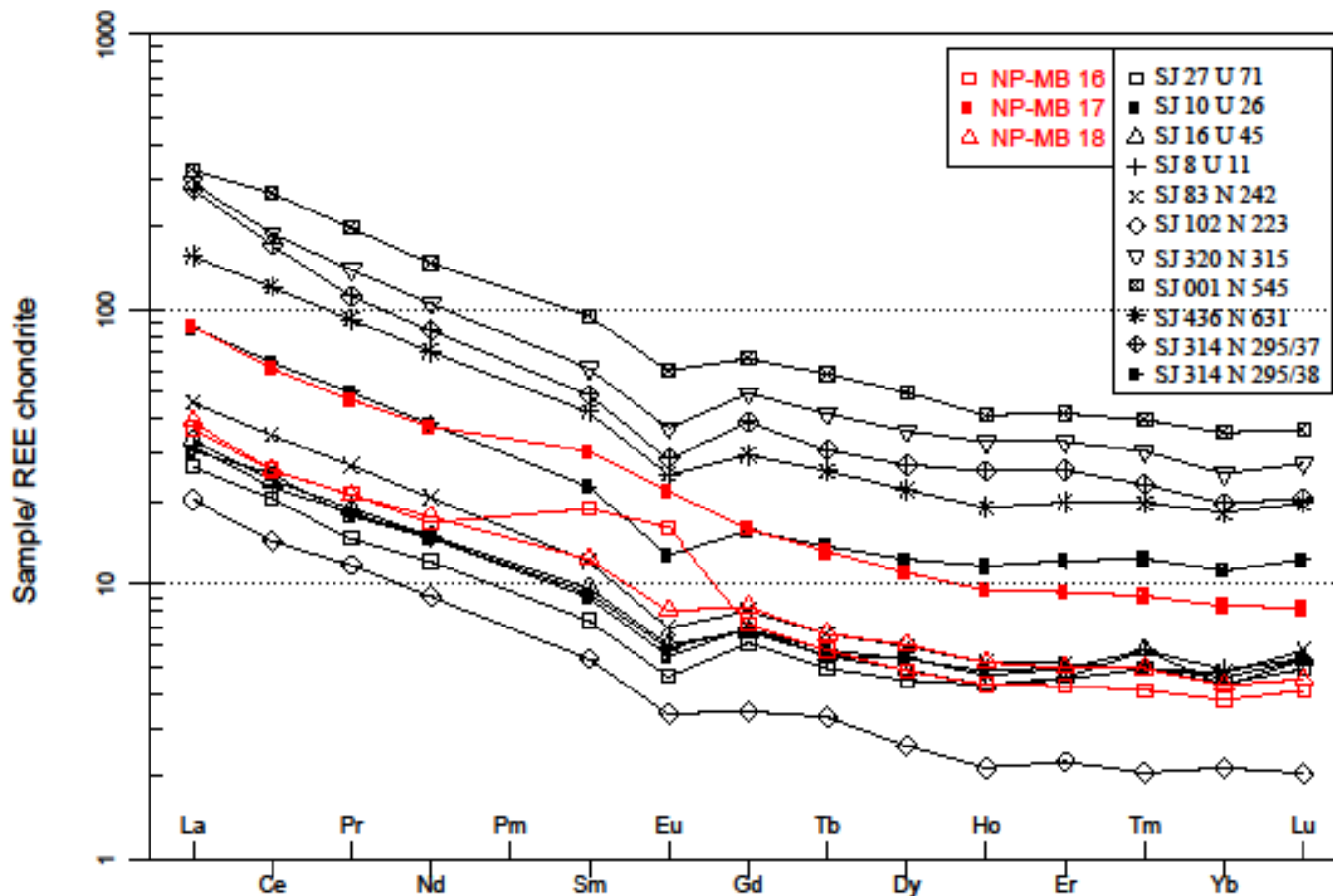
Željezna ruda iz arheološkog konteksta



- **Virje – Volarski breg** - talionička radionica
2/2 8. – 9.st
- **Virje - Sušine** - talionički otpad
5.st.
- **Hlebine – Dedanovice** - kovačka radionica/naselje
poč - ½ 7. st
- **Hlebine – Velike Hlebine** – talionička radionica
poč - ½ 7. st

Podrijetlo sirovine : jedinstven geokemijski otisak

Spider plot – REE chondrite (Anders & Grevesse 1989),



Isti opći trend REE– slični preduvjeti za formaciju

Korelacija s postojećim uzorcima rude = lokalno podrijetlo

Zastupljenost REE u uzorcima ruda s arheoloških lokaliteta na prostoru Podravine – korelacija s površinskim nalazima rude (NP – MB 16 – 18).

Graf izradio : T. Brenko, analiza: ICP – MS, Ms Analytics, Langley Kanada 2019.

Lab. broj.	Arh. Oznaka	Lokalitet	Vrsta nalaza	Kvarc	Goethit	Hematit	Magnetit	Wuestite	Fayalit	Rutile	Hedenbergite	Amorfna tvar
6648	SJ 107 (N 113)	Virje - Volarski Breg	Ruda - sirova	+++	+++	-	-	-	-	+	-	-
6649	SJ 111 (N 122)	Virje - Volarski Breg	Ruda - sirova	+++	+++	-	-	-	-	?	-	-
6650	SJ 111 (N130)	Virje - Volarski Breg	Ruda - sirova	+++	+++	-	-	-	-	+	-	-
7135	SJ 314 (N 295/51)	Virje - Sušine	Ruda - sirova	+	+++	-	-	-	-	-	-	-
6629	SJ 83 (N 242)	Hlebine - Velike Hlebine	Ruda –pržena?	++	+++	-	+++	-	-	-	-	-
6852	SJ 27 (U 71)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	-	-	-	-	-	-
6853	SJ 10 (U 26)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	-	-	-	-	-	-
6854	SJ 16 (U 45)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	-	-	-	-	-	-
6855	SJ 8 (U 11)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	+	-	-	-	-	-
6638B	SJ 102/90 (N 223)	Hlebine - Velike Hlebine	Ruda pržena ?	+	++	-	+++	-	-	-	-	-



Virje - Volarski breg , sirova ruda, SJ 107, N-113



Hlebine – Dedanovice, uzorci pržene rude, SJ 8, U – 11/1b, SJ 16, U - 45

XRD analiza uzoraka rude iz arheološkog konteksta, Rudarsko–geološko-naftni fakultet Zagreb

- Definiranje postupaka lanca operacija koji vodi proizvodni željeza na prostoru Podravine
- razlike u postupcima pripreme sirovine
= razlike u tehnološkom odabiru?

5.st (Virje- Sušine)

7. st (Hlebine – VH, Dedanovice)

8/9.st (Virje – Volarski Breg)

Postupci pripreme rude

Proces pripreme može podrazumijevati više postupaka:

- ručno prebiranje metalonosne rude od jalovih minerala
- Mehaničko čišćenje i/ili ispiranje
- Dehidracija - sušenje i/ili postupak prženja
- Usitnjavanje

Humus

Ruda

Pjeskovita glina



Sloj močvarne željezne rude, Somogyfajs, Republika Mađarska (radionica IRON SMELTING WORKSHOP 2019: FROM THE SOIL TO THE IRON PRODUCT)



Imitativni eksperiment: rekonstrukcija postupka prženja rude

Eksperimentalno testiranje:

- **Konstrukcija ložišta:** dva oblika
- **Trajanje postupka**
- **Sirovina**

Suho drvo – pougljeno drvo

Ruda : Somogy (MŽR, getit)

Priprema rude:

- Isprana
- Nepotpuno suha
- Grumenje 5 do 15 cm promjera

Metoda dokumentiranja:

Temperatura / vrijeme (IRC Pirometar)
– unutrašnja i vanjska strana ložišta,
više točaka

Makroskopski izgled (boja,
konzistencija)

Težina (ulomak i cjelokupna količina)

Cilj

- definiranje utjecaja pirometalurške pripreme na karakteristike rude
- usporedba s arheološkim nalazima i zapisom
- utrošak energije, vremena, resursa – organizacija rada - eksploatacija resursa

Razina pripreme - utjecaj na krajnji proizvod // eksperimentalno taljenje

Eksperiment 1.



a) čišćenje površine, zamazivanje
gline – izolacija topline – smanjenje
utjecaja vlage iz tla

b) i c) izgradnja drvene konstrukcije
vatrišta



početak prženja



POLOŽAJ 1.

POLOŽAJ 2.

POLOŽAJ 2.1.
unutrašnjost

POLOŽAJ 3.

POLOŽAJ 3.1.
unutrašnjost



nakon 2:00 h prženja

Eksperiment 2.



6 h prženje – 20 h hlađenje



Postupak prženja: utjecaj na karakteristike rude



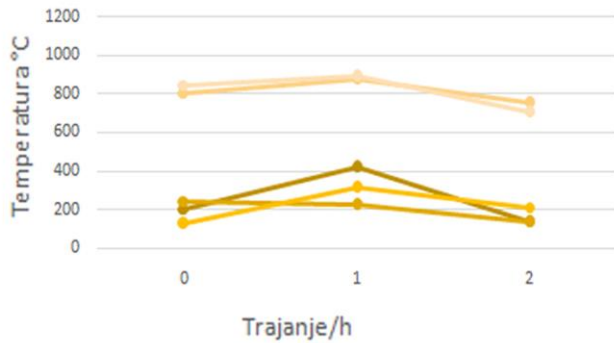
A



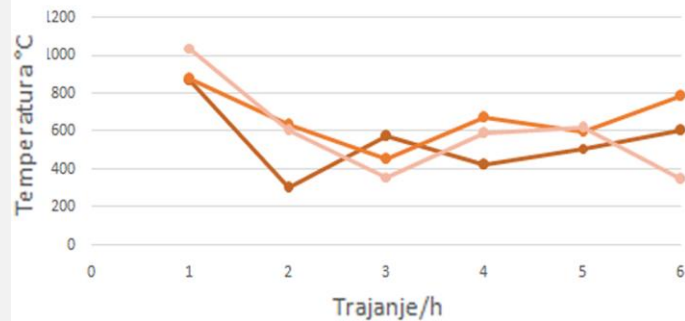
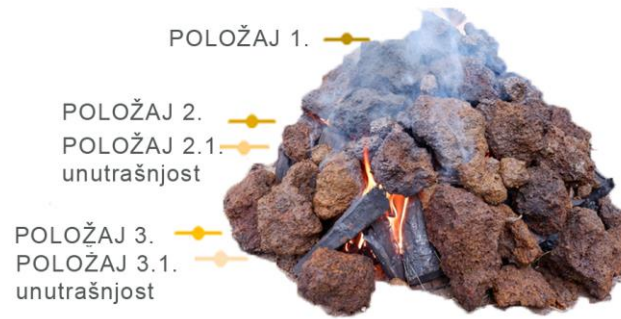
B



C



A



B



Max.raspon	Položaj
173 i 891 °C	811 – 812 °C
299 i 1038 °C	134 i 313 °C
	300 do 620 °C

Lab. broj.	Arh. Oznaka	Lokalitet	Vrsta nalaza	Magnetit									
				Kvarc	Goethit	Hematit	Wuestite	Fayalit	Rutile	Hedenbergite	Amorfna tvar		
6629	SJ 83 (N 242)	Hlebine - Velike Hlebine	Ruda pržena	++	+++	-	+++	-	-	-	-	-	-
6852	SJ 27 (U 71)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	-	-	-	-	-	-	-
6853	SJ 10 (U 26)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	-	-	-	-	-	-	-
6854	SJ 16 (U 45)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	-	-	-	-	-	-	-
6855	SJ 8 (U 11)	Hlebine - Dedanovice	Ruda pržena	+	-	+++	+	-	-	-	-	-	-
6638B	SJ 102/90 (N 223)	Hlebine - Velike Hlebine	Ruda pržena	+	++	-	+++	-	-	-	-	-	-

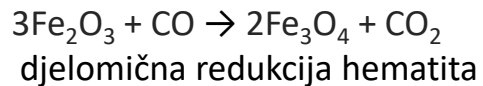


Getit → Hematit



300 – 500 °C

Hematit → Magnetit



500 - 700°C

Tragovi prženja: usporedba s arheološkim zapisom



- 811 – 812 °C
(maksimalni raspon 701 – 891 °C)
- 2h



- Prosječno 500 – 600 °C
(maksimalni raspon 357 – 1038 °C)
- 6 h

A) Plitka jama zapečenog dna (Hlebine – Velike Hlebine, SJ 104/90),



a)



b)



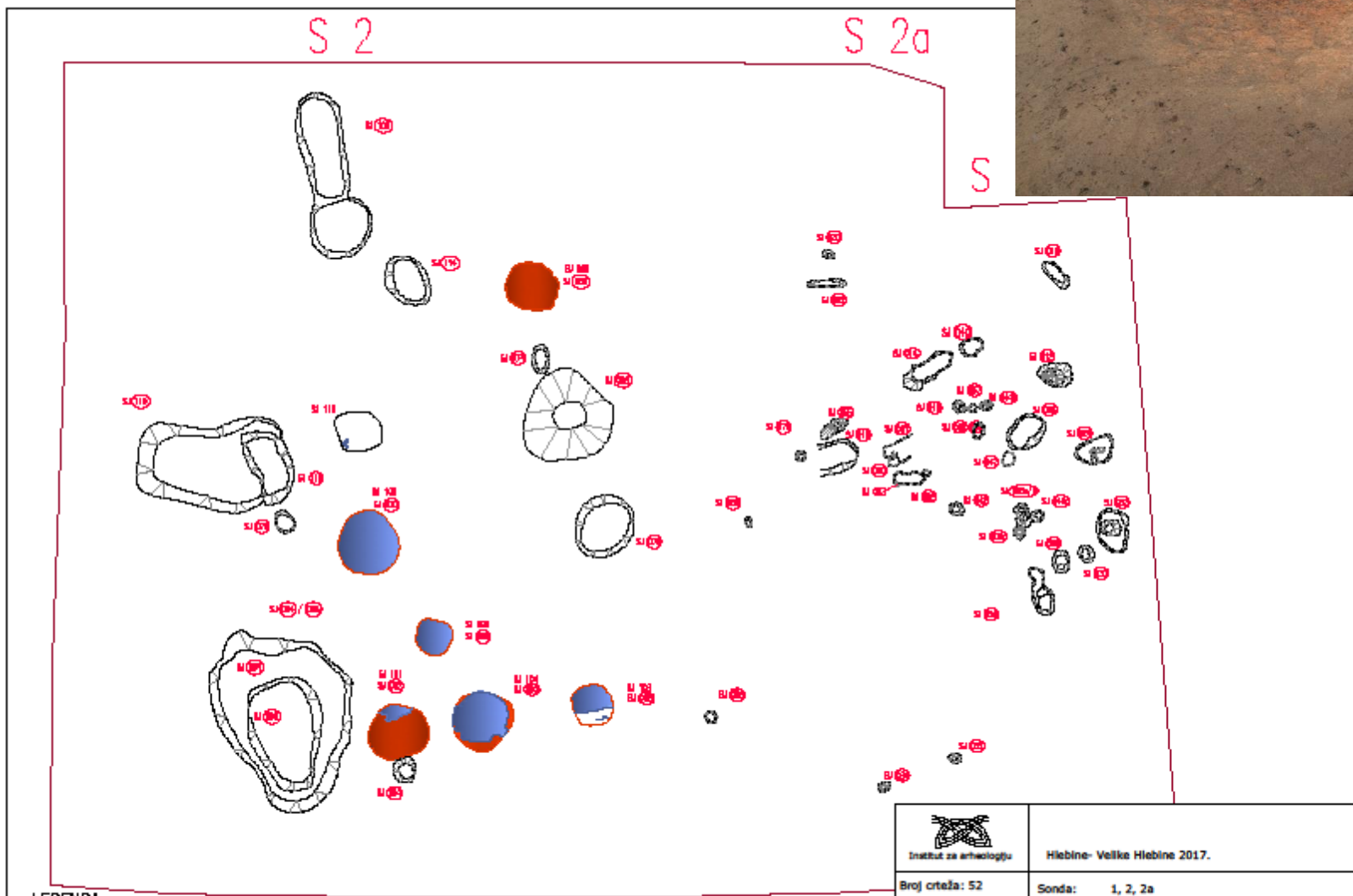
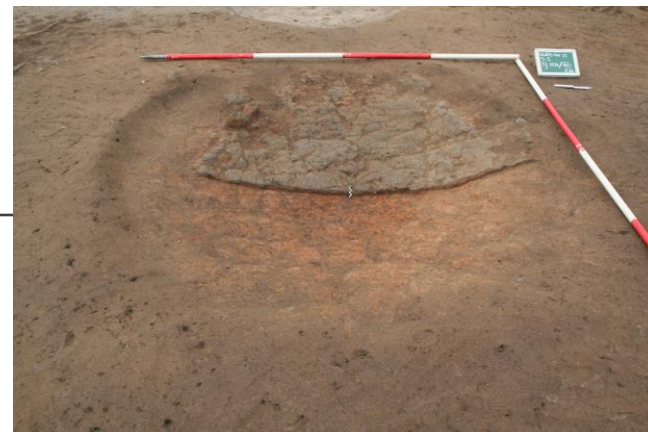
c)

B) Tragovi prženja rude (rešetkasta konstrukcija, eksperiment 1.)


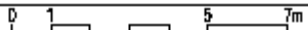
C) Tragovi prženja rude (stožasta konstrukcija, eksperiment 2.)

Hlebine – Velike Hlebine – talionička radionica

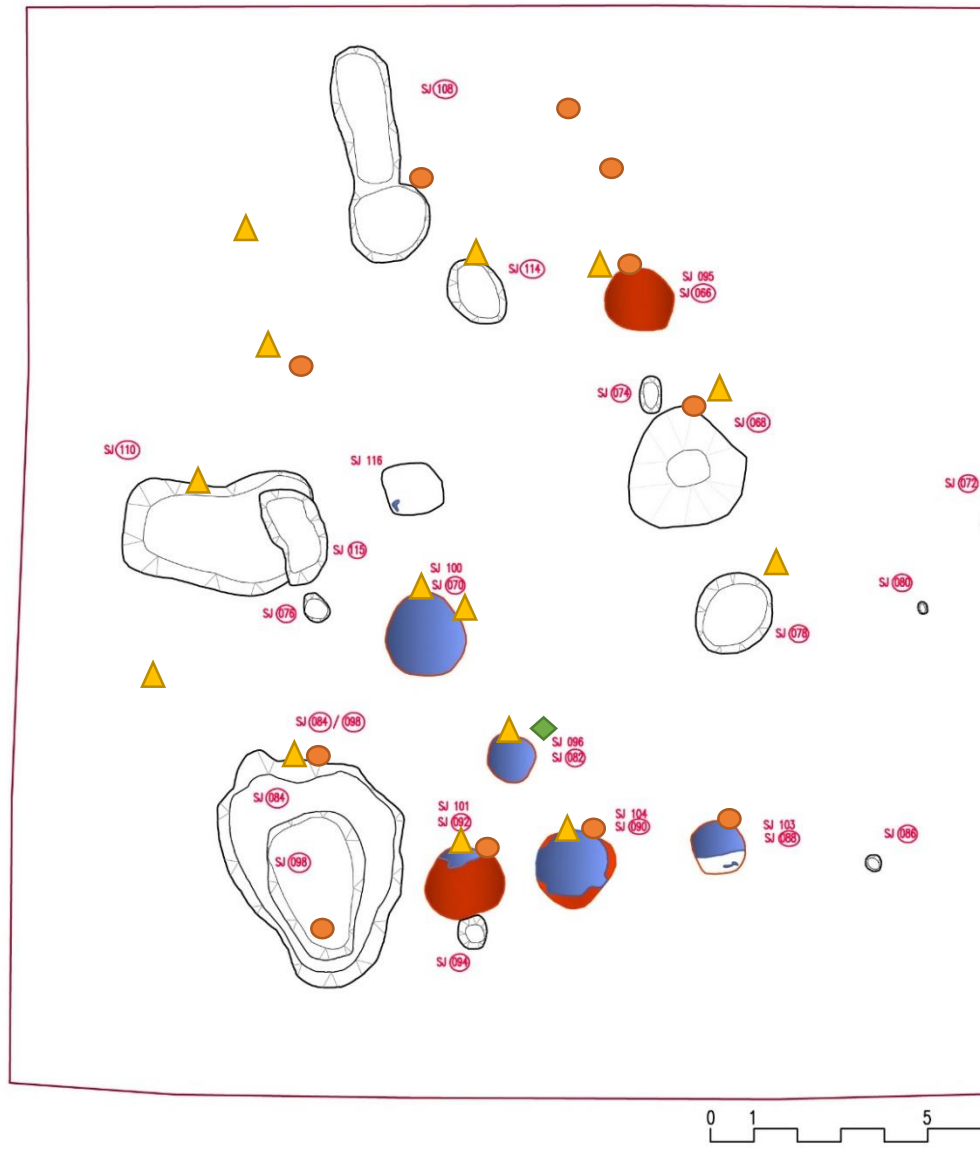
poč - ½ 7. st



- LEGENDA:**
- zapečena zemlja
 - jače zapečena zemlja

 Institut za arheologiju	Hlebine- Velike Hlebine 2017.
Broj crteža: 52	Sonda: 1, 2, 2a
Stratigrafska jedinica:	Položaj ukopa unutar Sond 1 i 2
Datum: listopad 2017.	Autor crteža: Kristina Turkalj
Mjerilo: 1:150	

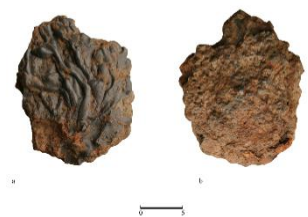
S 2



Ruda



Talionički otpad



Distribucija nalaza/vrsta –
namjena prostora

- Prženje rude
- Deponiranje otpada (382 kg)

Utrošak resursa

Eksperiment	Ruda/vrsta	Količina /prije prženja	Količina/nakon prženja	Gubitak prženje	Gubitak usitnjavanje	Gorivo
1.	Mžd - Somogy	40 kg / 122 g	24 kg / 73 g	40%	-	0.066 m ³
2.	Mžd - Somogy	80 kg / 300 g	31.5 kg / 175 g	42%	5.5 %	0.43 m ³ - 0.45 m ³

Utrošak drva /1 kg nepržene rude = 0.007 - 0.001 m³

Gubitak u težini = gubitak vlage

Povećanje rahlosti /poroznost / „pucanje” ulomaka tijekom postupka = rudni prah - transport ?

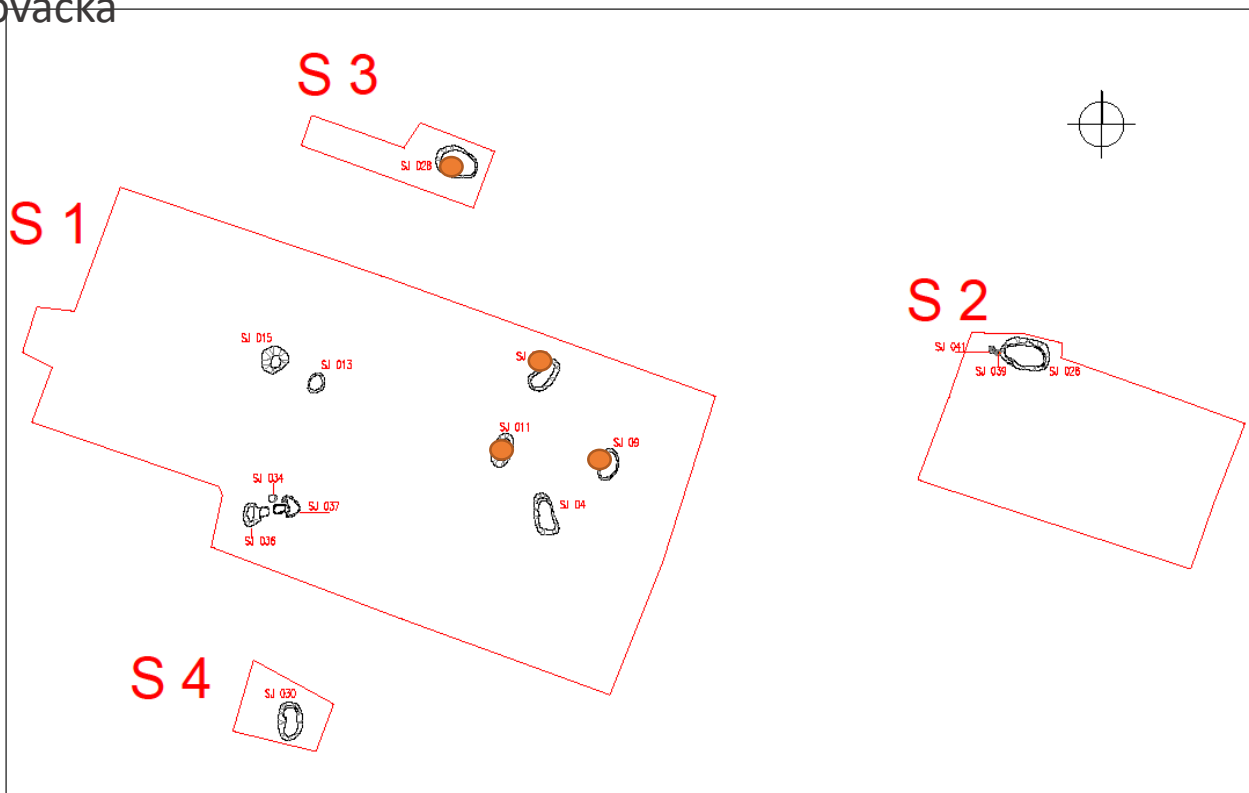
Razina djelatnosti unutar radionice : obrada i priprema sirovine (ruda) = blizina izvora – smanjen utrošak energije

Hlebine – Dedanovice
 radionica/naselje
 poč - ½ 7. st

kovačka



Pržena MŽR
 (hematit)



Hlebine - Dedanovice 2018.	
Sonda:	1, 2, 3, 4
Typost ukopa objekata	
Autor ortofoto:	Kristina Turkalj
0	5 10m

Kovačke peći
 (?) 1, 2

Virje Volarski breg, 2/2 8. – 9.st



Virje - Volarski breg, SJ
107, N-113

Nepržena MŽR, getit



Redosljed postupaka vezanih uz proces proizvodnje spužvastog željeza u direktnoj je vezi s organizacijom rada, a način i razina pripreme rude može se odraziti i na uspješnost postupka taljenja, utrošak sirovina te kvalitetu dobivenog željeza.

Bilježenjem utroška sirovina otvara mogućnost procjene razine eksploatacije prirodnih sirovina i razine proizvodnje.

Razlike u koracima proizvodnje otvaraju pitanja interpretacije različitih tehnoloških odabira i promjena (ako ih je bilo) koje se događaju tijekom kasne antike i ranoga srednjega vijeka na prostoru Podravine.

