

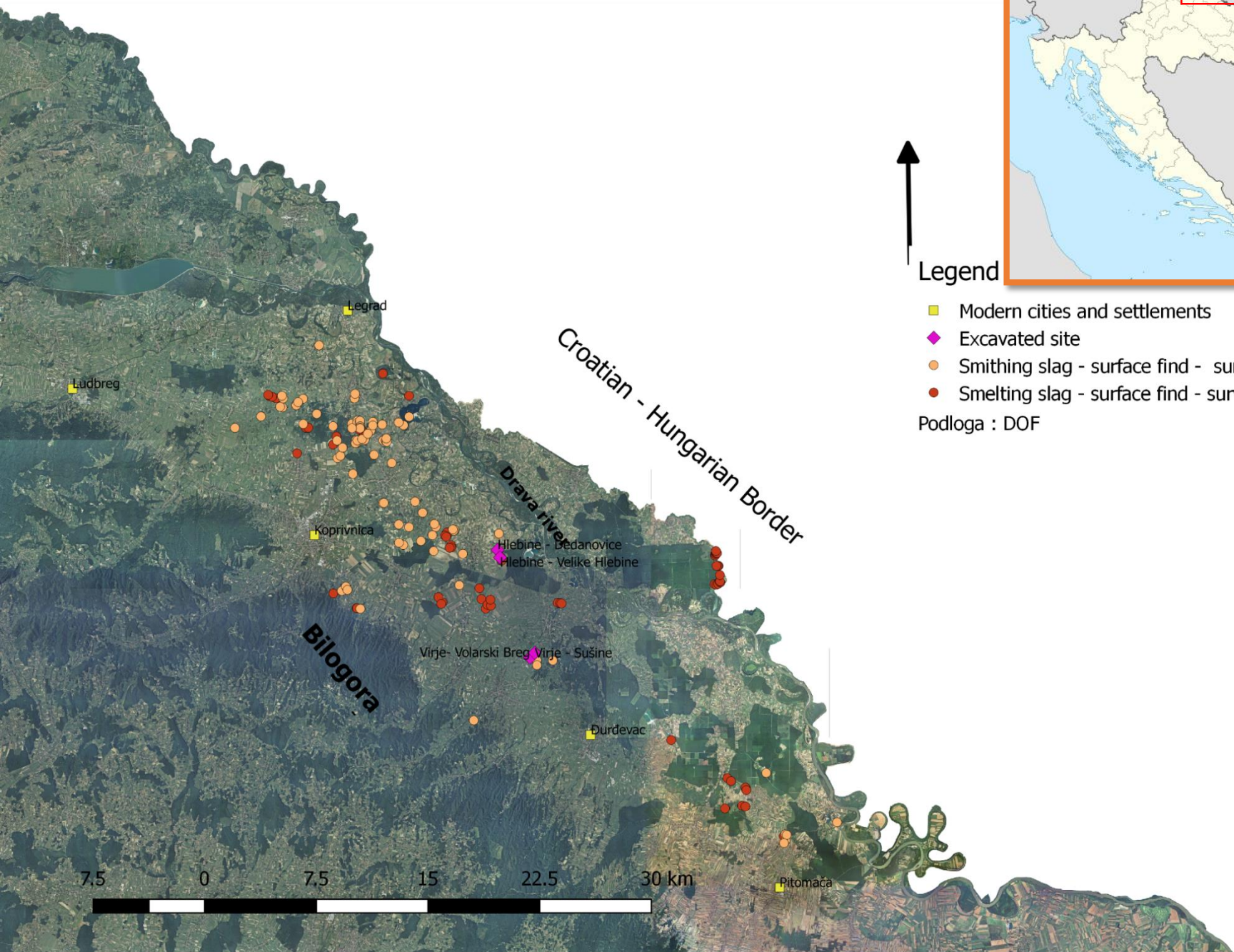
# Močvarna željezna ruda – sirovina za proizvodnju željeza na prostoru Podravine tijekom kasne antike i ranog a srednjega vijeka

Tena Karavidović

2. doktorski seminar, 22. studeni 2019.



Područje istraživanja – gornji sliv rijeke Drave (SZ Hrvatska)



Legend

- Modern cities and settlements
- ◆ Excavated site
- Smithing slag - surface find - survey [88]
- Smelting slag - surface find - survey [67]

Podloga : DOF

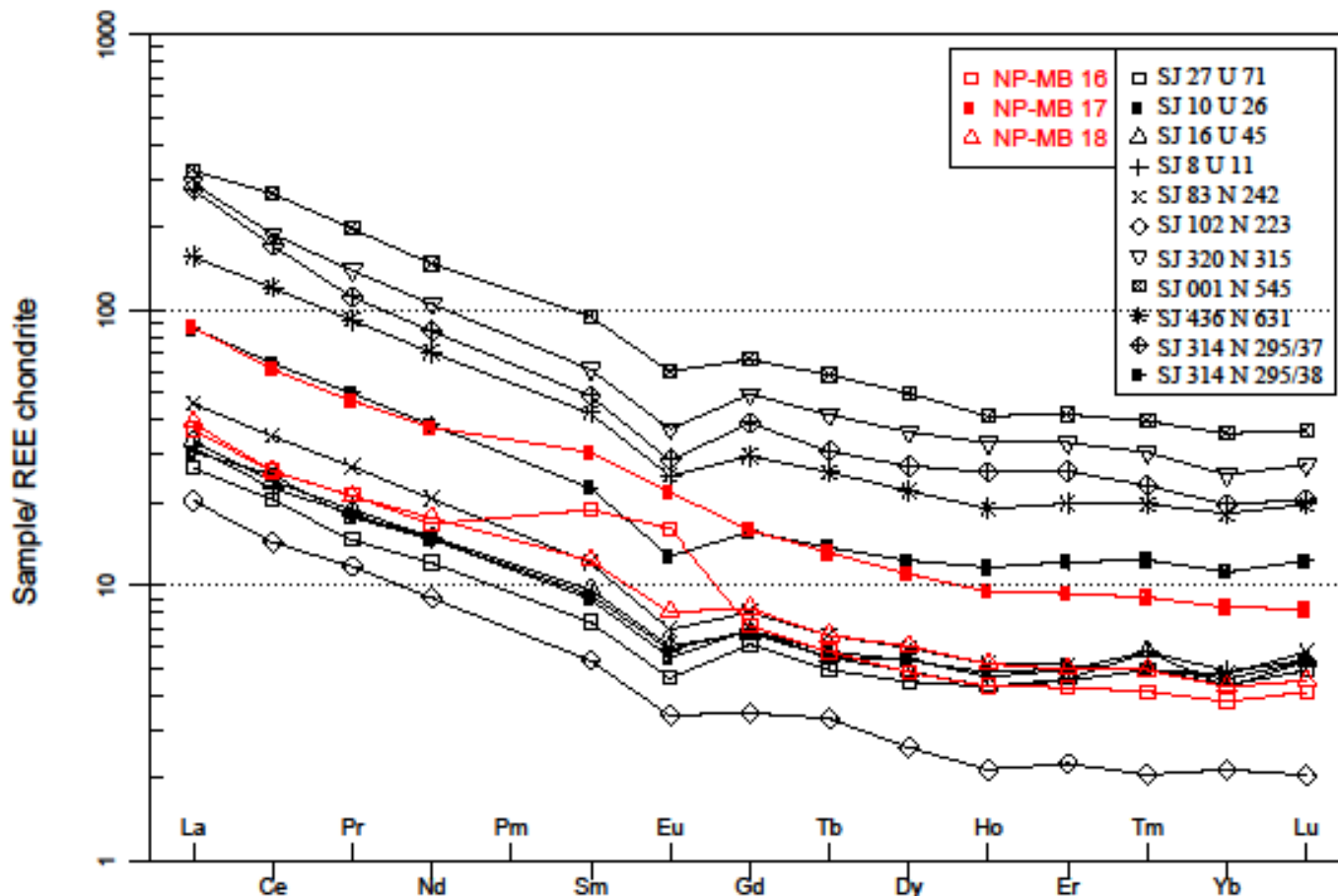
## Željezna ruda iz arheološkog konteksta



- **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 : jedinstveni 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 (NP – MB 16 – 18).

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

# Mineraloške i geokemijske karakteristike rude – tehnološka iskoristivost

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 -djelomično 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

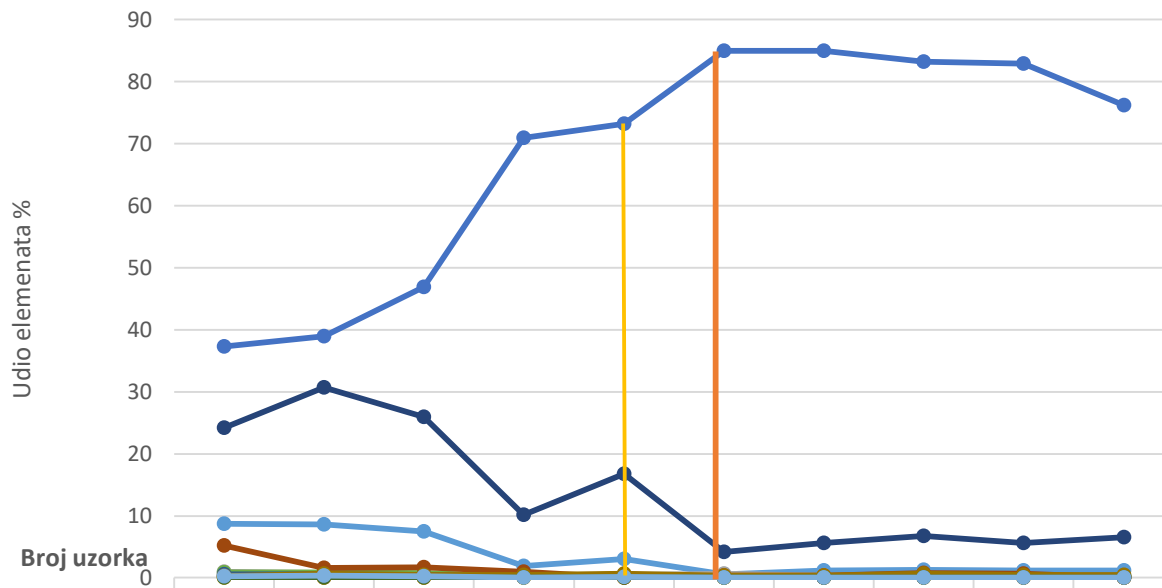


Hlebine – Dedanovice, uzorci pržene rude, SJ 8, U – 11/1b, SJ 16, U - 45

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

- Definiranje postupaka lanca operacija proizvodnje željeza na prostoru Podravine
- razlike u postupcima pripreme sirovine ?!  
= razlike u tehnološkom odabiru i njihov utjecaj  
5.st (Virje- Sušine) 7. st (Hlebine – VH, Dedanovice) - 8/9.st (Virje – Volarski Breg)

## Usporedba kemijskog sastava PRŽENE I SIROVE RUDE iz arheološkog konteksta



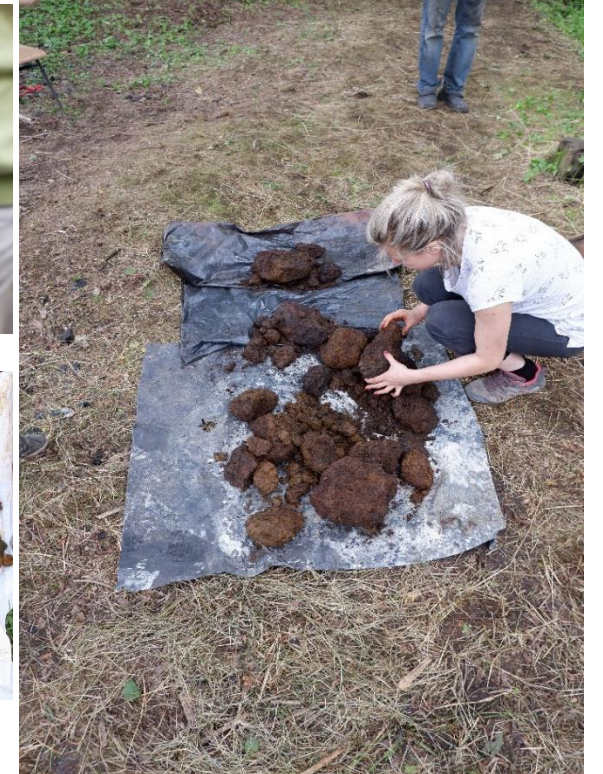
Broj uzorka	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al2O3 %	8.72	8.58	7.52	1.9	3.08	0.59	1.2	1.28	1.15	1.19
BaO %	0.15	0.07	0.06	0.09	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02	0
CaO %	0.97	0.72	0.6	0.34	0.47	0.63	0.33	0.43	0.49	0.3
Cr2O3 %	0.01	0.01	0.02	0	0.02	0	0	0	0	0
Fe2O3 %	37.28	38.94	46.86	70.89	73.2	84.94	84.97	83.17	82.93	76.16
K2O %	0.86	0.9	0.8	0.3	0.58	0.09	0.18	0.22	0.18	0.23
MgO %	0.59	0.59	0.48	0.14	0.26	0.11	0.1	0.13	0.15	0.08
MnO %	5.25	1.59	1.69	0.98	0.06	0.33	0.37	0.77	0.63	0.02
Na2O %	0.34	0.46	0.34	0.13	0.29	0	0	0.09	0	0.11
P2O5 %	0.24	0.66	0.45	0.49	0.65	0.38	0.36	0.69	0.44	0.44
SiO2 %	24.16	30.67	25.92	10.12	16.74	4.17	5.64	6.75	5.63	6.54
SrO %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO2 %	0.3	0.37	0.29	0.03	0.13	0	0.02	0.02	0.03	0.03

Arh.oznaka	Vrsta nalaza	Lokalitet
SJ 107 N 113	Ruda - sirova	Virje - Volarski Breg
SJ 111 N 122	Ruda - sirova	Virje - Volarski Breg
SJ 111 N 130	Ruda - sirova	Virje - Volarski Breg
SJ 314 N 295/51	Ruda - sirova	Virje - Sušine
SJ 83 N 242	Ruda - sirova	Hlebine - Velike Hlebine
SJ 27 U 71	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice
SJ 10 U 26	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice
SJ 16 U 45	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice
SJ 8 U 11	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice
SJ 102 N 223	Ruda - pržena	Hlebine - Velike Hlebine

# 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



Hlebine – Dedanovice

Hlebine - Velike Hlebine

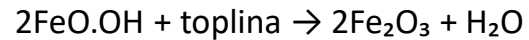
Virje - Sušine

Eksperimentalno prženje močvarne željezne rude na otvorenoj vatri , Somogyfajsz, srpanj 2019.

- a) početak prženja,
- b) nakon 1:00 h prženja
- c) nakon 2:00 h prženja

Položaj mjerenja	Trajanje/h			Prosječna temperatura °C /položaj
	1.00	2.00	3.00	
POLOŽAJ 1	203	417	137	252.3
POLOŽAJ 2	244	224	134	200.7
POLOŽAJ 3	124	313	212	216.3
POLOŽAJ 4.1	805	876	752	811.0
POLOŽAJ 4.2	845	891	701	812.3
Prosječna temperatura °C/vrijeme	444.2	544.2	387.2	

Getit → Hematit



300 – 500 °C

→ Magnetit – djelomična redukcija hematita

500 - 700°C





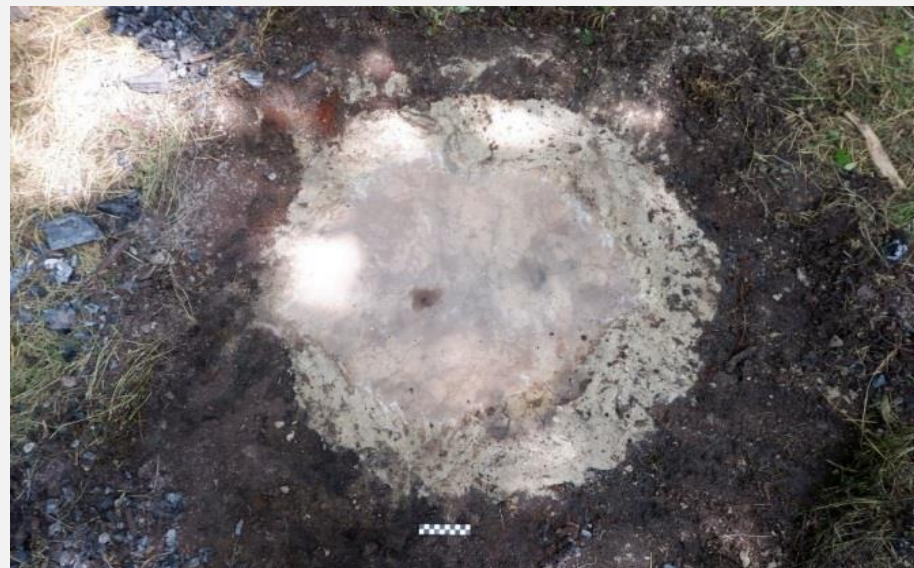
- Usporedba s arheološkim zapisom  
= interpretacija arheoloških struktura



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

b) i c) zgradnja drvene  
konstrukcije vatrišta

Prženje rude unutar  
prostora radionice



Ostaci zapečenog sloja gline nakon prženja rude



Plitka jama sa zapečenim dnom, Hlebine – Velike Hlebine,  
Podravina , 7. st.

Prženje : 40 – 60 % gubitka u težini/masi i koncentracija FeO  
– manja ulazna količina/težina – isti proizvod

Promjena konzistencije i rahlosti – lakši proces redukcije

Taljenje: postupak moguć



- Pospješuje proces redukcije
- Manji utrošak ugljena – smanjena potrošnja resursa i energije
- Razlika u kvaliteti i količini proizvedenog željeza
- Zahtjevnost postupka/sirova – rizik od neuspjeha



Racionalizacija potrošnje resursa

Poznavanje karakteristika lokalnih ruda – iskustvo i znanje i/ili tehnološka tradicija

Arh.oznaka	Vrsta nalaza	Lokalitet	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	SrO	TiO2	LOI	Total
SI 107 N 113	Ruda - sirova	Virje - Volarski Breg	8.72	0.15	0.97	0.01	37.28	0.86	0.59	5.25	0.34	0.24	24.16	<0.01	0.3	15.45	94.32
SI 111 N 122	Ruda - sirova	Virje - Volarski Breg	8.58	0.07	0.72	0.01	38.94	0.9	0.59	1.59	0.46	0.66	30.67	<0.01	0.37	13.29	96.86
SI 111 N 130	Ruda - sirova	Virje - Volarski Breg	7.52	0.06	0.6	0.02	46.86	0.8	0.48	1.69	0.34	0.45	25.92	<0.01	0.29	13.43	98.46
SI 314 N 295/51	Ruda - sirova	Virje - Sušine	1.9	0.09	0.34	<0.01	70.89	0.3	0.14	0.98	0.13	0.49	10.12	<0.01	0.03	11.91	97.31
SI 83 N 242	Ruda - djelomično pržena	Hlebine - Velike Hlebine	3.08	0.01	0.47	0.02	73.2	0.58	0.26	0.06	0.29	0.65	16.74	<0.01	0.13	2.39	97.88
SI 102 N 223	Ruda - pržena	Hlebine - Velike Hlebine	1.19	<0.01	0.3	<0.01	76.16	0.23	0.08	0.02	0.11	0.44	6.54	<0.01	0.03	11.6	96.71
SI 8 U 11	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice	1.15	0.02	0.49	<0.01	82.93	0.18	0.15	0.63	<0.01	0.44	5.63	<0.01	0.03	3.13	94.77
SI 16 U 45	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice	1.28	0.05	0.43	<0.01	83.17	0.22	0.13	0.77	0.09	0.69	6.75	<0.01	0.02	4.55	98.14
SI 27 U 71	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice	0.59	0.01	0.63	<0.01	84.94	0.09	0.11	0.33	<0.01	0.38	4.17	<0.01	<0.01	3.19	94.45
SI 10 U 26	Ruda - pržena	Hlebine - Dedanovice	1.2	0.01	0.33	<0.01	84.97	0.18	0.1	0.37	<0.01	0.36	5.64	<0.01	0.02	2.83	96.02

Rezultati geokemijske analize ( MS Analytical, Langley)

- Udio željezovitih oksida dovoljno visok za uspješan proces taljenja kod svih uzoraka? > 20%
- Velika varijabilnost udjela Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> između 84.97% i 38.94 % - različit položaj lokaliteta i vremenska pripadnost
- Lokaliteti iste vremenske pripadnosti i prostorno bliski - podjednaki omjeri

# Virje – Volarski breg - talionička radionica 2/2 8. – 9.st udjeli $Fe_2O_3$ niži no na ostalim lokalitetima

Uporabe nepržene/lošije rude – nužnost i/ili drugačiji tehnološki odabir:

Kompleksni mehanizam nastajanja močvarnih željeznih ruda

principu uzorkovanja



svi uzorci pokazuju međusobno slične vrijednosti koje su generalno niže od vrijednosti ostalih uzoraka

faza razvijenosti rude

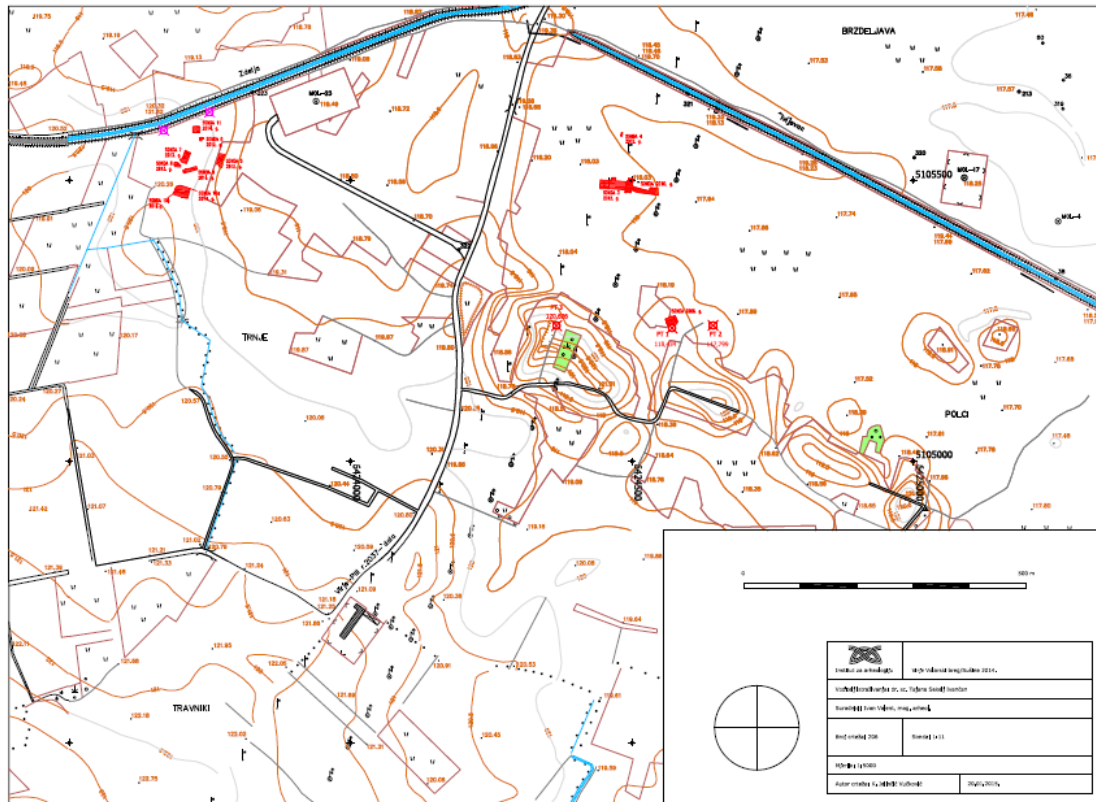


Iscrpljeni izvori ili nepoznavanje sirovine

nemogućnost formacije/obnove izvora

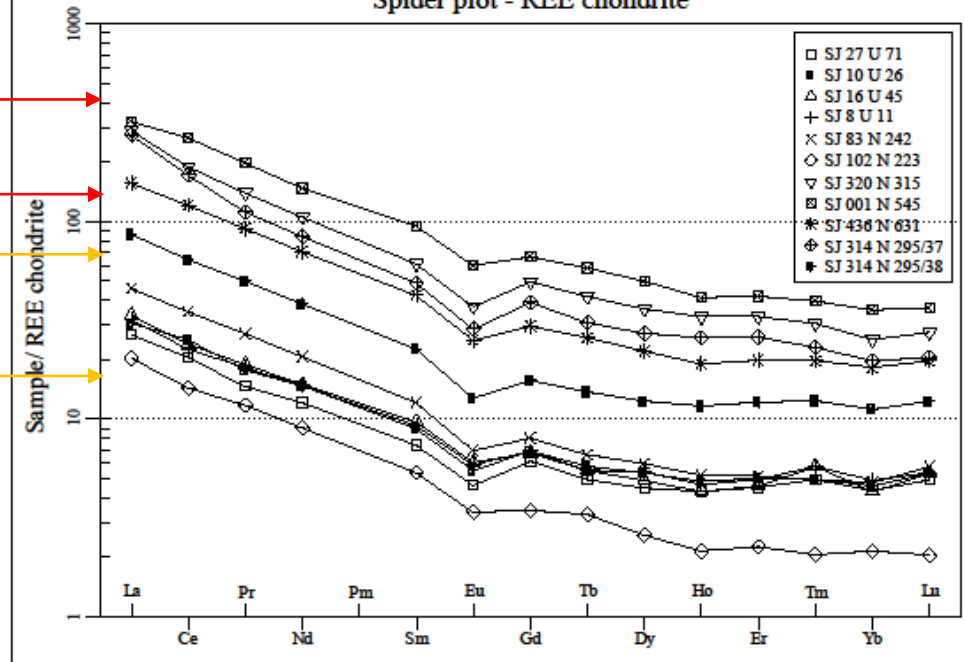


klimatske promjene 8/9.st



= kontinuitet eksploatacije na ograničenom prostoru Virje – Sušine i Volarski breg 5.st – 8. – 8/9. st = areal kretanja u potrazi za rudom

## Roasted iron ore Spider plot - REE chondrite



Virje

Hlebine

Hlebine - Dedanovice

Hlebine - Velike Hlebine

Virje - Volarski Breg

Virje - Sušine

Grupiranje zastupljenosti REE-  
Lokaliteti različite vremenske  
pripadnosti – prostorno bliski

- Iste mikrolokacije izvorišta rude = ista mjesta eksploatacije i areal kretanja u potrazi za rudom

2.5 0 2.5 5 7.5 10 km

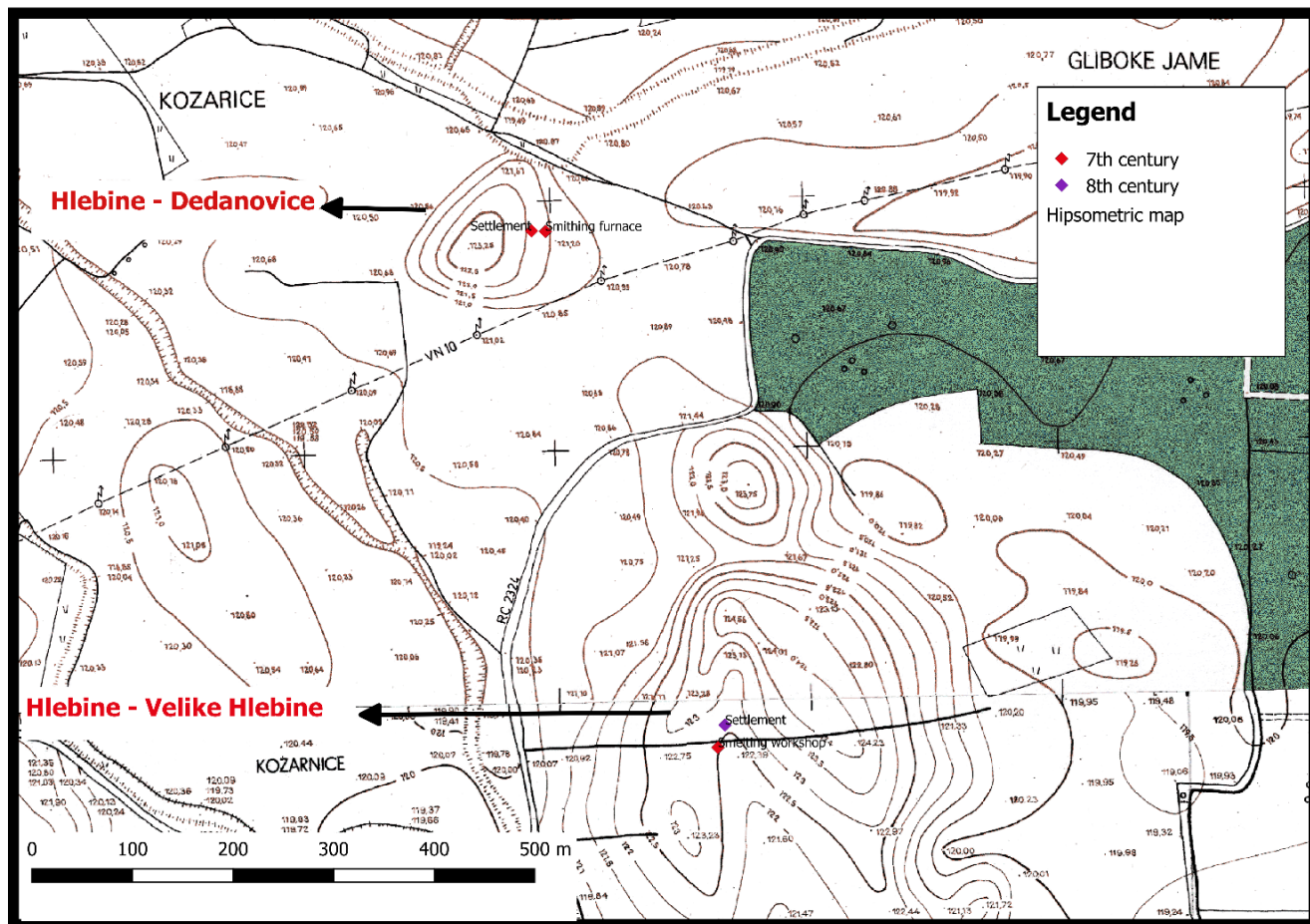


# Uvjetovanost odabira položaja radionica – izvor sirovine

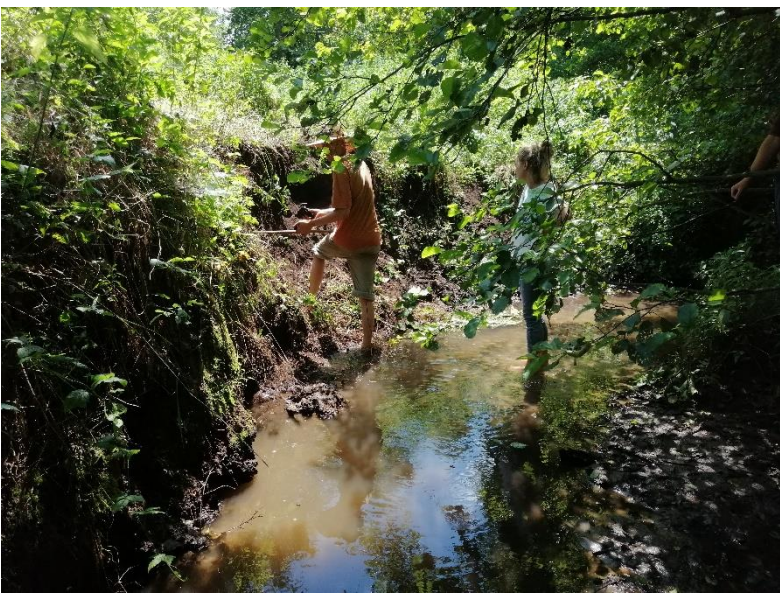
Karakter istraženih lokaliteta



razina i vrsta utjecaja  
prirodnog okoliša na  
odabir položaja



- **TALIONIČKE RADIONICE = SEZONSKI / PRIVREMENI BORAVAK**
- Mikrotopografski - sličan karakter= niska greda udaljena od naselja
- **PEĆI ZA PRIMARNO i SEKUNDARNO (??) KOVANJE = STALNI BORAVAK / NASELJE**  
Hlebine – Dedanovice - rubni dio naselja



Okoliš nedaleko lokaliteta Virje – Volarski breg



Pogled na lokalitet Virje – Volarski breg



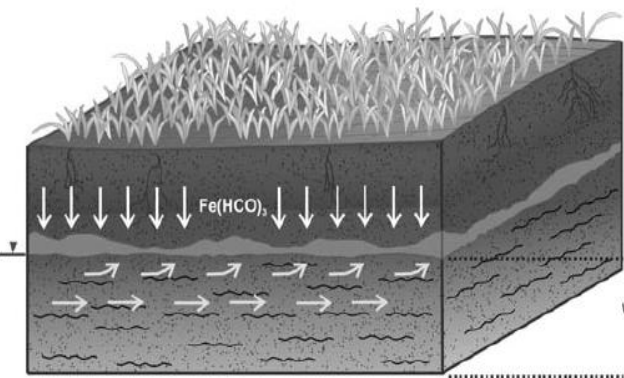
### Ležište močvarne željezne rude

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

= blizina potoka – prisutnost vode

= povremena plavljenja – idealni uvjeti za formaciju rude

prepoznavanje depozita



Horizont taloženja  
močvarne željezne rude

Podzemna voda  
bogata Fe

Humus

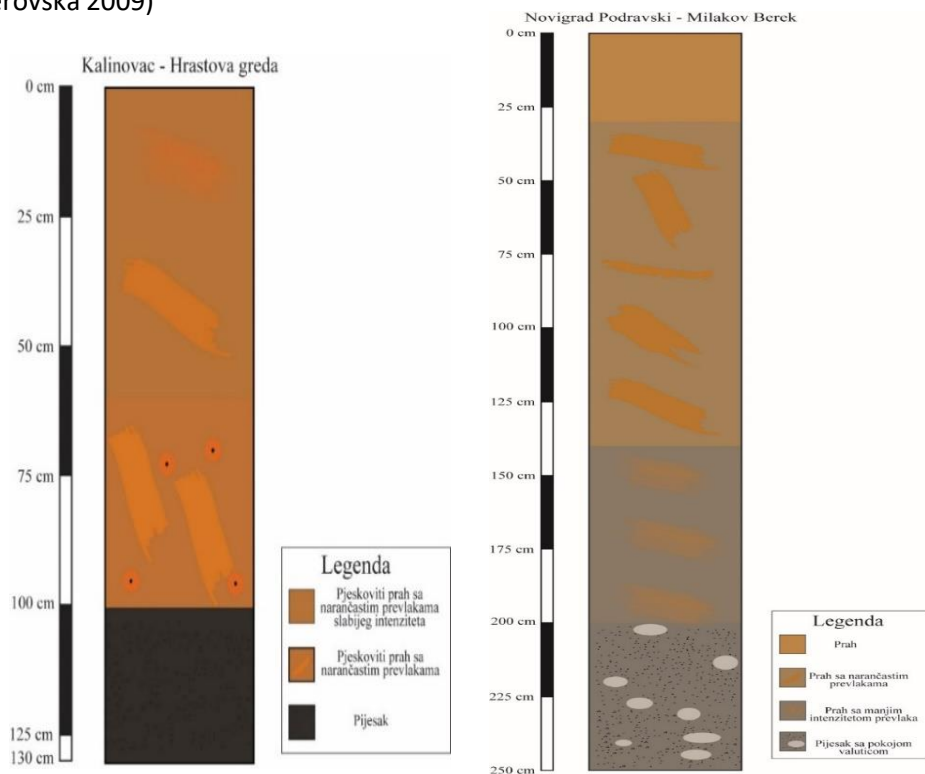
Ruda

Pjeskovita glina



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

Shematski prikaz mehanizma taloženja močvarne željezne rude u odnosu na razinu podzemne vode (prema Wеровska 2009)



Skicirani profili – geološka bušenja

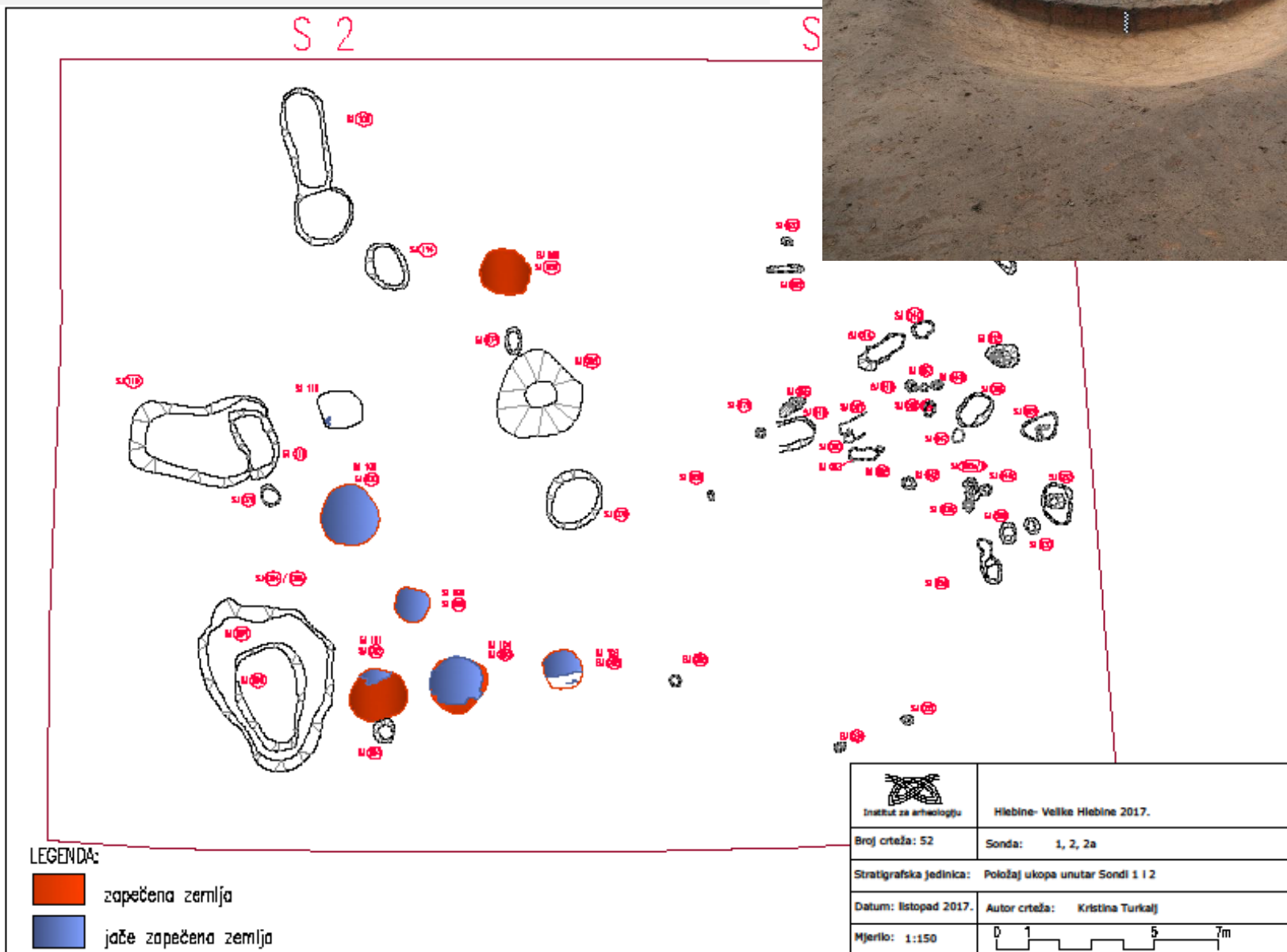
Kalinovac - Hrastova greda,

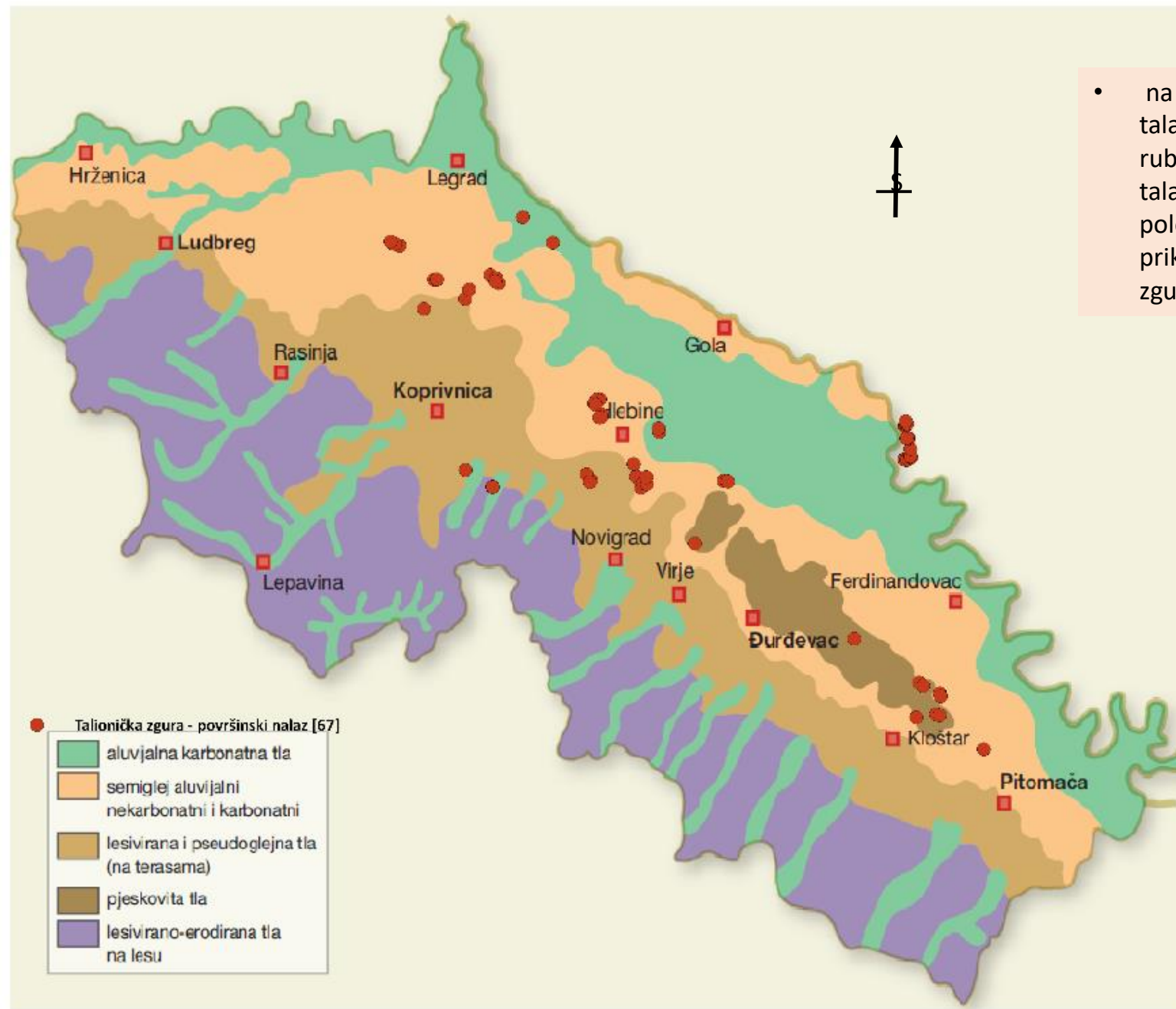
Novigrad Podravski – Milakov berek (Brenko T. 2018)

Karakteristike ležišta – ograničena količina sirovine - potreba za kretanjem i novim ležištem



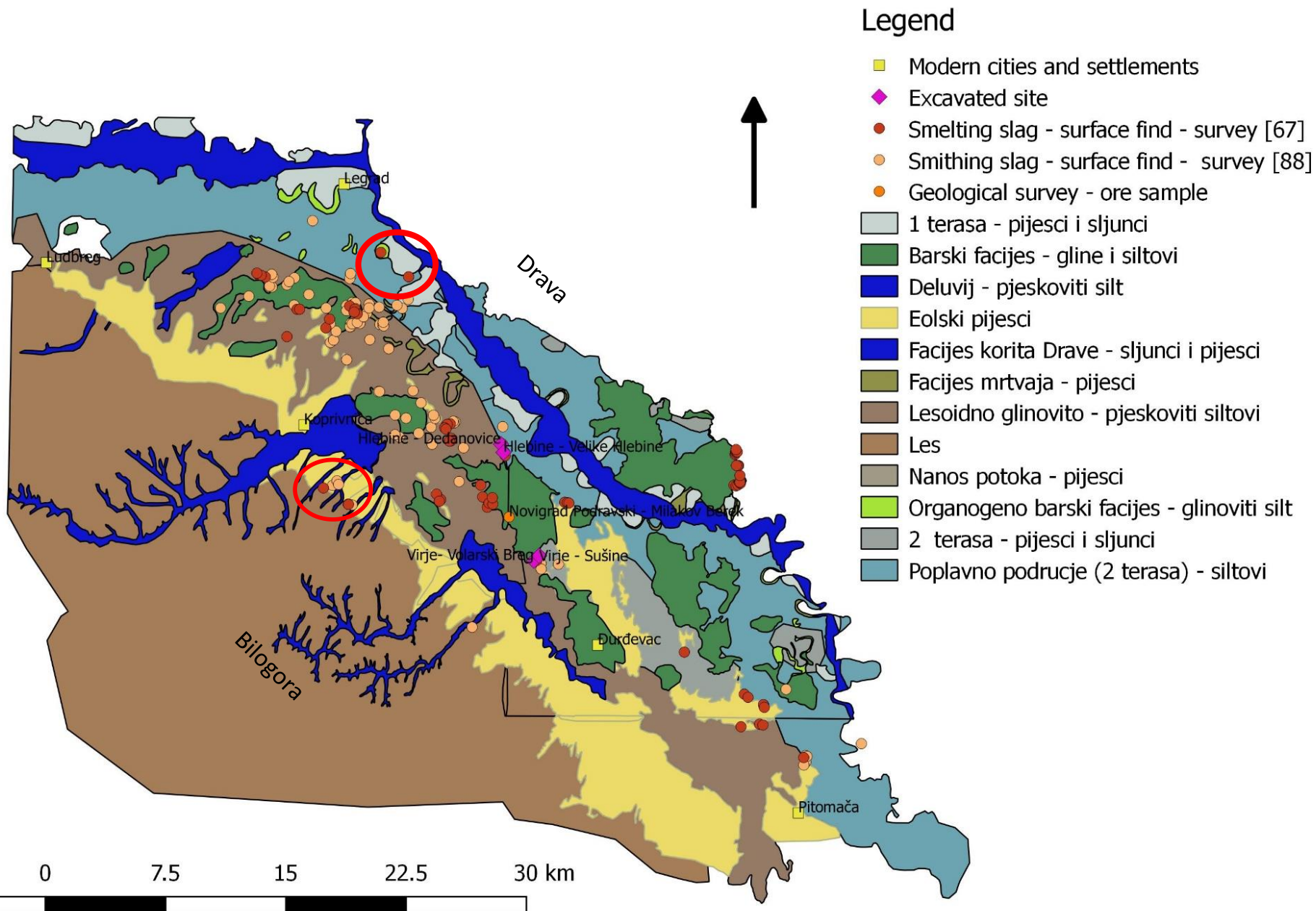
Razina djelatnosti unutar radionice : obrada i priprema sirovine (ruda) = blizina izvora – smanjen utrošak energije





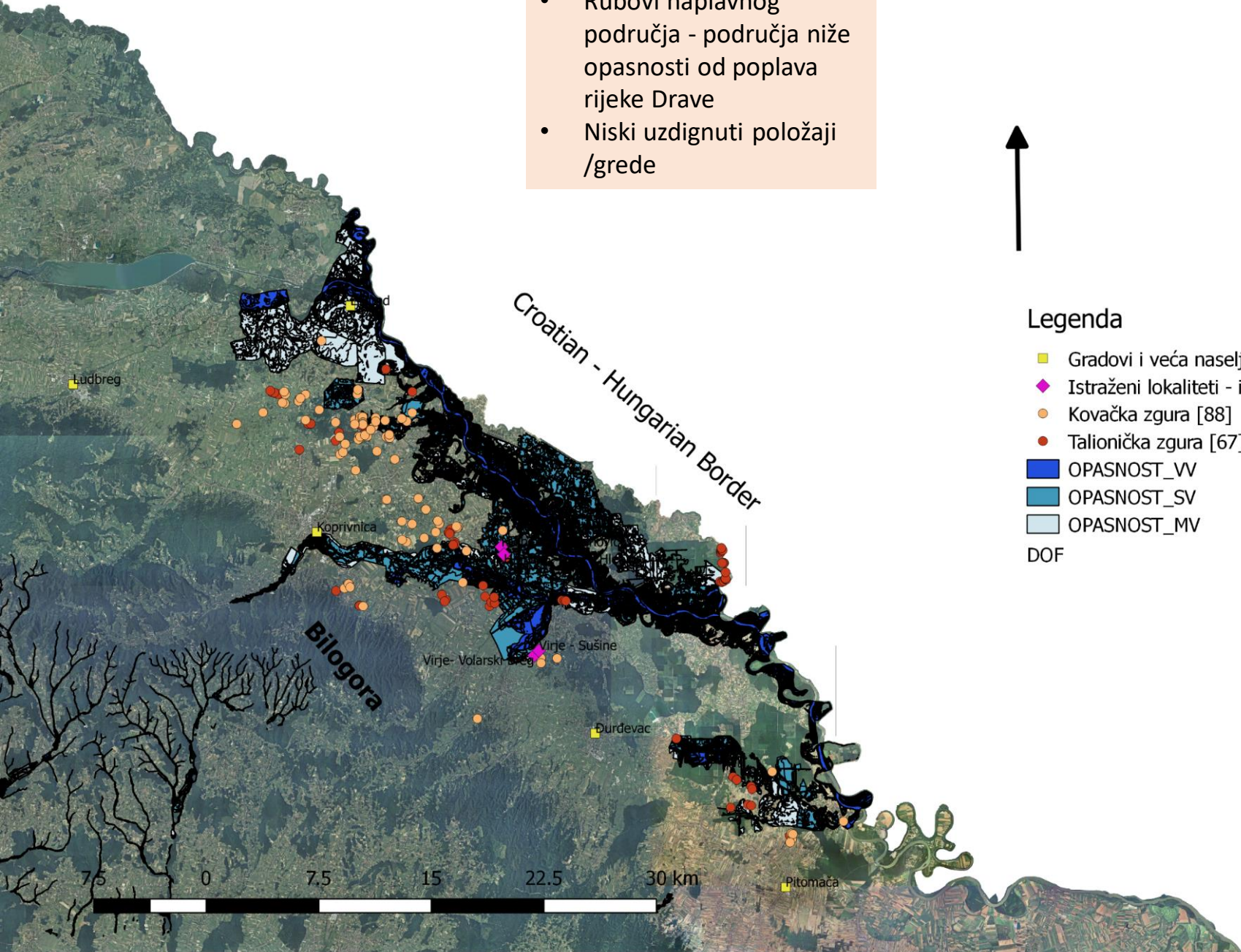
- na prostoru aluvijalnih tala rijeke Drave ili uz rubni/kontaktne dio ovih tala nalazi se većina položaja s kojih je prikupljena talionička zgura

Pedološka karta (prema Feletar i Feletar 2008) s ucrtanim položajima talioničke zgre otkrivene prilikom terenskog pregleda.



Geološka karta Podravine s ucrtanim lokalitetima

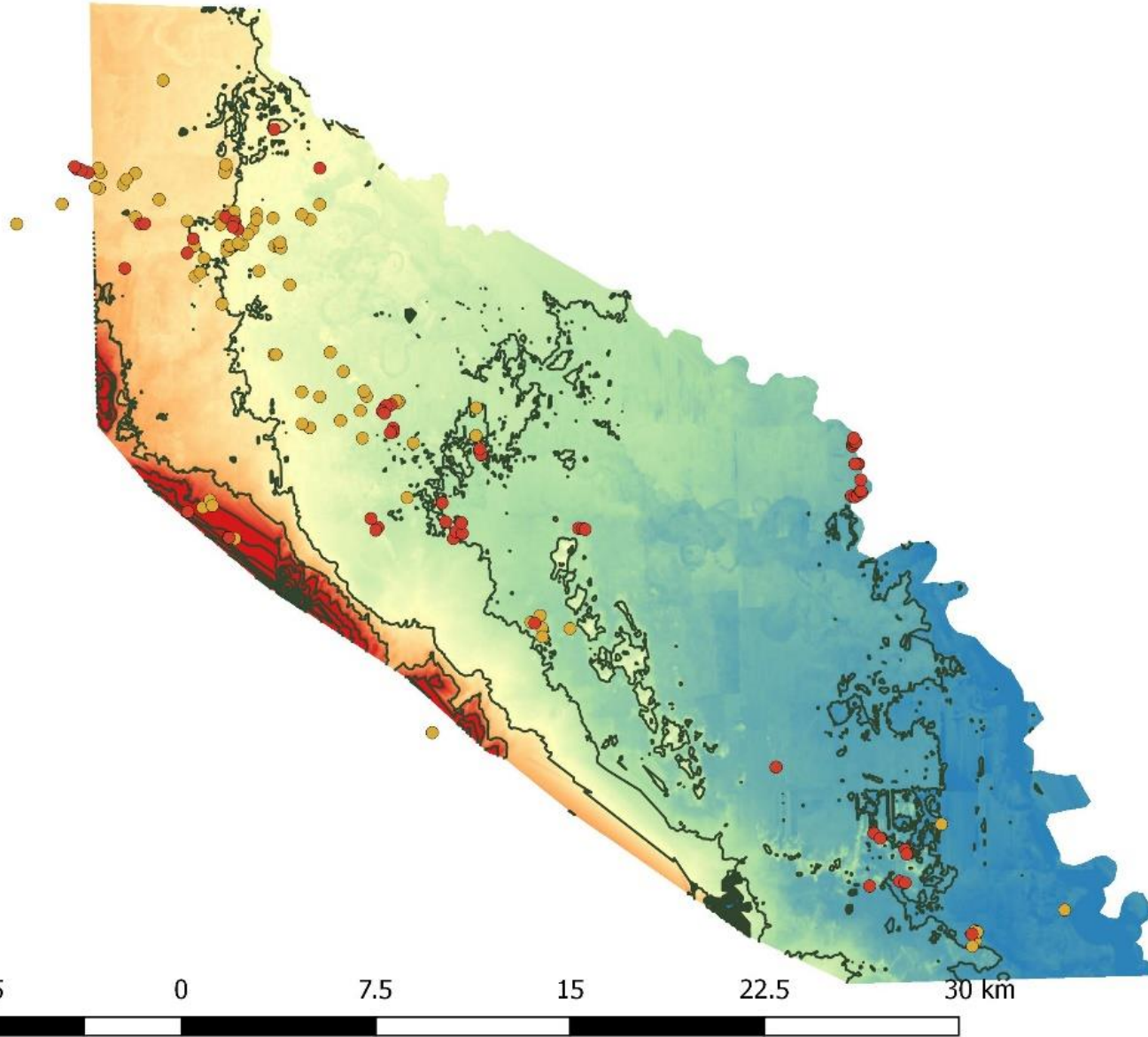
- Rubovi naplavnog područja - područja niže opasnosti od poplava rijeke Drave
- Niski uzdignuti položaji /grede



### Legenda

- Gradovi i veća naselja
- ◆ Istraženi lokaliteti - iskopavanja
- Kovačka zgura [88]
- Talionička zgura [67]
- OPASNOST\_VV
- OPASNOST\_SV
- OPASNOST\_MV
- DOF





## Legend

### Arheološki terenski pregled

- Talionička zgura [67]
- Kovačka zgura [88]
- KONTURE 10m

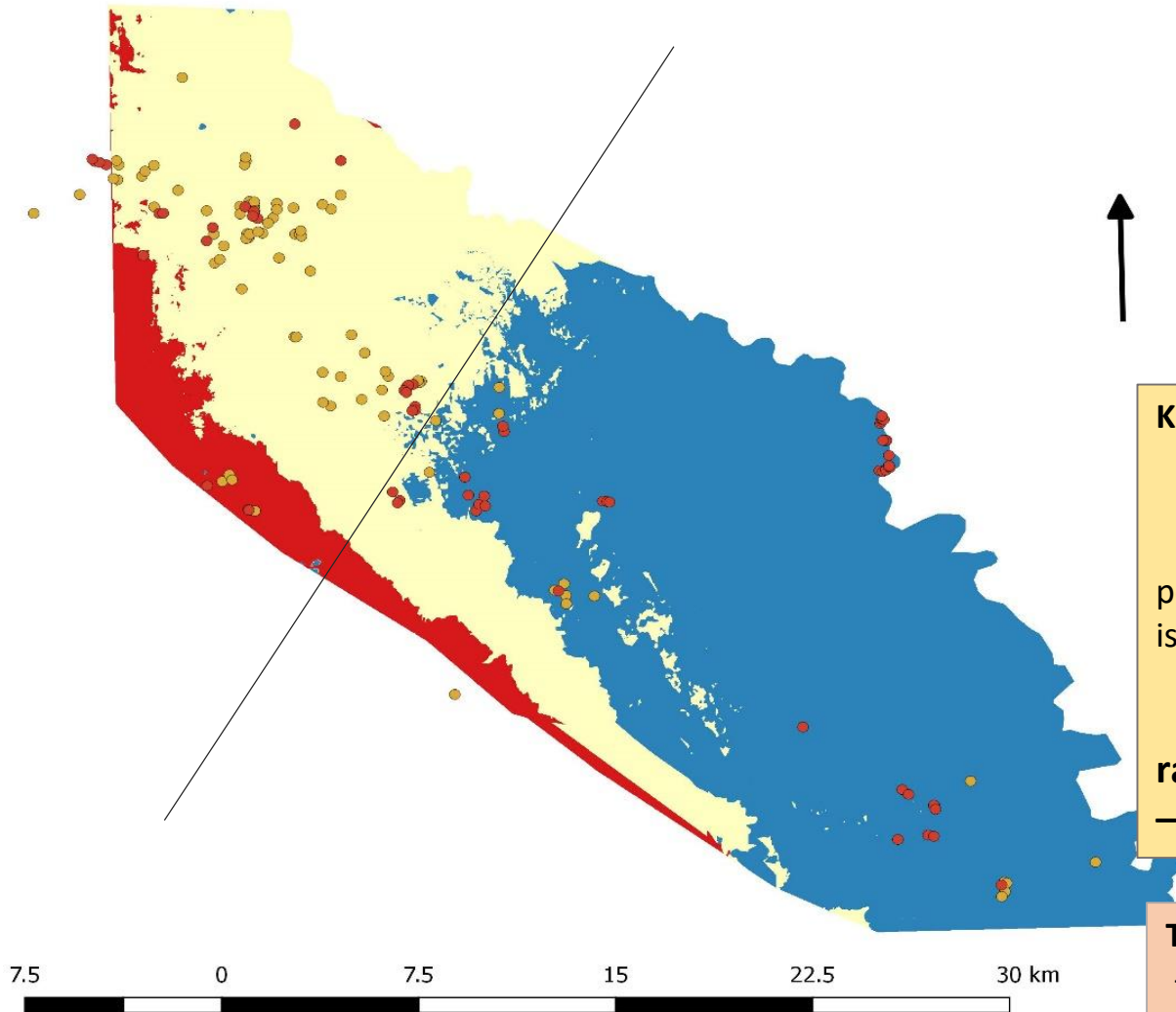
### TIN

- 106.9
- 117
- 128
- 139
- 149

Longitudinalna zonalnost  
prirodnih karakteristika  
krajolika – zonalnost distribucije  
lokaliteta

Veća koncentracija lokaliteta u  
SZ dijelu, zona viših nadmorskih  
visina ( 121 – 139 n.v. )

Hipsometrijska karta Podravine



## Legend

### Arheološki terenski pregled

- Talionička zgura [67]
- Kovačka zgura [88]

### TIN

- <= 121.1n.v.
- 121.1 - 135.4n.v.
- > 135.4n.v.

## Kovačka zgura

- Značajnija koncentracija položaja (SZ)
- široka prostorna distribucija (SZ)
- veće koncentracije položaja oko položaja s talioničkom zgurom – nisu isključivo vezani

## razlike u prostornoj distribuciji SZ – JI

## Talionička zgura

- relativno jednolična distribucija SZ - JI
- Grupiranje položaja unutar mikrolokacija i pojedinačni lokaliteti SZ –JI

## jednoličan princip distribucije SZ – JI

Definiranje postupaka lanca operacija vezanih uz nabavu, pripremu i način iskorištavanja sirovina – uvid u moguće razlike/sličnosti u tehnološkim odabirima i njihov utjecaj na krajnji proizvod, razinu proizvodnje i kvalitetu proizvedenog željeza

Karakter lokaliteta određujući faktor za razinu utjecaja prirodnih karakteristika krajolika na odabir položaja – Hipsometrija i opasnost od plavljenja značajan utjecaj na osnivanje naselja (stalnost boravka) i komunikacija /putova , djelomičan utjecaj na odabir položaja talioničkih radionica – dodatna uvjetovanost dostupnošću izvora sirovina (prvenstveno rude)

Hvala na pažnji!

**TransFER**

